Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe

Bundesministerium
für Ernährung,
Landwirtschaft und
Forsten

Schriftenreihe des
Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Reihe A: Angewandte Wissenschaft
Sonderheft

D. Wintzer, B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible,
E. Nieke, Ch. Rösch und H. Tangen

Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe

1993
Landwirtschaftsverlag GmbH
48165 Münster

Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS)
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie (Kennzeichen 0319153A) durchgeführt.
Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Druck: Landwirtschaftsverlag GmbH, 48165 Münster
(2000 / VI 1993)

Diese Veröffentlichung kann zum Preis von 30,– DM beim Landwirtschaftsverlag GmbH, Postfach 48 02 49, 48079 Münster, bezogen werden.

ISSN 0723-78
ISBN 3-7843-2574-2

Inhaltsverzeichnis

Seite

I Zielsetzung, Konzeption, Bearbeitung und Dokumentation

1.	**Zielsetzung und Konzeption der Studie**	I - 1
2.	***Zur Bearbeitung und Dokumentation***	I - 4

II Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie

1.	**Einleitung**	II - 1
2.	**Energierohstoffe aus Pflanzen**	II - 1
2.1	Stand der Technik und technische Entwicklungsperspektiven	II - 2
2.2	Wirtschaftliche Attraktivität, Subventionsbedarf	II - 2
2.3	Energiebilanzen und CO_2-Minderungskosten	II - 4
2.4	Andere Umweltaspekte	II - 6
2.5	Mittel- und längerfristige Marktperspektiven	II - 8
2.6	Sozioökonomische Fragen, Akzeptanzfragen	II - 10
3.	**Chemisch-technischer Verwendungsbereich**	II - 13
3.1	Pflanzliche Öle	II - 13
3.2	Stärke	II - 14
3.3	Holz	II - 15
3.4	Mengenpotentiale und Flächenbindung im chemisch-technischen Verwendungsbereich	II - 16
4.	**Flächenverfügbarkeit und Beschäftigungseffekte für den Gesamtbereich der Nachwachsenden Rohstoffe**	II - 18
4.1	Flächenverfügbarkeit	II - 18
4.2	Beschäftigungseffekte	II - 20

III Produktlinienübergreifende pflanzenbauliche Kenndaten

1.	**Technische und ökonomische Kenndaten**	III - 1
1.1	Allgemeine Rahmenbedingungen	III - 2
1.2	Pflanzenarten, Datenbasis, Produktionsintensitäten	III - 8
1.3	Ableitung der Produktionsverfahren	III - 17
1.4	Kenndaten zur Beschreibung der Produktionsverfahren bzw. Pflanzenarten	III - 27
1.5	Vergleichende Gegenüberstellung der Produktionsverfahren	III - 35
1.6	Exkurs: Anbau von Miscanthus	III - 47
2.	**Umweltrelevante Kenngrößen und Auswirkungen**	III - 55
2.1	Fruchtfolgeaspekte und landschaftsökologische Aspekte	III - 56

		Seite
2.2	Physikalische und chemische Risiken für Boden, Gewässer und Luft	III - 58
	2.2.1 Auswirkungen auf den Boden	III - 59
	2.2.2 Auswirkungen auf das Wasser	III - 64
	2.2.3 Zusammenfassung der Umweltrisiken	III - 71
2.3	Freisetzung von N_2O	III - 72
	2.3.1 Natürliche Quellen	III - 72
	2.3.2 Mechanismen der N_2O-Freisetzung	III - 73
	2.3.3 N_2O-Freisetzungsraten	III - 74
	2.3.4 Stickstoffdüngung und N_2O-Freisetzung	III - 75
	2.3.5 Flächenstillegung und N_2O-Freisetzung	III - 77
	2.3.6 Nachwachsende Rohstoffe und N_2O-Freisetzung	III - 77
3.	**Regionale ökologische Fallstudien**	III - 80
3.1	Einleitung	III - 80
3.2	Untersuchungsgebiete	III - 80
3.3	Untersuchte Nachwachsende Rohstoffe	III - 81
3.4	Produktionsintensitäten und Auswirkungsbereiche	III - 82
3.5	Ergebnisse	III - 83
	3.5.1 Risiko des Austrags von Nitrat aus dem Oberboden	III - 83
	3.5.2 Risiko der Belastung von Oberflächengewässern durch den Eintrag von Stoffen	III - 89
	3.5.3 Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser	III - 96
	3.5.4 Ausmaß der Erosion	III - 98
	3.5.5 Ausmaß der Bodenverdichtung	III - 100
3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	III - 100
Literaturverzeichnis zu Kapitel III		III - 102

IV Produktlinien zur energetischen Nutzung

1.	**Stand der Technik, technische Entwicklungsperspektiven**	IV - 1
1.1	Festbrennstoffe	IV - 1
1.2	Pflanzenöle	IV - 5
1.3	Andere flüssige und gasförmige Energieträger	IV - 12
2.	**Energiebilanzen**	IV - 14
2.1	Energieertrag und Prozeßenergiebedarf	IV - 14
2.2	Energetisches Brutto- und Netto-Substitutionsverhältnis	IV - 17
3.	**Ökonomische Analyse**	IV - 24
3.1	Methodisches Vorgehen und wichtige Basisannahmen	IV - 24
	3.1.1 Methodisches Vorgehen bei der Kostenerfassung	IV - 24
	3.1.2 Wichtige Basisannahmen der ökonomischen Analyse	IV - 26

Seite

3.2 Ergebnisse der ökonomischen Analyse für gegenwärtige und für zukünftige Verhältnisse IV - 34
3.2.1 Kosten der Bereitstellung IV - 34
3.2.2 Substitutionswert und Kostenunterdeckung IV - 38
3.2.3 Schwellenpreise für fossile Energieträger IV - 43
3.2.4 Die gegenwärtige Wettbewerbsfähigkeit aus einzelwirtschaftlicher Sicht IV - 52
4. Umweltanalysen IV - 55
4.1 CO_2-Minderung und CO_2-Minderungskosten IV - 55
4.2 Distickstoffoxid (N_2O) IV - 71
4.3 Umweltrelevante Aspekte bei der Be- und Verarbeitung IV - 73
4.3.1 Umweltrelevante Aspekte bei der Bioethanolherstellung IV - 73
4.3.2 Umweltrelevante Aspekte bei der Gewinnung von Rapsöl bzw. RME IV - 74
4.4 Belastung der Umwelt durch Transportvorgänge IV - 75
4.5 Umweltrelevante Aspekte bei der Verwendung IV - 76
4.5.1 Biologische Abbaubarkeit von Rapsöl und RME IV - 76
4.5.2 Emissionen bei der Verbrennung von Pflanzenölen IV - 76
4.5.3 Ethanol IV - 83
4.5.4 Emissionen aus der Verwendung von Festbrennstoffen (außer CO_2 und N_2O) IV - 83
4.6 Zusammenfassung der Umweltanalysen IV - 88
5. Mittel- und längerfristige Marktperspektiven IV - 94
5.1 Nachfrageseitige Restriktionen IV - 94
5.1.1 Nachfragegrenzen bei der Verwendung von Festbrennstoffen aus Biomasse IV - 94
5.1.2 Nachfragegrenzen bei der Verwendung flüssiger Energieträger aus Pflanzen IV - 98
5.2 Angebotsseitige Restriktionen IV - 98
5.2.1 Flüssige Energieträger IV - 98
5.2.2 Feste Energieträger IV - 99
5.3 Einordnung der mittel- und längerfristig möglichen Beiträge zur Energieversorgung und zur CO_2-Minderung in Gesamtperspektiven IV - 104
Literaturverzeichnis zu Kapitel IV IV - 107

V Produktlinien im technischen und chemischen Bereich

1. Holz V - 1
1.1 Vorbemerkungen V - 1
1.2 Aspekte der Produktion von Holz V - 2
1.2.1 Produktionskenngrößen der konventionellen Forstwirtschaft V - 2
1.2.2 Produktionskenngrößen für schnellwachsende Baumarten V - 18

		Seite
	1.2.3 Umweltaspekte des Waldbaus	V - 20
1.3	Stand und Zukunftsperspektiven für die wichtigsten Verwendungsbereiche	V - 25
	1.3.1 Überblick über Aufkommen und Verwendung	V - 25
	1.3.2 Säge- und Hobelholz	V - 34
	1.3.3 Holzwerkstoffe	V - 39
	1.3.4 Zellstoff, Holzstoff und Pappe	V - 47
1.4	Holzverfügbarkeit und Aufforstung	V - 57
2.	**Pflanzliche Öle**	V - 60
3.	**Stärke**	V - 66
3.1	Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Stärkebereitstellung	V - 66
3.2	Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Stärkeverwendung	V - 76
4.	**Zucker**	V - 83
5.	**Flachsfasern**	V - 84
5.1	Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Flachsbereitstellung	V - 84
5.2	Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Flachsverwendung	V - 88
6.	**Arznei- und Gewürzpflanzen**	V - 92
6.1	Einführung und Definition	V - 92
6.2	Anbautechnische und ökonomische Merkmale	V - 93
6.3	Umweltrelevante Merkmale	V - 97
6.4	Konditionierung	V - 99
6.5	Verarbeitung	V - 100
6.6	Marktperspektiven und Mengenpotentiale	V - 100
6.7	FuE-Empfehlungen	V - 102
Literaturverzeichnis zu Kapitel V		V - 104

VI Mengenszenarien für 2005

1.	**Auswahl der Mengenszenarien**	VI - 1
2.	**Analyse der Mengenszenarien**	VI - 3
2.1	Flächenbindung der Rohstoffbereitstellung und Flächenverfügbarkeit	VI - 3
2.2	Beschäftigungseffekte	VI - 11
2.3	Einkommenseffekte	VI - 13
2.4	Umweltauswirkungen	VI - 18
Literaturverzeichnis zu Kapitel VI		VI - 21

Seite

VII Strategieentwurf für den Teilbereich der energetischen Nutzung Nachwachsender Rohstoffe

1.	Vorbemerkungen	VII - 1
2.	Gegenwärtige Situation und Perspektiven	VII - 1
2.1	Gegenwärtige Situation und kurzfristige Perspektiven	VII - 1
2.2	Mittel- und längerfristige Perspektiven	VII - 3
3.	Ziele und Maßnahmen	VII - 4
3.1	Strategieziele	VII - 4
3.2	Folgerungen aus den Strategiezielen für Entwicklungsschwerpunkte	VII - 5
3.3	Maßnahmen	VII - 8

A Anhang

Tabellenanhang zu Kapitel I	A - 1
Tabellenanhang zu Kapitel III	A - 5
Anhang zu Kapitel IV	A - 37
Kosten der Bereitstellung nachwachsender Energieträger	A - 37
Datentabellen für Verwendungsanlagen	A - 63
Literaturverzeichnis zum Anhang	A - 70

Verzeichnis der Tabellen

Tab.-Nr.		Seite
I.2-1:	Überblick über die Zusammenarbeit mit externen Experten und deren Mitarbeitern auf der Basis von Unteraufträgen	I - 5
II.2-1:	Einsatz von Rapsöl und Miscanthus als Energieträger	II - 5
II.2-2:	Monetarisierte SO_2-Vorteile der Verwendung von Strohbriketts und Rapsöl, gegenwärtige Verhältnisse	II - 8
II.2-3:	Zusammenfassung der mittelfristigen Verwendungspotentiale für pflanzenbürtigeFestbrennstoffe in der Bundesrepublik Deutschland	II - 8
II.2-4:	Primärenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland	II - 9
II.2-5:	Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger - Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei kleinen Mengen (< 0,1 Mio t/a), gegenwärtige Verhältnisse	II - 10
II.2-6:	Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Briketts aus Stroh als Ersatz von Braunkohlenbriketts - Beispiel: Einsatz in vorhandene Kleinfeuerungsanlagen, gegenwärtige Verhältnisse	II - 11
II.3-1:	Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen in der Bundesrepublik Deutschland	II - 17
II.4-1:	Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen und der energetischenVerwendung von Nachwachsenden Rohstoffen (NR) in der Bundesrepublik Deutschland	II - 19
III.1-1:	Unterstellte Erzeugerpreise (DM/t) für die Gegenwart und 2005, in Abhängigkeit unterschiedlicher Produktionsintensitäten	III - 4
III.1-2:	Allgemeine Rahmenbedingungen für die Gegenwart (1987) und 2005	III - 5
III.1-3:	Vergleich der drei Produktionsintensitäten Hohe Intensität, WSG-Intensität und N-Abgabe bei W-Weizen und W-Raps: Auswirkungen auf das Ertrags- und N-Düngungsniveau	III - 16
III.1-4:	Abschätzungen zum linearen Ertragszuwachs bei den wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen bis 2005	III - 24
III.1-5:	Exemplarische Darstellung zur Aufschlüsselung der technischen und ökonomischen Kenndaten im Pflanzenbau, verdeutlicht am Beispiel W-Raps	III - 29
III.1-6:	Faktorspezifischer Aufwand an Prozeßenergie für die Bereitstellung anbaurelevanter Input-Faktoren	III - 32
III.1-7a:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Ölpflanzen, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 37
III.1-7b:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Ölpflanzen, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 38
III.1-8a:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Stärke- und Zuckerträgern, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 40

Tab.-Nr.		Seite
III.1-8b:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Stärke- und Zuckerträgern, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 41
III.1-9a:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung für die Verfahren der Bereitstellung von Stroh, Heu und Miscanthus, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 44
III.1-9b:	Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung für die Verfahren der Bereitstellung von Stroh, Heu und Miscanthus, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005	III - 45
III.1-10:	Kenndaten zur Beregnung	III - 51
III.2-1:	Risiken der Bodenverdichtung und Bodenerosion bei verschiedenen NR	III - 61
III.2-2:	Risiko der Verlagerung von Stickstoff (N) bei verschiedenen NR	III - 67
III.2-3:	Risiko der Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Richtung Grundwasser bei verschiedenen NR	III - 70
III. 2-4:	Zusammenfassender Überblick über die Risiken der Umweltbelastung durch Nachwachsende Rohstoffe	III - 71
III. 2-5 :	N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten und in unterschiedlichem Maße gedüngten Acker-, Grünland- und Waldflächen	III - 76
III.3-1:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Untersuchungsgebiet Straßkirchen	III - 85
III.3-2:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Untersuchungsgebiet Buttenheim	III - 86
III.3-3:	Risiko der Gewässerbelastung durch den Austrag fester und löslicher Stoffe, Untersuchungsgebiet Straßkirchen	III - 94
III.3-4:	Risiko der Gewässerbelastung durch den Austrag fester und löslicher Stoffe, Untersuchungsgebiet Buttenheim	III - 95
III.3-5:	Gefährdung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmittel (Herbizide), Untersuchungsgebiete Straßkirchen und Buttenheim	III - 97
III.3-6 :	Gefahr des Bodenabtrags durch Wasser, Untersuchugsgebiete Straßkirchen und Buttenheim	III - 99
III.3-7:	Risiko der Bodenverdichtung, Untersuchungsgebiete Straßkirchen und Buttenheim	III - 101
IV.2-1:	Energieertrag und fossiler Prozeßenergiebedarf zur Bereitstellung verschiedener nachwachsender Energieträger in Abhängigkeit von unterschiedlicher Konditionierung und Transportentfernung	IV - 16
IV.2-2:	Brutto-Substitutionsverhältnis zwischen fossilen Energieträgern und nachwachsenden Energieträgern (NE) bei verschiedenen Verwendungslinien	IV - 18
IV.2-3:	Energetisches Brutto-Substitutionsverhältnis, Prozeßenergiebedarf und energetisches Netto-Substitutionsverhältnis für verschiedene NE-Produktlinien	IV - 22
IV.3.1-1:	Preisannahmen für fossile Energieträger für die gegenwärtige und die zukünftige Situation ("Gegenwart" und "2005")	IV - 27
IV.3.1-2:	In der ökonomischen Analyse verwendete technische Kenndaten und Ertrags-Basisdaten für nachwachsende Energieträger	IV - 29
IV.3.1-3:	Kosten der Bereitstellung nachwachsender Energieträger	IV - 30

Tab.-Nr.		Seite
IV.3.2-1:	Bereitstellungskosten, Substitutionswert und gesamte Kostenunterdeckung für verschiedene Produktlinien nachwachsender Energieträger (NE)	IV - 36
IV.3.2-2:	Gesamte Kostenunterdeckung, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende Kostenunterdeckung für verschiedene NE-Produktlinien	IV - 40
IV. 4.1-1:	Brutto- und Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers	IV - 56
IV. 4.1-2:	Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers und je Hektar (ha) Anbaufläche	IV - 60
IV.4.1-3:	Gesamte Kostenunterdeckung, Netto-CO_2-Minderung und gesamte CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien	IV - 64
IV.4.1-4:	Gesamte CO_2-Minderungskosten, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien	IV - 66
IV.4.5.4-1:	Asche-, Schwefel- und Stickstoffgehalte verschiedener pflanzlicher Energieträger	IV - 84
IV.4.5.4-2:	Monetarisierte SO_2-Vorteile der Verwendung von Strohbriketts und Rapsöl	IV - 88
IV.4.6-1:	Umweltvorteile und -nachteile von der Produktion bis zur Verwendung fester nachwachsender Energieträger	IV - 90
IV.4.6-2:	Umweltvorteile und -nachteile von der Produktion bis zur Verwendung flüssiger nachwachsender Energieträger	IV - 91
IV.5.1-1:	Szenario für die zeitliche Entwicklung der Nachfrage nach festen Energieträgern für Heizkraftwerke und industrielle Prozeßdampferzeugung mit KWK bis 2005	IV - 95
IV.5.2-1:	Abschätzungen zum Strohaufkommen, zur Strohverwendung in der Viehhaltung und zur disponiblen Strohmenge, die für außerlandwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht	IV - 100
IV.5.3-1:	Primärenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland	IV - 105
V.1.2.1-1:	Flächen der Bestandestypen des schlagweisen Hochwaldes der Bundesrepublik Deutschland (1987)	V - 3
V.1.2.1-2:	Produktionsphasen im schlagweisen Hochwald (Fichte, 100 Jahre alt)	V - 4
V.1.2.1-3:	Arbeits- und Maschineneinsatz je Hektar - Kulturbegründung und -pflege	V - 7
V.1.2.1-4:	Kosten für die Kulturbegründung und -pflege (variable Spezialkosten)	V - 10
V.1.2.1-5:	Holzpreise für Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, differenziert nach Bundesländern (1988)	V - 12
V.1.2.1-6:	Jährliche Erlöse, Kosten, Deckungsbeiträge und Faktoransprüche in Abhängigkeit von der Länge der Umtriebszeit (Fichte, I. Ertragsklasse, Preisregion BW)	V - 14
V.1.2.1-7:	Jährliche Deckungsbeiträge bei einem mittleren Leistungsniveau nach Preisregionen	V - 16
V.1.2.1-8:	Vergleich der jährlichen Deckungsbeiträge (DB) je Hektar einer Betriebsklasse und der Annuitäten je Hektar für einen Einzelbestand bei verschiedenen Kalkulationszinssätzen und Umtriebszeiten (Fichte, I. Ertragsklasse, Preisregion BW)	V - 17

Tab.-Nr.		Seite
V.1.2.2-1:	Aufwendungen für die Anpflanzung von schnellwachsenden Baumarten - gegenwärtige Verhältnisse	V - 19
V.1.2.3-1:	N_2O-Emission von bewaldeten Flächen	V - 23
V.1.3-1:	Emissionsklassen für Formaldehyd	V - 42
V.1.3-2:	Inländische Erzeugung von Papier, Karton und Pappe und Faseranteil	V - 48
V.1.3-3:	Selbstversorgungsgrad mit Zellstoff sowie Papier, Karton und Pappe (PKP) für 1988 in Europa	V - 49
V.1.3-4:	Technische Vergleichsdaten von Holzaufschlußprozessen (bezogen auf 1 Tonne (atro) Zellstoff, gebleicht)	V - 51
V.1.3-5:	Vergleich einiger wesentlicher Kostengruppen von Holzaufschlußverfahren	V - 52
V.1.3-6:	Vergleich der Eigenschaften von Fichtenzellstoffen (Versuchskochungen)	V - 53
V.1.3-7:	Vergleichsdaten für die Abwasserbelastung pro Tonne Zellstoff durch Holzaufschlußprozesse	V - 53
V.1.3-8:	Potentieller Mehrbedarf an Industriewaldholz und Industrierestholz von 1991 bis 2005	V - 57
V.3-1:	Rohstoffeinsatz und Stärkeproduktion in der Stärkeindustrie der Bundesrepublik Deutschland und in der EG	V - 67
V.3-2:	Technische und ökonomische Kennwerte zur Stärkeproduktion über Stärkekartoffeln, Körnermais und Weizen, unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen (1986-1992)	V - 69
V.3-3:	Umweltrelevante Merkmale des Anbaus verschiedener stärkehaltiger Rohstoffe	V - 73
V.3-4:	Umweltrelevante Merkmale der Verarbeitung verschiedener stärkehaltiger Rohstoffe	V - 75
V.3-5:	Umweltrelevante Kennwerte der Stärkemodifizierung	V - 76
V.3-6:	Bedeutung der biologischen Abbaubarkeit und anderer Umweltaspekte beim Einsatz verschiedener Stärkeprodukte	V - 80
V.3-7:	Einfluß des Bindemittels auf die Emissionen beim Verbrennen von Briketts	V - 82
V.6-1:	Ausgewählte Arznei- und Gewürzpflanzen	V - 93
V.6-2:	Ansprüche der Arznei- und Gewürzpflanzen an die Bodenart	V - 94
V.6-3:	Wasserbedarf der Arznei- und Gewürzpflanzen	V - 95
V.6-4:	Deckungsbeiträge und Arbeitszeitbedarf im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau	V - 97
V.6-5:	Stickstoffentzug der Arznei- und Gewürzpflanzen	V - 99
VI.2.1-1:	Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen in der Bundesrepublik Deutschland	VI - 4
VI.2.1-2:	Flächennutzung, landwirtschaftliche Produktion, Futtermittelimporte und verfügbares Flächenpotential in der EG und der Bundesrepublik Deutschland (Basis: 1990)	VI - 6

Tab.-Nr.		Seite
VI.2.1-3:	Verfügbares Flächenpotential 1990 und 2005 in der EG und der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL), bei unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsintensität	VI - 8
VI.2.1-4:	Flächenverfügbarkeit und mittelfristige (2005) Flächenbindung durch die chemisch-technische und durch die energetische Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen (NR) in der Bundesrepublik Deutschland	VI - 10
VI.2.2-1:	Abschätzung zu den Beschäftigungseffekten in der Bundesrepublik Deutschland für 2005, die mit der Bereitstellung Nachwachsender Rohstoffe (NR) verbunden sind	VI - 12
VI.2.3-1:	Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger, Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei kleinen Mengen (< 0,1 Mio t/a), gegenwärtige Verhältnisse	VI - 14
VI.2.3-2:	Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger, Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei größeren Mengen (1 Mio t), gegenwärtige Verhältnisse	VI - 15
VI.2.3-3:	Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Briketts aus Stroh als Ersatz von Braunkohlenbriketts. Beispiel: Einsatz in vorhandenen Kleinfeuerungsanlagen, gegenwärtige Verhältnisse	VI - 16

Tabellen des Anhangs

A I.1-1:	Verzeichnis der Materialbände zur Studie: Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe"	A - 1
A III.1-1:	Exemplarische Auflistung der unterstellten Maschinenausstattung für die Gegenwart (1987) und 2005	A - 5
A III.1-2:	Maschinenring-Verrechnungssätze und Lohnmaschinensätze für ausgewählte Arbeitsgänge in der Pflanzenproduktion	A - 7
A III.1-3:	Leistungsklassen nach KTBL, ermittelt als Durchschnitt von 1986 bis 1988 und jährlicher Ertragszuwachs bis 2005	A - 8
A III.1-4:	Ertragsentwicklung ausgewählter Kulturarten nach den Ergebnissen der Wertprüfungen und der besonderen Ernteermittlung	A - 9
A III.1-5:	Ölreiche Pflanzen: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte	A - 11
A III.1-6:	Stärke- und Zuckerreiche Pflanzen: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte	A - 12
A III.1-7:	Lignocellulose-Träger: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte	A - 13
AIII.1-8a:	Produktionsverfahren W-Raps zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 14
AIII.1-8b:	Produktionsverfahren W-Raps zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 15
AIII.1-9a:	Produktionsverfahren Sonnenblumen zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 16

Tab.-Nr.		Seite
AIII.1-9b:	Produktionsverfahren Sonnenblumen zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 17
AIII.1-10a:	Produktionsverfahren Öllein zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 18
AIII.1-10b:	Produktionsverfahren Öllein zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 19
AIII.1-11a:	Produktionsverfahren W-Weizen zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 20
AIII.1-11b:	Produktionsverfahren W-Weizen zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 21
AIII.1-12a:	Produktionsverfahren Kö-Mais zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 22
AIII.1-12b:	Produktionsverfahren Kö-Mais zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 23
AIII.1-13a:	Produktionsverfahren S-Kartoffeln zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 24
AIII.1-13b:	Produktionsverfahren S-Kartoffeln zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 25
AIII.1-14a:	Produktionsverfahren Zuckerrüben zur Zucker- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 26
AIII.1-14b:	Produktionsverfahren Zuckerrüben zur Zucker- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 27
AIII.1-15a:	Produktionsverfahren Strohbergung, angelehnt an W-Weizen: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 28
AIII.1-15b:	Produktionsverfahren Strohbergung, angelehnt an W-Weizen: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 29
AIII.1-16a:	Heugewinnung von eingesäten Ackerflächen (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 30
AIII.1-16b:	Heugewinnung von eingesäten Ackerflächen (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 31
AIII.1-17a:	Heugewinnung von Dauergrünland (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 32
AIII.1-17b:	Heugewinnung von Dauergrünland (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 33
AIII.1-18:	Pflegevariante Dauergrünland: Heugewinnung (1 Schnitt, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005	A - 34
AIII.1-19a:	Produktionsverfahren: Miscanthus als Festbrennstoff: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität	A - 35
AIII.1-19b:	Produktionsverfahren: Miscanthus als Festbrennstoff: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe	A - 36
A IV.1-1:	Vollkosten für das Pressen von Stroh auf 2 ha (0,5 ha) großen Parzellen - gegenwärtige Verhältnisse	A - 38
A IV.1-2:	Aufwendungen der Bereitstellung von Strohpellets - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 39

Tab.-Nr.		Seite
A IV.1-3:	Aufwendungen der Strohballenbereitstellung - gegenwärtige Verhältnisse	A - 42
A IV.1-4:	Merkmale verschiedener Trocknungsverfahren bei Heu	A - 44
A IV.1-5:	Aufwendungen der Bereitstellung von Heupellets - gegenwärtige Verhältnisse	A - 46
A IV.1-6:	Aufwendungen der Bereitstellung von Heuballen (5 bis 10 km) - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 48
A IV.1-7:	Aufwendungen der Bereitstellung von Miscanthuspellets - gegenwärtige Verhältnisse	A - 52
A IV.1-8:	Aufwendungen der Bereitstellung von Miscanthusgroßballen - gegenwärtige Verhältnisse	A - 54
A IV.1-9:	Überblick über die Aufwendungen für verschiedene Prozeßlinien zur Bereitstellung von Miscanthus	A - 55
A IV.1-10:	Aufwendungen der Bereitstellung von Hackgut aus schnellwachsenden Baumarten (motormanuell) - gegenwärtige Verhältnisse	A - 57
A IV.1-11:	Aufwendungen der Bereitstellung von Hackgut aus schnellwachsenden Baumarten (vollmaschinelle Ernte)	A - 59
A IV .1-12:	Auflistung der Bereitstellungskosten verschiedener nachwachsender Energieträger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 63
A IV.2-1:	Technische und ökonomische Kenndaten für Heizanlagen und Dampferzeuger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 64
A IV.2-2:	Technische und ökonomische Kenndaten für Öl- Zentralheizungen und Dampferzeuger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 65
A IV.2-3:	Technische und ökonomische Kenndaten für Heizkraftwerke - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 66
A IV.2-4:	Technische und ökonomische Basisdaten für Fernwärmenetze und für Heizöl-Sammelanlagen - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 67
A IV.2-5:	Technische und ökonomische Kenndaten für Kohlekraftwerke - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse	A - 68
A IV.4.1-1:	Technische Kenndaten fossiler Energieträger und energetische Umrechnungsfaktoren	A - 69

Verzeichnis der Abbildungen

Abb.-Nr.		Seite
I.1-1:	Vereinfachte Darstellung der Untersuchungsbereiche der Technikfolgenabschätzung (TA) zu Nachwachsenden Rohstoffen (NR)	I - 2
III.1-1:	Differenzierung der Ertragsfähigkeit der Kreise der Bundesrepublik Deutschland nach der Bodenklimazahl bzw. Ackerzahl	III - 19
III.1-2:	Basisdaten zum Anbau der Nachwachsenden Rohstoffe, Aufschlüsselung und Verwendung	III - 34
III.3-1:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Status-quo-Intensität, Untersuchungsgebiet Buttenheim	III - 87
III.3-2:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Status-quo-Intensität, Untersuchungsgebiet Straßkirchen	III - 88
III.3-3:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Hohe Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Buttenheim	III - 90
III.3-4:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Hohe Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Straßkirchen	III - 91
III.3-5:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, WSG-Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Buttenheim	III - 92
III.3-6:	Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, WSG-Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Straßkirchen	III - 93
IV.1.2-1:	Mögliche Rapsöl-Beimischungsanteile zu Heizöl EL sowie Möglichkeiten der Verfeuerung von 100%-Rapsöl bei verschiedenen Verbrennungstechniken	IV - 11
IV.3.2-1:	Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - gegenwärtige Verhältnisse	IV - 47
IV.3.2-2:	Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - zukünftige Verhältnisse	IV - 48
IV.3.2-3:	Spannen der Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher nach Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften, zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - gegenwärtige Verhältnisse	IV - 50
IV.3.2-4:	Spannen der Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher nach Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften, zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - zukünftige Verhältnisse	IV - 51
IV.4.1-1:	CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften - gegenwärtige Verhältnisse	IV - 68
IV.4.1-2:	CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften - zukünftige Verhältnisse	IV - 69

Abb.-Nr.		Seite
IV.4.4-1:	Stickoxidemissionen von Fahrzeugen in Abhängigkeit von Kraftstoffvarianten	IV - 81
IV.4.4-2:	Partikelemissionen von Fahrzeugen in Abhängigkeit von Kraftstoffvarianten	IV - 81
IV.4.5.4-1:	Ergebnisse von Rauchgasmessungen einer automatischen 400-kW-Unterschubfeuerung für Holzhackschnitzel unter Nennlast	IV - 85
IV.4.5.4-2:	Ergebnisse von Rauchgasmessungen einer automatischen 400-kW-Unterschubfeuerung für Holzhackschnitzel bei wechselnden Betriebsverhältnissen	IV - 86
V.1.3-1:	Nutzungsfelder für Holz	V - 26
V.1.3-2:	Holzverfügbarkeit in der 1. und 2. Marktstufe für 1988	V - 28
V.1.3-3:	Holzverwendung in der 3. Marktstufe für 1984	V - 31
V.1.3-4:	Holzverwendung 1984 - relative Aufteilung der Halbwaren in sechs Verwendungsbereichen (auf der Basis von Rohholzäquivalenten)	V - 32
V.1.3-5:	Holzverwendung 1984 - spezifischer Einsatz von Halbwaren in sechs Verwendungsbereichen (auf der Basis von Rohholzäquivalenten)	V - 33

Kapitel I

Zielsetzung, Konzeption, Bearbeitung und Dokumentation

I Zielsetzung, Konzeption, Bearbeitung und Dokumentation

1. Zielsetzung und Konzeption der Studie

Im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie wurde von der Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe seit 1988 eine Studie zur Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe" bearbeitet. Die Dokumentation der Ergebnisse der Studie erfolgt in diesem zusammenfassenden Abschlußbericht sowie in 36 Materialbänden, die von externen Kooperationspartnern für die Gesamtstudie erstellt wurden.

Die Studie ist so konzipiert, daß ihre Ergebnisse für die Beantwortung folgender Fragen nützlich sind:

(1) Welche Energie- oder Industriepflanzen könnten und welche sollten in den nächsten Jahren verstärkt "auf die Felder" gebracht werden, selbst wenn es sich nur um bescheidene Beiträge zur Lösung gegenwärtiger Probleme handelt?

(2) Wie sollte dies ggf. unterstützt werden?

(3) Welche Produktlinien oder Produktliniengruppen aus dem Bereich der Nachwachsenden Rohstoffe (NR) könnten zwar nicht in naher Zukunft, aber im Verlaufe der nächsten 15 Jahre implementiert werden, und welche davon sollten warum besonders gefördert werden?

(4) Bei welchen NR-Linien geht es eher um Vorbereitungen für die Zeit nach 2005? Welche davon erscheinen als besonders attraktiv und sollten wegen langer Vorlaufzeiten schon gegenwärtig bevorzugt entwickelt oder weiterentwickelt werden?

(5) Welches Gesamtkonzept der Politik im Bereich der Nachwachsenden Rohstoffe sollte warum verfolgt werden? Welche Maßnahmen sind dazu erforderlich oder zu empfehlen?

In der Studie wurde angestrebt:

- methodisch möglichst konsistent auf den Gesamtbereich der NR einzugehen und dadurch zu vergleichbaren Aussagen für verschiedene NR-Linien zu gelangen,
- dabei auf möglichst alle wichtigen Gesichtspunkte einzugehen wie: Einsatzpotentiale, Umweltaspekte (Luft, Boden, Wasser, Biotope), ökonomische

Aspekte, Beschäftigungseffekte, agrarstrukturelle und soziale Auswirkungen, außenwirtschaftliche und außenpolitische Implikationen,

- die gegenwärtige Situation und Zukunftsperspektiven zu erfassen,
- bei der Erfassung und Darstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile bzw. Chancen und Risiken gleichgewichtige Sorgfalt zu wahren.

Schwerpunktmäßig sollte sich die TA-Studie mit den mittelfristigen Perspektiven der Nachwachsenden Rohstoffe befassen; dennoch ist es zweckmäßig, zunächst die gegenwärtige Situation der verschiedenen Produktlinien zu beleuchten, um anschließend eine ausführliche Diskussion der mittelfristigen Perspektiven für die verschiedenen Rohstofflinien führen zu können. Gegebenheiten und Zukunftsperspektiven in den Bereichen Pflanzenzüchtung, Pflanzenbau, Be- und Verarbeitung der pflanzlichen Rohstoffe sowie Infrastruktur und Verwendung stehen hierbei im Vordergrund. Abbildung I.1-1 vermittelt einen Überblick über den Aufbau der Studie:

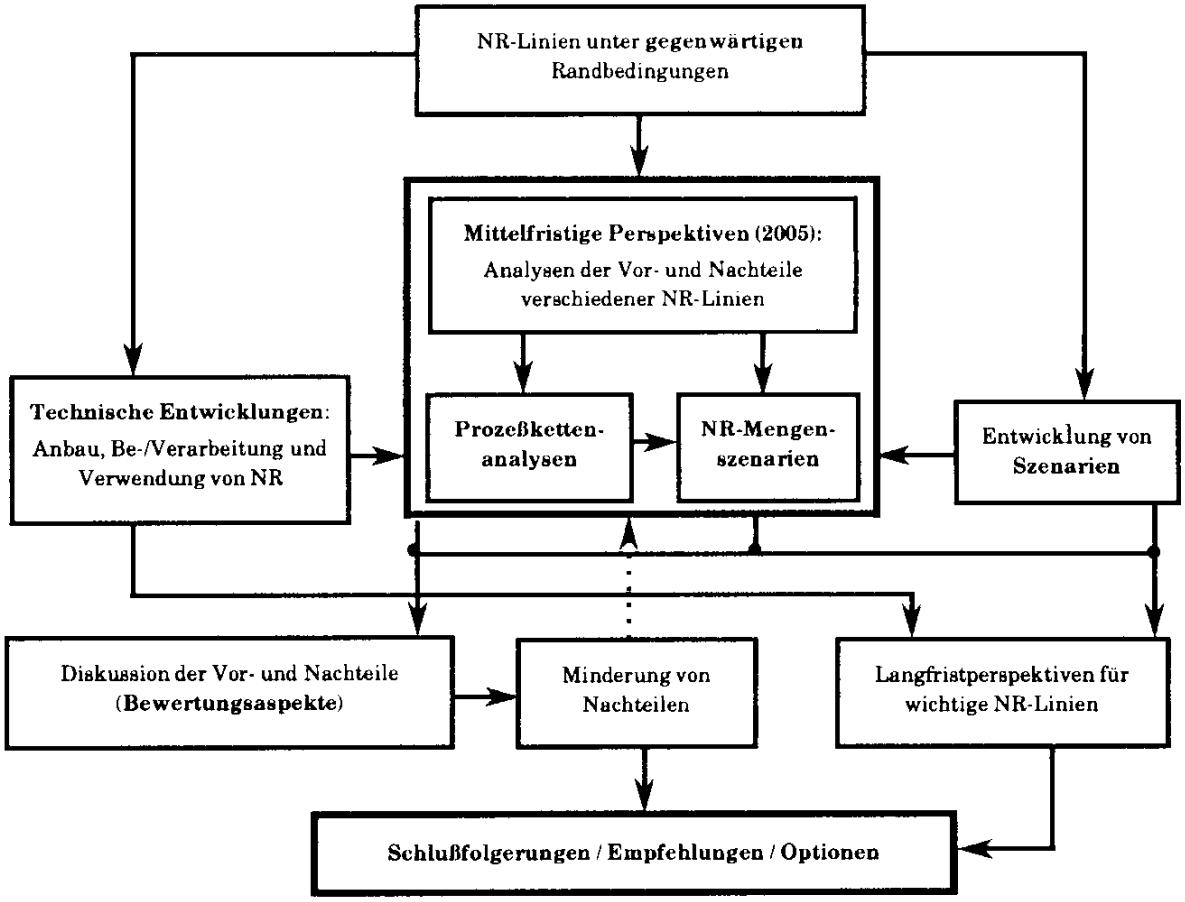


Abbildung I.1-1: **Vereinfachte Darstellung der Untersuchungsbereiche der Technikfolgenabschätzung (TA) zu Nachwachsenden Rohstoffen (NR)**

Bei der Herausarbeitung der Zukunftsperspektiven sind einerseits die Chancen für technische Fortschritte im Verlauf der nächsten 15 Jahre abzuschätzen, andererseits sind auch die schwer prognostizierbaren Entwicklungen äußerer Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Insbesondere ist die Entwicklung der Weltmarktpreise für Rohstoffe zu beachten, mit denen Nachwachsende Rohstoffe konkurrieren müssen.

Im Bereich des Pflanzenbaus hängen die Technik und die für die Bewertung von Produktlinien Nachwachsender Rohstoffe wichtigen Kosten und Umweltmerkmale der Pflanzenproduktion von der weiteren Entwicklung der Agrarpolitik ab, welche schwer vorherzusagen ist. Deshalb wurden drei Agrarpolitikszenarien für 2005 entworfen. Es war dann ein notwendiger, aber arbeitsreicher Untersuchungsschritt, die Auswirkungen der durch die Agrarpolitikszenarien gesetzten Eckdaten auf die Intensität der Pflanzenproduktion, auf die Umweltmerkmale und auf agrarstrukturelle Kenngrößen abzuschätzen (vgl. Kap. III).

In Kapitel III wird darüber hinaus verdeutlicht, in welchem Umfang die Kosten der Pflanzenproduktion von der Standortqualität abhängen. Weiter wird in Kapitel III exemplarisch dargestellt, daß die Risiken der Umweltbelastung durch die Pflanzenproduktion sich nicht einfach aus der Pflanzenart und Intensität der Bewirtschaftung ergeben, sondern stark durch lokal unterschiedliche Empfindlichkeiten spezifischer Standorte gegenüber Risiken des Stoffeintrags, der Erosion oder der Bodenverdichtung geprägt werden.

Die in Kapitel III beschriebenen Kenndaten zur Produktion von Agrarpflanzen für die gegenwärtige Situation und für 2005 (jeweils mit Varianten) gelten für Pflanzenarten, die sich als NR teils nur für die energetische Nutzung eignen, teils nur für die chemische und technische Verwendung und teils für beide Verwendungsarten.

Nach dem Konzept der Prozeßketten- bzw. Produktlinienanalysen werden die technischen, ökonomischen und umweltrelevanten Kenndaten der Pflanzenproduktion durch solche aus den Bereichen der Konditionierung, Konversion und der Verwendung ergänzt und einer Zusammenschau zugeführt.

Der Schwerpunkt der von der AFAS durchgeführten Analysen lag dabei im Bereich der energetischen Verwendung der NR, der in Kapitel IV ausführlicher dargestellt ist. Dies geschah aus drei Gründen: Erstens bestehen für diesen Bereich größere Mengenperspektiven für die Zukunft als für die Bereiche der nichtenergetischen Verwendung, zweitens sind für den Bereich der energetischen Verwendung in der nahen Zukunft (in den nächsten Jahren) wichtige politische Entscheidungen zu treffen, bei denen es um größere Mittel zur Finanzierung geht,

und drittens liegen mehr Ausgangsinformationen für quantitative Angaben zu den Produktlinienanalysen vor, als es im Bereich der nichtenergetischen Verwendung der Fall ist.

Innerhalb der Produktlinien der chemischen und technischen Verwendung (Kap. V) wird vergleichsweise ausführlich auf Holz eingegangen, weil im Bereich Holz starke Wechselwirkungen zwischen den energetischen und den nichtenergetischen Arten der Verwendung zu beachten sind.

Für alle Produktliniengruppen der NR werden Spannen für die mittelfristig (2005) im Inland realisierbaren Mengenpotentiale abgeschätzt, teilweise auch für die längerfristige Zukunft.

Auf der Basis dieser Mengenpotentiale werden in Kapitel VI die Mengenszenarien hinsichtlich ihrer Flächenbindung und der Flächenverfügbarkeit einander gegenübergestellt. Weiter enthält dieses Kapitel Abschätzungen zu Beschäftigungs- und Einkommenseffekten, sowie zu Umweltaspekten, die erst bei größeren Mengen von Bedeutung sind.

Kapitel VII enthält einen Strategieentwurf für den Bereich der energetischen Nutzung der Nachwachsenden Rohstoffe aus der Sicht der Bearbeiter dieser Studie.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie sind in Kapitel II zusammengefaßt.

2. Zur Bearbeitung und Dokumentation

Die Bearbeitung der TA-Studie in der im voranstehenden Abschnitt beschriebenen Breite wäre ohne das Mitwirken externer Experten und Expertenteams nicht möglich gewesen. Ihr Mitwirken erfolgte organisatorisch im Rahmen von Unteraufträgen durch KfK/AFAS und wurde finanziell vom BMFT ermöglicht. Seitens des BMFT wurde die Studie insbesondere durch Dr. Roemer-Mähler in dankenswerter Weise betreut.

Die Mitarbeit der externen Experten erfolgte für die in der Tabelle I.2-1 aufgeführten Themenbereiche. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind in 36 Berichten der Bearbeiter dokumentiert, die im Anhang in der Tabelle A I.1-1 mit Verfassern und Titeln aufgelistet sind. Die Berichte enthalten insbesondere für den nichtenergetischen Bereich der NR detaillierte Darstellungen des Standes der Technik, der Entwicklungsrichtungen für die Zukunft und der Verwendungsmöglichkeiten.

Tabelle I.2-1: **Überblick über die Zusammenarbeit mit externen Experten und deren Mitarbeitern auf der Basis von Unteraufträgen**

Experten	Bearbeitete Themenbereiche
Prof. Dr. W. Großkopf / Prof. Dr. K.-H. Kappelmann Universität Hohenheim	Darstellung und Analyse von Agrarpolitik-Szenarien / Beratung in agrarökonomischen Fragen
Prof. Dr. W. Haber Lehrstuhl für Landschaftsökologie, TU München , Freising	Simulation ökologischer Auswirkungen des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen in zwei Testgebieten
Prof. Dr. W. Henrichsmeyer Universität Bonn	Darstellung ökonomischer und umweltrelevanter Kennwerte des Agrarsektors in tiefer regionaler Aufschlüsselung (LP-Modell RAUMIS)
Prof. Dr. D. Schliephake Forschungs- und Industrie-Beratungsgesellschaft mbH, Bad Honnef	Holz/Lignocellulose: Technische, ökonomische und umweltrelevante Kenndaten zur Be-/Verarbeitung und Verwendung
Dr. A. Strehler Bayer. Landesanstalt für Landtechnik, TU München, Freising	Festbrennstoffe: Technische, ökonomische und umweltrelevante Kenndaten zur Be-/Verarbeitung und Verwendung
Prof. Dr. C. Thoroe Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg	Kenndaten zur Forstwirtschaft (konventioneller Umtrieb)
Frau Prof. Dr. A. Vömel Universität Gießen	Kenndaten zu Arznei- und Gewürzpflanzen
Dr. H. U. Woelk Hamburg	Stärke: Technische, ökonomische und umweltrelevante Kenndaten zur Be-/Verarbeitung und Verwendung
Prof. Dr. J. Wurster STW Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung, Reutlingen	Flachs: Technische, ökonomische und umweltrelevante Kenndaten zur Be-/Verarbeitung und Verwendung
Prof. Dr. J. Zeddies / Dr. R. Doluschitz Universität Hohenheim	Technische, ökonomische und umweltrelevante Kenndaten zu Anbau und Ernte von NR-Pflanzen und deren Konkurrenten
Sonstige Unterauftragnehmer	Verschiedene kleinere Unteraufträge

Soweit es die Informationsquellen der Autoren zuließen, enthalten die Berichte auch Angaben zu umweltrelevanten Gesichtspunkten und zur ökonomischen Situation für verschiedene Produktliniengruppen, welche jedoch naturgemäß lükkenhafter sind, als sie im vorliegenden zusammenfassenden Endbericht für die TA-Studie speziell für den Bereich der energetischen Verwendung beschrieben werden.

Die für den Bereich der energetischen Verwendung ermittelten oder abgeschätzten Basisdaten sowie die in der Studie verwendeten Algorithmen zur Ableitung von zusammenfassenden Kenngrößen aus den Basisdaten fanden Eingang in das Rechenprogramm RITAS (Rechnergestütztes interaktives Informationssystem für die TA-Studie "Nachwachsende Rohstoffe"), welches von der Fa. Atlas Elektronik in Bremen erstellt wurde. Das genannte Rechenprogramm wird für Interessenten erhältlich sein und gehört im weiteren Sinne auch zur Dokumentation dieser Studie. Das Programm ermöglicht ein benutzerfreundliches "Spielen" mit Daten und Produktlinien.

Die TA-Studie zum Thema der NR wurde von einem Projektbegleitenden Ausschuß (PBA) empfehlend und beratend unterstützt. Die Mitglieder des PBA waren:

- Prof. Dr. A. Henze
  Universität Hohenheim
  W-7000 Stuttgart
- Dr. H. Hirsinger
  Direktorium der Henkel KG
  W-4000 Düsseldorf
- Prof. Dr. N. Knauer
  Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Universität Kiel
  W-2300 Kiel
- Dipl.-Ing. A. Reglitzky
  Deutsche Shell AG
  W-2000 Hamburg
- Prof. Dr. G. Röbbelen
  Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
  der Universität Göttingen
  W-3400 Göttingen
- Prof. Dr. W. Schulz
  Energiewirtschaftliches Institut
  an der Universität Köln
  W-5000 Köln

Durch Beratung zu Schwerpunktsetzungen beim Fortgang der Studie, durch Empfehlungen für Kontakte zu bestimmten Experten und durch kritische Hinweise unterstützte der PBA unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Röbbelen in einer außergewöhnlich konstruktiven und hilfsbereiten Weise die Bearbeitung der Studie.

Kapitel II

Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie

II Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie

1. Einleitung

Die von der Abteilung für Angewandte Systemanalyse des KfK unter Mitwirkung externer Experten im Auftrag des BMFT bearbeitete TA-Studie zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe" zielt darauf ab, die Vor- und Nachteile, Chancen und Risiken des inländischen Anbaus von Pflanzen zur energetischen und nichtenergetischen Nutzung außerhalb des Nahrungsbereichs abzuschätzen und darzustellen. Dabei wurde angestrebt, methodisch möglichst konsistent auf den Gesamtbereich der Nachwachsenden Rohstoffe einzugehen und je nach Datenverfügbarkeit die Prozeßkette vom Anbau der Pflanzen bis zur Verwendung der Verarbeitungsprodukte zu verfolgen. Ausgehend von der gegenwärtigen Situation wurde auf Zukunftsperspektiven unter folgenden Gesichtspunkten eingegangen: Einsatzpotentiale, einzelwirtschaftliche und makroökonomische Gesichtspunkte, Umweltaspekte, sozioökonomische Auswirkungen, außenwirtschaftliche und außenpolitische Implikationen. Wichtige Ergebnisse werden nachstehend in geraffter Form dargestellt. Dabei wird zunächst auf den Bereich der energetischen Nutzung der Nachwachsenden Rohstoffe eingegangen, dann auf den Bereich der chemisch-technischen Verwendung. Abschließend werden einige Aspekte angesprochen, für die eine Zusammenschau beider Bereiche angemessen ist.

2. Energierohstoffe aus Pflanzen

In diesem Teil der TA-Studie wird auf etwa 50 Produktlinien der energetischen Nutzung von Pflanzen eingegangen. Dabei werden u.a. die folgenden Gesichtspunkte beleuchtet:

- Stand der Technik und technische Entwicklungsperspektiven
- Wirtschaftliche Attraktivität, Subventionsbedarf
- Energiebilanzen
- Beiträge zur CO_2-Minderung
- Andere Umweltaspekte als CO_2
- Mittel- und längerfristige Marktperspektiven
- Sozioökonomische Fragen, Akzeptanzfragen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Studie zu diesen Gesichtspunkten zusammengefaßt. Im Mittelpunkt stehen die Unterschiede zwischen Festbrennstoffen aus Pflanzen einerseits und flüssigen Energieträgern aus Pflanzen andererseits. Weiterhin wird auf unterschiedliche Ausprägungen dieser Gesichtspunkte innerhalb der beiden genannten Energieträgerbereiche eingegangen.

2.1 Stand der Technik und technische Entwicklungsperspektiven

Bei den flüssigen Energieträgern Ethanol und Rapsöl sind die technischen Hürden hinsichtlich Verarbeitung und Verwendung geringer als bei Methanol aus Biomasse und bei vielen interessanten Möglichkeiten im Bereich der Festbrennstoffe.

Obwohl auch bei Rapsöl als Kraftstoff oder als Heizöl verschiedene technische Fragen noch nicht abgeklärt sind, erscheint es doch als möglich, innerhalb weniger Jahre Rapsöl von einigen hunderttausend Hektar Anbaufläche in Deutschland der energetischen Nutzung zuzuführen.

Derartige Perspektiven für eine ins Gewicht fallende rasche Umwidmung von Ackerflächen bestehen nicht für den Anbau von Pflanzen zur Herstellung fester Energieträger. Soweit feste Energieträger aus Pflanzen in den nächsten Jahren in größeren Mengen "verkaufbar" sein werden, dürfte dies aus technischen und ökonomischen Gründen in erster Linie die Verwendung von Neben- und Abfallprodukten, wie z. B. Stroh und Industrierestholz, betreffen.

In der Studie wird auf interessante Potentiale der technischen Entwicklung für die nächsten 10 bis 15 Jahre hingewiesen, die besondere Herausforderungen an Forschung, Entwicklung und Demonstration für den Bereich der Verwendung von Festbrennstoffen enthalten.

2.2 Wirtschaftliche Attraktivität, Subventionsbedarf

Pflanzenöle und Methylester aus Pflanzenölen unterliegen derzeit nicht der Mineralölsteuer, sofern sie nicht mit Mineralölprodukten vermischt sind. Für Dieselkraftstoff aus Mineralöl beträgt der Steuersatz gegenwärtig 0,54 DM/l. Dadurch sind Rapsöle und RME (Rapsölmethylester) als Dieselkraftstoffe aus einzelwirtschaftlicher Sicht nahe an die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit gelangt. Von der EG-Kommission wurde ein Beschlußvorschlag ausgearbeitet, der auch für Beimischungen von Pflanzenölen zu Kraftstoffen vergleichbare Steuervorteile vorsieht.

Aus einzelwirtschaftlicher Sicht ist in Deutschland der Weg zur Wirtschaftlichkeit für die festen Energieträger noch weiter, weil die konkurrierenden fossilen Energieträger Kohle, Heizöl und Erdgas nicht oder nur wenig besteuert werden. Ein Steuerverzicht würde somit die Wettbewerbsfähigkeit nicht in dem Maße verbessern wie bei den flüssigen Energieträgern, die Diesel- oder Ottokraftstoff substituieren.

Die Steuervorteile pflanzenbürtiger Diesel- oder Ottokraftstoffe bedeuten jedoch entsprechende Mindereinnahmen des Staates, die innerhalb weniger Jahre dreistellige Millionenbeträge pro Jahr erreichen können und die als volkswirtschaftliche Nachteile zu verrechnen sind.

Derartige Nachteile bei den flüssigen und den festen Energieträgern werden in einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise berücksichtigt - zunächst ohne einen Ansatz zur Monetarisierung der Umweltvorteile zu machen. Die Produktlinien mit dem geringsten Subventionsbedarf je Energieeinheit sind in der Bundesrepublik Deutschland gegenwärtig und in der absehbaren Zukunft nicht im Bereich der flüssigen, sondern im Bereich der festen Energieträger zu finden.

Auch im Bereich der festen Energieträger wird es jedoch auf absehbare Zeit erforderlich sein, die eine oder andere Art von Subventionen zu leisten, um die Umweltvorteile der nachwachsenden Energieträger zu honorieren. Mäßige Energiepreiserhöhungen bei den fossilen Energieträgern - von ca. 20 $ pro barrel Rohöl auf z.B. 30 $ pro barrel bis 2005 - werden diese Situation nicht entscheidend verändern.

Dies gilt im übrigen auch für die meisten anderen regenerativen Energiequellen wie Solarkollektoren, Windkraftwerke und Photozellen.

Wenn man von Verwendungsgeboten (z.B. Beimischungszwang) absieht, müßte der Weltmarktpreis (bzw. die Summe aus Weltmarktpreis und Energie-/CO_2-Steuer) für Rohöl bei 45 bis 95 $ pro barrel liegen, damit der Anbau von festen Energieträgern (z.B. Holz aus Schnellwuchsplantagen, Miscanthus, Energiegras) wettbewerbsfähig werden könnte. Der untere Wert der Spanne gilt für die Zumischung in vorhandenen Kohleanlagen bzw. für mittelgroße Heizkraftwerke mit fortgeschrittener Technik, der obere Wert für wenig ausgelastete Dampferzeuger in der Größenklasse 2 MW-Feuerungsleistung.

Bei Reststoffen (z.B. Industrierestholz, Stroh) liegt die entsprechende Zahlenspanne bei 25 bis 75 $ pro barrel.

Flüssige Energieträger (z.B. Rapsöl, Ethanol) erfordern dagegen höhere Weltmarktpreise für Rohöl, als in der angeführten Spanne wiedergegeben ist, damit ihre energetische Verwendung subventionsfrei die Schwelle zur Wettbewerbsfähigkeit überschreiten könnte.

2.3 Energiebilanzen und CO_2-Minderungskosten

Abstriche von einer nur vom Heizwert der Pflanzen abgeleiteten Brutto-Energiebilanz ergeben sich durch erforderliche Hilfsenergieaufwendungen zur Bereitstellung der Energieträger und durch Wirkungsgradnachteile bei der Verwendung der Energieträger gegenüber ersetzten fossilen Energieträgern. Beispiele für die Hilfsenergieaufwendungen sind: Energie zur Herstellung von Düngemitteln, Kraftstoff für Traktoren, Strom für Ölpressen. Die Hilfsenergieaufwendungen liegen für die untersuchten festen Energieträger zwischen 5 % und 15 % ihres Heizwertes. Im Falle der flüssigen Energieträger fallen die Hilfsenergieaufwendungen stärker ins Gewicht: Für Rapsöl ergeben sich z.B. 30 % bis 50 % des Heizwertes - je nach der Nachbehandlung des Öls -, für Ethanol ergeben sich noch höhere Anteile. Die Untersuchungen zeigen, daß das Verhältnis zwischen Hilfsenergie und Heizwert der Energieträger aus Pflanzen in 10 bis 15 Jahren spürbar verringert werden kann - durch Fortschritte der Pflanzenzüchtung, des Pflanzenbaus und der Verarbeitungstechnik.

Die CO_2-Bilanz der wichtigsten nachwachsenden Energierohstoffe unterscheidet sich nach Art der Energieträger in ähnlicher Weise wie die Netto-Energiebilanz. Die entscheidende Größe, die Netto-CO_2-Minderemission, hängt nicht nur von der Netto-Energiebilanz des produzierten pflanzlichen Energieträgers ab. Wichtig sind darüber hinaus noch das energetische Substitutionsverhältnis zwischen nachwachsenden und fossilen Energieträgern und die Art des zu substituierenden fossilen Energieträgers (Erdöl, Erdgas, Braun-/Steinkohle). Unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen reichen die möglichen Netto-CO_2-Minderungsbeiträge, bezogen auf eine Megawattstunde (MWh) des pflanzlichen Energieträgers, von

- 80 bis 90 kg CO_2/MWh — beim Ersatz von Erdgas bei der Herstellung von Methanol oder Wasserstoff durch feste pflanzliche Energieträger
- 100 bis 200 kg CO_2/MWh — beim Ersatz von Mineralölprodukten durch Ethanol oder pflanzliche Öle
- 190 bis 390 kg CO_2/MWh — beim Ersatz von Kohlen durch feste pflanzliche Energieträger.

Die Verknüpfung der genannten Netto-CO_2-Minderungsbeiträge mit dem Energieertrag je Hektar führt zu großen Unterschieden in der Netto-CO_2-Entlastung je Hektar, wenn man unterschiedliche Produktlinien betrachtet. Dies geht beispielhaft aus der nachstehenden Tabelle II.2-1 hervor.

Tabelle II.2-1: **Einsatz von Rapsöl und Miscanthus als Energieträger**

		Rapsöl (als Kraftstoff oder als Heizöl)		Miscanthus (Pellets in 25 MW_e-HKW-Anlage)	
		Gegenwart	2005 [1]	Gegenwart	2005 [1]
Energieertrag (H_u)	MWh/ha	10 - 14	14 - 20	65 - 120	75 - 155
Prozeßenergiebedarf	% von H_u	31 - 43	22 - 30	11 - 17	12 - 18
Netto-CO_2-Entlastung	t CO_2/ha	1,6 - 2,9	3 - 4	23 - 42	26 - 54
Schwellenpreis für Heizöl [2]	DM/MWh	100 - 220	85 - 145	84 - 110	62 - 88
Subventionsbedarf [2] [3]	DM/MWh	40 - 110	25 - 75	55 - 85	16 - 46
CO_2-Minderungskosten [2] [3]	DM/t CO_2	320 - 500	185 - 295	155 - 245	47 - 130

Anmerkung: 1 MWh entspricht dem Heizwert (H_u) von 100 l Heizöl

1) Projektionen unter Veranschlagung technischer Fortschritte und mäßiger Energiepreissteigerungen von 20 $ auf 30 $/barrel Rohöl.

2) HKW-Stromerlöse sind aus Importkohlepreisen (Gegenwart: 122,- DM/t SKE; 2005: 195,- DM/t SKE) abgeleitet; agrarpolitische Gutschriften wurden verrechnet (Gegenwart: 1500,- DM/ha; 2005: 1000,- DM/ha).

3) Ohne Veranschlagung von Steuern (MWSt, Energiesteuern) oder sonstigen Abgaben auf fossile Energieträger.

In dieser Tabelle sind auch CO_2-Minderungskosten (das Verhältnis zwischen Subventionsbedarf und bewirkter CO_2-Minderung) beispielhaft aufgeführt.

Zur Beurteilung der Höhe der CO_2-Minderungskosten ist es hilfreich, einen Blick auf die Kosten der CO_2-Minderung zu werfen, die bei Energiesparmaßnahmen, Energieträgersubstitution und anderen technischen Maßnahmen zur CO_2-Minderung in der Bundesrepublik Deutschland anfallen. Hierzu enthält die Literatur Angaben, die von Null (oder gar Kostenvorteilen) bis zu vielen Hundert DM pro Tonne vermiedenes CO_2 reichen. Unter Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher methodischer Vorgehensweisen und abweichender Basisannahmen bewerten die Autoren der vorliegenden TA-Studie Maßnahmen, für die spezifische CO_2-Minderungskosten bis zu 250 DM/t CO_2 ausgewiesen werden, als potentiell interessante und konkurrenzfähige Elemente einer CO_2-Minderungspolitik für die Bundesrepublik Deutschland. Bei Minderungskosten unter 100 DM/t CO_2 dürften die Chancen dafür ausgesprochen gut sein.

2.4 Andere Umweltaspekte

Zu den wichtigen Treibhausgasen zählt neben dem CO_2 auch das Distickstoffoxid (N_2O). Die Konzentration in der Atmosphäre (0,31 ppmv) ist zwar wesentlich geringer als die des CO_2 (354 ppmv), aber ein zusätzliches N_2O-Molekül erhöht die Infrarot-Strahlungsabsorption der Atmosphäre je nach Betrachtungszeitraum 206 bis 290 mal mehr als ein zusätzliches CO_2-Molekül.

Natürliche Vegetationen, bewirtschaftete Flächen und aquatische Ökosysteme sind Quellen für N_2O. Der Anteil organischer Substanz und die Umsetzungsgeschwindigkeit beeinflussen u.a. die Höhe der N_2O-Freisetzungsrate. Die Bildung von N_2O kann über die mikrobielle Denitrifikation (Reduktion oxidierter Stickstoffverbindungen) oder die Nitrifikation (Oxidation organisch gebundenen Stickstoffs) erfolgen. Eine wesentliche anthropogene Quelle ist die Verwendung stickstoffhaltiger organischer und mineralischer Düngemittel zur Steigerung der Agrarproduktion. Die Literaturangaben zur düngungsbedingten N_2O-Freisetzung reichen von 0,001 bis 2,5 % des applizierten Stickstoffdüngers. Der obere Wert der Spanne ist korreliert mit einer organischen bzw. einer Ammoniumdüngung zu Mais auf schweren Böden. Ausgehend von einer N_2O-Bildungsrate von 0,1 bzw. 1 % der N-Düngung wird die Netto-CO_2-Entlastung bei der energetischen Verwendung von Rapsöl in einer vernachlässigbaren (1,3 bis 2 %) oder einer bedeutsamen (13 bis 20 %) Größenordnung beeinträchtigt. Mit einer N_2O-Freisetzungsrate über 1 % ist nur auf ungünstigen Standorten oder unter extremen Witterungsbedingungen zu rechnen. Auch im ungünstigen Fall ist die Netto-CO_2-Bilanz von Rapsöl nach Abzug der N_2O-Emissionen noch positiv. Bei den Festbrennstoffen sind die düngungsbestimmten N_2O-Emissionen weniger relevant, weil sie einen vergleichsweise geringen N-Bedarf und ein viel höheres CO_2-Minderungspotential besitzen. Die Netto-CO_2-Minderung von Miscanthus würde z.B. durch eine entsprechende N_2O-Korrektur nur um 0,6 bis 1,1 % verschlechtert. Sofern die Erzielung hoher Miscanthuserträge eine Beregnung erforderlich macht, würde dies zu einer Erhöhung der N_2O-Emissionen führen.

Inwieweit die N_2O-Emissionen bei der Verbrennung von pflanzlichen Festbrennstoffen in bestimmten Feuerungsanlagen, wie z.B. der Wirbelschichtfeuerung, eine nennenswerte Rolle spielen, ist noch unklar und bedarf einer näheren Untersuchung.

Die Produktion von Festbrennstoffen, z.B. durch den Anbau von Miscanthus, schnellwachsenden Baumarten oder Energiegras, ist nicht nur mit einer unterdurchschnittlichen Düngermenge, sondern auch mit einem geringeren Aufwand an Pflanzenschutzmitteln verbunden. Bei den wesentlich anspruchsvolleren Kul-

turen Raps, Zuckerrüben und Weizen hängt das Gefährdungsrisiko für den Boden, das Wasser und die belebte Umwelt entscheidend von der Produktionsintensität ab. Diese wiederum ist ein Abbild der agrarpolitischen Rahmenbedingungen (Erzeugerpreise, Bewirtschaftungsauflagen, usw.), die flächendeckend gelten und deshalb für die Produktion Nachwachsender Rohstoffe und die Futter- und Nahrungsmittelproduktion in gleichem Maße gelten. Bei gleicher Produktionsintensität sind die Umwelteffekte im Bereich des Anbaus von der regional unterschiedlichen Sensibilität der Standorte abhängig.

Dem anbauseitig umweltfreundlicheren Profil der Festbrennstoffe gegenüber den flüssigen Energieträgern mit höherer Energiedichte steht eine stärkere Verkehrsbelastung durch die erforderlichen umfangreichen Transportleistungen gegenüber. Die Versorgung eines 25 MW_e-Heizkraftwerkes mit Strohballen würde beispielsweise zur Folge haben, daß alle 15 bis 20 Minuten ein zusätzlicher LKW über die Straße rollt. In dicht besiedelten Gebieten könnte dies nicht nur ein Umweltproblem (Lärm, Abgase, Stau), sondern auch ein Akzeptanzproblem bedeuten.

Im Verwendungsbereich ist neben der Einsparung von fossilem CO_2 bei bestimmten Produktlinien mit Festbrennstoffen auch noch die Verringerung der Schwefeldioxid(SO_2)-Emissionen von Bedeutung. Sowohl die Festbrennstoffe als auch Rapsöl sind nahezu, Ethanol ist sogar absolut schwefelfrei. Aufgrund der Substitutionsverhältnisse ist die SO_2-Reduktion durch Strohbriketts, wenn man z.B. Braunkohlenbriketts mit 1,5 % Schwefel in bestehenden Kleinfeuerungen ohne Entschwefelung ersetzt, weit größer als die von Rapsöl beim Ersatz von mineralölstämmigem Dieselkraftstoff mit gegenwärtig 0,18 % Schwefel. Unterstellt man SO_2-Vermeidungskosten von 3 DM/kg SO_2, wie sie für große Kohlekraftwerke veranschlagt werden, so kann dem Stroh ein SO_2-Bonus von 15 DM/MWh, dem Rapsöl dagegen nur von 90 Pf/MWh angerechnet werden (s. Tab. II.2-2). Ab 1996 darf der Schwefelgehalt im Dieselkraftstoff nur noch höchstens 0,05 % betragen, was eine weitere Verringerung des SO_2-Bonus für Rapsöl in wenigen Jahren bedeutet. Demgegenüber würde der SO_2-Vorteil im Falle kohlebeschickter Einzelfeuerungen dazu führen, daß fast 50 % der notwendigen Subventionen allein durch die SO_2-Reduktion gerechtfertigt wären. In ähnlicher Weise könnten auch größere Anlagen, bei denen eine technische Rückhaltung des Schwefeldioxids nicht möglich oder finanzierbar ist, von der Substitution der Braunkohle durch Stroh profitieren.

Tabelle II.2-2: **Monetarisierte SO_2-Vorteile der Verwendung von Strohbriketts und Rapsöl, gegenwärtige Verhältnisse**

	Strohbriketts	Rapsöl Gegenwart	Rapsöl ab 1996
Emissionsminderung (kg SO_2/MWh)	5	0,3	0,05
Vermeidungskosten (DM/kg SO_2)	3	3	3
Vermeidungskosten (DM/MWh)	15	0,9	0,15
Vermeidungskosten (DM/t bzw. Pf/ l)	60 DM/t Stroh	0,9 Pf/l Rapsöl	0,15 Pf/l Rapsöl

2.5 Mittel- und längerfristige Marktperspektiven

Wenn die CO_2-Vorteile der nachwachsenden Energieträger in wachsendem Maße ökonomisch honoriert werden, kommt bis 2005 ein verwendungsseitig begrenztes Marktpotential von 15 bis 36 Mio t Festbrennstoffen aus Pflanzen in Betracht. Dabei spielen Heizkraftwerke und industrielle Dampferzeuger gemäß Tabelle II.2-3 eine besondere Rolle. Aufkommensseitig würde dabei Stroh (mit 13 bis 21 Mio t/a) bei den Reststoffen eine große Rolle spielen. Heu von nicht mehr benötigten Dauergrünland- und Ackerflächen könnte ebenfalls einen wesentlichen Beitrag liefern, sofern die noch offenen Fragen bei der energetischen Nutzung positiv geklärt sind.

Tabelle II.2-3: **Zusammenfassung der mittelfristigen Verwendungspotentiale für pflanzenbürtige Festbrennstoffe in der Bundesrepublik Deutschland**

Ausweitung der KWK bei HKWs u. industr. Dampferzeugern	8 bis 19 Mio t/a
Ersatz für vorhandene Anlagen mit KWK	2 bis 5 Mio t/a
Einsatz in neuen Heizwerken u. Blockheizwerken	1 bis 2 Mio t/a
Ersatzanlagen für industr. Dampferzeuger ohne KWK	1 bis 3 Mio t/a
Zumischung in vorhandenen Steinkohleanlagen (> 10 MW)	1 bis 3 Mio t/a
Ersatz von Braunkohlenbriketts in vorhandenen Einzelfeuerungen	2 bis 4 Mio t/a
SUMME	15 bis 36 Mio t/a

Die Anforderungen an den gezielten Anbau von Energiepflanzen hängen dementsprechend stark davon ab, wieweit man in den oberen Bereich der genannten Spanne für die Verwendungspotentiale vordringen kann. Etwa eine Mio ha LF (landwirtschaftlich genutzte Fläche) würde bei einem Mix verschiedener Energiepflanzen genügen, um zusammen mit Stroh zu einem Jahresaufkommen von 36 Mio t zu gelangen, welches an der geschätzten Obergrenze des in 10 bis 15 Jahren Vermarktbaren liegt.

Langfristig (z.B. um 2030) wird der mögliche Einsatz von Festbrennstoffen aus Pflanzen nicht mehr verwendungsseitig, sondern aufkommensseitig begrenzt. Wenn man eine einigermaßen realistisch erscheinende Spanne von 15 % bis 25 % der gegenwärtigen LF in der Bundesrepublik Deutschland (18 Mio ha) in Betracht zieht und Erträge an Trockenmasse (TM) von etwa 15 t TM/ha und Jahr für einen Mix von C_3- und C_4-Pflanzen unterstellt, gelangt man mit zusätzlichen Beiträgen von Stroh zu einem Biomasseaufkommen von 60 bis 100 Mio t/a (mit durchschnittlich 86 % Trockensubstanz). Der Energiegehalt entspricht dem von 30 bis 50 Mio t/a Steinkohle.

In Tabelle II.2-4 sind die genannten Zahlenspannen in ein Zahlenraster eingeordnet, das Angaben über andere regenerative Energiequellen und grob veranschlagte Spannen für den gesamten Primärenergiebedarf enthält. Daraus geht unter anderem hervor, daß die Biomasse (im wesentlichen über Festbrennstoffe) schon um 2005 den mengenmäßig bedeutendsten Einzelbeitrag unter den verschiedenen regenerativen Energieträgern leisten kann.

Tabelle II.2-4: **Primärenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland (in Mio t SKE/a)**

	1990	2005	2030
Insgesamt	**500**	**400 – 500**	**300 – 400**
darunter regenerativ	**10,8**	**23 – 40**	**50 – 92**
- Wasser	6	7 – 8	7 – 9
- Klärschlamm, Müll	2,7	4 – 5	5 – 7
- Biomasse	1,7	10 – 20	30 – 50
- Solarwärme	0,3	1 – 3	3 – 10
- Wind	< 0,1	1 – 3	3 – 6
- Photovoltaik	< 0,1	0 – 1	2 – 10
regenerativ in % von Insgesamt	**2 %**	**5 % – 10 %**	**13 % – 31 %**

Quelle: Verschiedene Veröffentlichungen der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" und eigene Abschätzungen.

2.6 Sozioökonomische Fragen, Akzeptanzfragen

Für einige Produktlinien der energetischen Nutzung enthält die Studie Abschätzungen zu der Frage, welcher Anteil der erforderlichen Subventionen bei den Landwirten einkommenswirksam wird, welche Gruppen bzw. Produktionsbereiche hinsichtlich erhöhter oder verringerter Wertschöpfung "Gewinner" oder "Verlierer" sind (s. Tab. II.2-5 und Tab. II.2-6).

Tabelle II.2-5: **Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger**
Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei kleinen Mengen (< 0,1 Mio t/a), gegenwärtige Verhältnisse

	Änderung in DM je 100 DM Subventionen [1]	
• "Staatskasse" [2] (entfallende Mineralölsteuer)	− 100 [2]	
• Wertschöpfung von Raffinerien		− 17
• Exporte von Mineralöllieferländern		− 31
• Exporte von Sojaschrotlieferländern [3]		− 52
Summe der "Verlierer"	− 100	− 100
• Landwirte		+ 28
• Vorlieferanten für Landwirte		+ 92
davon		
- in ländlichen Gebieten		+ 45
- in städtischen Gebieten sowie Importe		+ 47
• Wertschöpfung bei Ölextraktion und Umesterung		+ 72
• Sonstige		+ 8
Summe der "Gewinner"		+ 200

1) Die Abschätzungen gelten für Veredlungsbetriebe mit hohem Viehbesatz, die Gülleentsorgungsprobleme haben und nur wenig Düngemittel zukaufen müssen, und für die der Anbau von Energie- und Industrieraps auf "stillgelegten" Flächen interessant ist. Je Liter RME müßten dabei 0,58 DM an Subventionen aufgebracht werden (entfallende Mineralölsteuer). Die ohnehin erhältliche Stillegungsprämie wurde nicht als Subvention angerechnet. Bei größeren Mengen an Industrie- oder Energieraps müßten die Subventionen deutlich erhöht werden. Für Rapssaat wurde ein Erzeugerpreis von 300 DM/t angesetzt. 1 l RME ersetzt 0,91 l Dieselkraftstoff aus Mineralöl.

2) Unterstellt wurde, daß die Mineralölsteuer für Dieselkraftstoff aus Mineralöl von 0,54 DM/l auf 0,64 DM/l steigt und für RME entfällt. Die Verluste der Staatskasse sind ökonomisch als Nachfrageverluste zu sehen, die nicht einfach mit den Wertschöpfungsänderungen der rechten Spalte saldiert werden dürfen.

3) Weil importiertes Sojaschrot durch inländisches Rapsschrot als Futtermittel ersetzt wird.

Tabelle II.2-6: **Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Briketts aus Stroh als Ersatz von Braunkohlenbriketts**
Beispiel: Einsatz in vorhandene Kleinfeuerungsanlagen, gegenwärtige Verhältnisse

	Änderung in DM je 100 DM Subventionen [1]	
• "Staatskasse" [1]	– 100	
• Förderung und Brikettierung von Braunkohle		– 84
• Sonstige		– 8
Summe der "Verlierer"	– 100	– 92
• Landwirte [2] [3]		+ 23 - 51
• Andere Wertschöpfung im ländlichen Raum [2] [3]		+ 64 - 36
• Wertschöpfung in städtischen Gebieten und Importe [2]		+ 88
• Strohbrikett-Verbraucher [4]		+ 17
Summe der "Gewinner"		+192

[1] Je Tonne Strohpellets oder Strohbriketts müßten ca. 120 DM an Subventionen aufgebracht werden.
[2] Einzelbeiträge hierzu stammen aus Einkommen bzw. Wertschöpfung aus folgenden Aktivitäten: Zusätzlicher Düngereinsatz, ggf. Zwischenfruchtanbau zum Ausgleich der Humusbilanz, Ballenherstellung, Transporte, Pelletierung, Bau von Lagerschuppen.
[3] Die Spannen sind so zu verstehen, daß verschiedene Arbeiten (z. B. Ballenherstellung, Lkw-Fahrdienst, kleinere Reparaturen) entweder vom Landwirt oder von einem ländlichen Lohnunternehmen durchgeführt werden können.
[4] Ca. 5 DM /MWh (dies entspricht 20 DM/t Strohbriketts) sind für Strohbriketts als Preisvorteil gegenüber dem Energiepreis für Braunkohlenbriketts veranschlagt, um einen Anreiz zu geben, Hantierungsnachteile in Kauf zu nehmen.

Zu vermerken ist, daß die Tabellen II.2-5 und II.2-6 keine indirekten Rückwirkungen auf die Wertschöpfung enthalten, welche z.B. durch die geringeren Steuereinnahmen der Staatskasse verursacht werden können.

Die Tabelle II.2-5 zeigt Ergebnisse für das Beispiel Rapsölmethylester. Sie bezieht sich auf kleine Mengen (< 0,1 Mio t/a) RME.

Danach werden nur 28 % der durch die entfallende Mineralölsteuer bewirkten indirekten Subventionierung bei den Landwirten einkommenswirksam. Die Ursache ist, daß auch in günstigen Fällen die nach der Neuordnung der Marktordnung für Ölsaaten geringen Erzeugerpreise zu nur bescheidenen Deckungsbeiträgen führen. Die Gewinner sind die Vorlieferanten für die Landwirte sowie die Wertschöpfung bei der Ölextraktion und Umesterung. In der Summe der Einkommensbeiträge für die Landwirte und der sonstigen durch die Vorleistungen in ländli-

chen Gebieten entstehenden Wertschöpfung (45 %) bleiben im ländlichen Raum immerhin 73 DM je 100 DM Subventionen "hängen".

Zu den Verlierern gehören Sojaschrotlieferländer wie die USA, weil importiertes Sojaschrot durch Rapsschrot als Futtermittel ersetzt wird. Dies deutet einen Interessenkonflikt an, der bei den GATT-Verhandlungen im November 1992 bereits eine Rolle gespielt hat. Als Kompromiß zwischen den USA und der EG einigte man sich auf die in Kapitel VI.1 genannten Mengenbegrenzungen für Sojaschrot substituierende Ölsaaten (bzw. deren Schrote). Eine mögliche Liberalisierung dieser Regelung, durch im Gegenzug weitergehende Produktionseinschränkungen der EG (z.B. bei Getreide), würde die ohnehin bescheidene Einkommenswirksamkeit der Subventionen beim Anbau von Energieraps für die Landwirte im Endeffekt weiter beeinträchtigen.

Nach Tabelle II.2-6 können sich ähnliche Einkommenswirkungen der Subventionen für Landwirte und für den ländlichen Raum bei der energetischen Nutzung von Stroh ergeben wie bei der energetischen Nutzung von Rapsöl. Dieses Ergebnis ist zunächst überraschend, weil im Falle von Getreidestroh kein zusätzlicher Anbau von Energiepflanzen stattfindet. Die Einkommen bzw. Wertschöpfungen im ländlichen Raum entstehen hauptsächlich bei der Ernte, der Verdichtung, der Lagerung und bei Transporten von Stroh.

Die Bereitschaft der Landwirte zum Anbau von Energiepflanzen und zur Konditionierung und Vermarktung von Reststoffen wie Stroh wird nicht nur durch ökonomische Motive, sondern auch durch psychologische Reaktionen bestimmt.

Bei Gesprächen mit Landwirten sind die Präferenzmuster natürlich davon geprägt, ob es sich um vertraute Pflanzenarten oder um neuartige Pflanzenarten handelt.

Bei den vertrauten Pflanzenarten zeichnet sich in Gesprächen ein klarer Akzeptanzvorsprung für Energieraps vor Stroh und Ganzgetreide ab. Hierbei spielt vermutlich eine Rolle, daß der Rapsanbau zur Gewinnung von Dieselkraftstoff gegenwärtig eher als eine sinnvolle Produktionstätigkeit angesehen wird als die Konditionierung und Vermarktung des "Reststoffes" Stroh. Bei Ganzgetreide zur Verbrennung schwingen verschiedentlich (aber nicht oft) ethische Bedenken mit.

Bei den "neuartigen" Energiepflanzen stößt Chinaschilf meist (nicht immer) auf Interesse mit einer positiven Grundhaltung. Schnellwachsende Baumarten erwecken verhaltenes Interesse, stoßen bei den Landwirten aber häufig auf eine ablehnende Voreinstellung, welche mit dem Selbstverständnis der Landwirte zusammenhängen mag.

3. Chemisch-technischer Verwendungsbereich

3.1 Pflanzliche Öle

Derzeit werden in den alten Bundesländern pro Jahr rd. 600 000 t Öle und Fette verbraucht, vor allem für die Produktion von Waschrohstoffen. Rund 440 000 t der Öle und Fette sind pflanzlicher Herkunft. Hiervon werden 80 bis 90 % aufgrund der spezifischen Anforderungen an die Kettenlänge der Fettsäuren und der bestehenden Preisvorteile aus Drittländern importiert. Die wichtigsten Vertreter hierfür sind das Palmöl, das Palmkernöl und das Kokosöl.

Die Umgestaltung pflanzlicher Fettsäuren durch chemische oder biochemische Verfahren kann zu neuen oleochemischen Zwischenprodukten führen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, zu neuartigen Feinchemikalien oder Produkten gelangen zu können. Hier handelt es sich weitgehend um Neuland, und die möglichen Märkte für diese neuen Produkte sind noch nicht überschaubar. Es lassen sich deshalb kaum Aussagen über deren möglichen Umfang und Bedeutung machen.

Im Bereich der gentechnologischen bzw. züchterischen Forschung und Entwicklung scheint besonders die Züchtung von Pflanzen, die eine bestimmte Fettsäure in hohen Konzentrationen anreichern, interessant. Die züchterische Anreicherung einer einzelnen Fettsäure in den Pflanzen könnte in Verbindung mit der anschließenden chemischen Veränderung der Substanzen neue Marktpotentiale erschließen.

In den Züchtungseinrichtungen und Labors werden Anstrengungen unternommen, die Importe an mittelkettigen Fettsäuren teilweise durch eine heimische Produktion zu substituieren. Unklar ist, ob und wann diese Bemühungen von Erfolg gekrönt sein werden. Angesichts jüngerer Forschungsergebnisse sind die Erfolgsaussichten günstiger einzuschätzen als noch vor wenigen Jahren. Den angestrebten bzw. erkennbaren Vorteilen (geringere Abhängigkeit von der Versorgung durch wenige Exportländer für die laurischen Öle, Dämpfung von Preisspitzen für Kokosöl und Palmkernöl, mehr inländische Wertschöpfung auf verfügbaren Agrarflächen) stehen vermutbare ökonomische Nachteile im Inland gegenüber. Außerdem würden Entwicklungsländern wie Malaysia, Indonesien und den Philippinen Export- und damit Einkommensmöglichkeiten verlorengehen. Bei der Abwägung dieser Vor- und Nachteile kann man streiten.

Die technische Verwendung pflanzlicher Öle für Schmierstoffe, zu denen auch Hydraulikflüssigkeiten gehören, könnte mittelfristig in Deutschland 80 000 bis 240 000 t Rapsöl pro Jahr binden, wahrscheinlich mehr als im Bereich der chemi-

schen Nutzung. Dies hätte zwei Vorteile: Erstens würde hierdurch die Verwendung fossiler Rohstoffe und die mit dem biologischen Abbau bzw. der thermischen Entsorgung des Altöls verbundene CO_2-Freisetzung verringert. Zweitens sind die pflanzlichen Öle besser biologisch abbaubar. Dies ist z.B. bei mobilen Hydraulikanlagen von Bedeutung, da hier immer mit einer Verunreinigung von Böden und Gewässern aufgrund von Leckagen zu rechnen ist.

Diesen Umweltvorteilen der pflanzlichen Öle und Fette steht jedoch ein deutlicher Wettbewerbsvorteil der Mineralölprodukte gegenüber. Eine CO_2-Steuer auf fossile Rohstoffe und/oder eine finanzielle Honorierung der Umweltvorteile könnten einen Teil der Kostennachteile ausgleichen und damit ein interessantes Substitutionspotential für pflanzliche Öle und Fette erschließen, unabhängig davon, ob diese importiert oder inländisch bereitgestellt werden. Auch das Aussprechen von Verwendungsempfehlungen, -geboten und -verboten könnte in bestimmten Verwendungsbereichen den Einsatz pflanzlicher Öle fördern bzw. erzwingen.

3.2 Stärke

Stärke besitzt traditionell ein breites Verwendungsspektrum. 1990 wurden 530 000 t native Stärke und Folgeprodukte im chemisch-technischen Sektor eingesetzt. Der wichtigste Verwendungsbereich der Stärke ist die Papier- und Pappeherstellung. Hierfür werden in der Bundesrepublik Deutschland rd. 350 000 t Stärke pro Jahr benötigt. Mittelfristig kann für diesen Verwendungsbereich von einem Bedarf von 500 000 bis 700 000 t pro Jahr ausgegangen werden, vor allem begründet durch die noch weiter ansteigende Papiernachfrage.

Unter Umweltaspekten stellt die Verwendung von Stärke als Brikettierhilfsstoff für Braunkohlenbriketts eine interessante Alternative zur Verwendung von Bitumen dar. Bei der Verbrennung bitumenfreier Briketts wird die Freisetzung polyzyklischer Aromate und anderer unerwünschter Kohlenwasserstoffe deutlich reduziert. Außerdem ist damit auch eine gewisse Verringerung der SO_2- und CO_2-Emissionen verbunden. Der derzeit pro Energieeinheit fünffache Preis von Stärke gegenüber Bitumen bedingt jedoch, daß Subventionen zur Realisierung erforderlich sind.

Die Diskussion über die zunehmende Abfallproblematik könnte der Verwendung von Stärke zur Herstellung von biologisch abbaubaren Kunst- und Verpackungsstoffen zusätzliche Marktchancen eröffnen. Der Vorteil der biologischen Abbaubarkeit ist jedoch nur dann überzeugend, wenn eine Recyclierung oder eine thermische Nutzung dieser Produkte nicht oder nur unter hohem finanziellen Auf-

wand möglich ist. Unter Beachtung der Umweltrisiken, die mit dem Anbau und der Verarbeitung der Stärkerohstoffe verknüpft sind, scheint es aus umweltorientierter Sicht nicht sinnvoll zu sein, Massenkunststoffe durch biologisch abbaubare zu ersetzen.

Im Vergleich der in der Bundesrepublik Deutschland angebauten Stärketräger ist der Anbau von Körnermais und Stärkekartoffeln ökologisch bedenklicher als der Anbau von Winterweizen. Eine stärkere Ausdehnung des Anbaus von Mais - aber auch von Weizen - ist wegen der möglichen weiteren Verarmung der Fruchtfolgen ökologisch nachteilig. Der Mais- und auch der Kartoffelanbau ist außerdem mit einem hohen Erosionsrisiko verbunden. Im Vergleich zur Kartoffelstärke, bei deren Gewinnung große Mengen an organisch belastetem Abwasser und Restfruchtwasser anfallen, ist die Herstellung von Stärke aus Weizen und Mais mit geringeren Umweltbelastungen verbunden.

Die erwähnten ökologischen Nachteile stehen einer agrarstrukturell begründeten finanziellen Unterstützung der Stärkekartoffeln gegenüber. Eine Beibehaltung oder gar Ausdehnung der Anbauförderung setzt voraus, daß die negativen ökologischen Auswirkungen zugunsten der Erhaltung der Agrarstruktur toleriert werden.

3.3 Holz

Die wichtigsten Abnehmer von Holz sind die Säge-/Hobel-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie. Mit einer Wachstumsrate von 3 % pro Jahr gehört die Papierproduktion zu den weiter expandierenden Wirtschaftszweigen. Der gegenwärtige Zellstoffbedarf der deutschen Papierindustrie von rund 4,5 Mio Tonnen pro Jahr wird zum größten Teil durch Importe gedeckt. Es handelt sich dabei um hochwertigen Sulfatzellstoff. Produktionsanlagen hierfür sind im Falle des herkömmlichen Aufschlußverfahrens aus Umweltschutzgründen nicht genehmigungsfähig. Die Bemühungen, alternative, umweltfreundliche Verfahren zu entwickeln, führten zu drei verschiedenen Ansätzen: dem ASAM-, dem Acetosolv- und dem Organocell-Verfahren. Das ASAM-Verfahren hat, falls es sich großtechnisch bewährt, wegen seiner Verwandtschaft zum alkalischen Sulfataufschluß große Chancen, als Neuanlage oder im Zuge der Modernisierung alter Anlagen realisiert zu werden. Das ASAM-Verfahren ist auf Sulfatzellstoffqualität, nicht aber auf die Gewinnung von Lignin und Hemicellulosen ausgelegt. Die Bereitstellung dieser Nebenprodukte mit dem Organocell- bzw. Acetosolv-Verfahren ist möglich, wirft aber verfahrenstechnische Probleme auf.

Auch wenn eines der angesprochenen Zellstoffgewinnungsverfahren großtechnisch realisiert wird, bleibt es offen, in welchem Umfang die Zellstoffimporte durch eine inländische Produktion substituiert werden. Die internationale Verflechtung der Zellstoff- und Papierindustrie, die Rohstoffversorgung und der Rohstoffpreis sind wichtige Faktoren, die die Wahl des Standortes mit entscheiden.

Wegen des hohen Rindenanteils und der geringen Qualität (Kurzfaserzellstoff) eignen sich schnellwachsende Baumarten nicht als Rohstofflieferanten zur Produktion hochwertigen Zellstoffs.

3.4 Mengenpotentiale und Flächenbindung im chemisch-technischen Verwendungsbereich

Die inländische Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen für den chemisch-technischen Verwendungsbereich bindet mittelfristig (s. Tab. II.3-1) bei herkömmlicher Produktionsintensität rd. 0,4 Mio bis 0,8 Mio ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß derzeit schon rd. 0,2 Mio ha dem Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen für chemisch-technische Zwecke dienen. Die Bereitstellung von Stärke sowie von pflanzlichen Ölen und Fetten tragen rd. 90 % zu dieser Flächenbelegung bei.

Der zusätzliche Bedarf an Lignocelluloseträgern für die Zellstoffproduktion und für die Gewinnung von Holzstoff und Holzwerkstoffen ist möglicherweise nicht mit einem zusätzlichen Flächenbedarf verbunden, da der Wald noch ausreichende Holzvorräte bietet, ohne die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung zu beeinträchtigen.

Tabelle II.3-1: **Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen in der Bundesrepublik Deutschland**

	Verwendungspotential 2005 (in 1000 t)		Inländische Flächenbindung 2005 (in 1000 ha)
	insgesamt	inländisch angebaut	
Stärke	**900 - 1 700**	**900 - 1 700**	**180 - 340**
Pflanzliche Öle	**725 - 910**	**275 - 610**	**190 - 420**
- techn. Verwendung	80 - 240	80 - 240	50 - 150
- Oleochemie	615 - 620	165 - 320	100 - 200
(erucasäurereiches Öl)	(15 - 20)	(15 - 20)	(10)
- Leinöl	30 - 50	30 - 50	40 - 70
Zucker	**60 - 100**	**60 - 100**	**7 - 12**
Pflanzenfasern (Flachs)	**85 - 120**	**40 - 60**	**20 - 30**
Arznei- /Gewürzpflanzen			**10 - 15**
Lignocelluloseträger (zusätzlicher Bedarf)		**1000 - 7000** [1]	- [1]
Summe Flächenbedarf [2]			
- bei intensiver Produktion			**410 - 820**
- bei extensiver Produktion [3]			480 - 960

[1] Kann vermutlich überwiegend über die zusätzliche Nutzung von Industrierestholz und Waldrestholz gedeckt werden.

[2] Derzeit werden in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) bereits rd. 210 000 ha LF für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt.

[3] Ausgehend von eigenen Abschätzungen wurde ein durchschnittlicher Ertragsrückgang von rd. 15 % und somit ein entsprechend höherer Flächenbedarf unterstellt.

4. Flächenverfügbarkeit und Beschäftigungseffekte für den Gesamtbereich der Nachwachsenden Rohstoffe

4.1 Flächenverfügbarkeit

Abschätzungen zum mittelfristigen Flächenbedarf zeigen, daß es bei intensiver landwirtschaftlicher Produktion zu keiner Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen und der herkömmlichen Flächennutzung bzw. dem zusätzlichen Flächenbedarf für Naturschutzzwecke oder für Infrastruktur kommt.

Diese Einschätzung baut vor allem darauf auf, daß unter Beibehaltung der bisherigen Produktionsintensität mittelfristig rd. 30 % der LF aus der Produktion genommen werden müssen, damit die Agrarüberschüsse unter Berücksichtigung wachsender Flächenerträge abgebaut werden können. Bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland entspricht dies rd. 6 Mio ha LF (s. Tab. II.4-1).

Für die inländische Bereitstellung der Nachwachsenden Rohstoffe, die mittelfristig im chemisch-technischen Sektor Verwendung finden könnten, werden gemäß Tabelle II.4-1 nur 0,4 bis 0,8 Mio ha benötigt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß derzeit schon rd. 0,2 Mio ha realisiert sind, so daß der zusätzliche Flächenbedarf nur bei rd. 0,2 bis 0,6 Mio ha LF liegt.

Somit stünden für die Bereitstellung von nachwachsenden Energieträgern, für die Belange des Naturschutzes oder für die Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen noch mehr als 5 Mio ha LF zur Verfügung. Ein zusätzlicher Anbau von bis zu 2 Mio ha Energieraps und bis zu 1 Mio ha Festbrennstoffen, wie z.B. Miscanthus, Energiegras oder Schnellwuchsplantagen, würde unter diesen Rahmenbedingungen, abgesehen von regionalen Besonderheiten, noch zu keinen Engpässen bei der Flächenverfügbarkeit führen (s. Kap. VI).

Anders sind dagegen die Verhältnisse, wenn von einer flächendeckenden Extensivierung ausgegangen wird, die deutlich über das derzeit erkennbare Ausmaß der EG-Agrarpolitik hinausgeht. Bei einer extensiven landwirtschaftlichen Produktion (z.B. bedingt durch eine Stickstoff-Abgabe), die mit einem Ertragsrückgang von rd. 15 % verbunden ist, müssen mittelfristig nur noch rd. 2 Mio ha LF aus der Produktion genommen werden, um den Abbau der Agrarüberschüsse zu erreichen (s. Tab. II.4-1).

Tabelle II.4-1: **Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen und der energetischen Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen (NR) in der Bundesrepublik Deutschland**

	Verwendungspotential 2005 (in Mio t)		Inländische Flächenbindung 2005 (in Mio ha)
	insgesamt	inländisch bereitgestellt	
Flächenbedarf für:			
chem.-techn. Verwendg. [1]	1,8 - 2,8	1,3 - 2,5	
- bei **intens.** Produktion			0,41 - 0,82
- bei **extens.** Produktion [2]			0,48 - 0,96
energetische Verwendg.[3]			
- Festbrennstoffe		5 - 39	
davon gezielt angebaut		0 - 12	0 - 1 [4]
- Rapsöl		0 - 3,2	0 - 2 [4]
konvent. Aufforstung[5]			0,15 - 0,30
			verfügbare Fläche 2005 (in Mio ha)
- bei **intens.** Bewirtschaftg.			6
- bei **extens.** Bewirtschaftg.			2

Quelle: Eigene Berechnungen

1) Derzeit werden in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) bereits rd. 210 000 ha LF für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt.

2) Ausgehend von eigenen Abschätzungen wurde ein durchschnittlicher Ertragsrückgang von rd. 15 % unterstellt.

3) Hierbei ergeben sich je nach Honorierung des CO_2-Vorteils sehr große Spannen für die Verwendungspotentiale und die Flächenbindung.

4) Die Obergrenze der angegebenen Spanne stellt mögliche, aber unwahrscheinliche Entwicklungen dar, bei deren Realisierung verschiedene günstige Faktoren zusammenwirken müssen.
Insgesamt erscheint es als unwahrscheinlich, daß bis zum Jahr 2005 mehr als 1 Mio ha für den Anbau von Energiepflanzen eingesetzt werden.

5) Abgeschätzt aus der bisherigen Zunahme der Waldfläche unter Berücksichtigung des neuen Förderkonzepts der EG zur Aufforstung, das eine bessere finanzielle Honorierung der Erstaufforstung vorsieht.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist der zusätzliche Anbau von ca. 1 Mio ha Energieraps oder Festbrennstoffen kaum möglich, ohne in Kollision mit einer anderen Flächennutzung, wie z.B. für Naturschutzzwecke, zu geraten.

4.2 Beschäftigungseffekte

Die Auswirkungen der Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen auf die Beschäftigung wurden nur unter Berücksichtigung der direkt resultierenden Beschäftigungseffekte (Bedarf an Vollarbeitskräften) in den Bereichen Anbau und Ernte, Transport und Gewinnung bzw. Konditionierung der Rohstoffe abgeschätzt. Indirekte Effekte auf die Beschäftigung in den vor- und nachgelagerten Bereichen, wie z.B. Bereitstellung der Produktionsmittel oder die negative indirekte Wirkung von Subventionen für Nachwachsende Rohstoffe auf die Beschäftigung in anderen Wirtschaftsbereichen wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Mittelfristig könnte mit der zusätzlichen Bereitstellung von vor allem Stärke, pflanzlichen Ölen und Lignocellulosen für die chemisch-technische Verwendung (s. Tab. II.3-1) eine zusätzliche Bindung von rd. 4 000 bis 20 000 Vollarbeitskräften verbunden sein. Hierbei sind der derzeitige Umfang inländisch bereitgestellter NR und alternative Beschäftigungseffekte, die z.B. mit der Pflege von stillgelegten Flächen verbunden sind, in Abzug gebracht. Nur rd. 50 % dieser positiven Beschäftigungseffekte sind dem landwirtschaftlichen Bereich zuzuordnen. Die Konditionierung und die Verarbeitung der Rohstoffe binden in etwa den gleichen Anteil an Arbeitskräften.

Mit dem Anbau und der Verarbeitung von 1 bis 2 Mio ha Energieraps könnte eine zusätzliche Beschäftigung für rd. 5 000 bis 9 000 Vollarbeitskräfte verbunden sein, wobei die Beschäftigungseffekte im landwirtschaftlichen Bereich (Anbau und Ernte) überwiegen.

Wenn gemäß Kapitel II.2.5 im Jahre 2005 zusätzlich 15 bis 36 Mio t Biomasse als Festbrennstoffe Verwendung finden würden (vgl. Tab. II.2-3), könnten nochmals bis zu 30 000 Arbeitskräfte Beschäftigung finden.

Die Bereitstellung von Festbrennstoffen bietet den Landwirten neben dem Bereich Anbau und Ernte vor allem auch bei der Konditionierung (z.B. Pelletierung) und beim Transport dieser Rohstoffe Beschäftigungsmöglichkeiten, die sie als Haupterwerbs- (Ausstieg aus der Landwirtschaft) oder Nebenerwerbsmöglichkeit nutzen könnten.

Insgesamt liegt der zusätzliche Bedarf an Vollarbeitskräften, der mit der Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen für die chemisch-technische Verwendung, vor allem aber für die energetische Verwendung verbunden ist, zwischen rund 20 000 und 60 000 Arbeitskräften. Dies entspricht etwa der doppelten Abwanderungsrate landwirtschaftlicher Arbeitskräfte in Westdeutschland, die derzeit zwischen rd. 20 000 und 30 000 pro Jahr liegt.

Diese Zahlen verdeutlichen, daß die Nachwachsenden Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland auf absehbare Zeit nur bescheidene Beiträge dazu leisten können, den Abbau der Beschäftigungsmöglichkeiten im landwirtschaftlichen Sektor zu dämpfen.

Dies ist eine von mehreren Aussagen der TA-Studie, die folgende - etwas vereinfachte - Charakterisierung der Perspektiven für viele Bereiche der Nachwachsenden Rohstoffe stützen:

> *Die wichtigsten Vorteile der Nachwachsenden Rohstoffe liegen nicht im Bereich der Agrarpolitik, sondern im Bereich der Umweltpolitik.*

Kapitel III

Produktlinienübergreifende pflanzenbauliche Kenndaten

III Produktlinienübergreifende pflanzenbauliche Kenndaten

1. Technische und ökonomische Kenndaten

Die technischen und ökonomischen Kenndaten der Pflanzenproduktion, wie z.B. Energieaufwand oder Kosten des Anbaus und der Ernte, sind zentrale Eingangsgrößen für alle dem Anbau nachgelagerten Arbeitsfelder der NR-Studie, so beispielsweise für den Bereich der Be- und Verarbeitung der pflanzlichen Rohstoffe oder für die marktseitige Verwendung der daraus hergestellten Produkte (z.B. Energieträger).

Im ersten Teil dieser Ausführungen (s. Kap. III.1.1) ist zunächst beschrieben, welche Rahmenbedingungen (z.B. Erzeugerpreise, Faktorpreise bzw. -kosten, Betriebs- und Schlaggröße) bei der Ableitung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren unterstellt wurden. Anschließend wird dargestellt (s. Kap. III.1.2), welche Datenbasis der Beschreibung der ausgewählten NR-Pflanzen zugrunde liegt.

Vor allem werden jedoch in diesem Kapitel drei Intensitäten der landwirtschaftlichen Produktion mit der Kurzbezeichnung "Hohe Intensität", "WSG-Intensität" (Anlehnung an Bewirtschaftungsauflagen in Wasserschutzgebieten) und "N-Abgabe" (Stickstoff-Abgabe) beschrieben und exemplarisch für Winterweizen (W-Weizen) und Winterraps (W-Raps) in ihrer Auswirkung auf die Höhe der N-Düngung und des Ertrages dargestellt und diskutiert.

Diese Produktionsintensitäten spiegeln unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten der Agrarpolitik wider, in denen insbesondere die umweltpolitischen Ziele unterschiedlich stark ausgeprägt sind.

Da die WSG-Intensität zu ähnlichen Auswirkungen hinsichtlich der Höhe des N-Düngungsniveaus führt wie die Verteuerung der organischen und mineralischen N-Dünger durch eine N-Abgabe, werden die nachfolgenden Darstellungen aus Gründen der Vereinfachung und der Übersichtlichkeit auf die zwei Intensitäten "Hohe Intensität" und "N-Abgabe" eingeengt.

Die Vorgehensweise bei der Ableitung der Produktionsverfahren, wie z.B. Übertragung auf unterschiedliche Ertragsverhältnisse, Berücksichtigung von N-Ertragsfunktionen oder Ableitung der Produktionsverfahren für 2005 unter Diskussion pflanzenzüchterischer und technischer Entwicklungen, ist in Kapitel III.1.3 erläutert.

Die Aufschlüsselung der Kenndaten der Pflanzenproduktion nach allgemeinen (z.B. Standortansprüche) und nach technischen und ökonomischen Daten (z.B. Ertrag, Kosten oder Energieeinsatz) ist in Kapitel III.1.4 beschrieben.

Am Beispiel W-Raps wird dargestellt, in welcher Aufgliederung die technischen und ökonomischen Daten vorliegen. Bei der Darstellung der ökonomischen Kenndaten wurde im Bereich Anbau - wie in allen nachgelagerten Bereichen der Rohstoffverarbeitung und -verwendung - der Vollkostenansatz verfolgt, ohne jedoch auf die Darstellung von Deckungsbeitragsrechnungen, wie sie im landwirtschaftlichen Bereich üblich sind, zu verzichten. Die mit dem Vollkostenansatz verbundenen Vorteile einer vom Anbau bis zur Produktverwendung geschlossenen kalkulatorischen Kostenerfassung liegen auf der Hand, wie z.B. die Vergleichsmöglichkeit von Gestehungskosten ("kalkulierte Erzeugerpreise") mit marktseitig erzielbaren Erzeugerpreisen. Die Schwierigkeiten und Unsicherheiten bei der Zuordnung einzelner Kostenkomponenten (insbesondere feste Spezial-/Gemeinkosten) und bei der Bewertung der eingesetzten Produktionsfaktoren Arbeitskraft und Boden sind hierbei jedoch sehr gewichtig.

Abschließend zu diesem Kapitel wird die Verwendung der benannten Basisdaten innerhalb dieser Studie erläutert.

Die vergleichende Gegenüberstellung der teilweise stark aggregierten Kenngrößen Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung wird in Kapitel III.1.5 für Ölträger, Stärke-/Zuckerträger und für Lignocelluloseträger durchgeführt und diskutiert, in Abhängigkeit gegenwärtiger (1987) und zukünftiger (2005) Rahmenbedingungen, unterschiedlicher Produktionsintensitäten (Hohe Intensität, N-Abgabe), auf durchschnittlichem bzw. günstigem und weniger günstigem Ertragsniveau.

Aufgrund des aktuell bestehenden Interesses an Miscanthus sinensis, vor allem jedoch wegen der vielen Fragen, die bei diesem Lignocelluloseträger noch offen sind, werden in Kapitel III.1.6 in einem Exkurs die unterstellten Rahmenbedingungen für die Ableitung der Produktionsverfahren für Miscanthus näher beschrieben und begründet.

1.1 Allgemeine Rahmenbedingungen

Die wichtigsten technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen für die Ableitung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren sind in den Tabellen III.1-1 und III.1-2 zusammengefaßt. Die Erzeugerpreise und die Faktorpreise bzw. -kosten sind hierbei mit die entscheidenden Rahmendaten, die die Intensität der Produktionsverfahren bestimmen. Wichtig für die Ableitung der Produktions-

verfahren ist ebenfalls, von welchen strukturellen Rahmenbedingungen, wie z.B. Betriebsgröße oder Schlaggröße, ausgegangen wird, da hiervon maßgeblich der Maschinen- und Arbeitsaufwand bestimmt wird.

Die verwendeten Daten für die Gegenwart und die unterstellten Szenarioannahmen für 2005 sind nachfolgend beschrieben.

Erzeugerpreise

Die Erzeugerpreise sind neben ihrer Bedeutung für die Einkommensbildung vor allem auch für die Ausrichtung der optimalen speziellen Intensität der landwirtschaftlichen Produktion von Bedeutung. Bei der Ableitung der Vollkosten der Bereitstellung der landwirtschaftlichen Rohstoffe ist insbesondere der letztgenannte Aspekt maßgeblich, so beispielsweise für die Höhe der N-Düngung und des damit korrespondierenden Ertragsniveaus. In Tabelle III.1-1 sind für die wichtigsten Pflanzenarten die in den nachfolgenden Kalkulationen zugrundegelegten Erzeugerpreise zusammengefaßt.

Bei der Ableitung der Erzeugerpreise für 2005 (Hohe Intensität) wurde von der Annahme ausgegangen, daß sie in etwa nominal konstant bleiben und somit real (Geldwert 1987, Inflationsrate 3 %/a) deutlich unter das Niveau des Referenzzeitpunktes sinken. Bei den Produktionsintensitäten, die mit verschärften Umweltauflagen verbunden sind (s. N-Abgabe, WSG-Intensität), wurde für 2005 unterstellt, daß sich unter diesen Rahmenbedingungen ein um rd. 20 % höheres Erzeugerpreisniveau als im ersten Falle in der EG politisch durchsetzen läßt.

Generell ist jedoch anzumerken, daß die Festlegung von Erzeugerpreisen für 2005, aufgrund unterschiedlicher Annahmen zur Entwicklung der Agrarpolitik und des Strukturwandels, in sehr breiter Spanne diskutiert wird, wie die Gespräche z.B. mit Prof. Henrichsmeyer, Prof. Großkopf/Prof. Kappelmann und Prof. Zeddies/Dr. Doluschitz zeigten.

Die zunehmende Bedeutung von direkten Einkommenstransfers (z.B. Flächenprämien) für die Einkommensbildung in der Landwirtschaft - in diese Richtung zielt die aktuelle Agrarpolitik - führt dazu, daß diese flächenabhängigen Transfers letztendlich den Hauptteil des verbleibenden Deckungsbeitrages ausmachen. Die Erzeugerpreise müssen unter diesen Rahmenbedingungen in erster Linie nur noch die variablen Produktionskosten abdecken. Von kostendeckenden Erzeugerpreisen kann hier nicht mehr gesprochen werden.

Tabelle III.1-1: **Unterstellte Erzeugerpreise (DM/t) für die Gegenwart und 2005, in Abhängigkeit unterschiedlicher Produktionsintensitäten**

	Gegenwart (1987)	2005	
		Hohe Intensität	N-Abgabe, WSG-Intensität
W-Weizen	395	245	295
Kö-Mais	410	250	300
Stärkekartoffeln	140	85	100
Zuckerrüben	106	70	80
W-Raps	980	450	545
Sonnenblumen	1 070	470	570
Öllein	600	500	600
Flachs (Lang- /Kurzfasern)	2 500 / 500	1 900 / 300	1 900 / 300
Heu	150	120	140

Angesetzt in Anlehnung an HENRICHSMEYER et al. 1992; GROSSKOPF und KAPPELMANN 1989/90; ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1990/91

Faktorpreise

Für 2005 wurde aufgrund der Verteuerung der Primärenergie (um 30 % gegenüber der Gegenwart) von einer leichten Verteuerung bei den N-Düngemitteln (um 10 %) und beim P-Dünger (um 5 %) ausgegangen; die übrigen Düngemittelpreise wurden als real konstant unterstellt (s. Tab. III.1-2).

Bei der Intensität "N-Abgabe" wurde zusätzlich eine Besteuerung (genauer: Abgabe) des mineralischen Stickstoffs um 300 % unterstellt, so daß sich der Stickstoff von rd. 1,20 DM/kg N auf rd. 5 DM/kg N verteuert; der organische Stickstoff wurde wegen seiner eingeschränkten Pflanzenverfügbarkeit nur mit 180 % (60 % von 300 %) belastet. Bei allen nachfolgenden Kalkulationen wurde von mineralischem Stickstoff ausgegangen.

Tabelle III.1-2: **Allgemeine Rahmenbedingungen für die Gegenwart (1987) und 2005** (Monetäre Angaben jeweils in Preisen von 1987)

Rahmenbedingungen		Gegenwart (1987)	2005
Durchschnittliche Betriebsgröße [1] (ha)		60	150
Durchschnittliche Schlaggröße (ha)		2	5
Fixkosten [2] (DM/ha)		650	520
Pachtansatz (DM/ha): [3]	Ackerfläche	500	350
	Grünland	300	210
Lohnansatz [4] (DM/AKh)		20	26
Düngerpreise (DM/kg):	N: Hohe Intensität	1,11	1,22
	WSG-Intensität	1,11	1,22
	N-Abgabe	4,44	4,88
	P_2O_5	1,09	1,15
	K_2O	0,60	0,60
	CaO	0,15	0,15
Preisindex für Pflanzenschutzmittel (%):			
	Hohe Intensität	100	120
	WSG-Intensität	120	140
	N-Abgabe	100	140
Realzins für Umlaufkapital (%)		5	5
Preisindex für Primärenergie (%)		100	130

1) Unterstellt sind Marktfruchtbetriebe; der Agrarbericht 1991 (BML 1991) weist für diese Betriebsgruppe im Haupterwerb in 1987/88 eine durchschnittliche Betriebsgröße von rd. 45 ha LF aus.

2) Nach KTBL 1988/89 für einen Betrieb mit rd. 80 000 DM Standarddeckungsbeitrag abgeleitet; bis 2005 wurde vor dem Hintergrund zunehmender Betriebsgröße und effizienterer Faktorallokation eine Verminderung der Fixkosten um rd. 20 % angenommen.

3) Der Agrarbericht 1989 (BML 1989, S. 21) weist für 1987/88 einen Pachtpreis von ø 470,- DM/ha aus. Für 2005 wurde aufgrund sinkender Erzeugerpreise ein Absinken der Realpachtpreise um 30 % unterstellt.

4) Der Tariflohn für Facharbeiter in der Landwirtschaft betrug 1987/88 12,52 DM/h (STATISTISCHES BUNDESAMT); unter Berücksichtigung eines Betriebsleiterzuschlags wurde für 1987 von einem Lohnansatz von 20,- DM/AKh ausgegangen; bis 2005 wurde eine Zunahme der Reallöhne um 30 % unterstellt.

Bei den Pflanzenschutzmitteln (PSM) wurde für die Hohe Intensität unterstellt, daß sie sich bis 2005, aufgrund zunehmender Verschärfungen bei den Zulassungsbedingungen und des daraus resultierenden Mehraufwands für die Entwicklung neuer PSM bis zur Marktreife, um rund 20 % gegenüber dem derzeitigen Preisniveau verteuern.

Bei der WSG-Intensität und der N-Abgabe wurde angenommen, daß sich die PSM unter Rahmenbedingungen, die stärker auf den Schutz der Umwelt ausgerichtet sind, um 40 % verteuern (s. Tab. III.1-2). Schon unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen sind die in WSG zugelassenen PSM und somit die Pflanzenschutzmaßnahmen teurer als außerhalb dieser Schutzgebiete.

Bei der N-Abgabe führt die starke Verteuerung des Stickstoffs und des Pflanzenschutzes zu deutlichen Rückwirkungen auf die Produktionsintensität.
Bei der WSG-Intensität sind diese Preiseffekte nicht gegeben, da die Bemessung der erlaubten N-Düngung strikt aus dem N-Entzug des standortgerechten Ertrages abzuleiten ist (vgl. Kap. III.1.2).

Beim Umlaufkapital wurde eine Verzinsung von 5 % (real) unterstellt, verbunden mit der Annahme, daß es unbegrenzt verfügbar ist.

Betriebs- und Schlaggröße, Maschinenkosten, Arbeitsaufwand

Die Kalkulation der Maschinenkosten bzw. des AKh-Einsatzes wird maßgeblich durch die Maschinenausstattung und diese wiederum von der Betriebsgröße und von der Schlaggröße bestimmt.

Bei der Abbildung der gegenwärtigen Produktionsverfahren wurde von einem 60 ha-Betrieb (Marktfruchtbetrieb) und einer durchschnittlichen Schlaggröße von 2 ha ausgegangen (s. Tab. III.1-2). Für 2005 wurden bei den Berechnungen ein 150 ha-Betrieb und eine Schlaggröße von 5 ha unterstellt. Die für die Gegenwart unterstellte Betriebsgröße von 60 ha liegt zwar deutlich über der durchschnittlichen Betriebsgröße wie sie 1988 in der Statistik für Haupterwerbsbetriebe (26,5 ha LF) ausgewiesen ist (BML 1991). Da jedoch bei allen Betrachtungen zu Nachwachsenden Rohstoffen (NR) - von den Nebenerwerbsbetrieben abgesehen - in erster Linie eher von flächenstarken Marktfruchtbetrieben (oder Gemischtbetrieben) auszugehen ist, wurden bei der Maschinenausstattung die bereits angeführten Betriebsgrößen unterstellt. Die durchschnittliche Betriebsgröße für Marktfruchtbetriebe (im Haupterwerb) lag 1987/88 bei rd. 45 ha LF (BML).

Zur Ermittlung der Maschinenkosten bzw. des AKh-Einsatzes wird auf die Kalkulationsunterlagen des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirt-

schaft (KTBL) zurückgegriffen (KTBL 1988 und 1989). Bei den Arbeitsansprüchen der Produktionsverfahren sind nur die termingebundenen spezifischen Ansätze berücksichtigt. Es wurde hierbei angenommen, daß die bedingt oder nicht termingebundenen Betriebsarbeiten von den ständigen Arbeitskräften in den Arbeitstälern oder nebenher erledigt werden können und somit im Wettbewerb um die verfügbare Arbeitskapazität keine Rolle spielen.

Bei allen nachfolgenden Kalkulationen ist eine Eigenmechanisierung der Betriebe unterstellt.

In Tabelle A III.1-1 (im Anhang) sind neben Art und Umfang der unterstellten Maschinenausstattung auch Angaben zu den variablen (Treibstoff, Reparatur) bzw. den fixen Maschinenkosten und zur Schlagkraft bzw. zum Arbeitskraft- und Schlepperstundenbedarf (AKh bzw. Sh) pro ha aufgeführt, die beim Einsatz dieser Maschinen anzusetzen sind.

Bei der Beschreibung der Produktionsverfahren werden die Fixkosten des Maschineneinsatzes im Zusammenhang mit der Zurechnung einer Kostenpauschale "Fixkosten" pro ha angesetzt (vgl. Tab. III.1-2). Die in der Tabelle A III.1-1 ausgewiesenen Fixkosten, die jeweils an der Auslastungsschwelle abgeleitet wurden, dienen somit nur als Anhaltswerte. Die pauschale Zuordnung von "Fix-/Gemeinkosten" pro ha wurde deshalb gewählt, weil in der Regel die betriebliche Auslastung des Maschinenparks unterhalb der Auslastungsschwelle erfolgt und ohne getroffene Annahmen zur gesamten Flächennutzung (Fruchtfolge) des jeweiligen Betriebs nicht abzuschätzen ist. Andererseits fallen betriebliche Aufwendungen an, die nicht verfahrensspezifisch zugerechnet werden können (z.B. Versicherungen, Steuern).

Zum Kostenvergleich sind in Tabelle A III.1-2 die Verrechnungssätze für Lohnmaschinen bzw. für Maschinen vom Maschinenring aufgeführt. In diesen Ansätzen sind neben den variablen und fixen Maschinenkosten auch Lohnkosten und nicht zuletzt kalkulatorische Gewinnansätze enthalten.

1.2 Pflanzenarten, Datenbasis, Produktionsintensitäten

Pflanzenarten

Von der Arbeitsgruppe um Professor Zeddies und Dr. Doluschitz (Universität Hohenheim) wurden Basisdaten für rund 30 verschiedene Pflanzenarten erarbeitet (s. Materialbände Nr. 4 bis 17).

Bei den nachfolgenden Ausführungen wird explizit nur auf die Pflanzenarten eingegangen, die als typische Vertreter für Nachwachsende Rohstoffe (NR) anzusprechen sind und die über die Analyse von Prozeßketten oder NR-Mengenszenarien Eingang in diese Studie gefunden haben.

Näher betrachtet werden in diesem Zusammenhang die wichtigsten Stärketräger (W-Weizen, Körnermais, Stärkekartoffeln), Zuckerträger (Zuckerrüben), Ölträger (W-Raps, Sonnenblumen, Öllein) und einjährige Lignocelluloseträger (Stroh, Heu, Miscanthus), die vor allem als Festbrennstoffe von Bedeutung sind.

Die übrigen Pflanzenarten und landwirtschaftlichen Produktionsverfahren (einschließlich Tierhaltung, Sonderkulturen) wurden im Zusammenhang mit der regionalen Abbildung (Kreisebene) der gesamten Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) berücksichtigt. Diese Arbeiten wurden von der Arbeitsgruppe um Professor Henrichsmeyer (Universität Bonn) durchgeführt (s. Materialband Nr. 23).

Datenbasis, Produktionsintensitäten

Bei der Beschreibung der gegenwärtigen Produktionsverfahren wurde versucht, vorhandene Datensätze (Schlagkarteien, Betriebszweigabschlüsse) zu nutzen, um ein realitätsnahes Abbild der Produktionsverhältnisse zu bekommen.

Die Darstellung der landwirtschaftlichen Produktion für 2005 kann, unter Berücksichtigung der bisherigen Entwicklung bzw. der gegenwärtigen Produktion und bei eingehender Diskussion der pflanzenzüchterischen und technischen Entwicklungsmöglichkeiten, nur auf normativem Wege erfolgen, d.h. unter Zugrundelegung von Modellansätzen für wichtige Zusammenhänge. Hierbei gilt es, den unterstellten Rahmenbedingungen für 2005 (vgl. Tab. III.1-2) und nicht zuletzt auch dem Strukturwandel Rechnung zu tragen.

Die Arbeitsgruppe um Professor Zeddies/Dr. Doluschitz (Universität Hohenheim) hat zur Erfassung der gegenwärtigen Produktionsverhältnisse, nach der Hohen Intensität, folgende Datenquellen herangezogen:

- Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München (ausgewertete Schlagkarteidaten aus verschiedenen Regionen Bayerns)
- Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn (Schlagkarteidaten aus dem Ackerbauring Köln-Aachener-Bucht)
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe (Betriebszweigabrechnungen)
- Landwirtschaftskammer Hannover (Betriebszweigabrechnungen)
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Betriebszweigabrechnungen)
- Südzucker-AG (Schlagkarteidaten aus Baden-Württemberg und Bayern)
- Daten aus einer Erhebung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 183 ("Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften") aus der Region Kraichgau, Baden-Württemberg

Zusätzlich wurde auf veröffentlichte Versuchsergebnisse und Anbauempfehlungen zurückgegriffen.

Die Auswertung der Ackerschlagkarteien zeigte (vgl. ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1990/91), daß es in der Regel die "besseren" Betriebe sind, die Ackerschlagkarteien führen oder Buchführung machen.

Eine Vielzahl der überprüften Ackerschlagkarteien belegen, daß Management und Qualifikation des Betriebsleiters einen maßgeblichen Einfluß auf den erzielten Deckungsbeitrag haben. Der gleiche Deckungsbeitrag kann zum einen über hohe Naturalerträge, verbunden mit hohen variablen Kosten, oder andererseits über mittlere Naturalerträge, bei verringerten variablen Kosten, erzielt werden.

Unveröffentlichte Untersuchungen aus Bayern zeigen, daß Betriebe mit sehr hohen naturalen Erträgen nicht zwangsläufig zu den Spitzenbetrieben hinsichtlich des Deckungsbeitrages zu zählen sind.

Um die aus den Schlagkarteien abgeleiteten Produktionsverfahren auf "durchschnittliche" bzw. "weniger günstige" Betriebsverhältnisse übertragen zu können, sind entsprechende Korrekturen bei der Beschreibung der Produktionsverfahren in Abhängigkeit vom Ertragsniveau vorzunehmen.

ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1990/91) schlagen hierzu die Verwendung eines "Managementfaktors" vor, der die aus den Schlagkarteien abgeleiteten Erträge für den "Ungünstigen Standort" in Relation zu Durchschnittserträgen in der Bundesrepublik Deutschland setzt.

Mit diesem Faktor sind die Erträge (Marktleistungen), bei Konstanthaltung der variablen Spezialkosten, zu multiplizieren, um durchschnittliche Produktionsverhältnisse wiederzugeben bzw. Sektorbilanzen (Status quo) abzustimmen.

Für die Produktionsverfahren nach der "WSG-Intensität" liegen kaum empirische Daten vor, so daß hier die Beschreibung der Verfahren nur teilweise in Anlehnung an die ersten Resultate aus den Vergleichsflächen in Baden-Württemberg erfolgen kann. Die Ergebnisse aus diesen Vergleichsflächen können nur von ihrer Tendenz mit in die Betrachtungen einbezogen werden, da sich z.B. die Beschränkung bei der N-Düngung (= 80 % des N-Entzuges bei der Hohen Intensität) aufgrund teilweise reichlich vorhandener N-Vorräte im Boden erst mittelfristig in statistisch gesicherten Ertragseinbußen niederschlägt.

Grundsätzlich muß somit bei der Beschreibung der Produktion nach der WSG-Intensität von normativen Ansätzen ausgegangen werden, die sich aus den Empfehlungen für die Landbewirtschaftung in Wasserschutzgebieten (WSG) ableiten lassen. Hierbei wurde angenommen, daß das nach der Hohen Intensität beschriebene Produktionsverfahren als "ordnungsgemäß" einzustufen ist (= standortgerechte Ertragserwartung). Die Erträge nach der WSG-Intensität lassen sich somit anhand abgeleiteter N-Ertragsfunktionen, unter Berücksichtigung der WSG-Vorgaben, bestimmen.

Der Beschreibung der Produktionsverfahren nach der Intensität "N-Abgabe" liegen die gleichen N-Ertragsfunktionen zugrunde, die bei der "Hohen Intensität" und der "WSG-Intensität" zum Einsatz kommen. Nachfolgend sind die angesprochenen drei Intensitäten der landwirtschaftlichen Produktion näher beschrieben.

Intensitäten der landwirtschaftlichen Produktion

Ausgehend von der unterschiedlichen Gewichtung des Zieles "Schutz der Umwelt", insbesondere Schutz des Grundwassers, wurden bei der Ableitung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren unter verschiedenen Rahmenbedingungen die drei Intensitäten "Hohe Intensität", "WSG-Intensität" und "N-Abgabe" betrachtet.

Die nachfolgende Beschreibung gibt einen kurzen Überblick über die Philosophie und Ausrichtung der angeführten Intensitäten der landwirtschaftlichen Produktion.

"Hohe Intensität"

Es wird versucht, das Ertragspotential der Pflanzen voll zu nutzen, soweit es ökonomisch sinnvoll ist.

Alle Anbaumaßnahmen sind innerhalb der gesetzten Rahmenbedingungen darauf ausgerichtet, den Deckungsbeitrag (DB) des landwirtschaftlichen Betriebes zu maximieren.

Die Entwicklung der Landwirtschaft wird nur wenig durch zusätzliche Auflagen behindert.

Die Anforderungen an Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz usw. sind aufgrund nicht vorhandener bzw. nur wenig restriktiv wirkender Auflagen dem Ziel der DB- bzw. Gewinnmaximierung deutlich untergeordnet.

Die vorgegebenen Erzeuger-/Faktorpreise bestimmen somit in erster Linie, mit welcher Intensität (Höhe des Inputs) die landwirtschaftliche Produktion gefahren wird.

"WSG-Intensität"

Es sollte versucht werden, Produktionsverfahren zu beschreiben, die umweltverträgliche Anbaumaßnahmen vorsehen, ohne völlig auf den Einsatz von chemischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zu verzichten.

Die Beschreibung der Produktionsverfahren orientiert sich an den Bewirtschaftungsauflagen für Wasserschutzgebiete (WSG), wie sie vom Land Baden-Württemberg in der SCHALVO beschrieben sind (SCHALVO 1987); die Anlehnung erfolgt hierbei an die Schutzzone III.

Düngung:

Die Düngung ist nach den Grundsätzen einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung auszurichten, unter Berücksichtigung der standortgerechten Ertragserwartung und der Nährstofflieferung aus dem Boden.

a) Mineralische Düngung:

<u>N-Düngung:</u>

<u>Ziel:</u> Der Nitrat-Bodengrenzwert von 45 kg N/ha (leichte Böden 0 - 90 cm, schwere Böden 0 - 60 cm) nach Vegetationsende soll nicht überschritten werden.
Für humose Böden (Humusgehalt > 3 % in 0 - 30 cm) gilt dies nicht; dies trifft ebenfalls nicht zu, wenn Vergleichsflächen zeigen, daß auch bei Beachtung der Bewirtschaftungsregeln die Einhaltung des Nitrat-Bodengrenzwertes nicht möglich war.

Die zulässige Stickstoffmenge (Düngermenge) je Kultur errechnet sich wie folgt, ausgehend vom "standortgerechten" Ertrag:

Gesamtentzug (bei standortgerechtem Ertrag)

- N_{min}-Vorrat im Boden

= ordnungsgemäße Düngung

- 20 % Risikoabschlag ("Vorsorgegründe")

= **N-Düngung in Schutzgebieten**

Stickstoff aus der organischen Düngung ist der Gesamtstickstoffgabe anzurechnen, wie dies in der SCHALVO aufgeschlüsselt ist. Die Zeitspannen, in denen keine N-Ausbringung erfolgen darf, sind dort ebenfalls fixiert.

Es besteht ein Verbot des Aufbringens von N-haltigen Handelsdüngern auf Dauergrünland vom 15.10. bis 01.02., auf sonstigen Flächen vom 01.10. bis 15.02.

Grunddüngung (P, K):
Beschränkungen sind hier nicht explizit vorgegeben; die Düngung sollte jedoch bedarfsgerecht und somit ausgerichtet nach den Grundsätzen der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung erfolgen.

b) Organische Düngung:

Die Nährstoffe der organischen Düngung sind nach den Vorgaben der SCHALVO (siehe N-Düngung) der Gesamtdüngung anzurechnen.

Verbot des Aufbringens von Jauche, Gülle, Klärschlamm auf Dauergrünland vom 15.10. bis 01.02., auf sonstigen Flächen vom 01.10. bis 15.02.

Verbot des Aufbringens von Festmist auf Ackerland vom 15.11. bis 01.02.

c) Pflanzenschutz:

Es dürfen nur die Wirkstoffe eingesetzt werden, die im Positivkatalog der SCHALVO aufgeführt sind. Die Empfehlungen des integrierten Pflanzenbaus, wie z.B.
- Anbau resistenter Sorten
- Bekämpfung nach Schadschwellenkonzepten
- Anwendung biologischer Bekämpfungsmaßnahmen

sind mit zu beachten.

d) Bodenbearbeitung:

Die Bodenbearbeitung ist auf das unbedingt erforderliche Maß zu begrenzen; auf leichten und humosen Böden darf im Spätsommer nur eine flache Bodenbearbeitung erfolgen.

e) Fruchtfolge:

Umbruchverbot für Dauergrünland (= Grünland > 4 Jahre Nutzung).

Es ist eine möglichst vielseitige, standortgemäße Fruchtfolge mit langer (ganzjähriger) Bodenbedeckung anzustreben.
Dies soll vor allem durch den Anbau von Zwischenfrüchten (jedoch keine Leguminosen) und ohne Einarbeitung im Herbst (falls keine Winterung nachgebaut wird) erfolgen.

f) Einkommensausgleich:

Als Einkommensausgleich wird analog zu den SCHALVO-Regelungen für die gegenwärtigen Produktionsverfahren eine Flächenpauschale von 310,- DM/ha angesetzt.
Für 2005 wird aufgrund steigender Faktorpreise (Pflanzenschutzmittel, Düngemittel) eine Flächenpauschale von 350,- DM/ha unterstellt.

"N-Abgabe"

Durch die Verteuerung des Stickstoffs sollen die Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und somit die damit einhergehenden Umweltbelastungen noch stärker als bei der "WSG-Intensität" vermindert werden (vgl. KÖHNE 1990, SRU 1985, WEINSCHENCK und WERNER 1989, WERNER und DABBERT 1990).

Damit ist tendenziell auch eine Verminderung der Grunddüngung (P, K) und des Einsatzes an Pflanzenschutzmitteln verbunden. Organische N-Dünger (Gülle) werden hierdurch ebenfalls termin- und mengengerechter als bisher eingesetzt. Die Ausbringung sollte auf 1,5 Dungeinheiten (DE) pro ha LF beschränkt bleiben, um der schwer kalkulierbaren Pflanzenverfügbarkeit des organischen Stickstoffs Rechnung zu tragen.

Um merkliche Effekte erzielen zu können (vgl. WEINSCHENCK und WERNER 1989), wird auf mineralischen N-Dünger eine N-Abgabe von 300 % (= Vervierfachung der N-Preise) erhoben. Der mineralische Stickstoff kostet somit in 2005 rund 5 DM/kg Stickstoff. Der organische Stickstoff wurde aufgrund der unterstellten N-Verfügbarkeit (60 %) nur mit einer N-Abgabe von 180 % belastet.

Um die damit verbundenen Einkommensbeeinträchtigungen abzumildern, sind Ausgleichszahlungen pro ha LF (= produktionsneutral) vorgesehen. Ihre Höhe (= einheitlicher Festbetrag) er-

gibt sich aus der Umlegung des Abgabenaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland auf die LF.

Nach Abschätzungen von RAUMIS (HENRICHSMEYER et al. 1992) ergibt sich vor dem Hintergrund dieser Annahmen ein Aufkommen aus der N-Abgabe von rd. 300,- DM/ha LF (theoretisch für 1987) bzw. von rd. 350,- DM/ha LF (2005).

Unter Berücksichtigung der geringeren Ertragsverhältnisse und somit geringeren N-Düngung in den neuen Bundesländern (NBL) wurde für die Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) von einem Einkommensausgleich von rd. 250,- DM bzw. 300,- DM/ha LF ausgegangen.

Auswirkungen der unterschiedlichen Produktionsintensitäten

In Tabelle III.1-3 ist exemplarisch für W-Weizen und W-Raps dargestellt, welchen Einfluß, unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen, die drei Produktionsintensitäten Hohe Intensität, WSG-Intensität und N-Abgabe auf das Ertrags- und N-Düngungsniveau haben.

Beim Vergleich - insbesondere der WSG-Intensität und der N-Abgabe - wird sowohl bei W-Weizen als auch bei W-Raps deutlich, daß das Ausmaß der Rückwirkung dieser Intensitäten auf das Düngungs- und Ertragsniveau sehr unterschiedlich ausfällt, je nachdem, ob die gegenwärtigen oder die Rahmenbedingungen für 2005 zugrunde gelegt werden (vgl. Tab. III.1-1 und III.1-2).

Unter gegenwärtigen (1987) Rahmenbedingungen führt die im Vergleich zu 2005 noch günstigere Relation von Erzeugerpreis zu Faktorpreis dazu, daß eine N-Abgabe von 300 % unter durchschnittlichen Ertragsverhältnissen, z.B. die N-Düngung bei W-Weizen auf rd. 63 % bzw. den Ertrag auf 90 % reduziert (vgl. Tab. III.1-3), verglichen mit der Hohen Intensität. Bei der WSG-Intensität geht dagegen die N-Düngung auf 54 % bzw. das Ertragsniveau auf 87 % zurück.

Die WSG-Intensität führt somit unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen zu einer stärkeren Reduzierung der Produktionsintensität als eine N-Abgabe von 300 % (N-Preis: rd. 4,50 DM/kg N). Für W-Raps trifft dies in ähnlicher Weise zu.

Unter den Rahmenbedingungen für 2005 - real sinkende Erzeugerpreise, aber real konstante bzw. steigende Faktorpreise (bzw. -kosten) - drehen sich diese Verhältnisse um.

Eine N-Abgabe von 300 % führt bei W-Weizen unter durchschnittlichen Ertragsverhältnissen dazu, daß die N-Düngung auf rd. 51 % und der Ertrag auf rd. 80 % zurückgehen, gemessen an der Hohen Intensität. Bei der WSG-Intensität geht da-

gegen die N-Düngung bzw. das Ertragsniveau nur auf rd. 64 % bzw. 87 % zurück. Eine N-Abgabe von 300 % führt somit unter diesen Rahmenbedingungen zu stärkeren Rückwirkungen auf das N-Düngungs- und Ertragsniveau als die WSG-Intensität. Bei einer N-Abgabe von nur 200 % würden dagegen das N-Düngungs- und Ertragsniveau wieder über dem Niveau der WSG-Intensität liegen.

Auf den Standorten mit niedrigerem Ertragsniveau (s. KTBL-L1) sind die Auswirkungen der N-Abgabe auf das N-Düngungs- und Ertragsniveau aufgrund einer etwas schlechteren N-Ausnutzung durch die Pflanzen stärker als bei Standorten mit höherem Ertragsniveau (s. KTBL-L5).

Bei allen nachfolgenden Darstellungen wurde zur Vereinfachung auf die Darstellung der Produktionsverfahren nach der WSG-Intensität verzichtet, da die Auswirkungen einer Verschärfung der Rahmenbedingungen in Richtung einer umweltverträglicheren landwirtschaftlichen Produktion auch am Beispiel der Intensität "N-Abgabe" dargestellt werden können. Außerdem steht diese Variante in einer breiteren öffentlichen Diskussion als die WSG-Intensität.

Nach dieser eingehenden Beschreibung der unterstellten Intensitäten der landwirtschaftlichen Produktion, wird im nachfolgenden Kapitel erläutert, wie bei der Ableitung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren vorgegangen wurde. Hierbei stehen vor allem die Übertragung der Produktionsverfahren auf unterschiedliche Standorte (Ertragsverhältnisse) und die Ableitung der Produktionsverfahren für 2005 im Vordergrund, unter Diskussion pflanzenzüchterischer und technischer Entwicklungen. Für die damit verbundene, teilweise sehr modellhafte Vorgehensweise waren N-Ertragsfunktionen von zentraler Bedeutung.

Tabelle III.1-3: **Vergleich der drei Produktionsintensitäten Hohe Intensität, WSG-Intensität und N-Abgabe bei W-Weizen und W-Raps: Auswirkungen auf das Ertrags- und N-Düngungsniveau**

Vergleich der Produktionsintensitäten		Gegenwart (1987)			2005		
		Durchschnitt	KTBL-L 5	KTBL-L 1	Durchschnitt	KTBL-L 5	KTBL-L 1
I W-Weizen:							
1. Hohe Intensität							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**395**			**245**		
Ertragsabhängige Kosten [1]	(DM/t)	**94**			**89**		
Ertrag	(t/ha)	**6,43**	7,97	5,08	**8,48**	10,54	6,67
N-Düngung	(kg N/ha)	**180**	209	154	**202**	237	170
2. WSG-Intensität							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**395**			**295**		
Ertragsabhängige Kosten	(DM/t)	**105**			**108**		
Ertrag	(t/ha)	**5,57**	7,05	4,28	**7,41**	9,42	5,67
N-Düngung	(kg N/ha)	**98**	121	77	**129**	160	102
3. N-Abgabe (in % des N-Preises) [2]							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**395**			**295**		
Ertragsabhängige Kosten	(DM/t)	**94**			**108**		
a) N-Abgabe (100 %)							
Ertrag	(t/ha)	**6,31**	7,84	4,96	**8,19**	10,22	6,40
N-Düngung	(kg N/ha)	**158**	185	133	**174**	207	144
b) N-Abgabe (200 %)							
Ertrag	(t/ha)	**6,10**	7,62	4,76	**7,62**	9,60	5,87
N-Düngung	(kg N/ha)	**135**	161	112	**139**	169	111
c) N-Abgabe (300 %)							
Ertrag	(t/ha)	**5,81**	7,30	4,49	**6,82**	8,73	5,13
N-Düngung	(kg N/ha)	**113**	137	90	**104**	131	79
II W-Raps:							
1. Hohe Intensität							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**980**			**450**		
Ertragsabhängige Kosten	(DM/t)	**196**			**174**		
Ertrag	(t/ha)	**3,11**	3,61	2,67	**4,25**	4,95	3,65
N-Düngung	(kg N/ha)	**180**	197	166	**195**	216	176
2. WSG-Intensität							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**980**			**545**		
Ertragsabhängige Kosten	(DM/t)	**219**			**214**		
Ertrag	(t/ha)	**2,54**	3,01	2,13	**3,54**	4,21	2,96
N-Düngung	(kg N/ha)	**83**	96	71	**113**	132	97
3. N-Abgabe (in % des N-Preises) [2]							
Erzeugerpreis	(DM/t)	**980**			**545**		
Ertragsabhängige Kosten	(DM/t)	**196**			**214**		
a) N-Abgabe (100 %)							
Ertrag	(t/ha)	**3,08**	3,57	2,64	**4,09**	4,78	3,49
N-Düngung	(kg N/ha)	**165**	181	150	**167**	187	149
b) N-Abgabe (200 %)							
Ertrag	(t/ha)	**3,02**	3,52	2,59	**3,77**	4,44	3,18
N-Düngung	(kg N/ha)	**149**	165	135	**132**	151	115
c) N-Abgabe (300 %)							
Ertrag	(t/ha)	**2,95**	3,44	2,51	**3,32**	3,98	2,74
N-Düngung	(kg N/ha)	**134**	149	119	**98**	115	81

[1] Jeweils ohne Kosten für die N-Düngung [2] N-Preis: 1987: 1,11 DM/kg N; 2005: 1,22 DM/kg N

1.3 Ableitung der Produktionsverfahren

Übertragung auf unterschiedliche Ertragsverhältnisse

Wie bereits ausgeführt, baut die Ableitung der Produktionsverfahren auf der Auswertung von Schlagkarteien auf, die in der Regel jedoch nur von überdurchschnittlich gut geführten Betrieben vorliegen (ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1990/91). Zur Anpassung dieser überdurchschnittlichen Verhältnisse an den nationalen Durchschnittsertrag (STATISTISCHES BUNDESAMT) wurde ein Management- bzw. Anpassungsfaktor berücksichtigt, der sich aus dem Verhältnis des nationalen Durchschnittsertrages zu dem ermittelten Durchschnittsertrag der Stichprobe (Schlagkarteien u.a.) herleitet. Die mit diesem Ertragsniveau verbundene N-Düngermenge wurde unter Berücksichtigung einer in Abhängigkeit vom Ertragsniveau geänderten Stickstoff-Düngereffizienz (Verhältnis N-Entzug zu N-Düngermenge) abgeleitet. Hierbei wurde von der Annahme ausgegangen, daß mit zunehmendem Ertragsniveau (Standortgüte) auch eine bessere Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs (höhere N-Düngereffizienz) verbunden ist. Diese Philosophie wurde auch bei der Ableitung der N-Ertragsfunktionen für 2005 beibehalten. Alle übrigen Faktoren, wie beispielsweise Aufwand für die Grunddüngung (P, K) oder Pflanzenschutz, wurden linear zum Ertrag fortgeschrieben, ausgehend von den in den Schlagkarteien vorgefundenen Verhältnissen. Dies betrifft insbesondere auch die direkt ertragsabhängigen Aufwendungen, wie z.B. Kosten für Trocknung oder Versicherung.

Differenzierung der Produktionsverfahren nach Ertragsniveau

Für die Ableitung der ökonomischen Kennwerte der Produktionsverfahren in der Pflanzenproduktion ist von entscheidender Bedeutung, von welchem standortgegebenen Ertragsniveau ausgegangen wird. Abbildung III.1-1 gibt einen Überblick über die vor allem durch die Bodenart (Ackerzahl) bestimmte Ertragsdifferenzierung in der Bundesrepublik Deutschland, wie sie sich auf Kreisebene darstellt.

Als Basis für die Differenzierung der zugrundeliegenden Ertragsverhältnisse für die Ableitung der Produktionsverfahren wurden die Leistungsklasse 1 (= sehr gering), Leistungsklasse 3 (= durchschnittlich) und Leistungsklasse 5 (= sehr gut) herangezogen, wie sie vom KTBL (1990) jährlich abgeleitet werden; bei der Differenzierung wurde das 3-Jahresmittel 1986-88 zugrunde gelegt. Diese drei Leistungklassen (Ertragsklassen) repräsentieren einen Flächenanteil an der jeweiligen Anbaufläche von 15 % (Leistungsklasse 1), 30 % (Leistungsklasse 3) und 15 % (Leistungsklasse 5).

In Tabelle A III.1-3 (Anhang) ist zusammenfassend dargestellt, wie sich diese Leistungs- bzw. Ertragsklassen für die wichtigsten Kulturarten unterscheiden. Im Mittel über alle betrachteten Kulturarten liegt die Leistungsklasse 1 um rd. 20 % unter bzw. die Leistungsklasse 5 um rd. 20 % über dem Ertragsniveau der Leistungsklasse 3, die durchschnittliche Ertragsverhältnisse repräsentiert.

Diese drei Leistungsklassen stehen somit repräsentativ für ungünstige, durchschnittliche bzw. günstige Ertragsverhältnisse.

Für alle Kulturen, für die keine Differenzierung der Ertragsverhältnisse nach KTBL vorliegt, wurde die Abstufung zugrunde gelegt, die sich im Mittel über alle betrachteten 15 Kulturen ergibt.

Stickstoff-Ertragsfunktionen

Stickstoff-Ertragsfunktionen wurden bei den meisten hier angeführten Pflanzenarten (z.B. für W-Weizen, W-Raps, Zuckerrüben) für die Beschreibung der Produktionsverfahren angewandt. Für das Produktionsverfahren Miscanthus mußte auf die Ableitung von N-Ertragsfunktionen verzichtet werden, da eine belastbare Datenbasis für die Ableitung derzeit noch nicht verfügbar ist.

Für Stroh erübrigt sich die Ableitung einer N-Ertragsfunktion, da es ein Nebenprodukt der Getreideproduktion ist und sich die Verfahren der Getreideproduktion unter den derzeitigen und für 2005 unterstellten Rahmenbedingungen nach der Optimierung des Kornertrages und nicht des Strohertrages ausrichten.

Ausgangspunkt für die Beschreibung der gegenwärtigen Produktionsverfahren waren die Durchschnittserträge 1986-88. Hierdurch sollten die jahresbedingten Ertragsschwankungen etwas geglättet werden.

Dabei wurde unterstellt, daß unternehmerisch geführte Betriebe, bezogen auf die unterstellte N-Düngereffizienz, langfristig mit optimaler spezieller Intensität wirtschaften und suboptimale Intensitäten normal verteilt sind (vgl. ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1990/91). Unter dieser Annahme sind die angeführten Erträge somit Erträge, die bei optimaler spezieller N-Düngungsintensität erreicht werden.

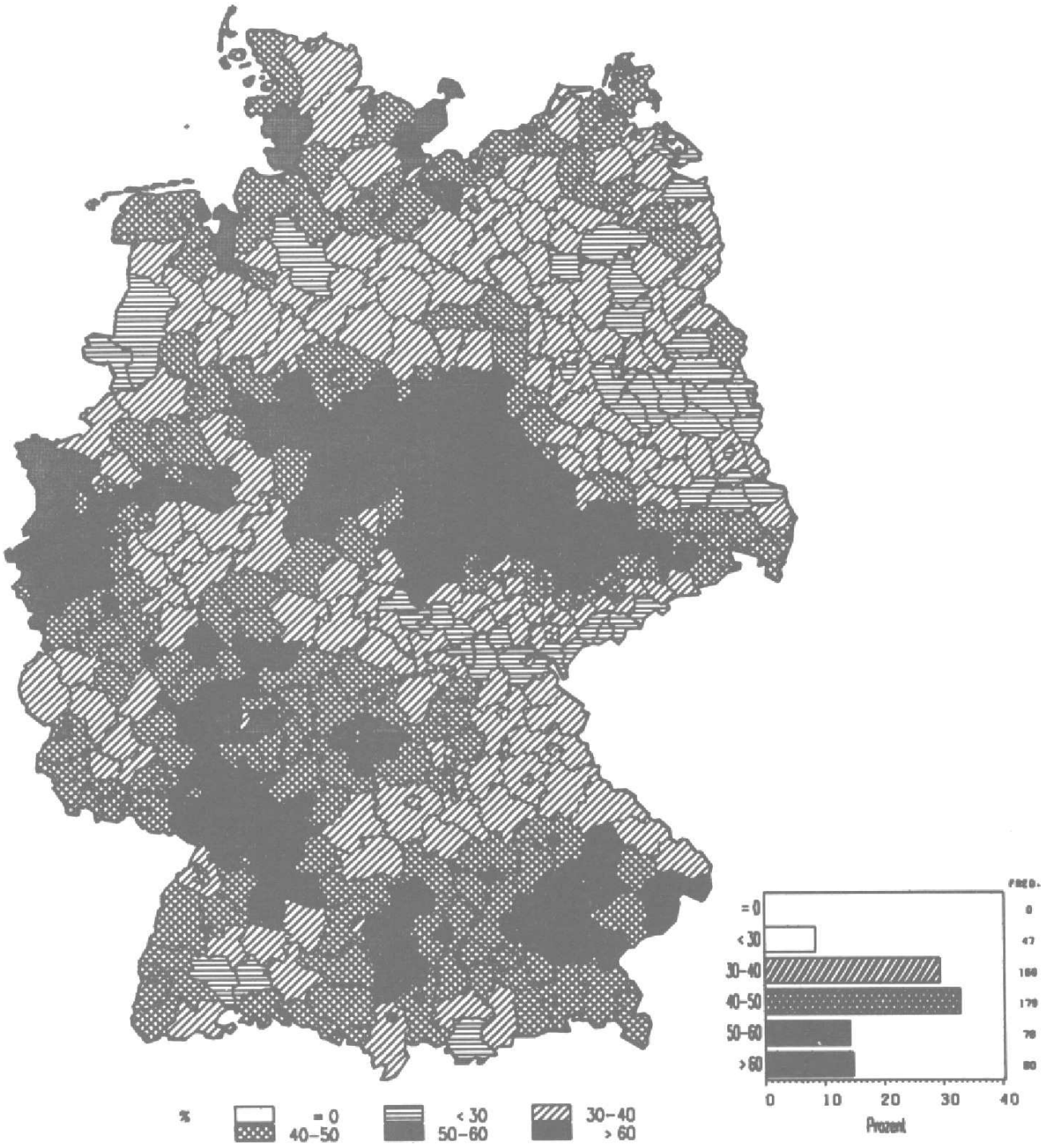


Abbildung III.1-1: **Differenzierung der Ertragsfähigkeit der Kreise der Bundesrepublik Deutschland nach der Bodenklimazahl bzw. Ackerzahl**

Der unterstellte Ertragsfortschritt bis 2005, bedingt durch Züchtung und Produktionstechnik, wurde auf dem gegenwärtig maximal möglichen Ertrag (Y_{max}) aufgesetzt. Hierzu mußten zunächst, ausgehend von den gegenwärtig gegebenen Erträgen bei optimaler spezieller Intensität (Y_{opt}), die entsprechenden Y_{max}-Werte abgeleitet werden. Diese Werte (Y_{max}) wurden unter Berücksichtigung der unterstellten Ertragsentwicklung bis 2005 fortgeschrieben. Anschließend wurden in Abhängigkeit von den unterstellten Rahmenbedingungen für 2005, insbesondere von den Faktor- und Erzeugerpreisen, die hiervon abhängigen optimalen Erträge (Y_{opt}) abgeleitet und das damit in Zusammenhang stehende Produktionsverfahren beschrieben.

Bei der Ableitung der optimalen speziellen Intensität der N-Düngung anhand der N-Ertragsfunktion wurden alle ertragsabhängigen Kosten, wie beispielsweise die anteiligen Kosten für Grunddüngung (bemessen am Entzug), Pflanzenschutz, Versicherung, Trocknung und Zinsansatz für das Umlaufkapital, berücksichtigt. Die proportionalen Kosten für die N-Düngung wurden bei dieser Vorgehensweise separat zugerechnet und sind in den ertragsabhängigen Kosten nicht enthalten.

Als N-Ertragsfunktion wurde von einer quadratischen Produktionsfunktion ausgegangen. Ausgangspunkt für das normative Schätzmodell von Produktionsfunktionen sind der Basisertrag (Y_0), der ohne ertragssteigernde Hilfsmittel (z.B. N-Düngung, Pflanzenschutz) erreicht wird, und der optimale Ertrag (Y_{opt}), der aus den verfügbaren empirischen Daten (Schlagkarteien) bestimmt wurde. Für die Fixierung von Y_0 (in Abhängigkeit von Y_{max}) wurde auf Ergebnisse von GEBHARD (1986) zurückgegriffen. Soweit entsprechende Werte nicht verfügbar waren, wurde das empirisch festgestellte Ertragsniveau organisch-biologisch wirtschaftender Betriebe herangezogen.
Die Y_0-Werte für 2005 wurden nicht fortgeschrieben, sondern sind identisch mit den gegenwärtigen Werten.

Produktionsverfahren in 2005

Die Projektion der Produktionsverfahren nach 2005 setzt neben den oben beschriebenen Szenarioansätzen für die Rahmenbedingungen eine Diskussion der pflanzenzüchterischen und technischen Entwicklungen voraus, die bis zum Jahre 2005 zu deutlich veränderten Produktionsverfahren führen dürften, verglichen mit der Gegenwart. Diese Entwicklungen können zu einem deutlich höheren Ertragsniveau, einem effizienteren Faktoreinsatz und nicht zuletzt zu einer umweltverträglicheren Produktion führen.

Die Rahmenbedingungen für 2005 (vgl. Tab. III.1-1 und III.1-2), wie z.B. Erzeugerpreisniveau, Faktorpreise oder Auflagen bei der Produktion (s. Intensitäten

der Produktion), bestimmen maßgeblich, in welchem Umfang züchterische und technische Möglichkeiten in der Entwicklung genutzt werden und in der Praxis zum Tragen kommen. Beispiele hierfür aus der Pflanzenzüchtung sind die beiden Zuchtziele Ertragssteigerung und Resistenzzüchtung. Während unter marktwirtschaftlich orientierten Rahmenbedingungen (Hohe Intensität) das Zuchtziel Ertragssteigerung im Vordergrund steht, dürfte unter stärker umweltorientierten Rahmenbedingungen (N-Abgabe) der Resistenzzüchtung ein deutlich größeres Gewicht eingeräumt werden.

Pflanzenzüchterische Entwicklungen

Die Pflanzenzüchtung kann, insbesondere auch in zunehmendem Maße über bio- und gentechnologische Methoden, zu Steigerungen von Ertrag und Effizienz (z.B. Wasser-, Nährstoff-Ausnutzung) führen, andererseits können die Resistenzeigenschaften und die Produktqualität verbessert werden. Hierbei können die Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung, Fortschritte zu realisieren, je nach Pflanzenart sehr verschieden sein, beispielsweise aufgrund des bereits erreichten Züchtungsniveaus (-technik) oder der verfügbaren genetischen Variabilität dieser betrachteten Pflanzenart.

Die Erhöhung der Erträge durch die Pflanzenzüchtung kann mit der Erhöhung der Photosyntheseleistung, der Verbesserung der Effektivität der Photosynthese und somit mit der Erhöhung der Nettophotosyntheserate der betrachteten Pflanzenart zusammenhängen.

Maßgeblich ist hier vor allem die bessere züchterische Anpassung der Pflanzenarten an die gegebenen Standortbedingungen (Tageslänge, Temperatur, Wasserversorgung), die insbesondere bei den bisher kaum züchterisch bearbeiteten NR-Pflanzen (z.B. Miscanthus, Arznei- und Gewürzpflanzen, Zuckerhirse, Topinambur) zu deutlich höheren und stabileren Erträgen führen dürfte.

Die im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt diskutierten Auswirkungen auf das Klima (höhere Jahrestemperaturen, temporäre Trockenheiten) wurden bei der Ableitung des Ertragsniveaus für 2005 nicht berücksichtigt. Pflanzenarten, die sich durch ein hohes Wärmebedürfnis und Trockenheitstoleranz auszeichnen, wie z.B. Körnermais oder Hirse, dürften unter diesen Rahmenbedingungen gewisse Standortvorteile gewinnen.

Die effektivere Nutzung des pflanzenverfügbaren Wassers, durch Verbesserung des Transpirationskoeffizienten und der Trockenheitstoleranz bei temporär auf-

tretendem Wassermangel, kann ebenfalls zu weiteren Ertragssteigerungen führen, insbesondere wenn Wasser zum knappen Faktor wird.

In ähnlicher Weise trifft dies auch auf die Pflanzennährstoffe (N, P, K) zu, die durch effizientere Nutzung (Aneignungsvermögen) durch die Pflanzen geringere Umweltbelastungen bedingen würden.

Das Zuchtziel "Nährstoffaneignungsvermögen" und das Schlagwort "low-input-Sorten" könnten insbesondere unter stark umweltorientierten Rahmenbedingungen an Bedeutung gewinnen.

Die Übertragung der Fähigkeit zur symbiontischen N-Fixierung auf Nichtleguminosen (z.B. Getreide), um die sich derzeit viele Pflanzenphysiologen bemühen, ist ebenfalls ein interessantes Ziel zur "Verbesserung" der Pflanzenarten, unabhängig von den gesetzten Rahmenbedingungen.

Die züchterische Verbesserung der Qualität der Ernteprodukte, wie z.B. Erhöhung der Gehalte essentieller Aminosäuren (Nahrungs-/Futterpflanzen), interessanter Fettsäuren (z.B. Ölsäure, Erucasäure) oder generell wertvoller Inhaltsstoffe (z.B. Arznei- und Gewürzpflanzen) sind ein weiteres wichtiges Zuchtziel. Die zunehmende Bedeutung der Gentechnologie kann hier sicherlich wertvolle Beiträge leisten. Voraussetzung hierfür ist vor allem eine klare Definition der Qualitätsanforderungen für die Be-/Verarbeitung und Verwendung der Rohstoffe, damit sich die Züchtung hierauf bei der Fixierung und Gewichtung der Zuchtziele einstellen kann.

Generelles Ziel der Resistenzzüchtung ist es, die Pflanze gegenüber Streßfaktoren (Krankheiten, Schädlinge, Trockenheit, usw.) weniger anfällig zu machen, um somit z.B. auf bestimmte Pflanzenschutzmaßnahmen verzichten zu können. Zur Vereinfachung der Produktionstechnik wird in diesem Zusammenhang beispielsweise die Entwicklung herbizidresistenter Kulturpflanzen diskutiert, um in größerem Umfang als bisher Breitbandherbizide einsetzen zu können. Bei den Getreidearten scheinen die Voraussetzungen für die erfolgreiche Züchtung auf Herbizidresistenz zu einem geringeren Teil gegeben zu sein (NIEMANN 1989) als z.B. bei Zuckerrüben.

Die Arbeiten zur Entwicklung von Resistenzen gegenüber Schädlingen stehen im Gegensatz zur Resistenzzüchtung bei Pilzkrankheiten noch weitgehend am Anfang. Hier werden vor allem alternative Bekämpfungsmöglichkeiten (biologischer Pflanzenschutz) in Zukunft zunehmende Bedeutung erfahren.

Fortschreibung der Erträge bis 2005

Die Fortschreibung der Erträge bis 2005 baut auf dem jeweiligen Durchschnittsertrag von 1986 bis 88 auf. Durch die Berücksichtigung dieses 3-Jahresmittels soll vermieden werden, daß die züchterisch und technisch bedingten Ertragszuwächse und darauf aufbauend die Ableitung der Erträge für 2005 auf statistisch unsicheren Jahreserträgen beruhen; jahresbedingte Ertragsschwankungen werden hierdurch geglättet.

Basis für die Fortschreibung der Erträge bis 2005 ist der für die Gegenwart abgeleitete maximale Ertrag (Y_{max}) der jeweiligen Ertragsklasse. Da für die gegenwärtigen Erträge davon ausgegangen wurde, daß die Landwirte im Durchschnitt bei optimaler spezieller Intensität wirtschaften und somit die in der Statistik ausgewiesenen Erträge unter den gegebenen Rahmenbedingungen optimale Erträge (Y_{opt}) darstellen, wurden zunächst die korrespondierenden Ertragsmaxima (Y_{max}) abgeleitet. Die Ertragsdifferenzierung in drei Ertragsklassen wurde auch für 2005 beibehalten.

In welchem Ausmaß sich die Erträge bis 2005 steigern lassen, hängt vor allem davon ab, inwieweit die Pflanzenzüchtung und die Produktionstechnik hierzu die technischen Voraussetzungen schaffen. Inwieweit dieses technisch mögliche Ertragspotential in der Praxis realisiert wird, hängt maßgeblich von den Rahmenbedingungen (z.B. Faktor-/Erzeugerpreise, Produktionsauflagen) ab, unter denen in 2005 die landwirtschaftliche Produktion stattfindet.

Basierend auf einer von AFAS 1990/91 durchgeführten Umfrage bei Züchtern, die in der Forschung und in praktischen Zuchtbetrieben tätig sind, wurde die den Produktionsverfahren jeweils zugrundegelegte Ertragsentwicklung bis 2005 als Mittelwert aus diesen Nennungen abgeschätzt (s. Tab. III.1-4). In dieser Umfrage waren als Rahmenbedingungen vorgegeben, daß die landwirtschaftliche Produktion in 2005 auf einem günstigen Standort (Ackerzahl > 60) und bei Hoher Intensität erfolgt, die Erzeugerpreise real auf 70 % des gegenwärtigen (1990) Niveaus absinken und die Faktorpreise real konstant bleiben. Außerdem sollte von größeren Betriebseinheiten (150 ha) und einer Verbesserung des betrieblichen Managements ausgegangen werden.

Für die Übertragung dieser ermittelten prozentualen Ertragszuwächse pro Jahr (in % des Durchschnittsertrages 1986-88) wurde unterstellt, daß sie in gleicher Größenordnung auf die unterschiedlich ertragsfähigen Standorte anzuwenden sind.

Tabelle III.1-4: **Abschätzungen zum linearen Ertragszuwachs bei den wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen bis 2005**

Ertragszuwachs bis 2005	Ertrag (dt/ha) [1] (Gegenwart, Hohe Intensität)	linearer Ertragszuwachs [2] [3] pro Jahr bis 2005 (in % des Ø Ertrages der Gegenwart)
Winterweizen	73	1,9
Sommerweizen	63	1,5
Wintergerste	65	1,7
Sommergerste (Braugerste)	47	1,5
Winterroggen	59	2,0
Hafer	62	1,0
Triticale	67	1,8
Körnermais	80	2,0
CCM (MJ NEL/ha) [4]	11 500	2,0
Silomais (MJ NEL/ha) [4]	82 400	1,7
Ackerbohne	45	1,7
Körnererbse	42	1,9
Lupine	25	1,5
Sojabohne	29	1,5
W-Raps	34	2,2
Sonnenblume	32	2,2
Öllein	20	0,9
Flachs (Faserertrag)	1,7	1,0
Früh-Kartoffeln	250	1,6
Spät-Kartoffeln	400	1,8
Zuckerrüben	570	1,5
Eingesäte Ackerfläche	150	1,0
Grünland / Wiese	110	0,8

1) Ertragsverhältnisse (Basis 1987) am günstigen Standort (AZ > 60), zusammengestellt nach Auswertungen von ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1990/91).

2) Die Abschätzung des linearen Ertragszuwachses bis 2005 erfolgte durch Auswertung der bisherigen Ertragsentwicklung, insbesondere aber durch die Befragung von Experten aus der Pflanzenzüchtung, die von AFAS 1990/91 durchgeführt wurde.

3) Bezogen auf das Ertragsniveau der Gegenwart (100 %) würde somit beispielsweise in 2005 das Ertragsniveau für Winterweizen bei rd. 134 % liegen.

4) NEL: Netto-Energie-Laktation

Zum Vergleich ist in Tabelle A III.1-4 (Anhang) dargestellt, wie sich bisher die Erträge der wichtigsten Kulturarten seit Anfang der 50er Jahre bis heute entwickelten, wobei vor allem auf die Auswertung von SCHUSTER et al. (1982) zurückgegriffen wurde, ergänzt um aktuellere Auswertungen. Diese Darstellung läßt erkennen, daß sich die absolute jährliche Mehrleistung, insbesondere bei den flächenstarken Kulturen, die einen hohen Saatgutbedarf und somit hohe Sortenlizenzen versprechen, auch im vergangenen Jahrzehnt (1981bis1989) noch deutlich erhöht hat, verglichen mit davor liegenden Zeiträumen. Dies trifft insbesondere auf W-Raps, W-Weizen, W-Gerste und W-Roggen zu.

Beim Vergleich der Kulturarten hinsichtlich ihrer bisherigen Ertragsentwicklung und des nach Expertenbefragung abgeleiteten durchschnittlichen jährlichen Ertragszuwachses (in % des Durchschnittsertrags 1986-1988) bis 2005 zeigt sich folgendes:

- Bei allen wichtigen Kulturpflanzen, wie z.B. W-Weizen, W-Gerste, W-Roggen, W-Raps, Kartoffeln oder Zuckerrüben, können die im Durchschnitt von 1970 bis 1989 realisierten Ertragszuwächse pro Jahr auf dem Weg nach 2005 nicht mehr in diesem Umfang angesetzt werden (vgl. Tab. III.1-4).

- Die höchsten jährlichen Zuwachsraten (in % des Durchschnittsertrages 1986-1988) bis 2005 erwarten die Experten für W-Raps und Sonnenblumen (jeweils 2,2 %), Körnermais (CCM) und Winterroggen (jeweils 2,0 %) und Winterweizen und Körnererbsen (jeweils 1,9 %).

Technische Entwicklungen

Die technischen, aber auch die organisatorischen Entwicklungen werden bis zum Jahr 2005, in Abhängigkeit von den gesetzten Rahmenbedingungen, zu schwer abschätzbaren Veränderungen bei den Produktionsverfahren führen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Kulturart mußte bei der Quantifizierung dieser Entwicklungen mit entsprechenden Annahmen operiert werden.

Qualitativ wird diese Entwicklung vor allem durch Veränderungen beim Maschinen- und Produktionsmitteleinsatz bestimmt, in Kombination mit weitergehenden Entwicklungen in der Analyse-, Informations- und Steuerungstechnik, bis hin zum verstärkten Einsatz von Expertensystemen (z.B. Optimierung der Düngung und des Pflanzenschutzes). Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, daß die Anforderungen an die Betriebsleiterqualifikation weiterhin zunehmen werden.

Der Umfang des Maschineneinsatzes in der pflanzlichen Produktion wird wesentlich geprägt durch

- die Art der Produktionsverfahren (Produktionsintensität) und

- die Flächenstruktur der Betriebe (Schlaggröße, Hof-Feld-Entfernung).

Für die Höhe der Maschinenkosten sind zusätzlich die

- Betriebsgrößenstruktur und
- die Entwicklung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes (Maschinenring, Maschinengemeinschaft, Lohnunternehmer)

mit entscheidend.

In Tabelle A III.1-1 (Anhang) sind exemplarisch die wichtigsten Maschinen aufgeführt, die bei der Ableitung der variablen Maschinenkosten zugrunde gelegt wurden.

Vor dem Hintergrund zukünftig real sinkender Erzeugerpreise und den real konstanten bis eher steigenden Betriebsmittelpreisen (Faktorpreise) werden die Betriebe zunehmend gezwungen sein, durch Flächenaufstockung (z.B. Pacht) oder überbetrieblichen Maschineneinsatz, die Fixkosten pro Hektar bzw. pro Produkteinheit zu senken. In diesem Bereich bestehen für viele Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland noch hohe Einsparpotentiale (vgl. DOLUSCHITZ und FUCHS 1989). Die zentralen Annahmen hierzu für 2005 sind in den Tabellen A III.1-1 und A III.1-2 zusammengestellt.

Die zunehmende Bedeutung der Mikroelektronik, Informationstechnik und Datenverarbeitung in der Landwirtschaft wird über die Sammlung, Speicherung und Verarbeitung von Meßwerten, Informationen und Wissen zu einer weiteren Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes führen (AUERNHAMMER 1989). Insgesamt kann für 2005 von einer deutlichen Verbesserung des betrieblichen Managements ausgegangen werden.

Bei den Pflegearbeiten, und hier insbesondere beim Pflanzenschutz und bei der Düngung, wird die Qualität dieser Arbeiten durch die Mikroelektronik verbessert, was zu einer effektiveren Verwendung der eingesetzten Pflanzenschutz- und Düngemittel und somit zu reduzierten Umweltbelastungen führt.

Bei der Grunddüngung wurde beispielsweise bei der Ableitung der Produktionsverfahren für 2005 unterstellt, daß sich ihre Höhe ausschließlich am Entzug orientiert und P (P_2O_5) und K (K_2O) zu 90 % bzw. 80 % von der Pflanze aufgenommen werden können.

Durch die Entwicklung neuer, leistungsfähiger und/oder umweltverträglicher Dünge- und Pflanzenschutzmittel (PSM) dürfte in Zukunft verstärkt auf die Verschärfung der Produktionsauflagen zum Schutz der Umwelt eingegangen werden. Hierdurch ist insbesondere bei den PSM mit einer Verteuerung zu rechnen (s. Annahmen zu den Rahmenbedingungen in Tab. III.1-2).

Nach KÖHLER (1989) kann die Effizienzsteigerung bei den PSM durch Erhöhung der Selektivität und Reduktion des Auswaschungspotentials erzielt werden. Entsprechende PSM sind – wenn überhaupt – erst in der zweiten Hälfte der 90er Jahre verfügbar.

Hohe Selektivität weisen vor allem biologische Präparate (z.B. Trichogramma, bzw. Bacillus thuringiensis) auf, die derzeit in erster Linie gegen Schädlinge (Maiszünsler bzw. verschiedene schädliche Raupen) eingesetzt werden. Für die biologische Bekämpfung von Pilzen oder Unkräutern sind noch keine aussichtsreichen Ansätze erkennbar.

Natürliche Regelungsmechanismen zur Begrenzung von z.B. tierischen Schaderregern können ebenfalls an Bedeutung gewinnen, sind jedoch bei der Beschreibung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren kaum zu quantifizieren.

1.4 Kenndaten zur Beschreibung der Produktionsverfahren bzw. Pflanzenarten

Die Basisdaten, die zur Beschreibung der Pflanzenarten bzw. Produktionsverfahren benötigt werden, sind hier nochmals im Überblick angesprochen.

Von den nachfolgend aufgeführten Kenndaten werden nur ausgewählte bzw. stark aggregierte Kenngrößen in den weiteren Schritten der Prozeßkettenanalyse verwandt, die sich auch auf die Bereiche Konditionierung und Rohstoffverwendung erstreckt.

Der interessierte Leser findet jedoch in den Tabellen des Anhangs wesentlich stärker aufgeschlossene Kennwerte, die die allgemeinen Ansprüche der Produktionsverfahren bzw. Pflanzenarten beschreiben (s. Tab. A III.1-5 bis A III.1-7). Vor allem sind die Produktionsverfahren in tiefer Aufgliederung mit ihren technischen und ökonomischen Kenngrößen dargestellt (s. Tab. A III.1-8a bis A III.1-19b). Über diese tabellarische Darstellung hinausgehende Informationen (z.B. allgemeine pflanzenbauliche Aspekte, derzeitige Anbaubedeutung, usw.) finden sich zusätzlich in den Berichten (Materialbände Nr. 4 bis Nr. 17) von ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1990/91). Dort sind auch Produktionsverfahren beschrieben, die mit NR um die Flächennutzung konkurrieren. Diese Berichte waren mit eine der

wesentlichen Grundlagen der von AFAS nachfolgend dargestellten Produktionsverfahren.

Allgemeine Kenndaten

Die wichtigsten allgemeinen Kenndaten zu den jeweiligen Pflanzenarten, wie z.B. Standortansprüche (Temperatur, Niederschlag), Fruchtfolgeanforderungen (Restriktionen, Selbstverträglichkeit), Anforderungen an die Bodenbearbeitung und Pflege, Nährstoffbedarf und Düngung, Pestizideinsatz bis hin zu den Merkmalen Erntezeitpunkt oder Bodenbedeckung sind in den Tabellen A III.1-5 bis A III.1-7 des Anhangs dargestellt und sollen hier nicht weiter kommentiert werden. Diese Tabellen geben einen Überblick zu den NR-Pflanzen, die als Öl-, Stärke-, Zucker- und Lignocelluloseträger in Frage kommen.

Eine nähere Beschreibung dieser allgemeinen pflanzenbaulichen Größen findet sich in der einschlägigen Fachliteratur des Pflanzenbaus (z.B. BROUWER 1972, GEISLER 1988) oder ist den Ausführungen von ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1990/91), zu entnehmen.

Technische und ökonomische Kenndaten der Produktionsverfahren

Die Vorgehensweise und der Grad der Aufschlüsselung bei der Ableitung der für die Produktionsverfahren relevanten Kenngrößen ist in Tabelle III.1-5 am Beispiel W-Raps verdeutlicht. Für alle hier vorgestellten Produktionsverfahren sind im Tabellenanhang (s. Tab. A III.1-8a bis A III.1-19b) in gleicher Aufgliederung die entsprechenden Datenblätter enthalten. Die Hohe Intensität ist in den Tabellen A III.1-8a bis A III.1-19a und die N-Abgabe in den Tabellen A III.-8b-19b dargestellt.

Wie der exemplarischen Aufschlüsselung der Produktionsverfahren für W-Raps bei Hoher Intensität zu entnehmen ist (Tab. III.1-5), erlaubt es diese tiefgegliederte Darstellungsweise, daß alle für die Ableitung der Produktionsverfahren getroffenen Annahmen und Zwischenresultate offengelegt und dem interessierten Leser zur Diskussion gestellt werden können. Die Kenngrößen für die Gegenwart (1987) und 2005 sind für drei verschiedene Ertragsverhältnisse dargestellt. In der Tabelle A III.1-8b findet sich die entsprechende Beschreibung des Produktionsverfahrens nach der Intensität "N-Abgabe". Zusätzlich ist für die WSG-Intensität, das jeweilige Ertrags- und N-Düngungsniveau angegeben, ohne jedoch das davon abzuleitende Produktionsverfahren näher zu beschreiben (s. Tab. III.1-5).

Tabelle III.1-5: **Exemplarische Darstellung zur Aufschlüsselung der technischen und ökonomischen Kenndaten im Pflanzenbau, verdeutlicht am Beispiel W-Raps**

W-RAPS	Gegenwart (1987)						2005					
Hohe Intensität	Durchschnitt techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L5 techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L1 techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	Durchschnitt techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L5 techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L1 techn. Kennd. (kg/ha) (t / ha)	ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	980,00						450,00					
Ertrag (1986-88) (t FM/ha)	**3,11**	3 047,80	3,61	3 535,45	2,67	2 621,11	**4,25**	1 914,23	4,95	2 225,50	3,65	1 641,60
Linear. Ertragszuwachs (% /a)	2,20											
Relation: Durchschn. zu KTBL-L			1,16		0,86				1,16		0,86	
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Fett-/Ölgehalt (% TS)	44,50											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	42,00											
Ölertrag (extr.) (t / ha)	1,19		1,38		1,02		1,63		1,89		1,39	
Verhältnis Haupt- zu Nebenprodukt	3,50						3,10					
Ertrag: Stroh (t FM / ha)	10,88		12,63		9,36		13,19		15,33		11,31	
TS-Gehalt (% FM)	45,00											
Ertrag: INSGESAMT (t TM / ha)	7,73		8,96		6,65		9,81		11,40		8,41	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand (kg / ha)	5,00	50,00										
Energie (GJ / ha)	0,03											
Düngeraufwand (kg / ha)												
N	180,00		196,57		165,50		194,70		216,22		175,60	
P_2O_5	95,00		110,20		81,70		73,12		85,01		62,70	
K_2O	180,00		208,80		154,80		48,39		56,26		41,50	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten (DM / ha)		471,35		523,59		425,64		410,84		455,52		371,42
Energie (GJ / ha)	11,32		12,46		10,33		10,81		11,99		9,77	
PSM-Aufwand (kg / ha)												
Herbizide	2,50	110,00										
Fungizide	1,20	60,00										
Insektizide	2,00	170,00										
Sonstige												
Summe PSM-Kosten		340,00		394,40		292,40		408,00		473,28		350,88
Energie (GJ / ha)	0,66		0,76		0,56		0,66		0,76		0,56	
Variable Maschinenkosten (DM / ha)		181,00		181,71		179,68		175,00		175,97		174,15
dv. Ernte (DM / ha)		54,00						57,00				
dv. Transport (DM / t FM)		1,42						1,41				
Schlepper-h / ha: Sh 1 (h / ha)	5,30		5,30		5,30		3,90		3,90		3,90	
Sh 2 (h / ha)	4,30		4,33		4,24		2,40		2,44		2,37	
dv. Transport (Sh 2) (h / t FM)	0,07						0,05					
Mähdrescher-h / ha (ha / ha)	1,70						1,20					
Treibstoffverbrauch (l / ha)	81,37		81,65		80,84		73,53		73,86		73,24	
Schmierstoff-Verbrauch (l / ha)	1,63		1,63		1,62		1,47		1,48		1,46	
Energie (GJ / ha)	2,92		2,93		2,90		2,64		2,65		2,63	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n. Ernte (% FM)	86,00											
TS-Gehalt n. Trocknung (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		115,07		133,48		98,96		166,96		194,11		143,18
Energie (GJ / ha)	0,90		1,05		0,78		1,24		1,44		1,06	
Versicherung (DM / 1000 DM)	20,00	60,96		70,71		52,42		38,28		44,51		32,83
Zinsansatz f. Umlaufkapital (DM / ha)		45,97		50,85		41,67		45,09		49,97		40,80
Bindungsdauer (Monate)	10,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM / ha)		**1 264,35**		**1 404,74**		**1 140,77**		**1 294,18**		**1 443,36**		**1 163,28**
DECKUNGSBEITRAG (DM / ha)		1783,45		2130,71		1480,34		620,05		782,14		478,34
AKh-Bedarf pro ha	11,40		11,46		11,35		7,50		7,57		7,44	
dv. Ernte (AKh / ha)	1,80						1,20					
dv. Transport (AKh / t FM)	0,12						0,10					
Lohnansatz für AKh (DM / ha)		228,00		229,24		226,91		195,00		196,79		193,44
Pachtansatz (DM / ha)		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial-/Gemeinkosten (DM / ha)		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM / ha)		2 642,35		2 883,98		2 417,68		2 359,18		2 580,15		2 156,70
" (DM / t Saat)		**849,63**		**799,42**		**903,94**		**554,60**		**521,71**		**591,20**
" (DM / t Öl (extr.)		2 223,00		2 091,62		2 365,10		1 451,07		1 365,02		1 546,94
ENERGIE-AUFWAND (GJ / ha)	15,83		17,22		14,60		15,37		16,87		14,05	
" (GJ / t Öl (extr.)	**13,32**		**12,49**		**14,28**		**9,46**		**8,92**		**10,08**	

Tabelle III.1-5: **Exemplarische Darstellung zur Aufschlüsselung der technischen und ökonomischen Kenndaten im Pflanzenbau, verdeutlicht am Beispiel W-Raps**

- Fortsetzung -

W-RAPS Hohe Intensität	Gegenwart (1987)				2005			
	Durchschnitt techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)		KTBL L5 techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L1 techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	Durchschnitt techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)		KTBL L5 techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)	KTBL L1 techn. Kennd. (kg/ha) (t/ha) ökon. Kennd. (DM/t) (DM/ha)
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg / t TS)								
SAAT:								
N	36,60							
P_2O_5	17,00							
K_2O	10,00							
MgO	5,00							
CaO	4,00							
DÜNGERWERT (DM / t TS)		66,76				71,84		
ENERGIE-GUTSCHRIFT (GJ / t TS)	1,95							
STROH:								
N	8,00							
P_2O_5	3,00							
K_2O	14,00							
MgO	2,00							
CaO	20,00							
DÜNGERWERT (DM / t TS)		23,95				25,02		
ENERGIE-GUTSCHRIFT (GJ / t TS)	0,54							
HOHE INTENSITÄT:								
Erzeugerpreis (DM / t)	980,00				450,00			
N-Preis (DM / kg)	1,11				1,22			
ertragsabhängige Kosten (DM / t)		196,07				174,27		
Erzeugpr.- ertragsabhäng. Ko. (DM / t)		783,93				275,73		
Verhältnis Y_0 zu Y_{max}	0,44							
N-ERTRAGSFUNKTION:								
Yo	1,37		1,59	1,18	1,37		1,59	1,18
b	0,01788		0,01908	0,01663	0,02516		0,02658	0,02367
c	-4, 6E-05		-4, 5E-05	-4, 6E-05	-5, 3E-05		-5, 1E-05	-5, 5E-05
Ymax	3,12		3,62	2,69	4,35		5,04	3,74
Nmax	195,48		212,33	180,90	236,28		259,44	216,01
N-Düngereffiz. (N-Entz. / N-Dg.) : Ymax	0,53		0,57	0,49	0, 61		0,65	0,58
Yopt	3,11		3,61	2,67	4,25		4,95	3,65
Nopt	180,00		196,57	165,50	194,70		216,22	175,60
N-Düngereffizienz : Yopt.	0,58		0,61	0,54	0,73		0,76	0,69
WSG-INTENSITÄT:								
Erzeugerpreis (DM / t)	980,00				545,00			
ertragsabhängige Kosten (DM / t)		218,84				214,23		
Erzeugpr.- ertragsabh.Ko. (DM/t)		761,16				330,77		
N (kg / ha)	82,87		96,12	71,26	113,34		131,77	97,20
Y (t / ha)	2,54		3,01	2,13	3,54		4,21	2,96
N-Düngereffizienz	1,02		1,04	1,00	1,04		1,06	1,02
N-ABGABE (+300%):								
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00							
Erzeugerpreis (DM / t)	980,00				545,00			
ertragsabhängige Kosten (DM / t)	196,07					214,23		
Erzeugpr.- ertragsabh.Ko. (DM/t)	783,93					330,77		
Nopt (kg / ha)	133,56		149,31	119,30	97,63		115,33	81,26
Yopt (t / ha)	2,95		3,44	2,51	3,32		3,98	2,74
N-Düngereffizienz : Yopt	0,73		0,77	0,70	1,13		1,15	1,12

Neben den technischen Kenndaten auf der Ertragsseite, wie z.B. Ertrag, TS-Gehalt, Rohstoffgehalt und -ausbeute oder Nebenprodukterträge (z.B. Stroh), sind vor allem die Komponenten des Faktoreinsatzes (z.B. Düngung, Pflanzenschutz, Maschineneinsatz, Trocknung, Versicherung oder Zinsansatz) aufgeschlüsselt dargestellt. Beim Maschinen- und Arbeitseinsatz wurde darauf geachtet, daß die Ernte bzw. Konditionierung (z.B. Pressen von Ballen) und der Transport jeweils getrennt ausgewiesen werden, um nahtlos unterschiedliche Varianten der Konditionierung (insbesondere Pressen von Ballen) und des Transportes (insbesondere Transportentfernungen) anfügen zu können.

Demgegenüber sind bei der vergleichenden Gegenüberstellung der Produktionsverfahren (s. Kap. III.1.5) alle Aufwendungen (Kosten, Energie), die mit der Konditionierung (Pressen von Ballen, Häckseln von Miscanthus), dem Transport und der Trocknung des Erntegutes verbunden sind, nicht in den angeführten Werten enthalten. Sie werden vielmehr in einem zweiten Schritt (vgl. Kap. IV), in Abhängigkeit von den jeweils unterstellten Verwendungslinien der Rohstoffe, hinzuaddiert.

In Ergänzung hierzu sind in den detaillierten tabellarischen Beschreibungen der Produktionsverfahren (s. Beispiel W-Raps) eine geschlossene Deckungsbeitragsrechnung und Vollkostenrechnung wiedergegeben. Diese zusätzliche Darstellungsweise soll Vergleichsmöglichkeiten zur Wettbewerbsfähigkeit zwischen den betrachteten Produktionsverfahren offenhalten, wie dies im landwirtschaftlichen Bereich üblich ist. Der dargestellte Vollkostenansatz, der durchgängig bis zur Verwendung der landwirtschaftlichen Rohstoffe verfolgt wird, läßt für den landwirtschaftlichen Bereich den Vergleich zu, wieweit die unterstellten Erzeugerpreise (s. allgemeine Rahmenbedingungen) tatsächlich die beim Landwirt anfallenden Kosten (frei Ersterfasser) abdecken.

Daß die hierzu nötige Ableitung der festen Spezial- und Gemeinkosten oder die Vergütung des Bodenkapitals (Pachtansatz) mit großen Unsicherheiten verbunden ist, liegt auf der Hand. Die hierzu getroffenen Annahmen wurden bereits erörtert.

Neben den für eine ökonomische Bilanzierung relevanten Kenngrößen sind zusätzlich auch die für eine Energiebilanz (s. Kap. IV.2) nötigen Kennwerte aufgelistet. In Tabelle III.1-6 ist zusammengestellt, von welchen spezifischen Aufwendungen an Prozeßenergie für die Bereitstellung der Inputfaktoren, wie z.B. Saatgut, Düngemittel oder Pflanzenschutzmittel, bei den Kalkulationen ausgegangen wurde.

Tabelle III.1-6: **Faktorspezifischer Aufwand an Prozeßenergie für die Bereitstellung anbaurelevanter Input-Faktoren**

Prozeßenergiebedarf		1987/2005	Literaturstelle
Treibstoff (Dieselkraftstoff)	(MJ/l)	35,1	1
Schmierstoff	"	42,8	2
Saatgut / Pflanzgut:			
W-Weizen	(MJ/kg)	3,5	2
Mais	"	3,4	2
W-Raps	"	5,7	2
Sonnenblumen, Öllein	"	5,7	*
Zuckerrüben	-	unbedeutend	2
Kartoffeln	(MJ/kg)	2,0	*
Grassamen	"	11,0	*
Miscanthus	(MJ/Setzling)	0,3	*
Mineraldünger (Produktion, Lagerung):			
N	(MJ/kg)	46,0	2
P_2O_5	"	10,8	2
K_2O	"	7,2	2
CaO	"	1,8	2
Pflanzenschutzmittel	(MJ/kg)	115,2	2
Beregnung (Treibstoffaufwand)	(MJ/mm)	61,1	*
Trocknung	(MJ/kg H_2O)	5,0	3

1 APFELBECK 1989; 2 OHEIMB et al. 1987; 3 MÜHLBAUER 1988; * Eigener Ansatz

Für die vergleichende Gegenüberstellung (s. Kap. III.1.5) der relevanten Produktionsverfahren sind vor allem drei Größen von Interesse:

- Rohstoff- bzw. Energieertrag pro Hektar,
- Kosten pro Einheit Rohstoff bzw. Energie,
- Energieaufwand pro Einheit Rohstoff bzw. Energie.

Der Vergleich dieser Kenngrößen findet auf einem sehr hoch aggregierten Niveau statt, so daß zur Diskussion dieser Größen auf eine detaillierte Darstellung der Einzelkomponenten nicht verzichtet werden sollte.

Ausgehend von der detaillierten Beschreibung der Produktionsverfahren und den zugrundeliegenden Faktoransprüchen (Boden, Düngung, Pflanzenschutz, usw.) lassen sich die wesentlichen umweltrelevanten Kenndaten ableiten, wie z.B. Nährstoffsalden, Höhe des Pestizideinsatzes oder Bodendrucklasten. Die Ableitung, Zusammenstellung, Diskussion und Bewertung dieser umweltrelevanten Kenndaten erfolgt in Kapitel III.2.

Verwendung der Basisdaten

Die bereits benannten Basisdaten der Produktionsverfahren werden im Zusammenhang mit dieser Studie für verschiedene Zwecke benötigt.

In Abbildung III.1-2 ist dargestellt, in welchen Bereichen bzw. unter welchen Fragestellungen diese Daten weitere Verwendung finden.

Ökonomische Prozeßkettenanalysen greifen die ökonomischen Basisdaten aus dem Bereich der Pflanzenproduktion auf und fügen die weiteren Kosten hinzu, die auf dem Weg vom Anbau, über die Verarbeitung, bis hin zur Verwendung des fertigen Endproduktes entstehen.

In ähnlicher Weise werden bei den Umweltanalysen die umweltrelevanten Kenndaten aus der Pflanzenproduktion aufgegriffen und diskutiert. In diesem Zusammenhang wurde das Modell "GIS" (Geographisches Informationssystem) eingesetzt, um anhand regionaler Fallstudien die mit dem Anbau von NR verbundenen Umweltauswirkungen in zwei abgegrenzten Regionen (Gemeindeebene) studieren zu können.

Mit dem LP-Modell RAUMIS (HENRICHSMEYER et al. 1992) wurden in eingeschränktem Umfang Umweltkennwerte in regionaler Differenzierung (Kreisebene) dargestellt. Der Arbeitsschwerpunkt für dieses Modell bestand jedoch darin, die beschriebenen Produktionsverfahren regional differenziert (Kreisebene) auf die Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) abzubilden und mögliche Effekte auf die Mengenszenarien oder die Agrarstruktur darzustellen.

Nicht zuletzt werden mit dem Anbau von NR agrarstrukturelle und soziale Fragen berührt, wie z.B. Beschäftigungs- und Einkommenseffekte, die insbesondere im Zusammenhang mit den Mengenanalysen (s. Kap. VI) eingehender diskutiert werden.

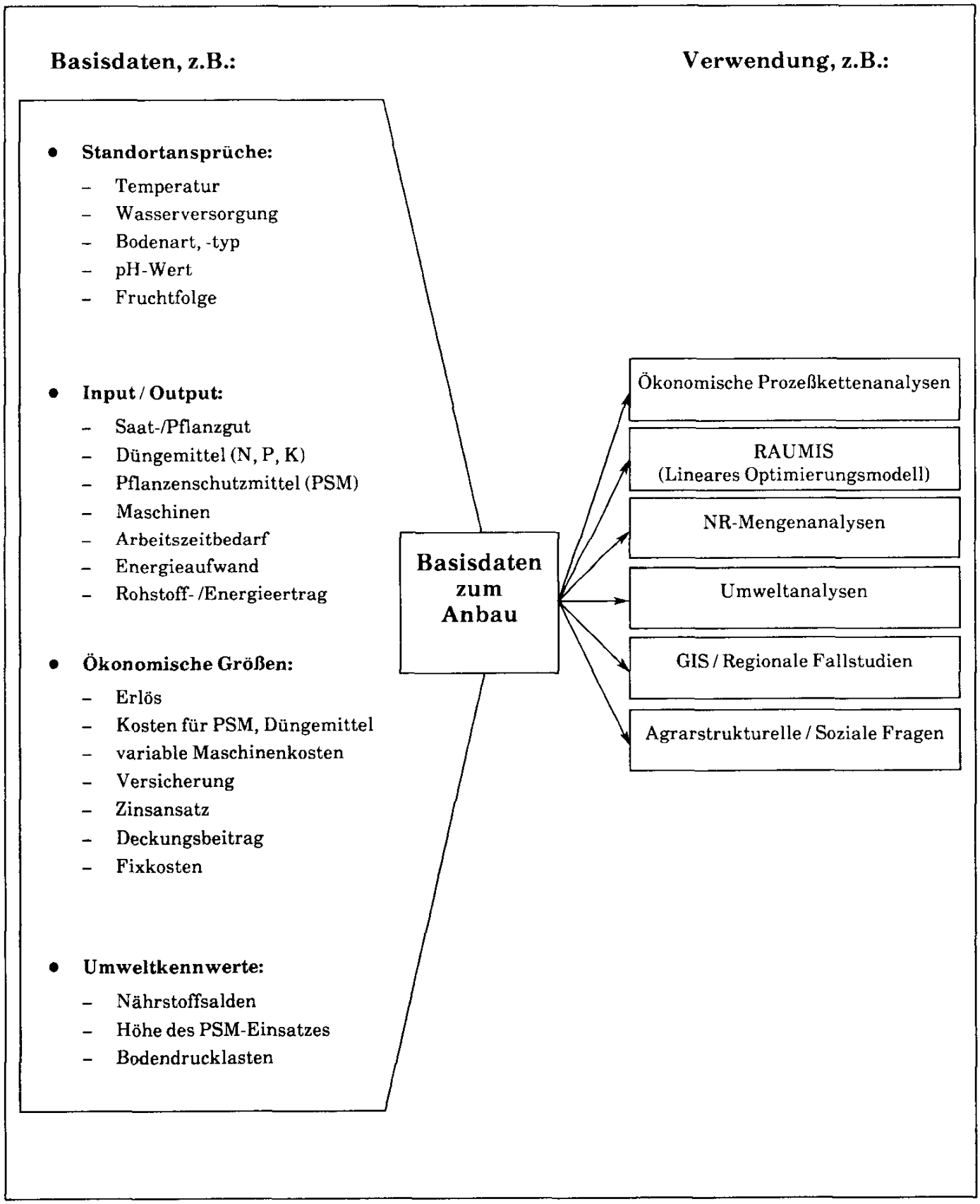


Abbildung III.1-2: **Basisdaten zum Anbau der Nachwachsenden Rohstoffe, Aufschlüsselung und Verwendung**

1.5 Vergleichende Gegenüberstellung der Produktionsverfahren

Bei der vergleichenden Gegenüberstellung der für die Bereitstellung von NR relevanten Produktionsverfahren wird in den nachfolgenden Ausführungen auf die Kennwerte Rohstoff- bzw. Energieertrag pro Hektar, Kosten pro Einheit Rohstoff bzw. Energie und auf den Energieaufwand pro Einheit Rohstoff bzw. pro Einheit Energie eingegangen.

Zusätzlich wird die Höhe der N-Düngung mit angeführt, da sie mit ein wesentlicher Parameter für die Intensität des Produktionsverfahrens ist, insbesondere auch hinsichtlich möglicher Umweltbelastungen.

Hierbei sind in den Tabellen III.1-7a, 8a und 9a die Verhältnisse für die Hohe Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und in den Tabellen III.1-7b, 8b und 9b die Produktionsverfahren bei einer N-Abgabe (300 %) dargestellt.

Für beide Varianten der Produktionsintensität ist jeweils nochmals differenziert nach drei verschiedenen Ertragsverhältnissen (Durchschnitt, KTBL-L5, KTBL-L1), unter gegenwärtigen (1987) und zukünftigen (2005) Rahmenbedingungen.

Im Mittelpunkt des Interesses steht die Diskussion der Kennwerte unter durchschnittlichen Ertragsverhältnissen, ohne jedoch die Größenordnung der Auswirkungen auf die Kosten und Energieaufwendungen aus den Augen zu verlieren, die mit der Berücksichtigung günstiger (KTBL-L5) oder ungünstiger (KTBL-L1) Ertragsverhältnisse verbunden sind.

Alle hier angeführten Kennwerte sind jeweils frei Feld (inkl. Ernte), ohne Ansätze für Transport, Erfassung und Trocknung. Bei den Lignocelluloseträgern (Stroh, Heu, Miscanthus) sind Aufwendungen für das Pressen von Ballen oder für das Häckseln von Miscanthus nicht enthalten.

Die Begründung für diese Art der Darstellung wurde bereits in den vorhergehenden Kapiteln angeführt.

In Ergänzung zu den Ausführungen in diesem Kapitel findet der interessierte Leser in den Tabellen des Anhangs (s. Tab. A III.1-8a bis Tab. A III.1-19b) eine geschlossene Darstellung der Bereitstellung der NR aus der Sicht des Landwirts (s.a. Tab. III.1-5). Diese Tabellen enthalten sowohl eine geschlossene Deckungsbeitragsrechnung als auch einen Vollkostenansatz, der auf die Größenordnung der anzustrebenden kostendeckenden Erzeugerpreise hinweist. Außerdem sind diesen ausführlichen Tabellen alle getroffenen spezifischen Annahmen und Zwischenergebnisse zu entnehmen, die evtl. von Interesse sein könnten.

Ölträger

Als wichtigste Ölträger, die in Deutschland für die Bereitstellung pflanzlicher Öle in Frage kommen, sind in erster Linie W-Raps aber auch Sonnenblumen oder Öllein zu nennen, wobei dem W-Raps sicherlich erste Priorität zuzuordnen ist.

Wie die Abschätzungen jedoch zeigen, stellt die Sonnenblume an Standorten, die für ihren Anbau in Frage kommen, eine ökonomisch interessante Alternative zu W-Raps dar (vgl. Tab. III.1-7a).

Bei durchschnittlichen Ertragsverhältnissen sind bei beiden Kulturen Bereitstellungskosten pro Tonne Saat von rd. 800 DM anzusetzen. Zuzüglich der Kosten für Transport zur Erfassungsstelle, Erfassung und Trocknung (vgl. Tab. A III.1-8a und 9a) rd. 850 bzw. 870 DM/t Saat. An günstigeren Standorten (s. KTBL-L5) verschieben sich diese Verhältnisse zugunsten der Sonnenblumen, damit wäre eine Kostenersparnis von rd. 10 % verbunden. In diesem Zusammenhang muß jedoch vermerkt werden, daß ein günstiger Standort für den Anbau von W-Raps nicht unbedingt auch ein günstiger Standort für den Anbau von Sonnenblumen ist. Dies trifft generell für den Vergleich von verschiedenen Pflanzenarten zu.

Unter den Rahmenbedingungen für 2005 verschieben sich die Wettbewerbsverhältnisse noch etwas zugunsten der Sonnenblumen. Bei der unterstellten Hohen Intensität würde die Bereitstellung der Saat (ohne Trocknung) rd. 510 DM/t (W-Raps) bzw. 470 DM/t (Sonnenblumen) kosten (vgl. Tab. III.1-7a). Kostendeckende Erzeugerpreise könnten unter diesen Rahmenbedingungen bei rd. 550 DM/t Saat liegen (vgl. Tab. A III.1-8a und 9a). Bezogen auf die Tonne Öl wären damit anbaubedingte Kosten von rd. 1400 DM/t Öl verbunden.

Die Kostenvorteile für die Sonnenblumen begründen sich vor allem aus dem extensiveren (s. N-Düngung, Pflanzenschutz) Produktionsverfahren dieser Ölpflanze.

Die Erhebung einer N-Abgabe (300 %) würde die Wettbewerbsfähigkeit bei Sonnenblumen kaum beeinflussen, dagegen bei W-Raps deutlich verschlechtern (vgl. Tab. III.1-7a und 7b). So würden sich die anbaubedingten Kosten pro Tonne Öl bei W-Raps um mehr als 300 DM erhöhen, obgleich das Aufkommen aus dieser N-Abgabe als einheitliche Flächenpauschale rückvergütet würde. Die Höhe der N-Düngung würde sich bei W-Raps unter diesen Rahmenbedingungen, bei durchschnittlichen Ertragsverhältnissen, auf rd. 74 % (1987) bzw. 50 % (2005) reduzieren und sich somit unter den Rahmenbedingungen für 2005 an das Düngungsniveau von Sonnenblumen annähern.

Tabelle III.1-7a: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Ölpflanzen, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005 1)**

HOHE INTENSITÄT	W-RAPS			SONNENBLUMEN			ÖLLEIN		
	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1
GEGENWART (1987):									
Ertrag: Saat (91 % TS) (t/ha)	**3,11**	3,61	2,67	**2,90**	3,48	2,32	**1,70**	2,04	1,36
Öl 2) (t/ha)	**1,19**	1,38	1,02	**1,11**	1,33	0,89	**0,59**	0,71	0,47
Kosten: Saat (DM/t)	**809**	758	863	**817**	736	939	**1 264**	1 134	1 459
Öl (DM/t)	**2 117**	1 983	2 258	**2 138**	1 926	2 457	**3 655**	3 279	4 219
Energieaufwand:									
Saat (GJ/t)	**4,78**	4,46	5,16	**3,31**	3,04	3,72	**4,71**	4,39	5,18
Öl (GJ/t)	**12,51**	11,67	13,50	**8,66**	7,95	9,73	**13,62**	12,70	14,98
N-Düngung: (kg N/ha)	**180**	197	166	**80**	91	69	**50**	62	38
2005:									
Ertrag: Saat (91 % TS) (t/ha)	**4,25**	4,95	3,65	**4,04**	4,85	3,23	**1,97**	2,36	1,57
Öl (t/ha)	**1,63**	1,89	1,39	**1,54**	1,85	1,23	**0,68**	0,82	0,54
Kosten: Saat (DM/t)	**511**	478	548	**471**	424	543	**831**	745	966
Öl (DM/t)	**1 337**	1 252	1 434	**1 232**	1 109	1 421	**2 403**	2 154	2 794
Energieaufwand:									
Saat (GJ/t)	**3,31**	3,10	3,54	**2,41**	2,21	2,71	**3,72**	3,42	4,19
Öl (GJ/t)	**8,66**	8,11	9,26	**6,31**	5,79	7,09	**10,76**	9,89	12,12
N-Düngung: (kg N/ha)	**195**	216	176	**96**	111	82	**58**	71	45

1) Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (inkl. Ernte, ohne Transport, Trocknung und Erfassung).

2) Ölausbeute (in % TS): W-Raps und Sonnenblumen: 42 %; Öllein: 38 %.

Tabelle III.1-7b: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Ölpflanzen, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005** [1)]

N-ABGABE (300 %)	W-RAPS			SONNENBLUMEN			ÖLLEIN		
	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL- L5	KTBL- L1
GEGENWART (1987):									
Ertrag: Saat (91 % TS) (t/ha)	**2,95**	3,44	2,51	**2,88**	3,46	2,30	**1,64**	1,96	1,32
Öl [2)] (t/ha)	**1,13**	1,31	0,96	**1,10**	1,32	0,88	**0,57**	0,68	0,46
Kosten: Saat (DM/t)	**896**	847	950	**819**	747	928	**1 228**	1 123	1 385
Öl (DM/t)	**2 344**	2 216	2 486	**2 143**	1 954	2 428	**3 551**	3 248	4 005
Energieaufwand:									
Saat (GJ/t)	**4,26**	4,00	4,58	**3,21**	2,94	3,60	**4,54**	4,21	5,05
Öl (GJ/t)	**11,15**	10,47	11,98	**8,40**	7,69	9,42	**13,13**	12,17	14,60
N-Düngung: (kg N/ha)	**134**	149	119	**72**	83	62	**40**	49	30
2005:									
Ertrag: Saat (91 % TS) (t/ha)	**3,32**	3,98	2,74	**3,92**	4,72	3,12	**1,88**	2,25	1,51
Öl (t/ha)	**1,27**	1,52	1,05	**1,50**	1,80	1,19	**0,65**	0,78	0,52
Kosten: Saat (DM/t)	**643**	607	685	**496**	458	555	**813**	750	908
Öl (DM/t)	**1 682**	1 588	1 792	**1 298**	1 198	1 452	**2 351**	2 169	2 626
Energieaufwand:									
Saat (GJ/t)	**2,83**	2,64	3,05	**2,32**	2,12	2,61	**3,61**	3,29	4,09
Öl (GJ/t)	**7,40**	6,91	7,98	**6,07**	5,55	6,83	**10,44**	9,51	11,83
N-Düngung: (kg N/ha)	**98**	115	81	**81**	94	68	**46**	56	36

1) *Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (inkl. Ernte, ohne Transport, Trocknung und Erfassung).*

2) Ölausbeute (in % TS): W-Raps und Sonnenblumen: 42 %; Öllein: 38 %.

Parallel zum N-Düngungsniveau ist der Energieaufwand zu diskutieren, der mit dem Anbau verknüpft ist. Aufgrund des höheren N-Düngungsniveaus von W-Raps hat diese Kultur deutlich höhere Energieaufwendungen als Sonnenblumen.

Öllein schneidet beim Vergleich der Ölträger hinsichtlich Wettbewerbsfähigkeit oder auch hinsichtlich des anbaubedingten Energieaufwandes mit Abstand am schlechtesten ab, vor allem begründet aus seinem deutlich niedrigeren Ertragsniveau.

In diesem Zusammenhang gilt anzumerken, daß es aufgrund des hohen Anteils der festen Spezial- und Gemeinkosten und des Pachtansatzes an den Gesamtkosten für die Wettbewerbsfähigkeit einer Kultur sehr entscheidend ist, welcher Ertrag dieser Kostengröße gegenübersteht.

Obgleich Öllein als extensive Kultur anzusprechen ist, worauf die um rd. 250 DM pro ha (verglichen mit Sonnenblumen) geringeren variablen Kosten hinweisen, führen die hohen Fixkosten (einschließlich Pachtansatz) und das relativ niedrige Ertragsniveau dazu, daß eine Wettbewerbsfähigkeit unter den gesetzten Rahmenbedingungen nicht gegeben ist (vgl. Tab. A III.1-9a und 10a).

Aus dem Vergleich der Ölträger wird deutlich, daß W-Raps an Standorten, die für den Anbau von Sonnenblumen in Frage kommen, in der Regel Wettbewerbsnachteile aufweist, jedoch aufgrund seiner etwas geringeren klimatischen Anforderungen an den Standort seine dominante Anbaubedeutung auch in der nahen Zukunft noch behalten wird.

Stärke- und Zuckerträger

Für die Herstellung von Stärke, die als Rohstoff weiterverwendet oder als Fermentationsrohstoff zur Ethanolproduktion genutzt werden kann, sind in der Bundesrepublik Deutschland in erster Linie W-Weizen, Körnermais und Stärkekartoffeln im Einsatz.

Wie aus Tabelle III.1-8a ersichtlich ist, scheint die Bereitstellung von Stärke über Körnermais auf den ersten Blick, aus der Sicht des Anbaus, am günstigsten zu sein.

Diese Verhältnisse mögen zutreffen für Körnermais-Standorte, an denen nicht mit dem Trocknungsaufwand zu rechnen ist, wie er bei den Deckungsbeitragsrechnungen und den Gesamtkostenkalkulationen für Körnermais unterstellt wurde (vgl. Tab. A III.1-12a).

Tabelle III.1-8a: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Stärke- und Zuckerträgern, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005 [1]**

HOHE INTENSITÄT	W-WEIZEN			KÖ-MAIS			STÄRKEKARTOFFELN			ZUCKERRÜBEN		
	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1
GEGENWART (1987):												
Ertrag: Erntegut [2] (t/ha)	**6,43**	7,97	5,08	**7,05**	8,11	5,85	**35,97**	44,60	26,62	**50,60**	58,19	40,48
Stärke/Zucker [3] (t/ha)	**3,43**	4,25	2,71	**4,00**	4,61	3,32	**5,96**	7,39	4,41	**7,56**	8,70	6,05
Ethanol (t/ha)	**1,88**	2,33	1,48	**2,15**	2,48	1,79	**3,31**	4,11	2,45	**4,40**	5,06	3,52
Kosten: Erntegut (DM/t)	**380**	339	434	**358**	332	400	**123**	106	157	**61**	58	70
Stärke/Zucker (DM/t)	**713**	636	814	**630**	585	704	**743**	640	948	**408**	388	468
Ethanol (DM/t)	**1 301**	1 161	1 486	**1 170**	1 085	1 307	**1 393**	1 206	1 756	**701**	667	805
Energieaufwand:												
Erntegut (GJ/t)	**2,26**	2,06	2,56	**2,07**	1,94	2,29	**0,70**	0,62	0,87	**0,33**	0,32	0,38
Stärke/Zucker (GJ/t)	**4,24**	3,86	4,80	**3,64**	3,42	4,03	**4,23**	3,74	5,25	**2,21**	2,14	2,54
Ethanol (GJ/t)	**7,74**	7,05	8,77	**6,76**	6,34	7,48	**7,98**	7,11	9,80	**3,79**	3,68	4,37
N-Düngung: (kg N/ha)	**180**	209	154	**170**	185	152	**170**	201	137	**170**	189	145
2005:												
Ertrag: Erntegut (t/ha)	**8,48**	10,54	6,67	**9,46**	10,39	7,83	**47,52**	58,93	35,15	**64,15**	73,78	51,30
Stärke/Zucker (t/ha)	**4,52**	5,62	3,56	**5,37**	6,19	4,45	**7,87**	9,76	5,82	**9,59**	11,03	7,67
Ethanol (t/ha)	**2,48**	3,08	1,95	**2,89**	3,33	2,40	**4,38**	5,43	3,24	**5,58**	6,42	4,46
Kosten: Erntegut (DM/t)	**257**	230	292	**233**	215	263	**75**	65	92	**43**	41	49
Stärke/Zucker (DM/t)	**482**	432	548	**410**	379	463	**453**	393	556	**288**	271	328
Ethanol (DM/t)	**880**	788	1 000	**761**	703	859	**864**	762	1 050	**494**	471	563
Energieaufwand:												
Erntegut (GJ/t)	**1,74**	1,59	1,93	**1,51**	1,42	1,67	**0,53**	0,48	0,64	**0,26**	0,24	0,29
Stärke/Zucker (GJ/t)	**3,26**	2,98	3,62	**2,66**	2,50	2,94	**3,20**	2,90	3,86	**1,74**	1,61	1,94
Ethanol (GJ/t)	**5,96**	5,45	6,61	**4,93**	4,64	5,46	**6,04**	5,46	7,24	**2,99**	2,76	3,33
N-Düngung: (kg N/ha)	**202**	237	170	**190**	209	167	**205**	244	163	**200**	223	169

1) Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (inkl. Ernte, ohne Transport, Trocknung und Erfassung).

2) TS-Gehalte: W-Weizen und Kö-Mais: 86 % TS; Stärkekartoffeln und Zuckerrüben: 23 % TS.

3) Ausbeute (in % TS) an Stärke bzw. Zucker: W-Weizen: 62 %; Kö-Mais: 66 %; Stärkekartoffeln: 72 %; Zuckerrüben: 65 %.

Tabelle III.1-8b: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung bei ausgewählten Stärke- und Zuckerträgern, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005 1)**

N-ABGABE (300 %)	W-WEIZEN			KÖ-MAIS			STÄRKEKARTOFFELN			ZUCKERRÜBEN		
	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durchschnitt	KTBL-L5	KTBL-L1
GEGENWART (1987):												
Ertrag: Erntegut 2) (t/ha)	**5,81**	7,30	4,49	**6,63**	7,67	5,43	**35,43**	43,99	26,14	**49,93**	57,47	39,87
Stärke/Zucker 3)(t/ha)	**3,10**	3,89	2,39	**3,77**	4,36	3,08	**5,87**	7,29	4,33	**7,46**	8,59	5,96
Ethanol (t/ha)	**1,70**	2,13	1,31	**2,03**	2,35	1,66	**3,26**	4,05	2,41	**4,34**	5,00	3,47
Kosten: Erntegut (DM/t)	**423**	381	478	**332**	309	372	**131**	114	162	**67**	63	74
Stärke/Zucker (DM/t)	**794**	715	897	**585**	544	655	**791**	688	978	**448**	421	495
Ethanol (DM/t)	**1 449**	1 305	1 637	**1 085**	1 010	1 216	**1 476**	1 296	1 810	**770**	724	851
Energieaufwand:												
Erntegut (GJ/t)	**1,92**	1,76	2,15	**1,86**	1,74	2,05	**0,68**	0,60	0,82	**0,32**	0,30	0,35
Stärke/Zucker (GJ/t)	**3,60**	3,30	4,03	**3,27**	3,06	3,61	**4,11**	3,62	4,95	**2,14**	2,01	2,34
Ethanol (GJ/t)	**6,58**	6,03	7,36	**6,08**	5,69	6,70	**7,70**	6,84	9,26	**3,68**	3,45	4,02
N-Düngung: (kg N/ha)	**113**	137	90	**123**	138	107	**145**	173	115	**147**	165	124
2005:												
Ertrag: Erntegut (t/ha)	**6,82**	8,73	5,13	**8,27**	9,65	6,69	**46,24**	57,48	34,04	**62,64**	72,15	49,95
Stärke/Zucker (t/ha)	**3,64**	4,65	2,73	**4,70**	5,48	3,80	**7,66**	9,52	5,64	**9,36**	10,79	7,47
Ethanol (t/ha)	**1,99**	2,55	1,50	**2,53**	2,95	2,05	**4,26**	5,29	3,14	**5,45**	6,28	4,35
Kosten: Erntegut (DM/t)	**319**	291	358	**225**	200	255	**85**	76	102	**52**	50	57
Stärke/Zucker (DM/t)	**598**	546	672	**396**	352	449	**513**	459	616	**348**	334	381
Ethanol (DM/t)	**1 092**	997	1 226	**735**	654	833	**981**	884	1 158	**598**	575	655
Energieaufwand:												
Erntegut (GJ/t)	**1,45**	1,32	1,63	**1,34**	1,25	1,49	**0,51**	0,46	0,61	**0,24**	0,23	0,26
Stärke/Zucker (GJ/t)	**2,72**	2,48	3,06	**2,36**	2,20	2,62	**3,08**	2,78	3,68	**1,61**	1,54	1,74
Ethanol (GJ/t)	**4,97**	4,52	5,58	**4,38**	4,08	4,87	**5,78**	5,21	6,84	**2,76**	2,64	2,99
N-Düngung: (kg N/ha)	**104**	131	79	**122**	139	102	**171**	205	134	**168**	189	140

1) Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (inkl. Ernte, ohne Transport, Trocknung und Erfassung).

2) TS-Gehalte: W-Weizen und Kö-Mais: 86 % TS; Stärkekartoffeln und Zuckerrüben: 23 % TS.

3) Ausbeute (in % TS) an Stärke bzw. Zucker: W-Weizen: 62 %; Kö-Mais: 66 %; Stärkekartoffeln: 72 %; Zuckerrüben: 65 %.

Sind diese hohen Trocknungskosten in den Kalkulationen mit einbezogen, dann liegen die anbauseitigen Kosten der Bereitstellung von Stärke bei allen drei Stärketrägern gegenwärtig bei rd. 770 DM/t Stärke.

Unter den gesetzten Rahmenbedingungen für 2005 würden sich diese Verhältnisse zugunsten der Stärkekartoffeln verschieben (vgl. Tab. III.1-8a). Die anbauseitig bedingten Kosten der Stärkegewinnung würden sich bei W-Weizen und Körnermais um rd. 200 DM/t, bei den Stärkekartoffeln dagegen um rd. 300 DM/t Stärke vermindern. Mit dieser Kultur ließen sich auch die höchsten Stärkeerträge pro ha realisieren, in der Gegenwart z.B. rd. 6 t Stärke pro ha.

Wie die Abschätzungen für 2005 zeigen, kann bei den diskutierten Rahmenbedingungen und dem fixierten Erzeugerpreisniveau nicht mehr von kostendeckenden Erzeugerpreisen gesprochen werden, ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen in der Gegenwart (1987) (vgl. Tab. A III.1-11a bis 13a).

Bei Betrachtung günstiger Standortverhältnisse (s. KTBL-L5) können die anbauseitig bedingten Kosten pro t Stärke je nach Pflanzenart um rd. 50 bis 70 DM reduziert werden (s. Tab. III.1-8a), im Vergleich zu durchschnittlichen Standorten.

Eine N-Abgabe würde die Bereitstellung von Stärke bei W-Weizen und Stärkekartoffeln unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen um bis zu 10 % verteuern, während bei Körnermais mit einer Ersparnis von 8 % zu rechnen wäre (vgl. Tab. III.1-8a und 8b).

Beim Vergleich des anbaubedingten Energieaufwandes pro Tonne Stärke schneidet Körnermais (vgl. Tab. A III.1-11a bis 13a) aufgrund des hohen Energieaufwandes für die Trocknung deutlich am schlechtesten ab.

Wird für die Bereitstellung von Ethanol neben den genannten Stärketrägern auch die Zuckerrübe einbezogen, dann zeigt sich sehr beeindruckend, daß sich mit dieser Kulturart der höchste Ethanolertrag pro ha erzielen läßt. Außerdem liegen die anbaubedingten Bereitstellungskosten unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen mit rd. 750 DM/t Ethanol um mehr als 600 DM/t Ethanol unterhalb der entsprechenden Kosten bei den betrachteten Stärketrägern. Bei einem geschlossenen Wettbewerbsvergleich führen die Nachteile des Kampagnebetriebes bei Zuckerrüben und die deutlich höheren Transportkosten sowie die geringeren Nebenprodukterlöse jedoch dazu, daß sich dieser Wettbewerbsvorteil gegenüber W-Weizen und Körnermais deutlich verringert.

Lignocelluloseträger

Aus landwirtschaftlicher Sicht, insbesondere hinsichtlich der möglichen Angebotsmengen und Wettbewerbsverhältnisse, sind mit Stroh, Heu und Miscanthus die interessantesten Lignocelluloseträger angesprochen. Die Bereitstellung von Lignocellulose aus Schnellwuchsplantagen, z.B. Anbau von Pappeln, sind eher dem Forstbereich zuzurechnen (s. Kap. V.1.2.2).

Im Gegensatz zu den Ölträgern oder Stärke- und Zuckerträgern, ist für die Lignocelluloseträger von entscheidender Bedeutung, mit welcher Erntetechnologie geerntet und in welcher Form das Erntegut weiter konditioniert wird. Nähere Ausführungen hierzu finden sich im Anhang zu Kapitel IV.

Bei den in den Tabellen III.1-9a und 9b dargestellten Angaben zur Bereitstellung von Stroh, Heu oder Miscanthus sind die Aufwendungen für das Trocknen, Pressen von Ballen oder Häckseln von Miscanthus und für den Transport zum Verbraucher nicht enthalten, analog zu der Vorgehensweise bei den Öl-, Stärke- und Zuckerträgern.

Wie der Tabelle III.1-9a zu entnehmen ist, ist Stroh als Nebenprodukt der Getreideproduktion am preiswertesten bereitzustellen.

So kann beispielsweise bei einem Abgabepreis von rd. 80 DM/t TM von kostendeckenden Verkaufspreisen für den Landwirt ausgegangen werden (vgl. Tab. A III.1-15a). Hierbei sind rd. 50 DM/t für das Pressen und den Transport der Strohballen anzusetzen.

Die gezielte Produktion von Heu und dessen Verwendung als Festbrennstoff stellt trotz der noch offenen Fragen bei der direkten Verbrennung und bei der Vergasung eine sehr interessante Rohstofflinie dar. Dies gilt insbesondere deshalb, weil zunehmend Dauergrünland nicht mehr für die Tierhaltung benötigt wird, andererseits aber oft durch ein Umbruchverbot eine Überführung in Ackerfläche untersagt ist. Für diese Flächen besteht einerseits die Option der Aufforstung, die jedoch ebenfalls einer Genehmigung bedarf, oder andererseits die Option der Sozialbrache, wobei für diese quasi stillgelegten Flächen nach den derzeitigen Regelungen der Agrarpolitik keine Stillegungsprämie gezahlt wird.

Sind solche Flächen aus Landschaftsgesichtspunkten offen zu halten und somit zu pflegen ("Pflegevariante"), könnte das anfallende Pflegegut (Grüngut, Heu) eine preiswerte Rohstoffvariante für Lignocelluloseträger darstellen, insbesondere dann, wenn das Pflegegut von der Fläche abtransportiert werden muß.

Tabelle III.1-9a: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung für die Verfahren der Bereitstellung von Stroh, Heu und Miscanthus, bei Hoher Intensität und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005 [1]**

HOHE INTENSITÄT	STROH			HEU							MISCANTHUS [7]		
				Eingesäte Ackerfläche			Dauergrünland			Pflege-variante			
	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1
GEGENWART (1987):													
Ertrag: Trockenmasse [2] (t/ha)	**6,08**	7,54	4,81	**10,00**	12,00	8,00	**7,03**	8,44	5,63	**4,90**	16,0	**20,0**	12,0
Energie (H_u) [3] (GJ/ha)	**99,6**	123,5	78,8	**163,8**	196,6	131,0	**115,2**	138,2	92,2	**80,3**	267,8	**334,8**	200,9
Kosten: Trockenmasse (DM/t)	**30** [4]	30	30	**225**	203	264	**249**	222	295	**198** [6]	189	**160**	239
Energie (H_u) (DM/GJ)	**1,83**	1,83	1,83	**13,74**	12,39	16,12	**15,20**	13,55	18,01	**12,09**	11,29	**9,56**	14,28
Energieaufwand:													
Trockenmasse (GJ/t)	**0,32**	0,32	0,32	**1,57**	1,48	1,78	**1,60**	1,50	1,81	**0,17**	0,53	**0,50**	0,58
Energie (H_u) (GJ/GJ)	**0,020**	0,020	0,020	**0,096**	0,090	0,109	**0,098**	0,092	0,111	**0,010**	0,032	**0,030**	0,035
N-Düngung (kg N/ha)	**28** [5]	35	22	**190**	220	160	**140**	161	119	-	100	**125**	75
2005:													
Ertrag: Trockenmasse (t/ha)	**6,56**	8,16	5,16	**11,70**	13,99	9,30	**7,90**	9,53	6,33	**4,20**	20,0	**25,0**	15,0
Energie (H_u) (GJ/ha)	**107,5**	133,7	84,5	**191,6**	229,2	152,3	**129,4**	156,1	103,7	**68,8**	334,8	**418,5**	251,1
Kosten: Trockenmasse (DM/t)	**30** [4]	30	30	**179**	162	206	**193**	180	236	**179**	116	**119**	145
Energie (H_u) (DM/GJ)	**1,83**	1,83	1,83	**10,93**	9,89	12,58	**11,78**	10,99	14,41	**10,93**	6,93	**7,11**	8,66
Energieaufwand:													
Trockenmasse (GJ/t)	**0,32**	0,32	0,32	**1,48**	1,38	1,61	**1,52**	1,42	1,66	**0,19**	0,49	**0,82**	0,53
Energie (H_u) (GJ/GJ)	**0,020**	0,020	0,020	**0,090**	0,084	0,098	**0,093**	0,087	0,101	**0,012**	0,029	**0,050**	0,032
N-Düngung (kg N/ha)	**30** [5]	38	24	**206**	239	173	**147**	169	124	-	125	**156**	94

1) Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (Heu/Stroh: auf Schwad; Miscanthus: stehender Bestand, erntereif).
2) TS-Gehalte bei Ernte: Stroh/Heu: 86 %; Miscanthus: 70 %
3) Energiegehalt: Stroh/Heu: 16,38 GJ/t TM (4,55 MWh/t TM); Miscanthus: 16,74 GJ/t TM (4,65 MWh/t TM); 1 MWh = 3,6 GJ
4) Düngerwert + Kosten für Humusersatzwirtschaft
5) N-Entzug pro ha
6) Kosten für die Düngung oder ein Düngerwert wurden nicht angesetzt, da Düngungsmaßnahmen aus Umweltsicht als nicht zulässig unterstellt wurden.
7) Pflanzdichte: 2 Pflanzen/m^2; Variante: 0,50 DM/Pflanze (Gegenwart); 0,30 DM/Pflanze (2005); bei Erträgen > 20 t TM/ha inkl. Beregnung; ein Ertragsrückgang anhand einer N-Ertragsfunktion wurde nicht abgeleitet.

Tabelle III.1-9b: **Ertrag, Kosten, Energieaufwand und N-Düngung für die Verfahren der Bereitstellung von Stroh, Heu und Miscanthus, bei N-Abgabe und unterschiedlichen Ertragsverhältnissen, für die Gegenwart und 2005 [1]**

N-ABGABE (300 %)	STROH			HEU							MISCANTHUS [7]		
				Eingesäte Ackerfläche			Dauergrünland			Pflege-variante			
	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1	Durch-schnitt	Durch-schnitt	KTBL-L5	KTBL-L1
GEGENWART (1987):													
Ertrag: Trockenmasse [2] (t/ha)	**5,50**	6,91	4,25	**8,82**	10,69	6,95	**6,12**	7,44	4,79	**4,90**	16,0	**20,0**	12,0
Energie (H_u) [3] (GJ/ha)	**90,1**	113,2	69,6	**144,5**	175,1	113,8	**100,2**	121,9	78,5	**80,3**	267,8	**334,8**	200,9
Kosten: Trockenmasse (DM/t)	**45** [4]	45	45	**265**	242	300	**285**	257	327	**198** [6]	214	**183**	264
Energie (H_u) (DM/GJ)	**2,75**	2,75	2,75	**16,18**	14,77	18,32	**17,40**	15,69	19,96	**12,09**	12,78	**10,93**	15,77
Energieaufwand:													
Trockenmasse (GJ/t)	**0,32**	0,32	0,32	**1,42**	1,32	1,57	**1,42**	1,33	1,58	**0,17**	0,53	**0,50**	0,58
Energie (H_u) (GJ/GJ)	**0,020**	0,020	0,020	**0,087**	0,081	0,096	**0,087**	0,081	0,096	**0,010**	0,032	**0,030**	0,035
N-Düngung (kg N/ha)	**25** [5]	32	20	**126**	150	103	**90**	107	73	-	100	**125**	75
2005:													
Ertrag: Trockenmasse (t/ha)	**5,28**	6,76	3,97	**9,96**	12,13	7,78	**6,60**	8,12	5,14	**4,20**	20,0	**25,0**	15,0
Energie (H_u) (GJ/ha)	**86,5**	110,7	65,0	**163,1**	198,7	127,4	**108,1**	133,0	84,2	**68,8**	334,8	**418,5**	251,1
Kosten: Trockenmasse (DM/t)	**47** [4]	47	47	**217**	199	245	**224**	211	269	**179**	143	**145**	172
Energie (H_u) (DM/GJ)	**2,87**	2,87	2,87	**13,25**	12,15	14,96	**13,68**	12,88	16,42	**10,93**	8,54	**8,66**	10,27
Energieaufwand:													
Trockenmasse (GJ/t)	**0,32**	0,32	0,32	**1,34**	1,25	1,48	**1,37**	1,27	1,52	**0,19**	0,49	**0,82**	0,53
Energie (H_u) (GJ/GJ)	**0,020**	0,020	0,020	**0,082**	0,076	0,090	**0,084**	0,078	0,093	**0,012**	0,029	**0,050**	0,032
N-Düngung (kg N/ha)	**24** [5]	31	18	**133**	158	107	**91**	108	73	-	125	**156**	94

1) Alle Angaben zu den Kosten und dem Energieaufwand sind bezogen frei Feld (Heu/Stroh: auf Schwad; Miscanthus: stehender Bestand, erntereif).
2) TS-Gehalte bei Ernte: Stroh/Heu: 86 %; Miscanthus: 70 %
3) Energiegehalt: Stroh/Heu: 16,38 GJ/t TM (4,55 MWh/t TM); Miscanthus: 16,74 GJ/t TM (4,65 MWh/t TM); 1 MWh = 3,6 GJ
4) Düngerwert + Kosten für Humusersatzwirtschaft
5) N-Entzug pro ha
6) Kosten für die Düngung oder ein Düngerwert wurden nicht angesetzt, da Düngungsmaßnahmen aus Umweltsicht als nicht zulässig unterstellt wurden.
7) Pflanzdichte: 2 Pflanzen/m²; Variante: 0,50 DM/Pflanze (Gegenwart); 0,30 DM/Pflanze (2005); bei Erträgen > 20 t TM/ha inkl. Beregnung; ein Ertragsrückgang anhand einer N-Ertragsfunktion wurde nicht abgeleitet

Desweiteren besteht die Möglichkeit, daß auf stillgelegter Ackerfläche innerhalb der Fruchtfolge gezielt Heu als Festbrennstoff produziert wird ("Eingesäte Ackerfläche").

Ohne Ansätze für das Pressen und den Transport liegen die Kosten für die Bereitstellung von Heu "frei Schwad" (s. Tab. III.1-9a) bei rd. 200 DM/t TM (Pflegevariante) bis 250 DM/t TM (Dauergrünland).

Die entsprechenden Ansätze frei Hof des Landwirtes liegen bei rd. 250 bis 300 DM/t TM (vgl. Tab. A III.1-16a bis 18).

In 2005 würden sich die Bereitstellungskosten für Stroh nur unwesentlich verändern (vgl. Tab. III.1-9a). Die Bereitstellung von Heu von eingesäten Ackerflächen und von Dauergrünland würde sich um rd. 50 DM/t TM verbilligen, Heu von der Pflegevariante dagegen nur um 20 DM/t TM.

Die bisher betrachteten Verhältnisse bezogen sich auf die Variante Hohe Produktionsintensität. Wird dagegen von der Intensität N-Abgabe ausgegangen, dann würde sich unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen die Produktion von Heu von eingesäten Ackerflächen oder von Dauergrünland um rd. 40 DM/t TM verteuern (vgl. Tab. III.1-9a und 9b). In 2005 ist dieser Effekt nur ungefähr halb so groß.

Im Vergleich hierzu scheint auf den ersten Blick die Bereitstellung von Miscanthus als Festbrennstoff günstiger zu sein (vgl. Tab. III.1-9a). Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei Miscanthus in der Regel eine zusätzliche Trocknung als wahrscheinlich unterstellt werden kann und daß außerdem die Erntekette noch nicht ausgereift ist. Geht man beispielsweise unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen, bei durchschnittlichen Ertragsverhältnissen von 16 t TM/ha und Pflanzgutkosten von 1,- DM/m^2, von einer Häckselkette einschließlich Trocknung aus, so zeigt sich im Vergleich mit Heu, daß Miscanthus hinsichtlich der Bereitstellungskosten, die dem Landwirt pro t TM entstehen, auf etwa gleichem Niveau liegt (vgl. Tab. A III.1-16a bis 19a).

Der nachfolgende Exkurs zu Miscanthus soll nähere Hintergrundinformationen zu dieser Kultur liefern und die bei der Ableitung der Produktionsverfahren diskutierten Annahmen offenlegen.

1.6 Exkurs: Anbau von Miscanthus

Die Ableitung eines Produktionsverfahrens zum Anbau von Miscanthus sinensis ist derzeit nur mit erheblichen Unsicherheiten möglich, da zu dieser Pflanzenart in der Praxis kaum Erfahrungen vorliegen und Anbauversuche (Tastversuche) im Pilotmaßstab in Deutschland erst seit 3 bis 4 Jahren laufen.

TM-Ertrag

Belastbare Ertragsabschätzungen bei dieser perennierenden Kultur, die ihren ersten größeren TM-Ertrag erst im 2. Anbaujahr aufweist, liegen somit noch nicht vor. Entsprechendes gilt für die Abschätzungen zum möglichen Umfang (standortbedingt) der Anbaufläche, an der diese Kulturart ausreichend günstige Standortbedingungen findet, um ökonomisch interessant erscheinende TM-Erträge realisieren zu können. Zu dieser Abschätzung sind umfangreiche Anbauversuche über unterschiedliche Standorte (s. Boden, Temperatur, Niederschläge) nötig. Entsprechende Projekte wurden in die Wege geleitet.

Die bisherigen Ergebnisse aus Versuchen und Abschätzungen zu den TM-Erträgen für das dritte bzw. die darauffolgenden Anbaujahre liegen zwischen 15 und 30 t TM/ha (BASSAM et al. 1992, HOTZ et al. 1989 und 1993, KAHNT 1990, KOLB 1992, OSTER und SCHWEIGER 1992). Diese Ertragsangaben aus dem Versuchsanbau sind jedoch nicht gleichzusetzen mit den unter Praxisbedingungen erzielbaren Erträgen, die aufgrund extensiverer Betreuung und eher durchschnittlichen Standorten in der Regel deutlich geringer ausfallen.

Aus Untersuchungen von SCHUSTER et al. (1982) bei Einjahrespflanzen kann hierfür ein Korrekturfaktor von durchschnittlich 0,7 unterstellt werden, abgeleitet aus den Wertprüfungen des Bundessortenamtes (BSA) bei Sortenversuchen, jeweils verglichen mit den im praktischen Anbau gewonnenen Werten der "Besonderen Ernteermittlung"; Pflanzenarten: Weizen, Gerste, Roggen, Mais, Kartoffeln, Futter- und Zuckerrüben, W-Raps.

Bei Miscanthus besteht vor allem die große Ungewißheit, in welchem Umfang es im Laufe der Nutzungsdauer (Monokultur für 10 bis 15 Jahre), aufgrund zunehmenden Krankheits- und Schädlingsdrucks oder wegen unausgewogener Nährstoffverfügbarkeit (z.B. P, K, Mg, Spurennährstoffe), zu einem Abfallen des TM-Ertrags kommt.

In Japan, wo Miscanthus sinensis in natürlichen Beständen vorkommt, wurde in diesen Beständen ein standortgegebenes Ertragsniveau (durchschnittliche Jahrestemperatur 10,4 °C, 1 500 mm Niederschlag, ohne Düngung und Bewässerung)

von rd. 6 t TM/ha festgestellt (SHOJI et al. 1990). Bei Zugrundelegung von Kulturmaßnahmen (z.B. Düngung) dürfte das Ertragsniveau vermutlich unter günstigen Anbaubedingungen in der Bundesrepublik Deutschland (z.B. Freiburg: durchschnittliche Jahrestemperatur 10,5 °C, rd. 900 mm Niederschlag), nach z.B. 10-jähriger Nutzung der angelegten Kulturbestände mit selektierten Klonen (z.B. Giganteus) von Miscanthus sinensis über den angeführten 6 t TM/ha in Japan liegen.

Das an einem Standort nach 10 Jahren Nutzung (vgl. HOTZ et al. 1989) noch erzielbare Ertragsniveau ist kaum abzuschätzen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß sich trotz Kulturmaßnahmen das Ertragsniveau deutlich unter dem des 3. oder 4. Jahres bewegen dürfte, wo das Ertragsmaximum vermutet wird.

Für die Darstellung durchschnittlicher Ertragsverhältnisse in der Gegenwart (1987) wurde von der Annahme ausgegangen, daß sich der durchschnittliche Ertrag von Miscanthus, betrachtet über die gesamte Anbauzeit (inkl. Jahre ohne Nutzung), am durchschnittlichen TM-Ertragsniveau (inkl. Stroh) von CCM (Mais) orientiert (vgl. HOTZ et al. 1993). Mais, ebenfalls eine C_4-Pflanze, hat sich aufgrund starker züchterischer Ertragsverbesserungen einen bedeutenden Anbauumfang erschlossen, so daß diese Anlehnung auf einer breiten Flächenbasis beruht. Hiervon ausgehend wurde bei Miscanthus für 1987 (vgl. Tab. III.1-9a,b) ein durchschnittlicher Ertrag von 16 t TM/ha angenommen (vgl. BML 1988/90).

Bei der Ableitung der Erträge für 2005 wurde - im Gegensatz zu Körnermais (2 %) - bei Miscanthus ein Ertragsfortschritt von 1,5 % pro Jahr (in % des Durchschnittsertrags von 1986 bis 1988) unterstellt, da bei dieser Kultur, aufgrund ihrer angesetzten Verweildauer auf dem Felde von 10 Jahren, der züchterische Fortschritt erst nach der Neuanlage des Bestandes genutzt werden kann. Außerdem sind die tatsächlich realisierten züchterischen Anstrengungen (beschränkter Anbauumfang, Screening als "Züchtungsmethodik") sicherlich nicht auf dem gleichen Niveau wie bei Mais anzusiedeln.

Angelehnt an diese Abschätzungen zu den durchschnittlichen Ertragsverhältnissen für gegenwärtige und zukünftige (2005) Rahmenbedingungen, wurden bei Miscanthus ebenfalls zusätzliche Produktionsverfahren für ungünstige (KTBL-L1) und für günstige (KTBL-L5) Ertragsverhältnisse dargestellt (vgl. Tab. III.1-9a,b). Bei den in Kapitel IV durchgeführten Analysen zur Verwendung von NR als Energieträger wurde bei Miscanthus jeweils von günstigen Standortverhältnissen ausgegangen.

Bei der Beschreibung der Produktionsverfahren zu Miscanthus ist zur Vereinfachung eine gewisse Parametrisierung der Kostenzuordnung in Abhängigkeit vom

Ertragsniveau unterstellt. Dies betrifft insbesondere die Düngekosten (N, P und K) und Aufwendungen für Ernte, Transport und Trocknung.

Bei Erträgen > 20 t TM/ha wurde angenommen, daß sich der über 20 t TM/ha liegende Ertragsanteil nur durch zusätzliche Beregnung erzielen läßt. Ausgangspunkte für die Abschätzung der zusätzlich benötigten Wassermenge waren der unterstellte Transpirationskoeffizient von 250 kg H_2O/kg TM (vgl. OSTER und SCHWEIGER 1992) und die angesetzten unproduktiven Wasserverluste der Beregnung von rd. 17 %, so daß von einer Beregnungsmenge von 300 kg H_2O/kg TM bzw. von 30 mm pro t TM-Mehrertrag pro ha ausgegangen wurde.

In diesem Zusammenhang sind ebenfalls erhebliche Unsicherheiten zu veranschlagen, insbesondere hinsichtlich des unterstellten Transpirationskoeffizienten.

TS-Gehalt

Ähnlich wie bei der Abschätzung der Ertragsverhältnisse schwanken ebenfalls die Angaben zum TS-Gehalt bei der Ernte.

Bei Ernte Ende März bis Mitte April wurde bei einem 2-jährigen Miscanthusbestand ein TS-Gehalt von rd. 70 % (30 % H_2O) bestimmt (vgl. STREHLER et al. 1990). In einem einjährigen Bestand (größerer Anteil der Blätter, dünnere Stengel) konnten dagegen 83 % TS (17 % H_2O) erreicht werden. Es gilt somit als wahrscheinlich, daß ältere Miscanthusbestände (älter als 2 Jahre) aufgrund der höheren Erträge und dickeren Stengel deutlich schlechter abtrocknen. Trotz der angeführten Ergebnisse gehen STREHLER et al. (1990) davon aus, daß durch Abwarten eines günstigen Erntezeitpunktes TS-Gehalte von über 83 % erreicht und somit auf eine Nachtrocknung verzichtet werden könnte. Bei unseren Kalkulationen für den Anbau von Miscanthus unter Praxisbedingungen wurde von einem TS-Gehalt bei der Ernte von 70 % ausgegangen, wobei die Annahme zugrunde liegt, daß bei einem nennenswerten Anbauumfang nicht immer zum optimalen Erntezeitpunkt geerntet werden kann. Bei den kalkulierten Verfahren (vgl. Tab. A III.1-19a,b) wurde nach der Ernte auf 86 % TS (Lagerfähigkeit) getrocknet. In der Praxis wird man wohl je nach Erntezeitpunkt, Alter, Standort oder Witterung auch geringere oder höhere TS-Gehalte im Erntegut ermitteln.

Nutzungsdauer

Den dargestellten Kalkulationen zu den Produktionskosten liegt eine Nutzungsdauer von 10 Jahren zugrunde, beginnend mit dem Jahr der Anpflanzung. In der Diskussion sind auch längere Nutzungszeiten, z.B. von 15 Jahren. Auf die im Zusammenhang mit der Nutzungsdauer bestehende Unsicherheit bei der Ertragsab-

schätzung wurde bereits hingewiesen; dies trifft in gleicher Weise auf die anteilige Umlegung der Anlagekosten (Pflanzkosten) auf die Nutzungsdauer zu.

Anlagekosten

Die Kosten der Bestandsbegründung bei Miscanthus werden in erster Linie durch die unterstellten Kostenansätze für das Pflanzgut bestimmt. Bei den modellhaften Betrachtungen für die Gegenwart (1987) wurden für das Pflanzgut Preise von 0,70 DM, 0,50 DM und 0,30 DM/Pflanze unterstellt (vgl. Tab. A III.1-19a, b). Für 2005 wurde angenommen, daß sich die Kosten für die Stecklingsvermehrung durch verbesserte bzw. rationalisierte Vermehrungstechnologie deutlich senken lassen; aufgrund der bestehenden Unsicherheit wurde auch hier von drei verschiedenen Ansätzen (0,50, 0,30, 0,10 DM/Pflanze) ausgegangen. In den Tabellen III.1-9a und 9b ist jeweils die mittlere Preisvariante für das Pflanzgut dargestellt. Der Ableitung der Anlagekosten für Miscanthus liegt jeweils eine Bestandesdichte von 2 Pflanzen/m^2 zugrunde (vgl. HOTZ et al. 1993).

Eine Bestandesdichte von nur 1 Pflanze/m^2 ist zwar mit deutlichen Einsparungen bei den Anlagekosten verbunden, andererseits ist aber zu erwarten, daß das spätere Schließen des Bestandes und nicht zuletzt das Ausfallen einzelner Pflanzstellen zu höheren Aufwendungen bei der Unkrautbekämpfung und zu einem späteren Erreichen des Ertragsmaximums führt, das sehr wahrscheinlich auch niedriger ausfiele.

Der Anteil der Kosten für das Pflanzmaterial an den Gesamtkosten der Bestandsbegründung (Düngung, variable Maschinenkosten, Lohnansatz) liegt je nach unterstelltem Preis für die Miscanthuspflanzen zwischen 85 bis 93 % (1987) bzw. zwischen 64 bis 90 % (2005) (vgl. Tab. A III.1-19a).

Mögliche Folgekosten, die am Ende der Nutzungsdauer durch die Rekultivierung von Miscanthusflächen für den Anbau einjähriger landwirtschaftlicher Kulturen (z.B. Getreide) anfallen, z.B. Kosten für den zusätzlichen Einsatz von Herbiziden zur Verhinderung des Wiederaustriebs der Miscanthusrhizome oder anzusetzende Nutzungskosten für Mindererträge bei den nachgebauten Kulturen, wurden nicht berücksichtigt. Diese Folgekosten des Anbaus von Miscanthus sind derzeit kaum abschätzbar.

Düngung und Pflanzenschutz

Die Höhe der abgeleiteten Düngung orientiert sich an den Nährstoffentzügen (N, P, K) durch das Erntegut; die Nährstoffgehalte (s. Tab. A III.1-19a) wurden als Mittelwerte in Anlehnung an Literaturwerte (KAHNT 1990, SHOJI et al. 1990, STREHLER et al. 1990) ermittelt. Bei der N-Düngung wurde eine effiziente Nut-

zung (80 %) des gedüngten Stickstoffs durch den Miscanthusbestand unterstellt. Als Pflanzenschutzmaßnahme wurde nur eine Herbizidapplikation angesetzt.

Beregnung

Ist das unterstellte Ertragspotential bei Miscanthus > 20 t TM/ha, so wurde von zusätzlicher Beregnung ausgegangen. Bei dem angenommenen Transpirationskoeffizienten von 250 kg H_2O/kg TM (für C_4-Pflanzen wird in der Literatur eine Spanne zwischen 250 und 400 kg angegeben) und der als pflanzenverfügbar unterstellten Niederschlagsmenge (Jahresniederschlag insgesamt rd. 800 mm) von rd. 500 mm, kann unter günstigen klimatischen Bedingungen (durchschnittliche Jahrestemperatur ≧ 9,5 °C, gleichmäßige Niederschlagsverteilung) somit von einem TM-Ertrag von 20 t TM/ha ausgegangen werden. Bei der Abschätzung der pro kg TM auszubringenden Wassermenge wurde unterstellt, daß rd. 1/6 durch unproduktive Verdunstung (Evaporation) verlorengeht und somit der Pflanze nicht zur Verfügung steht; pro kg TM müssen folglich 300 kg H_2O beregnet werden. Als technische Ausstattung wurde ein Einzelregner mit Regnereinzug zugrunde gelegt, betrieben über die Zapfwelle eines hofeigenen Schleppers (s. Tab. III.1-10). Die Kalkulationen hierzu lehnen sich an den Ansätzen von KTBL (1989) an.

Tabelle III.1-10: **Kenndaten zur Beregnung**

	Gegenwart (1987)	2005
Einzelregner mit Regnereinzug:		
Investition	32 000 DM	s. 1987
jährliche Kosten (Abschreibung, Rep.)	rd. 13 %	"
Beregnungsleistung (inkl. 10% Zuschlag für Aufstellung + Umrüsten)	45m³/h = 4,5 mm/h·ha	s. 1987
AKh-Bedarf / 30 mm Wasser	rd. 0,6 AKh	"
Schlepperleistung	40 - 60 kW	"
Gesamtkosten (inkl. Zinsansatz) (DM/mm)	rd. 4,70	rd. 4,80
davon: Schlepper (inkl. Fixkosten)	3,40	3,40
Beregnungsanlage (")	0,90	0,90
Arbeit	0,40	0,50
Gesamtkosten (ohne Schlepper-Fixkosten) (DM/mm)	rd. 3,00	rd. 3,10
Treibstoffbedarf (l/mm)	rd. 1,7	rd. 1,6

Quelle: Eigene Berechnungen in Anlehnung an KTBL (1989)

Anmerkung: Alle Angaben pro mm beziehen sich jeweils auf einen Hektar Beregnungsfläche.

Bei allen Produktionsverfahren mit Beregnung sind keine Fixkosten für den Schlepper (Grundmaschine), wohl aber für die Beregnungsanlage (Spezialmaschine) berücksichtigt, da hierbei unterstellt wurde, daß die Fixkosten des Schleppers mit der Zurechnung der ha-Pauschale "Feste Spezial-/Gemeinkosten" abgedeckt sind. Diese Verfahrensweise scheint gerechtfertigt, da die Schlepper normalerweise nicht voll ausgelastet sind. Die unterstellten Kosten pro mm Beregnungsmenge betragen folglich 3,00 DM (1987) bzw. 3,10 DM (2005).

SESSELBERG (1990) geht in seiner Abschätzung von 2,30 DM/mm Beregnungsmenge aus, wobei er jedoch neben dem Schlepper auch für die Beregnungsanlage keine Fixkosten berücksichtigte.

Ernte, Transport, Trocknung

Die in den Tabellen A III.1-19a, b (Anhang) exemplarisch aus landwirtschaftlicher Sicht dargestellten Ernteverfahren von Miscanthus sind an die Ernte von Silomais angelehnt (Häcksel-Linie). Die durchschnittlichen variablen Erntekosten betragen unter gegenwärtigen Verhältnissen (1987) je nach Ertragsniveau rd. 7 bis 11 DM/t TM bzw. in 2005 rd. 6 bis 9 DM/t TM, wobei neben den variablen Maschinenkosten auch ein Lohnansatz für die eingesetzte Arbeitskraft Berücksichtigung fand. Im Zusammenhang mit der Ernte ist auch eine Langgut-Linie zu diskutieren. Die dazu nötige Anpassung der bekannten Erntetechniken an das sehr sperrige Erntegut und nicht zuletzt der in aller Regel bestehende Trocknungsbedarf weisen jedoch auf gewisse Vorzüge der Häcksel-Linie hin. Dies sind insbesondere die bessere Ausnutzung des Transportraumes der eingesetzten Transportfahrzeuge und das schnellere Trocknen des Häckselgutes bei der unterstellten Nachtrocknung. Die Langgut-Linie soll hier nicht weiter betrachtet werden, weitere Ausführungen hierzu folgen im Anhang zu Kapitel IV.

Im Zusammenhang mit der Ernte, die je nach Witterung von November bis März erfolgen kann, ist darauf hinzuweisen, daß vermutlich aufgrund des Befahrens mit schweren Maschinen, bei relativ wassergesättigtem Boden, mit Bodenverdichtungen und vor allem aber mit Beschädigung der empfindlichen Rhizome zu rechnen ist. Diese negativen Effekte können gravierende Auswirkungen auf die Ertragsbeständigkeit und Nutzungsdauer eines Miscanthusbestandes haben.

Bei den in diesen Tabellen exemplarisch beschriebenen Produktionsverfahren wird das gehäckselte Erntegut nach der Ernte zur ca. 4 km entfernt liegenden Grüngut-Trocknungsanlage (Lohntrocknung) transportiert. Hierfür sind beim

Transport mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen bei dieser Entfernung rd. 15 DM/t TM als variable Maschinenkosten und Lohnansatz anzusetzen.

Für die Trocknung des Erntegutes von 70 % TS auf 86 % TS (Lagerfähigkeit) wurden Trocknungskosten von rd. 40 DM/t trockene Ware (86 % TS) unterstellt. Dies entspricht rd. 47 DM/t TM (s.Tab. A III.1-19a). Diese Abschätzung wurde in Anlehnung an eine seit Jahren bestehende Grüngut-Trocknungsanlage (rd. 12 000 t Trockengut/a) durchgeführt. Bei kleineren Anlagen (< 5 000 t/a) dürften diese Kosten eher bei 50 bis 60 DM/t Trockengut liegen.

Nach diesen exemplarischen Abschätzungen müßten folglich dem Landwirt, abgerechnet auf der Basis gehäckseltes und getrocknetes Erntegut (86 % TS) frei Pelletieranlage (am Ort der Trocknungsanlage), unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen (1987), günstigen Standortverhältnissen (KTBL-L5) und mittleren Pflanzgutkosten pro Tonne Trockenmasse rd. 230 DM bezahlt werden, um von kostendeckenden Preisen sprechen zu können.

Für Ernte (Häckseln), Transport und Trocknung sind somit zusätzliche Kosten von rd. 70 DM/t TM entstanden, verglichen mit den reinen Kosten der Bereitstellung eines erntereifen Miscanthusbestandes (vgl. Tab. III.1-9a).

Unter durchschnittlichen Ertragsverhältnissen sind diese Bereitstellungskosten rd. 30 DM/t TM höher (vgl. Tab. A III.1-19a). In nahezu gleicher Größenordnung pro t TM liegen die Mehrkosten, wenn von Pflanzgutkosten von 1,40 DM/m^2 (2 Pflanzen pro m^2) anstatt von 1,00 DM/m^2 ausgegangen wird.

Wie die im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Lignocelluloseträgern durchgeführten Vergleiche mit Heu gezeigt haben, ergeben sich unter den getroffenen Annahmen (Ertragsniveau, Pflanzgutkosten) sowohl für die Gegenwart als auch für 2005 keine eindeutigen Wettbewerbsvorteile zugunsten von Miscanthus oder Heu (vgl. Tab. A III. 16a bis 19a).

Unter den Rahmenbedingungen einer N-Abgabe (vgl. Tab. III.1-9b) gewinnt dagegen Miscanthus an Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Heu von eingesäten Ackerflächen oder Heu von Dauergrünland.

Die hier dargestellten Verhältnisse zu Miscanthus im Vergleich zu anderen Lignocelluloseträgern zeigen, daß sich diese exotische NR-Pflanze unter günstigen Rahmenbedingungen tendenzielle Wettbewerbsvorteile verschaffen kann, unter durchschnittlichen Verhältnissen jedoch einer harten Konkurrenz ausgesetzt ist.

Die Überprüfung dieser Einschätzung durch Pilotprojekte erscheint als wichtig, ebenso wie Bemühungen um eine Verringerung der Kosten in diesem Bereich.

Angesichts der noch bestehenden pflanzenbaulichen Unsicherheiten (durchschnittliche Ertragserwartung über 10 Jahre, Standorteignung, Bewässerungsbedarf, Rekultivierung der Fläche nach 10 bis 15 Jahren, Feuchtegehalt des Erntegutes, Erntetechnologie, Produktions- und Infrastrukturkosten) wäre ein großflächiger Anbau, der über Pilotprojekte hinausgeht, in den nächsten Jahren mit hohen Risiken verknüpft. Umso dringlicher ist es, die offenen Fragen zu klären, die auch im Verwendungsbereich bestehen.

2. Umweltrelevante Kenngrößen und Auswirkungen

Die umweltbezogenen Betrachtungen im Bereich des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe konzentrieren sich auf die bereits im Gutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen "Landwirtschaft und Umwelt" 1985 beschriebenen Problemzonen der landwirtschaftlichen Produktion. Im einzelnen werden die Risiken des Eintrags von Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer sowie eine mögliche Verdichtung bzw. Erosion des Bodens beim Anbau Nachwachsender Rohstoffe diskutiert bzw. am Beispiel regionaler Fallstudien dargestellt. Angesichts seiner klimarelevanten Eigenschaften werden ergänzend Aussagen zur Freisetzung von Distickstoffoxid (N_2O) in Verbindung mit dem Anbau Nachwachsender Rohstoffe gemacht.

Bei den gegenwärtigen EG-Regelungen kommt der Anbau Nachwachsender Rohstoffe aus wirtschaftlichen Gründen in erster Linie auf solchen Flächen in Betracht, für die Flächenstillegungsprämien gezahlt werden, auch wenn dort NR angebaut werden. Die Stillegung als Rotations- oder Dauerbrache ist in diesem Falle in der Regel die in Frage kommende Handlungsalternative für die Landwirte.

Es liegt auf den ersten Blick nahe, einen zweiten Vergleichsmaßstab anzulegen, nämlich den Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen. Die Vorstellung ist dabei die, daß der Anbau von Rohstoffpflanzen den Anbau von Nahrungspflanzen ersetzt und auf diese Weise zum Abbau der Überschußproduktion der EG im Nahrungs- und Futtermittelbereich beiträgt. Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, daß die Weltnachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln nur wenig davon abhängt, ob z.B. die entsprechenden Getreidemengen in der EG oder in den USA produziert werden. Im Grunde haben wir es im diskutierten Falle also mit einer Verlagerung eines Teils der Nahrungs- und Futtermittelproduktion von der EG in Drittländer wie die USA zu tun, in welchen dann dort alternativ stillgelegte Flächen zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln eingesetzt werden.

Nun ist es sicher richtig, daß z.B. die Getreideproduktion in den USA oder in Kanada mit anderen Umweltauswirkungen, Beschäftigungseffekten usw. verknüpft ist als im Falle der inländischen Produktion. Sie werden teils günstiger, teils ungünstiger sein. Wenn wir von solchen, gegenwärtig nur unter großen Mühen abschätzbaren Unterschieden zweiter Ordnung absehen, ergibt sich: In einer Betrachtung, die über die Grenzen der Bundesrepublik Deutschland und über die Grenzen der EG hinausgreift, denken und reden wir wiederum von einem Anbau Nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten Flächen.

Langfristig kann sich allerdings eine echte Konkurrenz zwischen der Flächennutzung für NR einerseits und für Nahrungs- und Futterpflanzen andererseits ergeben.

2.1 Fruchtfolgeaspekte und landschaftsökologische Aspekte

Bei der Ausweitung des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe kann nicht allgemein gesagt werden, daß die Fruchtfolgen regional abwechslungsreicher würden. Die Antwort hängt davon ab, welche Rohstofflinien aus Pflanzen in Zukunft verstärkt gefördert werden und an Bedeutung gewinnen. Eine Fruchtfolge wird nicht ausschließlich von agrarpolitischen und ökonomischen Rahmenbedingungen bestimmt. Wichtig sind ferner auch klimatische (Wärmebedarf der Kulturpflanze), betriebliche (Futterbedarf für die Viehhaltung), standörtliche (Bodengüte, Niederschlagsmenge), arbeitstechnische (Arbeitskräftebesatz) und strukturelle (Nähe zu einer Verarbeitungsanlage) Aspekte.

Die wichtigsten der betrachteten Nachwachsenden Rohstoffe werden bereits seit geraumer Zeit als Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen angebaut. Eine Ausdehnung ihres Anbaus würde - wenn überhaupt - nur lokal zu einer Bereicherung des Spektrums der Kulturpflanzenarten führen. Sie kann aber unter bestimmten Rahmenbedingungen auch eine weitere Verengung der Fruchtfolgen auslösen.

Zu den Nachwachsenden Rohstoffen, die nicht auch zu Nahrungs- oder Futtermittelzwecken angebaut werden, zählen u. a. Miscanthus und Faserlein. Der Anbau von Faserlein könnte nicht nur zu einer Auflockerung der Fruchtfolgen, sondern auch zur Schaffung neuer bzw. zu einer Wiederansiedlung verschwundener Agrarökosysteme beitragen. Die Leinarten (Öl- und Faserlein) würden allein deshalb zur Auflockerung der Fruchtfolgen und zur Bereicherung des Landschaftsbilds beitragen, weil sie aus phytosanitären Gründen nur in mehrjährigen Anbauabständen angebaut werden können. Mit der Wiedereinführung bzw. Ausdehnung des Faserleinanbaus kann sich möglicherweise eine seltene, weil spezifische Begleitflora entwickeln. Der Leindotter und das Flachsleimkraut sind zum Beispiel gefährdete Pflanzenarten, die mit dem Anbau von Lein vor dem Aussterben bewahrt werden könnten. Mit dem Rückgang der Flachsproduktion sind diese Begleitpflanzen beinahe vollständig aus dem Landschaftsbild verschwunden. Ähnliches gilt für andere Pflanzen, wie z.B. den Leinlolch und die Flachsseide, obwohl diese auch auf anderen Leinarten gedeihen können.

Der Anbau von Miscanthus führt nicht zu einer Ausweitung der Fruchtfolgen. Ein Miscanthusbestand kann nach derzeitigen Kenntnissen 10 bis 15 Jahre lang als

Dauerkultur genutzt werden. Landschaftsökologisch kann Miscanthus ein gewisser Wert beigemessen werden, weil sein Anbau die Vielfalt der Ackerkulturen erhöht. Allerdings könnte die Verwendung als Energierohstoff zu einer räumlichen Konzentration des Anbaus von Miscanthus in der Nähe von Heiz- bzw. Heizkraftwerken und somit zu einer lokalen Verengung des Artenspektrums führen. Das Landschaftsbild würde wie bei einem großflächigen Miscanthusanbau ebenfalls nachhaltig beeinflußt. Bei der anzustrebenden Mitversorgung durch andere pflanzliche Energieträger (z.B. Stroh) könnte der Konzentrationsdruck abgeschwächt werden. Welche bioökologischen Auswirkungen ein langjähriger Miscanthusanbau mit sich bringt, ist noch nicht bekannt. Die geringen Stickstoff- und Pflanzenschutzmittelaufwendungen lassen vermuten, daß Miscanthusbestände günstige Lebensbedingungen für Fauna und Flora bieten können. Es ist weiter vorstellbar, daß Miscanthusbestände in einer ansonsten offenen Landschaft während der vegetationsarmen Wintermonate wichtige Rückzugsplätze für Tiere darstellen könnten. Die bodenbürtige Fauna wird über einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren - von der Auspflanzung des Miscanthusbestands bis zum Umbruch - nicht durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen gestört. Ob als Folge dieser Bodenruhe die faunistische und floristische Vielfalt im allgemeinen bzw. die Anzahl und Aktivität der Regenwürmer im speziellen zunimmt, muß erst noch wissenschaftlich untersucht werden. Eine kritische Belastungsgröße sind in diesem Zusammenhang die Bodendrucklasten, die während der Miscanthusernte im Frühjahr durchaus Bodenschäden verursachen können.

Andere energetisch interessante Kulturen, wie z.B. der Winterraps, könnten bei zunehmender Ausdehnung des Anbaus in bestimmten Regionen zu einer weiteren Verengung der Fruchtfolgen führen. Winterraps und Zuckerrüben sind miteinander und mit sich selbst unverträglich. Ihr Anteil an einer Fruchtfolge sollte nicht mehr als 25 bis 33 % der Ackerfläche umfassen. Auch der Anbau von Stärkekartoffeln wird ohne die Einhaltung einer sinnvollen Fruchtfolge einem zunehmenden Druck durch nicht mit chemischen Mitteln bekämpfbaren bodenbürtigen Schädlingen ausgesetzt. Aus der Palette der einjährigen Nachwachsenden Rohstoffe, die ohne einen Fruchtwechsel keine Höchsterträge bringen können, ragt der Körnermais heraus, der in Monokultur angebaut werden kann und auch wird.

Die faunistische und floristische Wertschätzung eines Bestands mit Nachwachsenden Rohstoffen hängt, wie bereits angedeutet, u.a. vom Flächenumfang insgesamt, von der Flächenverteilung in der Landschaft, der Raumstruktur des Bestands und von der Nutzbarkeit der Kultur als Lebens- und Nahrungsraum ab. Die Raumstruktur der Biotope und der landwirtschaftlichen Produktionsflächen spielt sicher eine nicht unerhebliche Rolle bei der Einschätzung des bioökologischen Werts eines Agrarökosystems. Dieser Aspekt wurde aber nicht weiter be-

trachtet, weil keine herausragenden Unterschiede zwischen den Pflanzenarten erkennbar waren und die Frage der Bewertung ein ungelöstes Problem darstellt. Bestimmte Nachwachsende Rohstoffe, wie z.B. die Arznei- und Gewürzpflanzen, werden angesichts der nur geringfügig steigenden Nachfrage und der hohen Produktionskosten auch in Zukunft nur einen kleinen Teil der Nutzfläche belegen und daher einen positiven Effekt auf das Landschaftsbild, die Fruchtfolgen und die Agrarökosysteme haben. Neben dem Flächenumfang und der Anordnung der Anbauflächen in der Landschaft sind auch die Zusammensetzung der mit der Kulturpflanze vergesellschafteten Wildflora sowie die Nutzbarkeit der Kulturpflanzen und ihrer Begleitflora als Lebensraum und Nahrungsquelle von Wichtigkeit bei der Beurteilung des floristischen und faunistischen Wertes einer nachwachsenden Rohstoffpflanze. Blütenpflanzen, wie z.B. der Winterraps oder die Sonnenblumen, können interessante Pollen- und Nektarquellen darstellen. Solche Aspekte wurden wegen der auftretenden Quantifizierungs- und Bewertungsschwierigkeiten in der TA-Studie nicht weiter verfolgt.

Auf Rotationsbrachen entwickeln sich weit häufiger Pflanzenbestände mit ubiquitären Kraut- und Grasarten (Unkräuter) als Gesellschaften mit seltenen bzw. gefährdeten Pflanzenarten. Auf Dauerbrachen entscheiden das Samenpotential im Boden sowie Schnitthäufigkeit und -zeitpunkt über die sich entwickelnde Zusammensetzung der Flora. Stillgelegte Flächen bieten für verschiedene Wildarten und Vögel sowie zahlreiche Insekten und Gliederfüßler Schutz- und Nahrungsraum.

2.2 Physikalische und chemische Risiken für Boden, Gewässer und Luft

In der TA-Studie werden die Anbauverhältnisse für die Gegenwart und für die mittelfristige Zukunft (2005) nach verschiedenen Produktionsintensitäten modelliert (s. Kap. III.1). Die Produktionsvariante "Wasserschutzgebiets-Intensität" ist ähnlich wie die "Stickstoff-Abgabe-Intensität" das Ergebnis einer stark auf Umwelt- und Naturschutz ausgerichteten Politik. Aus Gründen der Les- und Überschaubarkeit wurde darauf verzichtet, für alle betrachteten Intensitäten die umweltspezifischen Daten und Auswirkungen durchgehend darzustellen. Die nachfolgenden Betrachtungen zu den verschiedenen umweltspezifischen Auswirkungsbereichen konzentrieren sich, wie die Ausführungen zu den technischen und ökonomischen Kenndaten des NR-Anbaus, auf die Fälle "Hohe Intensität" und "N-Abgabe".

2.2.1 Auswirkungen auf den Boden

2.2.1.1 Bodenverdichtung

Die produktionsspezifischen Drucklasten, der Aufbau des Bodens sowie sein Zustand und die Witterung zur Zeit der Belastung sind entscheidende Faktoren, die das Risiko einer Bodenverdichtung bestimmen. Die Gefahr einer Verdichtung des Bodens ist besonders groß bei

- lehmigen und tonigen Böden mit großem Wasserspeichervermögen,
- Befahren der Flächen bei nasser und feuchter Witterung,
- großen Maschinen- bzw. Erntegutgewichten,
- ungleicher Verteilung der Fahrzeuggewichte auf Achsen und Räder sowie
- kleinen Reifenkontaktflächen.

Andere Faktoren wie die Reifenbauart, der Schlupf, die Fahrgeschwindigkeit und die Schwingungen beeinflussen ebenfalls das Maß der Verdichtung (SOMMER 1985). Bei einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 6 auf 10 km/h beträgt die Verdichtungsgefahr nur noch 75 Prozent (ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1991). Der Einsatz von Maschinen mit großer Arbeitsbreite und -geschwindigkeit führt also nicht generell zu einer Erhöhung der Bodendrucklasten. Dies gilt insbesondere, wenn Fahrzeuge mit angepaßter Dämpfung und Federung des Fahrgestells eingesetzt werden. Die Gewichtszunahme der Maschinen kann durch eine geringere Verweilzeit auf dem Boden ausgeglichen werden. Die Verwendung leistungsfähiger Maschinen läßt zudem mehr Spielraum, die notwendigen Arbeitsgänge dann auszuführen, wenn der Boden trocken oder gefroren ist und weniger belastungsempfindlich reagiert.

Durch die Veränderung des Kontaktflächendrucks, der zwischen der Berührungsfläche des Reifens und dem Boden entsteht, kann einer Verdichtung entgegengewirkt werden. Mit zunehmender Kontaktfläche sinkt der Druck pro Flächeneinheit und damit die Gefahr irreversibler Strukturschäden im Boden.

Die mechanische Belastung löst einen Bodendruck aus, der mit steigender Bodentiefe abnimmt. Die vertikale Druckverteilung ähnelt einer Zwiebel. Unterschiedliche Drucklasten mit gleicher Kontaktfläche beeinträchtigen in gleichem Maße die Krume. Die schwere Last erzeugt im Unterboden einen stärkeren Druck und führt dort zu einer höheren Verdichtungsgefahr.

Die Erkenntnis, daß bei gleichen Maschinengewichten und unterschiedlichen Kontaktflächen die Schädigung unter der Aufstandsfläche umso größer ist, je kleiner die Kontaktfläche und je größer der Kontaktflächendruck (BOLLING und SÖHNE 1982) ist, führt dazu, daß bei bestimmten Arbeitsschritten die Traktoren

mit großen Niederdruck-Pflegereifen bestückt werden. "Terra-Reifen" schonen nicht nur die Ackerkrume und damit die für den Wasser- und Lufthaushalt wichtigen Grobporen, sondern auch den Pflanzenbestand, weil der Druck auf die Wurzeln geringer ist. Die Terra-Reifen eignen sich allerdings nicht zum Pflügen (mangelnde Zugsicherheit) und für Pflegemaßnahmen in Spurschächten. Bei normalen Reifen kann durch das Absenken des Reifenluftdrucks der Boden entlastet werden. Der Nachteil dieser Methode ist der erhöhte Verschleiß des Reifens während der Straßenfahrten.

Ein kurzfristiger Druck beschädigt das Hohlraumvolumen eines Bodens weit weniger als eine langanhaltende und ständig wiederkehrende Belastung. Mehrmaliges Befahren des Ackers auf festgelegten Fahrgassen, wie es in Getreidebeständen oder Dauerkulturen praktiziert wird, verdichtet den Boden vor allem in der Tiefe. Diese Verdichtungen können, wenn nicht gegengesteuert wird, zu physikalisch-chemischen Veränderungen der Bodenstruktur und -zusammensetzung führen. Die bodenbürtige Fauna und Flora wird insgesamt in ihrer Biozönose beeinträchtigt. Besonders empfindlich reagieren die Regenwürmer, deren Populationen zurückgehen. Maßnahmen zur Lockerung verdichteter Bodenhorizonte sind mögliche, aber drastische und kostenintensive Versuche zur Wiederherstellung des Ausgangszustands. In der Regel kann der ursprüngliche Zustand durch rein technische Maßnahmen nicht wiederhergestellt werden. Einen positiven Einfluß auf die Regenwurmpopulationen haben lange Zeiträume ohne Bodenbearbeitungsmaßnahmen und ein großes Angebot an Nahrungspflanzen, das z.B. über eine Zwischenfruchtkultur bereitgestellt werden kann.

Zu den Kulturen mit einem hohen Bodenverdichtungspotential gehören diejenigen Nachwachsenden Rohstoffe,

- die auf druckempfindlichen Böden angebaut werden,
- deren Produktion mit hohen Bodendrucklasten verknüpft ist und
- deren Anbau und Ernte in den feuchten Jahreszeiten stattfinden.

Angaben zu den auftretenden Bodendrucklasten wurden für verschiedene Produktionsverfahren auf der Basis einer in Abhängigkeit der Betriebsgröße (60 ha) und Schlaggröße (2 ha) unterstellten Maschinenausstattung erhoben (ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1991). Das Gewicht der Zugmaschine und der eingesetzten Arbeitsgeräte (Radlast) wurde mit der Dauer des Arbeitsvorganges (Anzahl der Überfahrten und Fahrzeit) multipliziert. Diese Vorgehensweise führt zu der Bodendrucklast "Tonnenstunden pro Hektar". Es handelt sich hier um den Versuch, mit einer einfachen und transparenten Methode die mit dem Anbau von Pflanzen verknüpften Risiken der Bodenverdichtung abzuschätzen. Die Ergebnisse der technisch bedingten Bodendrucklasten für verschiedene Pflanzenarten sind in

Tabelle III.2-1: **Risiken der Bodenverdichtung und Bodenerosion bei verschiedenen NR**

Pflanzenart	Bodenart	Bodendrucklasten		Risiko der Bodenverdichtung	C-Faktor	Risiko der Bodenerosion
		(t · h/ha·a)	zeitlicher Schwerpunkt (%)			
Winterweizen	lehmige Braunerdeböden	59	GE: 46 %	gering	6	gering
Körnermais	tiefgründige Lößlehmböden	48	HE: 35 %	groß	16	sehr groß
Winterraps	tiefgründige humose Böden	43	HE: 54 %	gering	8	gering
Sonnenblumen	sandige Lehm- bis lehmige Tonböden	37	FB: 36 %	gering	12	groß
Stärkekartoffeln	siebfähige lockere Sand-/Lehmböden	116	HE: 48 %	groß	12	sehr groß
Zuckerrüben	tiefgründige humose Lößböden	89	HE: 61 %	sehr groß	12	sehr groß
Faser-/Öllein	sandige Lehm- bis lehmige Sandböden	38	FB: 39 %	gering	8	gering
Miscanthus	humusreiche, sandige Lehmböden	34	FB: 94 %	groß	9	gering
Pflegevariante Grünland	Lehm- und Tonböden, leichte Böden	12	GE: 100 %	sehr gering	2	sehr gering
Eingesäte Ackerfläche	Lehm- und Tonböden, leichte Böden	36	HE: 34 %	sehr gering	4	gering

Quelle: ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1991

Legende: C-Faktor = nach SCHWERTMANN et al. (1990) ermittelte kulturspezifische, relative Bodenabtragswerte
GE = Getreideernte
HE = Heuernte
FB = Frühjahrsbestellung

Tabelle III.2-1 aufgeführt. Die Tabelle enthält darüber hinaus Angaben zum Zeitraum, in dem die Drucklasten anfallen. Aus den Größen Bodendrucklast und Zeitraum der Belastung wurden die Risiken der Bodenverdichtung abgeschätzt.

Unter den Nachwachsenden Rohstoffen steht die Zuckerrübe bei dem Merkmal Bodenverdichtung an der Spitze der Risikoskala. Die wasserhaltigen Erntemengen (40 bis 60 t/ha) werden im Spätherbst mit schweren Maschinen unter oft feuchten, verdichtungsanfälligen Bodenverhältnissen von den Feldern geholt. Bei der Spätkartoffelernte ist das Verdichtungsrisiko trotz höherer Bodendrucklasten geringer, weil Kartoffeln vorzugsweise auf leichten sandigen Böden mit geringer Sensibilität gegenüber Drucklasten angebaut werden. Um Schäden an den Kartoffeln zu vermeiden und einen siebfähigen Boden zu haben, wird darauf geachtet, die Kartoffelernte nur bei trockener Witterung durchzuführen.

Bei der Pflegevariante Grünland, die nur einmal im Spätsommer abgeerntet wird, ist das Risiko einer Bodenverdichtung sehr gering. Ebenfalls wenig bodenbelastend sind die Kulturen Faser- und Öllein, die Sonnenblumen, der Winterraps und das Wintergetreide (s. Tab. III.2-1). Die Gefahr der Bodenbelastung ist bei den genannten Pflanzenarten angesichts der niedrigeren Erntemengen und der trockenen Witterung während der Erntezeit als eher gering einzustufen.

Über das Bodenverdichtungsrisiko eines mit Miscanthus bepflanzten Feldes lassen sich noch keine belastbaren Aussagen machen. Es ist aber nicht auszuschließen, daß in Jahren mit warmer und feuchter Winterwitterung der Boden durch die Ernte stark verdichtet werden kann.

Die Bodenstruktur wird während der Rotationsbrache nicht belastet, aber auch nicht wesentlich verbessert. Erst bei einer lang angelegten Dauerbrache können durch den Wegfall der Drucklasten und durch die intensive Durchwurzelung positive bodenphysikalische Effekte eintreten. Im Vergleich zu den Rohstoffoptionen ist die Flächenstillegung die Nutzungsvariante mit den geringsten Verdichtungsgefahren. Vergleichbar bodenschonend ist die Pflegevariante Grünland, bei der mit extensiven Produktionsverfahren Biomasse zur energetischen Nutzung gewonnen wird.

2.2.1.2 Erosion

Unter dem Begriff Erosion versteht man den Abtrag von Bodenmaterial durch Wasser und Wind. Während die Wassererosion vor allem bei hängigen Ackerflächen auftritt, spielt die Winderosion auch auf ebenen Flächen eine Rolle. In beiden Fällen ist das Ausmaß der Bodenerosion von der Bodenbedeckung durch den Pflanzenbewuchs abhängig.

Spätkartoffeln, Zuckerrüben, Körnermais und Sonnenblumen sind unter den einjährigen Kulturen die Rohstoffpflanzen mit dem größten Erosionsrisiko. Sie werden in großen Reihenabständen angebaut und durchlaufen eine langsame Jugendentwicklung mit der Konsequenz, daß der Boden über einen relativ langen Zeitraum ungeschützt bleibt. Bei diesen Kulturen handelt es sich zudem um Hackfrüchte, bei denen eine mechanische Bearbeitung des Bodens zur Unkrautregulierung, vor allem jedoch zur Auflockerung des Bodens durchgeführt wird. Dieser Vorgang schafft Angriffsflächen für Wind und Wasser.

Bodenlockernde Maßnahmen und mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen vergrößern die Gefahr der Bodenerosion und des N-Austrags (Förderung der Mineralisation), wirken sich aber günstig auf die Populationen der Bodenorganismen aus. Die Lebensbedingungen für aerobe Bakterien und Pilze verbessern sich durch den damit verbundenen Sauerstoffeintrag. Gleichzeitig werden der Abbau organischer Substanz intensiviert und Stickstoff aus dem Bodenvorrat freigesetzt. Intensive Bodenbearbeitungsvorgänge können jedoch die Erosion des Bodens forcieren und die Lebensbedingungen der Bodenfauna und -flora negativ verändern.

Die Pflegevariante Grünland schützt den Boden am sichersten vor erosiven Angriffen. Aber auch das Wintergetreide und der Winterraps haben aufgrund ihrer verhältnismäßig langen Vegetationsperiode eine bodenbewahrende Funktion. Im Anpflanzjahr und während der Zeit des Bestandsaufbaus ist das Erosionsrisiko bei Miscanthus groß. Nach der Etablierungsphase besteht nur noch ein sehr geringes Erosionsrisiko.

Der Verlust von Boden ist irreversibel. Unter pflanzenbaulichen Aspekten wird er trotzdem toleriert, solange die Höhe des Bodenabtrags im Rahmen der natürlichen Regenerationsfähigkeit des Bodens liegt. In Abhängigkeit von der Gründigkeit des Bodens sind dies zwischen einer und maximal zehn Tonnen pro Hektar Ackerfläche und Jahr (SCHWERTMANN et al. 1990).

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten oder das Zurücklassen von Ernterückständen kann die Erosionsgefahr während des Winterhalbjahres herabgesetzt werden. Von einer Zwischenfrucht oder Untersaat profitieren auch die Bodenorganismen, deren Population und Aktivität zunehmen.

Eine weitere Alternative, den Boden prophylaktisch vor Erosion zu schützen, ist die Methode der konservierenden Bodenbearbeitung. Ein Beispiel dieser Bewirtschaftungsform ist das Mulchsaatverfahren, das u.a. beim Körnermais angewandt wird.

Auf einer rasch begrünten und gut durchwurzelten Dauerbrache ist die Erosionsgefahr gering bis sehr gering und nach einer gewissen Zeit mit der Pflegevariante Grünland vergleichbar. Kurzfristig (Rotationsbrache) stillgelegte und selbstbegrünte Flächen bieten dagegen einen eingeschränkten Schutz vor einer Erosionsgefahr.

2.2.2 Auswirkungen auf das Wasser

Die Auswirkungen des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe entsprechend der Intensität "N-Abgabe" einerseits und der Wasserschutzgebiets-Intensität (WSG-Intensität) andererseits unterscheiden sich im Falle des Eintrags fremder Substanzen in das Grundwasser und die Oberflächengewässer deutlich voneinander. Darüber hinaus bestehen Belastungsunterschiede zwischen den eingangs erwähnten extensiven Produktionsvarianten. Die "WSG-Intensität" (s. Kap. III.1) ist von der politischen Gesetzgebung bewußt und ausschließlich auf den Schutz des Grundwassers ausgelegt. Die laut Verordnung 20 % unter dem Entzug liegende N-Düngung soll zu einem langsamen Abbau der bodenbürtigen Stickstoffreserven führen und die Einhaltung der gültigen EG-Grenzwerte von 50 mg Nitrat pro Liter Trinkwasser garantieren. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) ist limitiert. Lediglich für das Grundwasser nach dem derzeitigen Kenntnisstand unbedenkliche Mittel (Positivkatalog) dürfen eingesetzt werden.

Die Gefahr einer Verlagerung von PSM-Rückständen und Nitrat ist im Falle der "WSG-Intensität" tendenziell etwas geringer als im Falle der "N-Abgabe". Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich deshalb auf die "N-Abgabe"-Variante.

2.2.2.1 Verlagerung von Stickstoff

Das Ausmaß der Belastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer mit stickstoffhaltigen Verbindungen hängt nicht nur vom Umfang, der Dosierung und der Zusammensetzung der Stickstoffdüngung sowie dem Stickstoffentzug ab, sondern auch von den Standortfaktoren

- Wasserdurchlässigkeit und Sorptionskraft des Bodens,
- Wasserverbrauch des Pflanzenbestandes und Evaporation,
- Niederschlagsmenge und -verteilung,
- Stickstofffreisetzung aus der natürlichen Mineralisation und
- Grundwasserabstand bzw. Entfernung der Oberflächengewässer vom Ort der Stickstoffdüngung.

Die Höhe des Nitrataustrags aus dem Oberboden wird durch die Höhe der im Boden vorhandenen Restnitratmenge und durch den Verlagerungsverlauf bestimmt. Der bodenbürtige Reststickstoffgehalt hängt von der Bewirtschaftung, der Verla-

gerungsgeschwindigkeit des Stickstoffs, der Witterung und den Bodeneigenschaften ab.

Die Auswaschungsgefahr ist bei denjenigen Pflanzen am größten, die einen hohen Stickstoffbedarf, einen niedrigen Stickstoffentzug durch die Ernteprodukte, eine geringe Durchwurzelungstiefe und eine kurze Vegetationsdauer haben.

Unter den betrachteten Nachwachsenden Rohstoffen ist u.a. auch der mit hoher Intensität angebaute Körnermais mit einem hohen Stickstoffverlagerungsrisiko verknüpft. Zu der relativ hohen Düngung kommt eine kurze Vegetationszeit und eine späte Ernte, die eine Stickstoffaufnahme durch die Nachfolgekultur einschränkt. Das Risiko wird durch die Eigenschaft der Maispflanze, Überdüngungen zu tolerieren, verschärft. In bestimmten Fällen dient der Mais als Entsorgungspflanze für organischen Dünger, mit entsprechenden Gefahren für das Grundwasser. Mit dem Zusatz nitrifikationshemmender Substanzen können die Freisetzung von Stickstoff aus organischen Düngemitteln verzögert und besser dem Bedarf der Pflanzen angepaßt sowie die Auswaschungsgefahr abgesenkt werden.

Ein ähnlich hohes Düngungsniveau wie der Körnermais haben auch Winterraps und Winterweizen. Bei hohen Düngergaben hat die Bewirtschaftungsweise einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Nitratverlagerung. Der Pflanzenentwicklung und dem Bedarf angepaßte Düngergaben und -formen können das Risiko der Stickstoffverlagerung verringern. Der Stickstoffsaldo (s. Tab. III.2-2) macht deutlich, daß die stickstoffhaltigen, leicht zersetzbaren Ernterückstände von Winterraps ein hohes Stickstoffverlagerungsrisiko verursachen. Angesichts der frühen Ernte kann durch eine nachgebaute Winterkultur oder Zwischenfrucht ein Teil des Stickstoffs gebunden und vor der Auswaschung geschützt werden.

Mit der Neuordnung der EG-Marktordnung, die zu deutlich niedrigeren Erzeugerpreisen für Ölsaaten führt, dürften sich die Intensität der Bewirtschaftung und damit das Risiko eines Stickstoffaustrags bei Winterraps verringern.

Auch beim Anbau von Stärkekartoffeln wird relativ viel Stickstoff aufs Feld gebracht. Da Kartoffeln vorzugsweise auf siebfähigen, sandigen Böden mit hoher Wasserdurchlässigkeit angebaut werden, kann auch bei den Stärkekartoffeln die Gefahr der Stickstoffverlagerung aus dem Wurzelraum von Bedeutung sein.

Gering ist das Risiko eines Austrags von Stickstoff aus dem Wurzelraum bei Sonnenblumen und Miscanthus. Die Sonnenblume wird sowohl bei der gegenwärtigen Produktionsintensität als auch bei der Hohen Intensität im Jahr 2005 mit 80 bzw. 96 kg N pro Hektar und Jahr sehr restriktiv gedüngt. Nach der Vegetations-

periode bleibt die nicht geerntete, stickstoffhaltige Biomasse auf dem Feld zurück. Diese kann während der Wintermonate mikrobiell umgesetzt und der nicht mehr gebundene Stickstoff ggf. ausgewaschen werden. Angesichts der geringen Stickstoffhinterlassenschaft der Sonnenblume kann aber das Risiko des Stickstoffaustrags insgesamt als gering eingeschätzt werden. Die Miscanthusdüngung ist mit den angenommenen Werten von 125 bzw. 156 kg N pro Hektar und Jahr deutlich höher als die Sonnenblumendüngung. Das Stickstoffauswaschungsrisiko wird dennoch als gering eingestuft, weil einerseits aufgrund der hohen Biomasseerträge auch von relativ hohen Entzügen ausgegangen werden kann und andererseits der Miscanthusbestand den Stickstoff in das Wurzelsystem verlagert und dort bis zum Frühjahr speichert.

Die Stickstoffsalden von Öl- und Faserlein sowie der nicht gedüngten Pflegevariante Grünland sind negativ, d.h. dem Boden wird mehr Stickstoff entzogen als durch die Düngung zugeführt wurde. Der Stickstoffvorrat des Bodens wird langsam abgebaut und das sehr geringe Risiko des Stickstoffaustrags nimmt noch weiter ab.

Der Stickstoffaustrag unter einer Schwarzbrache ist dann relativ hoch, wenn erhebliche Mengen an Stickstoff aus Ernterückständen von der Vorfrucht oder aus dem Bodenvorrat freigesetzt werden. Eingesäte Dauerbrachen setzen vor allem dann Stickstoff frei, wenn sie umgebrochen werden. Die Flächenstillegung trägt durch das absolute Düngungsverbot zur Entschärfung der Nitratproblematik bei. Noch umweltfreundlicher ist die Pflegevariante Grünland, weil hier durch den regelmäßigen Abtransport der nachwachsenden Biomasse der Stickstoffvorrat und damit die Gefahr einer Stickstoffverlagerung verringert werden.

Im Vergleich zum gegenwärtig intensiven Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln bzw. Nachwachsenden Rohstoffen wird das Potential zur Stickstoffverlagerung im Fall der Hohen Intensität im Jahr 2005 nicht weiter verschärft. Hier wird die höhere Düngermenge pro Hektar durch einen höheren Entzug als Folge gestiegener Erträge und einer besseren Stickstoffeffizienz ausgeglichen. Die Stickstoffsalden im Fall der Hohen Intensität liegen im Jahr 2005 in einigen Fällen sogar unter denen der gegenwärtigen Produktionsintensität (s. Tab. III.2-2). Unter veränderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen kann, wie am Beispiel der Stickstoffabgabe gezeigt, die Gefahr der Nitratverlagerung aus dem Wurzelraum auf eine mittlere bis niedrige Risikostufe abgesenkt werden. Bei den Nachwachsenden Rohstoffen mit sehr geringem und geringem Risiko ändert sich dagegen wenig. Auch unter diesen extensiven Produktionsbedingungen ist das Risiko der Nitratverlagerung ins Grundwasser bei gedüngten Nachwachsenden Rohstoffen größer als auf den stillgelegten, ungedüngten Flächen. Diese Aussage ist

Tabelle III.2-2: **Risiko der Verlagerung von Stickstoff (N) bei verschiedenen NR - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse**

Pflanzenart	Gegenwart			Hohe Intensität 2005			N-Abgabe 2005		
	N-Düngung (kg N/ha)	N-Saldo (kg N/ha)	N-Verlagerungsrisiko	N-Düngung (kg N/ha)	N-Saldo (kg N/ha)	N-Verlagerungsrisiko	N-Düngung (kg N/ha)	N-Saldo (kg N/ha)	N-Verlagerungsrisiko
Winterweizen	180	58	groß	202	44	mittel	104	– 26	sehr gering
Körnermais	170	67	groß	190	52	groß	122	1	mittel
Winterraps	180	76	groß	195	53	groß	98	3	gering
Sonnenblumen	80	14	gering	96	4	gering	81	– 8	gering
Stärkekartoffeln	170	42	groß	205	36	groß	171	6	mittel
Zuckerrüben	170	43	groß	200	39	groß	168	11	mittel
Faser-/Öllein	50	– 12	sehr gering	58	– 17	sehr gering	46	– 24	sehr gering
Miscanthus	125	25	gering	156	31	gering	125	0	gering
Pflegevariante Grünland	0	– 59	sehr gering	0	– 50	sehr gering	0	– 50	sehr gering
Dauergrünland	140	33	gering	147	27	gering	91	– 9	sehr gering
Eingesäte Ackerfläche	190	38	gering	206	28	gering	133	– 18	sehr gering

allerdings abhängig vom verlagerbaren Stickstoffvorrat des Bodens und von der Form der Stillegung. In bestimmten Fällen können in den ersten Jahren der Flächenstillegung durchaus nicht vernachlässigbare Mengen an Stickstoff ausgewaschen werden.

Aus dem Risiko einer Verlagerung von nicht entzogenem Stickstoff kann nicht direkt auf die Nitratbelastung des Grundwassers gefolgert werden. Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgänge im Oberboden wie auch im Unterboden führen zu einer schwer quantifizierbaren Verringerung des Stickstoffflusses in Richtung Grundwasser. Die Denitrifikationskapazitäten im Unterboden werden mit dem anhaltenden Austrag von Nitrat immer weiter abgebaut. Als Folge der Nitratreduktion entsteht u.a. auch Distickstoffoxid, auf dessen Bedeutung als Treibhausgas an anderer Stelle eingegangen wird (s. Kap. III.2.3.6 und Kap. IV.4.2).

2.2.2.2 Eintrag von Pflanzenschutzmittelrückständen

Von den ausgebrachten Herbiziden, Insektiziden und Fungiziden gelangen ein Teil in bzw. auf die Pflanze und ein anderer Teil auf den Boden bzw. mit dem Regen- und Sickerwasser in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser.

Die Verweildauer eines Pflanzenschutzmittels (PSM) im Boden ist proportional zur Anwendungsmenge und zu seiner chemischen Stabilität, zum Bodenbedekkungsgrad, Tonanteil und Gehalt an organischer Substanz, aber reziprok zur Wasserlöslichkeit, zum Dampf- und Sublimationsdruck und zur Bodentemperatur.

Die gleichzeitige Applikation verschiedener PSM führt bei den bodenbürtigen Mikroorganismen zu Streßsituationen und blockiert bzw. verzögert ihren mikrobiellen Abbau. Durch die wiederholte Anwendung eines bestimmten PSM wird dagegen eine adaptierte Mikroorganismenpopulation selektiert, die zu einem beschleunigten Abbau beiträgt. Pflanzenschutzmittel können je nach Wirkstoff, applizierter Menge, Ausbringungszeitpunkt, Witterung und Standortgegebenheiten bestimmte bodenbiologische Aktivitäten sowohl stimulieren als auch hemmen. Langfristig ist mit keinen Beeinträchtigungen der für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen, mikrobiellen Leistungen bzw. der Ertragsfähigkeit des Standorts zu rechnen (MALKOMES 1985).

Der Einsatz von PSM hat mit dazu beigetragen, daß Ackerwildkräuter beinahe ein Viertel der auf der Roten Liste stehenden gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen ausmachen (BLAB 1984). Nach SCHUMACHER (1980) sind sogar mehr als die Hälfte aller Pflanzen- und Tierarten der Roten Liste den Agrarökosystemen (Kalkmagerrasen, Streuwiesen, Frischwiesen usw.) zuzurechnen.

Eindeutig von PSM induzierte Veränderungen betreffen die Regenwurmpopulationen. Auf alternativ bewirtschafteten Flächen sind die Regenwurmbesatzdichten signifikant höher als auf konventionell bewirtschafteten. Dies hängt allerdings nicht ausschließlich mit dem unterlassenen Einsatz von PSM zusammen. Auf alternativ bewirtschafteten Flächen herrschen wegen des höheren Angebots an organischer Substanz für das Bodenleben im allgemeinen und wegen der artenreicheren Fruchtfolge für die Regenwürmer im besonderen bessere Bedingungen als auf konventionell bewirtschafteten Flächen. Die Enchytraeiden lassen ebenfalls Rückschlüsse auf die Bewirtschaftungsweise zu. Sie zeigen außerdem Korrelationen zur Fruchtfolge und zur organischen Düngung.

Die Pflegevariante Grünland, die nicht mit PSM oder Düngemitteln behandelt wird, stellt für das Grundwasser und die Oberflächengewässer in der Regel weniger eine Gefährdung als vielmehr einen Schutz dar. Ebenfalls sehr günstig sind die eingesäte Ackerfläche und Miscanthus (s. Tab. III.2-3).

Bei Miscanthus ist der Einsatz von Herbiziden nur während der Etablierungsphase notwendig. Danach bildet die abgefallene Blattmasse von Miscanthus eine Mulchschicht, die das Aufkommen von Konkurrenzpflanzen unterdrückt. Fungizide und Insektizide werden beim Miscanthusanbau nicht eingesetzt, da es (noch) keine ertragsrelevanten Krankheiten und Schädlinge gibt. Erfahrungen mit anderen Pflanzenarten haben gezeigt, daß bei einem großflächigen Anbau einer neuen Kulturpflanze nach einer gewissen Zeitspanne auch Krankheiten und Schädlinge auftreten. Die Frage, ob es sich bei Miscanthus um einen extensiven Nachwachsenden Rohstoff handelt, der ohne den Einsatz von PSM langfristig hohe Biomasseerträge liefert, kann derzeit nicht sicher beantwortet werden.

Die Sonnenblume, der Öl- und der Faserlein benötigen als Starthilfe eine Herbizidbehandlung, kommen danach aber ohne zusätzliche Krankheits- und Schädlingsbekämpfungsmittel aus. Sie fallen in die Kategorie mit geringem Risiko.

Bei der Kartoffelproduktion wird verstärkt auf Fungizide und Krautabtötungsmittel zur Ernteerleichterung zurückgegriffen. Insektizide, Fungizide, Wachstumsregulatoren und Krautabtötungsmittel werden nicht direkt auf den Boden gespritzt und stellen im Vergleich zu den Herbiziden eine weniger große Gefahr für das Grundwasser, nicht aber für die angrenzenden Oberflächengewässer dar.

Die langsame Jugendentwicklung und die bei starker Verunkrautung auftretenden Ertragsdepressionen zwischen 70 und 100 % machen den Einsatz von Herbiziden beim Körnermaisanbau meist unabdingbar. Die Belastung von Grundwasser, Oberflächengewässern und Regenwasser mit Triazinen ist eine Folge dieses Herbizideinsatzes bei Mais. Die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlin-

gen ist sehr gering. Lediglich der Maiszünsler wird chemisch oder in Wasserschutzgebieten biologisch mit Trichogramma bekämpft.

Tabelle III.2-3: **Risiko der Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Richtung Grundwasser bei verschiedenen NR**

Pflanzenart	Anzahl der Behandlungen mit PSM					Risiko der PSM-Verlagerung in Richtung Grundwasser
	Beizung	Herbizid	Fungizid	Insektizid	Sonstiges	
Winterweizen	1	2	2	1	1	groß
Körnermais	1	1	0	1	0	sehr groß
Winterraps	1	2	0	2	0	groß
Sonnenblumen	1	1	0	0	0	gering
Stärkekartoffeln	0	2	4	0	1	groß
Zuckerrüben	1	3	0	1	0	groß
Faser-/Öllein	1	2	1	0	0	gering
Miscanthus	0	1	0	0	0	sehr gering
Pflegevariante Grünland	0	0	0	0	0	sehr gering
Eingesäte Ackerfläche	0	0	0	0	0	sehr gering

Eine Belastung des Wasserhaushaltes mit PSM-Rückständen und -Metaboliten kann wegen des absoluten Verbots der Ausbringung von PSM auf stillgelegten Flächen nur aus den Hinterlassenschaften der Vorgängerkulturen stammen. Mit der Wiederinkulturnahme der Brache kann aber ein Einsatz von PSM zur Bekämpfung der entstandenen Unkrautflora notwendig werden. Im Vergleich zu den Alternativen der Rohstoffproduktion ist die Gefahr des PSM-Austrags bei der Brache in der gleichen Größenordnung wie bei der Pflegevariante Grünland.

2.2.3 Zusammenfassung der Umweltrisiken

Die Tabelle III.2-4 gibt einen Überblick über die qualitative Bewertung der Umweltrisiken, die mit dem Anbau verschiedener Nachwachsender Rohstoffe verknüpft sind. Es ist erkennbar, daß bestimmte Pflanzenarten, wie z.B. der Faser- und Öllein, allgemein nur zu einer sehr geringen bis geringen Umweltgefährdung führen. Ein verstärkter Anbau dieser Pflanzenarten würde im Vergleich zur Alternative der Flächenstillegung (Pflegevariante Grünland bzw. eingesäte Ackerfläche) nicht zu einer spürbaren Mehrbelastung der Umwelt führen. Eine Ausdehnung der Körnermais- oder Zuckerrübenfläche hingegen hätte deutlich höhere Umweltrisiken zur Folge.

Gewisse Risiken können durch eine Veränderung der Bewirtschaftungsweise beeinflußt werden. Die zum Teil stark divergierenden Stickstoffverlagerungsrisiken der einzelnen Kulturen pendeln sich bei extensiver Produktion (N-Abgabe) auf ein geringes bis mittleres Niveau ein. Unter derart veränderten Produktionsbedingungen sind die mit dem Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen verknüpften Umweltrisiken allgemein geringer. Bei einem kleinen Teil der Nachwachsenden Rohstoffe ist dieser wünschenswerte Zustand bereits ohne Produktionsauflagen Realität.

Tabelle III. 2-4: **Zusammenfassender Überblick über die Risiken der Umweltbelastung durch Nachwachsende Rohstoffe**

Pflanzenart	Bodenverdichtung	Bodenerosion	Stickstoffverlagerung		Verlagerung von PSM
			Hohe Intensität	"N-Abgabe"-Intensität	
Winterweizen	gering	gering	groß	sehr gering	groß
Körnermais	groß	sehr groß	groß	mittel	sehr groß
Winterraps	gering	gering	groß	gering	groß
Sonnenblumen	gering	sehr groß	gering	gering	gering
Stärkekartoffeln	groß	sehr groß	groß	mittel	groß
Zuckerrüben	sehr groß	sehr groß	groß	mittel	groß
Faser-/Öllein	gering	gering	sehr gering	sehr gering	gering
Miscanthus	mittel	gering	gering	gering	sehr gering
Pflegevariante Grünland	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
Eingesäte Ackerfläche	sehr gering	gering	gering	sehr gering	sehr gering

2.3 Freisetzung von N_2O

Alle Pflanzen nehmen während ihres Wachstums Kohlendioxid (CO_2) auf und speichern den Kohlenstoff in ihrer Biomasse. Wird mit dieser Biomasse fossile Energie substituiert, tragen die Nachwachsenden Rohstoffe zur Reduzierung der CO_2-Emissionen bei (s. Kap. IV.4.1). Dieser positive Effekt kann durch die Freisetzung von Distickstoffoxid (N_2O), einem anderen Treibhausgas, geschmälert werden. Während des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe kann N_2O aus stickstoffhaltigen Verbindungen entweichen. Obwohl es sich um kleine Mengen handelt, müssen diese angesichts ihrer Klimarelevanz abgeschätzt und in der Treibhausbilanz berücksichtigt werden.

Die Klimarelevanz von N_2O im Verhältnis zu CO_2 wird nach Angaben der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" in den nächsten 100 Jahren weiter ansteigen. N_2O wird deshalb auch das Treibhausgas des 21. Jahrhunderts genannt (ENQUÊTE-KOMMISSION 1990). Die Auswirkungen der Freisetzung eines Moleküls N_2O sind entsprechend dem ausgewählten Zeithorizont um den Faktor 206 (Gegenwart), 270 (bis in 20 Jahren) bzw. 290 (bis in 100 Jahren) höher als bei einem Molekül CO_2. Die Zunahme des N_2O-Gewichtungsfaktors steigt, wenn man die Wirkung von N_2O und CO_2 über einen längeren Zeitraum betrachtet, weil N_2O eine längere "Lebensdauer" hat als CO_2.

Durch die UV-Strahlung wird darüber hinaus das gebildete N_2O in der Stratosphäre photolytisch gespalten. Dabei entstehen freie Radikale, die katalytisch die schützende Ozonschicht zerstören. Der Schutz des Ozons in der Stratosphäre dürfte jedoch effektiver durch weitere Maßnahmen gegen FCKW-Emissionen zu erreichen sein als durch die Bekämpfung von N_2O-Emissionen.

2.3.1 Natürliche Quellen

Natürliche Vegetationen, bewirtschaftete Flächen und aquatische Ökosysteme geben N_2O an die Atmosphäre ab. Schätzungsweise 90 % der globalen N_2O-Emissionen sind biotischer Natur (BOUWMAN 1990). Die tropischen Regenwälder, die subtropischen Savannen und die nährstoffhaltigen Acker- und Grünlandflächen der gemäßigten Breitengrade sind bedeutende N_2O-Quellen. Allgemein gilt, daß Ökosysteme mit hohen organischen Anteilen und kurzen Umsetzungszeiten vergleichsweise viel N_2O emittieren.

Die wichtigsten Entstehungspfade für N_2O sind die mikrobiologische Denitrifikation und die Nitrifikation stickstoffhaltiger Verbindungen. N_2O ist ein mikrobielles Zwischenprodukt, das bei der Reduktion von oxidierten Stickstoffverbindungen wie z.B. Nitrat (Denitrifikation) und bei der Oxidation von organisch

gebundenem Stickstoff oder Ammonium (Nitrifikation) entstehen kann. Die beteiligten Bakterien können extreme Trockenheiten gut überstehen und sind nach Niederschlägen oder einer Bewässerung in kürzester Zeit wieder aktiv (DAVIDSON 1992).

2.3.2 Mechanismen der N_2O-Freisetzung

Ammoniumoxidierende Bakterien benutzen unter sauerstofflimitierenden Verhältnissen NO_2 als Elektronenakzeptor (POTH und FOCHT 1985). Mit fallendem Sauerstoffpartialdruck steigt das Verhältnis N_2O zu NO_2 an. Unter aeroben Bedingungen gelangen zwischen 0,1 und 0,5 % des nitrifizierten Stickstoffs als N_2O in die Atmosphäre (GOREAU et al. 1980). Bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen kann dieser Wert auf 2,5 % ansteigen (WOOD 1986).

Der Denitrifikationsprozeß bestimmt überwiegend das Ausmaß der N_2O-Freisetzung. Die Nitrifikation ist ebenfalls N_2O-relevant, weil sie in vielen Ökosystemen als konstante Größe auftritt. Die Denitrifikation läuft dagegen eher temporär ab und ist an bestimmte Bodenkonditionen gebunden. In gut durchlüfteten und relativ trockenen Böden trägt die Nitrifikation die Hauptverantwortung für die N_2O-Bildung (BREMNER und BLACKMER 1981).

Die Freisetzung von N_2O aus dem Boden während der Denitrifikation hängt von einer Reihe klima-, bodenart-, vegetations- und bewirtschaftungsspezifischer Faktoren ab. Besondere Bedeutung haben

- das Angebot an Stickstoffoxidverbindungen,
- die Sauerstoffversorgung des Bodens und
- das Angebot an organischen Kohlenstoffverbindungen.

Wie alle biologischen Prozesse wird die Freisetzung von N_2O über die Denitrifikation auch vom pH-Wert und von der Bodentemperatur beeinflußt. Ein niedriger pH-Wert hemmt die Denitrifikation, läßt aber den Anteil von N_2O an den Denitrifikationsprodukten steigen. Das Verhältnis der Denitrifikationsprodukte N_2O zu N_2 nimmt weiter zu, wenn die Verfügbarkeit von Kohlenstoff steigt oder die Bodentemperatur sinkt (FIRESTONE und DAVIDSON 1989). Die aus dem Boden entweichenden N_2O-Mengen sind wegen dieser Temperatur- und Feuchtigkeitsabhängigkeiten tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Übersteigt der Gehalt an Bodenwasser die Feldkapazität, bildet die Denitrifikation die wichtigste N_2O-Ressource (DAVIDSON 1992).

Denitrifizierende Bakterien sind fakultativ anaerob, d.h., daß eine N_2O-Bildung bei guter Sauerstoffversorgung inhibiert wird. Eine verstärkte N_2O-Bildung aus

Nitrat-Stickstoff ist insbesondere an solchen Standorten zu erwarten, wo sich der Sauerstoffpartialdruck im Grenzbereich zwischen aeroben und anaeroben Bedingungen bewegt. Dies ist in Bodenzonen mit hoher Atmungsaktivität wie z.B. in der Rhizosphäre oder nach heftigen Niederschlägen der Fall (SEILER und CONRAD 1981).

2.3.3 N_2O-Freisetzungsraten

Waldböden scheinen eine bedeutsame Quelle für natürliches N_2O zu sein (ROBERTSON 1991). Es wird vermutet, daß die chemische Denitrifikation und eine möglicherweise nicht respirative N_2O-Bildung durch Pilze dafür verantwortlich sind.

GOODROAD und KEENEY (1984) gehen davon aus, daß die natürlichen N_2O-Freisetzungsraten aus wiederaufgeforsteten Böden und Agrarproduktionsflächen in der gleichen Größenordnung liegen. Erst nach einer deutlichen pH-Absenkung durch den Prozeß der Versauerung wird mehr N_2O freigesetzt (NOMMIK und LARSSON 1989). Der niedrige pH-Wert und der relativ hohe Gehalt an organischer Masse scheinen die N_2O-Bildung im Nadelwald besonders stark zu stimulieren. In einem Nadelwald mit Streuschicht auf temporär gesättigtem Boden konnten nach starken Niederschlägen bis zu 20 kg N_2O-N pro Hektar gemessen werden (TIETEMA et al. 1991). Von DUTCH und INESON (1990) wurden für einen Waldbestand jährliche N_2O-Verluste zwischen 1 und 3 kg/ha festgestellt. Nach dem Kahlschlag stiegen die N_2O-Emissionswerte in den folgenden vier Jahren auf 10 bis 40 kg pro Hektar und Jahr an (s. Kap. III.1.2.3). Nichtgedüngte saure Waldböden scheinen also eine bedeutsame Quelle für natürliches N_2O zu sein (ROBERTSON 1991).

Die Denitrifikationsrate natürlicher Ökosysteme steht in einem engen Zusammenhang mit der Bodentextur. Schwere Tonböden und gut humifizierte Standorte mit großen Mengen organischer Substanz sind ideale Voraussetzungen für eine lebhafte Denitrifikation. Im Gegensatz dazu besitzen sandige Podsole nur eine sehr geringe Denitrifikationskapazität (NOMMIK und LARSSON 1989).

Aus nicht gedüngtem Ackerland entweichen durchschnittlich ca. 1 kg N_2O-N pro ha und Jahr (CAST-Report 1976). Es hat den Anschein, daß die N_2O-Freisetzungsrate landwirtschaftlich genutzter Böden höher ist als die naturbelassener Böden (SEILER und CONRAD 1981). Diese höhere N_2O-Emissionsrate ist erklärbar mit dem größeren Stickstoffvorrat und dem engeren C:N-Verhältnis.

Nach Angaben von RONEN et al. (1988) scheint das Grundwasser ein vermutlich großer und bislang unterschätzter Pool für N_2O zu sein. Nicht nur in Deutschland,

sondern weltweit, sind die Grundwasserleiter als Folge intensiver Düngungspraktiken mit Stickstoffverbindungen angereichert. Relativ hohe N_2O-Konzentrationen in der Gasphase der ungesättigten Zone des Bodens weisen darauf hin, daß im Aquifer Denitrifikations- bzw. Nitrifikationsprozesse ablaufen. Dieser Vorgang verbessert zwar die Qualität des Grundwassers, hat aber wie bereits erwähnt einen negativen Einfluß auf die Ozonschicht und das Klima.

Die Bedeutung der Oberflächengewässer und des Grundwassers als N_2O-Emittenten sollten angesichts der Klimarelevanz genauer untersucht werden. Hier besteht zweifelsfrei FuE-Bedarf.

2.3.4 Stickstoffdüngung und N_2O-Freisetzung

Der beobachtete globale Anstieg der N_2O-Emissionen wird vor allem mit dem steigenden Einsatz von Mineraldüngern und der zunehmenden Verbrennung von Biomasse, insbesondere in den Tropen, in Verbindung gebracht (ENQUÊTE-KOMMISSION 1990).

Jede Tonne Luftstickstoff, die industriell fixiert und von der Landwirtschaft verbraucht wird, gelangt im Stickstoffkreislauf über den Prozeß der Denitrifikation als molekularer Stickstoff oder auch als Distickstoffoxid irgendwann in die Atmosphäre zurück. Der Einsatz von "zusätzlichem", synthetisch hergestelltem Stickstoffdünger erhöht damit die natürliche N_2O-Emissionsrate. Es scheint nicht nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen der N_2O-Emissionshöhe und der Düngermenge, sondern auch zwischen der N_2O-Rate und der Formulierung des N-Düngers zu bestehen (EICHNER 1990). Die N_2O-Emissionen steigen nach einer Stickstoffgabe im Vergleich zur nicht behandelten Ackerfläche an, wobei die Freisetzungsraten nach einer Ammoniumdüngung höher sind als nach einer Nitratdüngung. Eine Ammoniumdüngung ist N_2O-relevanter als eine Nitratdüngung, weil die Ammoniumkationen in den obersten Bodenschichten an Tonminerale gebunden und später oxidiert, die Nitrationen dagegen stärker in tiefere Bodenschichten ausgewaschen werden.

Die N_2O-Freisetzungsrate (s. Tab. III.2-5), angegeben als NO_2-N in Prozent des gedüngten Stickstoffs, liegt bei

- Nitratdüngern zwischen 0,001 und 0,018 %,
- Ammoniumnitratdüngern zwischen 0,4 und 0,7 %,
- Ammoniumdüngern zwischen 0,06 und 2,5 % und
- organischen Düngern zwischen 0,8 und 2,05 % .

Tabelle III. 2-5: **N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten und in unterschiedlichem Maße gedüngten Acker-, Grünland- und Waldflächen**

Kultur	N-Düngung (kg/ha)	N_2O-Emission (% der Düngung bzw. kg/ha u. Jahr)*	Literaturstelle
	Ammonium (NH_4)		
Weizen	80	0,18 – 0,24 %	MINAMI 1987
Klee	100	0,065 %	CONRAD et al. 1983
Rüben (abgeerntet)	100	0,153 – 0,216 %	CONRAD et al. 1983
Raps	150	0,06 – 0,09 %	MINAMI 1987
Gerste	200	0,4 %	MOSIER et al. 1982
Mais	200	1,3 %	MOSIER u. HUTCHINSON 1979
Mais (bewässert)	200	2,5 %	MOSIER u. HUTCHINSON 1981
Mais	200	1,5 %	MOSIER et al. 1982
	Ammoniumnitrat (NH_4NO_3)		
Gerste	56	0,7 % bzw. 2,2 kg	MOSIER et al. 1982
Gerste	112	0,4 % bzw. 2,5 kg	MOSIER et al. 1982
Mais	132	2,2 – 2,9 kg	DUXBURY u. BOULDIN 1982
Winterweizen	210	2 kg	COLBOURN u. DOWDELL 1984
Gerste	224	0,4 % bzw. 3,3 kg	MOSIER et al. 1982
	Nitrat (NO_3)		
Klee	10	0,001 %	CONRAD et al. 1983
Rüben (abgeerntet)	100	0,018 %	CONRAD et al. 1983
	Organ. N-Düngung		
Gerste	71	0,8 % bzw. 2,5 kg	MOSIER et al. 1982
Mais	130	2,4 – 3,8 kg	DUXBURY u. BOULDIN 1982
Mais	181	1,8 % bzw. 3,6 kg	CATES u. KEENEY 1987
Mais	237	2,05 % bzw. 5,2 kg	CATES u. KEENEY 1987
Gerste	356	1 % bzw. 9,9 kg	MOSIER et al. 1982
	keine N-Düngung		
Gerste	0	1,2 kg	MOSIER et al. 1982
Luzerne	0	2,3 – 4,2 kg	DUXBURY u. BOULDIN 1982
Unkrautbewuchs	0	0,9 – 1,7 kg	DUXBURY u. BOULDIN 1982
Laubwald	0	0,4 – 1,3 kg	GOODROAD u. KEENEY 1984
Nadelwald	0	2,5 – 3,2 kg	GOODROAD u. KEENEY 1984
Grünland (feucht)	0	2,2 – 9,1 kg	DENMEAD et al. 1979

* Die absolute Angabe in kg N_2O/ha und Jahr bezieht sich auf die Summe der natürlichen und der düngungsbestimmten N_2O-Emissionen.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zur Freisetzung gasförmiger Stickstoffverbindungen durchgeführt. Die Ergebnisse können aber meistens nur bedingt miteinander verglichen werden, da die Versuchsdurchführungen, die Meßmethoden und die Meßdauer zu sehr variieren. In der Tabelle III.2-5 werden ausgewählte Ergebnisse von Felduntersuchungen differenziert nach der Düngungshöhe und -zusammensetzung dargestellt.

2.3.5 Flächenstillegung und N_2O-Freisetzung

Die Anwesenheit von Vegetation scheint einen fördernden Einfluß auf die Denitrifikationsrate zu haben. Gleichzeitig geht der Anteil von N_2O an den Denitrifikationsprodukten zurück. Die Art der Bepflanzung scheint hierbei offenbar auch eine Rolle zu spielen. Die Veratmung organischer Substanz im Wurzelbereich durch Mikroorganismen ist mit einem Verbrauch von Sauerstoff verbunden. Die Denitrifikationsverluste in gut durchlüfteten Böden werden auf Sauerstoffmangel im Rhizosphärenbereich zurückgeführt.

Die Höhe der N_2O-Freisetzung wird sowohl von der Behandlung der stillgelegten Flächen als auch von den Standort- und Klimaverhältnissen sowie vom bodenbürtigen Stickstoffvorrat bestimmt. Im Vergleich mit dem Anbau Nachwachsender Rohstoffe wird bei der Flächenstillegung eine um den Düngungsanteil verringerte N_2O-Menge freigesetzt.

2.3.6 Nachwachsende Rohstoffe und N_2O-Freisetzung

Gerade weil die NR als regenerative Energieträger einen Beitrag zur Reduzierung der CO_2-Freisetzung leisten können, scheint es wichtig, zumindest die Größenordnung der N_2O-Emissionsraten auf der Basis vorhandener Informationen abzuschätzen.

Die Auswertung der verfügbaren Literatur (s. Tab. III.2-5) ergab für die düngungsbedingte N_2O-Freisetzung bei einer landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion eine Spanne von 0,001 bis 2,5 % des applizierten Stickstoffdüngers. Die oberen Werte der Spanne resultieren aus der Kombination Maisanbau und Ammoniumdüngung. Der Extremwert von 2,5 % wird erst durch eine zusätzliche Beregnung erreicht. Den Literaturangaben zufolge besitzt der Körnermais unter den betrachteten Pflanzen das höchste N_2O-Freisetzungspotential. Ansonsten bewegen sich die N_2O-Emissionen meist zwischen 0,1 und 1% der Stickstoffdüngung.

Die Rapspflanze schützt den Boden über einen langen Zeitraum vor einer Austrocknung und verfügt über ein umfangreiches Wurzelsystem. Dies sind idea-

le Bedingungen für die Bildung von N_2O. Nach Messungen von MINAMI (1987) werden in einem Rapsbestand allerdings nur zwischen 0,06 und 0,09 % des Stickstoffdüngers als N_2O freigesetzt. Ein Vergleich mit der N_2O-Freisetzungsrate bei Weizen (MINAMI 1987) zeigt, daß an anderen Standorten auch höhere N_2O-Emissionen möglich sind. N_2O-Werte können schon kleinräumig stark variieren. Da es bei der Bewertung des N_2O-Risikos nicht um lokale Minimum- oder Maximumwerte geht, sondern um die durchschnittliche Emissionserhöhung gegenüber der Alternative der Flächenstillegung, wurde auch für Raps von einer N_2O-Emissionsrate von 0,1 bis 1 % der Stickstoffdüngung ausgegangen. Die Spanne stellt die auf der Basis von Literaturauswertungen getroffene Einschätzung der Autoren dar. Im Falle von Rapsöl wird die Netto-CO_2-Entlastung durch die daraus abgeleitete N_2O-Korrektur in einer vernachlässigbaren (1,3 bis 2 %) bzw. einer bedeutsamen (13 bis 20 %) Größenordnung beeinträchtigt. Mit einer N_2O-Freisetzungsrate von deutlich über 1 % ist wohl nur auf ungünstigen Standorten oder unter extremen Witterungsbedingungen zu rechnen. Auch im ungünstigen Fall bleibt die Netto-CO_2-Bilanz von Rapsöl nach Abzug der N_2O-Emissionen (umgerechnet in CO_2-Äquivalente) noch positiv (vgl. Kap. IV.4.2).

Beim Anbau von Energiegras ist gleichfalls mit mittleren bis teilweise hohen N_2O-Bildungsraten zu rechnen. Die N_2O-Werte von Miscanthus sind aufgrund des geringen Stickstoffbedarfs wahrscheinlich niedrig, sofern keine Beregnung erforderlich ist. Das Nebenprodukt Stroh und Energiegras von Pflegeflächen setzen kein zusätzliches N_2O frei. Ihnen kommt ein zusätzlicher N_2O-Bonus zu, weil ihre energetische Nutzung zu einem langsamen aber kontinuierlichen Abbau des natürlichen N_2O-Freisetzungspotentials führt.

Bei den Festbrennstoffen sind die düngungsbedingten N_2O-Emissionen weniger relevant, weil die angebauten Pflanzenarten einen vergleichsweise geringen N-Bedarf und ein viel höheres CO_2-Minderungspotential besitzen. Die Netto-CO_2-Minderung von Miscanthus ohne Bewässerung würde z.B. durch eine entsprechende N_2O-Korrektur nur um 0,1 bis 1,1 % verschlechtert. Notwendige zusätzliche Beregnungen können aber eine höhere N_2O-Korrektur notwendig machen, da durch diese Wasserzufuhr im Boden sauerstofffreie Zonen geschaffen und die N_2O-Freisetzungsraten gesteigert werden (s. Tab. III.2-5). In Untersuchungen von MOSIER und HUTCHINSON (1979) wurden 30 % der N_2O-Emissionen direkt nach der Düngung und weitere 60 % nach der ersten Beregnung freigesetzt. Auf sandigen Standorten konnte dagegen auch bei einer Feldbewässerung von 40 mm keine meßbare Erhöhung der natürlichen Denitrifikation festgestellt werden (NOMMIK und LARSSON 1989).

Unter schnellwachsenden Pappeln (5-jährige Rotation) wurden bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 120 kg über die Denitrifikation 15 % des Stickstoffs wieder an die Atmosphäre abgegeben (BREMNER et al. 1981). Unterstellt man einen N_2O-Anteil zwischen 3 und 5 % (OTTOW 1992), würden demnach bei einem düngungsintensiven Anbau schnellwachsender Baumarten 0,54 bis 0,9 kg N_2O-N pro Hektar und Jahr freigesetzt. Dies entspricht hinsichtlich der Klimawirksamkeit einer jährlichen CO_2-Emissionsrate von 150 bis 260 kg pro Hektar und Jahr.

Auch der intensive Anbau von Energiegras birgt ein erhöhtes Risiko der N_2O-Bildung in sich. Untersuchungen haben gezeigt, daß insbesondere feuchte Wiesen und Weiden beachtliche Mengen an N_2O freisetzen können (s. Tab. III.2-5). Mit dem stetigen Abtransport von Biomasse und der langsamen Auszehrung des bodenbürtigen Denitrifikationspotentials wird auf der Pflegevariante Grünland langfristig die Menge an freigesetztem N_2O geringer werden.

Auch auf stillgelegten Flächen wird N_2O gebildet und an die Atmosphäre abgegeben. Dies ist die standortbedingte natürliche Rate, die nahezu unabhängig von der Nutzung auftritt. Eine zusätzliche Freisetzung als Folge einer organischen oder mineralischen Düngung findet dagegen nicht statt. Auf den stillgelegten Flächen hat sich zum Teil durch die vor der Stillegung stattgefundene landwirtschaftliche Produktion ein Stickstoffvorrat angesammelt, der manchmal deutlich über den entsprechenden Stickstoffakkumulationen naturbelassener Standorte liegt. Durch mikrobielle Abbauvorgänge im Boden kann unter bestimmten Voraussetzungen N_2O aus dieser Stickstoffhinterlassenschaft freigesetzt werden. Für die zusätzliche düngungsbezogene Freisetzung von N_2O beim Anbau Nachwachsender Rohstoffe zeichnet sich das folgende Muster ab:

- Geringe N_2O-Freisetzung:
  Faserlein, Öllein, Sonnenblumen
- Geringe bis mittlere N_2O-Freisetzung:
  Miscanthus, Zuckerrüben, Winterweizen, Winterraps, Stärkekartoffeln
- Mittlere bis hohe N_2O-Freisetzung:
  Grünland (feucht), eingesäte Ackerfläche, Körnermais

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß im einzelnen noch viel Forschungsbedarf zur N_2O-Freisetzung besteht, und daß durch die Art der Bewirtschaftung die N_2O-Freisetzung beeinflußt werden kann. Beispielsweise läßt sich auf sauren Böden durch eine Erhöhung des pH-Werts die N_2O-Emissionsrate senken.

3. Regionale ökologische Fallstudien

3.1 Einleitung

Im vorangegangenen Abschnitt wurden allgemeingültige Aussagen zu den Umweltauswirkungen des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe aufgezeigt. Dem Einfluß der standörtlichen Besonderheiten auf das Ausmaß der Gefährdung für Boden, Wasser, Fauna und Flora wurden nur wenige Worte gewidmet. Mit der folgenden Auswertung der eigens für diese Studie durchgeführten Modellrechnungen für zwei konkrete Anbauregionen soll die Bedeutung der klimatischen Voraussetzungen und des Landschafts- und Bodentyps im Hinblick auf die ökologischen Risiken näher beleuchtet und illustriert werden.

In Anbetracht der regional unterschiedlichen Produktionsbedingungen und der naturräumlich differenzierten Belastbarkeit der natürlichen Ressourcen wurden beispielhaft zwei verschiedene Landschaftstypen herangezogen, um die Wechselwirkungen zwischen NR-Anbau und Naturhaushalt zu untersuchen.

Die ökologischen Analysen wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) vom Lehrstuhl für Landschaftsökologie (München-Weihenstephan) durchgeführt (VOERKELIUS et al. 1992). Bei diesem Modell handelt es sich um ein raumbezogenes digitales Informationssystem, das die regionsspezifischen Daten der Anbaugebiete mit den pflanzenbaulichen Angaben zur Produktion von NR überlagert und mit Hilfe von Auswertungsprogrammen qualitative bzw. halbquantitative Aussagen zu den Gefährdungsrisiken liefert.

Das Ziel der ökologischen Bilanzierung ist es, aufzuzeigen, ob und wann der Anbau Nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zu anderen Flächennutzungen zu einer stärkeren Gefährdung der natürlichen Ressourcen führt, oder ob eine Reduzierung der Status-quo-Ressourcenbelastung möglich ist. Aussagen zu Wirkungen des Anbaus von Nachwachsenden Rohstoffen auf Flora und Fauna konnten mit dem GIS nicht gemacht werden, weil floristische und faunistische Kartierungen und Modelle zu den bioökologischen Wechselwirkungen nicht verfügbar waren.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stellen keinen Anspruch auf Verallgemeinerbarkeit. Sie sollen in erster Linie die Abhängigkeit der Umweltbelastungsrisiken von der standörtlichen Disposition illustrieren.

3.2 Untersuchungsgebiete

Im Modellgebiet Straßkirchen (5 400 ha) wird wegen der natürlich guten Produktionsbedingungen auf fast 80 % der Fläche intensiv Ackerbau betrieben. Der fla-

che Landstrich im unterbayerischen Hügelland ist geprägt durch fruchtbare Löß- und Schwemmlößböden. Es erstaunt deshalb nicht, daß die Zuckerrübe hier zuhause ist und sich eine Zuckerfabrik (Plattling) in der Nähe befindet. Der Waldanteil ist mit 11 % unterdurchschnittlich, der Umfang des Grünlands mit unter 4 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche gering.

Das Modellgebiet Buttenheim (3 000 ha) erstreckt sich vom Vorland bis zur Hochfläche der nördlichen Frankenalb. Während im Albvorland mittel- bis tiefgründige Böden zum Teil recht gute Ertragsleistungen zeigen, dominiert auf der Albhochfläche der flach- bis mittelgründige, oft mit Kalkscherben durchsetzte, ertragsschwache Standort. Die Ertragsmeßzahlen bewegen sich im Albvorland zwischen 30 und 50, auf der Albhochfläche dagegen nur zwischen 20 und 35. Knapp ein Viertel der Fläche hat eine Neigungsstufe von über 15 %. Die Albhochfläche gilt aufgrund dieser schlechten Produktionsbedingungen als ein landwirtschaftlich benachteiligtes Gebiet. Der Waldanteil liegt in Buttenheim bei 31 %, der Anteil der Ackerfläche bei 47 %. In Buttenheim wird in erster Linie Getreide (67 %), insbesondere Wintergerste (34 %), angebaut.

Das Untersuchungsgebiet Buttenheim wurde wegen der unterschiedlichen Produktionsbedingungen für die Analysen in "oben" und "unten" aufgeteilt. Oben steht für die Albhochfläche, unten für das Albvorland.

Die beiden Modellregionen wurden nicht anonymisiert, weil es anhand zweier konkreter Regionen mit ihren naturräumlichen Besonderheiten einfacher ist, einen plastischen Eindruck vom Ausmaß der Umweltauswirkungen zu vermitteln. Die Nennung der beiden Untersuchungsgebiete sollte aber nicht dazu führen, daß diese Modellanalysen als Planungsgrundlagen für diese Regionen herangezogen werden.

3.3 Untersuchte Nachwachsende Rohstoffe

In den Modellanalysen wurden ausgewählte Pflanzenarten und Fruchtfolgen untereinander, mit den derzeitigen Anbauverhältnissen sowie mit konkurrierenden Flächennutzungen, wie z.B. der Flächenstillegung, verglichen. Diese Varianten stellen die Ausgangs- bzw. Vergleichsbasis für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe dar. Bei den analysierten Nachwachsenden Rohstoffen handelt es sich bis auf Miscanthus und die schnellwachsenden Baumarten um Pflanzenarten, die auch zur Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln angebaut werden.

Aus gemeindestatistischen Daten wurde eine vereinfachte regionsspezifische Fruchtfolge abgeleitet. Da die fruchtfolgebezogenen Auswertungsergebnisse mit

der Anzahl der Fruchtfolgeglieder immer mehr nivelliert werden, bleibt die Zahl der Fruchtfolgeglieder auf drei begrenzt. Die Fruchtfolgen mit Nachwachsenden Rohstoffen setzen sich aus jeweils zwei Status-quo-Fruchtfolgegliedern und einer zusätzlichen nachwachsenden Rohstoffpflanze zusammen. Aus Vergleichsgründen wurde darauf verzichtet, eine Fruchtfolge zu beleuchten, die nur aus Nachwachsenden Rohstoffen zusammengesetzt ist. Bei den analysierten Nachwachsenden Rohstoffen handelt es sich um eine Auswahl, die in Abstimmung mit den Ergebnissen der Prozeßkettenanalysen, der Mengenszenarien und der Standorteignung getroffen wurde. Folgende Pflanzenarten wurden in den regionalen Fallstudien untersucht:

Festbrennstoffe:	Miscanthus, Energiegras, Schnellwuchsplantagen
Flüssige Energieträger:	Winterraps
Stärketräger:	Stärkekartoffeln, Körnermais, Winterweizen

3.4 Produktionsintensitäten und Auswirkungsbereiche

Die produktionsspezifischen Daten zum Anbau Nachwachsender Rohstoffe sind Spiegelbilder agrarpolitischer Vorgaben und Richtlinien. Aufgrund der Bedeutung der Produktionsintensität für die Umweltauswirkungen wird sowohl ein intensiver als auch ein extensiver NR-Anbau simuliert. Die "Hohe Intensität" verkörpert eine ökonomisch orientierte Denkrichtung, die "WSG-Intensität" steht beispielhaft für eine ökologisch motivierte Landbewirtschaftung. Für diese beiden Anbauintensitäten wurden verschiedene Ertragsverhältnisse und Produktionsmitteleinsätze unterstellt (s. Kap. III.1).

Ausgehend von den naturräumlichen Bedingungen und den Flächennutzungsanteilen einerseits sowie den pflanzen-, fruchtfolge- bzw. intensitätsspezifischen produktionstechnischen Kenngrößen andererseits wurden mit Hilfe des GIS für gegenwärtige Verhältnisse Analysen zu folgenden ökologischen Auswirkungsbereichen durchgeführt:

- Risiko des Austrags von Nitrat aus dem Oberboden
- Risiko der Gewässerbelastung durch den Eintrag fester und löslicher Stoffe
- Risiko des Eintrags ausgewählter Pflanzenschutzmittelrückstände ins Grundwasser
- Ausmaß der Bodenerosion
- Ausmaß der Bodenverdichtung

Betrachtungen für das Jahr 2005 wurden ergänzend für die ersten beiden Auswirkungsbereiche durchgeführt.

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Risiko des Austrags von Nitrat aus dem Oberboden

Die GIS-Modellanalysen zur Verlagerung von Nitrat aus dem bewirtschafteten Oberboden in den Unterboden liefern halbquantitative Angaben. Die verschiedenen physikalischen, biologischen und biochemischen Prozesse, die dabei eine Rolle spielen, und ihre Wechselwirkungen sind noch nicht ausreichend erforscht bzw. belegt, um Daten zu generieren, die Auskunft darüber geben, wieviel Stickstoff durch den Anbau Nachwachsender Rohstoffe ins Grundwasser gelangt. Die Ergebnisse geben Hinweise auf die Höhe des Nitrat-Auswaschungsrisikos. Das Modell konzentriert sich auf die Vorgänge, die sich im Oberboden, der für die landwirtschaftliche Produktion relevant ist, abspielen. Es verknüpft die standörtliche Disposition zum Nitrataustrag (Bodentabelle) mit den Nitrat-Belastungswerten der Ackerkulturen bzw. Fruchtfolgen (Stickstoff-Bilanzen) und den klimatischen Daten. Die standortspezifische Neigung zur Nitratverlagerung in Richtung Unterboden wird in Stufen über die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes und die Durchlässigkeit des Bodens ermittelt. Es wurde davon ausgegangen, daß durch die biologische Denitrifikation durchschnittlich rund 7 % der gedüngten Stickstoffmenge, nicht nur als N_2O, an die Atmosphäre verlorengehen (BENCKISER et al. 1987). Der Nitratverlust durch chemische Denitrifizierung wurde angesichts seiner geringen Bedeutung mit Null angesetzt. Die Stickstoffzufuhr aus der Atmosphäre wurde nach Angaben des UBA (1989) mit 10 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr veranschlagt. Dazu kommt ein biogener Eintrag an Luftstickstoff von rund 15 kg pro Hektar und Jahr. Stickstoffverluste, die durch eine Ausgasung von Ammoniak entstehen, werden nicht mit verrechnet, weil sie auf Ackerböden keine große Rolle spielen (ROHMANN und SONTHEIMER 1985).

Der Stickstoff-Bilanzwert der einzelnen Kulturen wird mit einem Abschlag versehen, wenn nach dem Abernten der Kultur im gleichen Jahr eine Folgefrucht angebaut werden kann und wenn kein Stickstoffdünger mehr ausgebracht wird. Ein Zuschlag erfolgt, wenn im Betrachtungsjahr keine Nachfrucht mehr möglich ist. Ausgeprägte Hackfruchtkulturen bekommen ebenfalls einen Zuschlag, weil das Hacken (und auch Häufeln) die Mineralisation und damit die Freisetzung bodenbürtigen Stickstoffs fördert. Die Stickstoffbilanz mehrjähriger bzw. überjähriger Kulturen wurde korrigiert, wenn sie zu Beginn der Vegetationsperiode einen geschlossenen, stickstoffentziehenden Bestand aufweisen.

Die Ergebnisse der Nitrat-Auswaschungsrisiko-Analysen werden in fünf Risikostufen (sehr gering, gering, mittel, groß und sehr groß) dargestellt. Das Gefähr-

dungspotential der Region wird in Flächenanteilen der Risikostufen in Prozent der Ackerfläche wiedergegeben. Ein Beipiel: der Anbau von Wintergerste in Straßkirchen verursacht auf 91 % der gesamten Ackerfläche ein sehr geringes Nitrat-Verlagerungsrisiko (s. Tab. III.3-1).

Status quo

Der Vergleich der beiden Untersuchungsgebiete zeigt, daß trotz der schlechteren Produktionsbedingungen und Ertragsverhältnisse das Stickstoffaustragsrisiko in Buttenheim im Durchschnitt höher ist als in Straßkirchen. Das geringere Nitrat-Verlagerungsrisiko des Standorts Straßkirchen hängt im wesentlichen mit der höheren Feldkapazität der Böden zusammen. Dieses Ergebnis überrascht, weil in Straßkirchen bei gleicher Nutzung die Düngung, dem Ertragsniveau angepaßt, höher ist als in Buttenheim. Ein höheres Düngungsniveau und höhere Erträge müssen also nicht zwangsläufig zu einer höheren Nitratbelastung des Grundwassers führen (s. Abb. III.3-1 und III.3-2).

Innerhalb der Region Straßkirchen erscheint unter Status-quo-Bedingungen das Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung unter Stärkekartoffeln und Körnermais für 91 % der Fläche als groß und für 9 % der Fläche als sehr groß. Unter den Getreidearten ist es dagegen für 91 bis 100 % der Fläche sehr gering bis gering. Bei der Betrachtung von Fruchtfolgen relativiert sich das Verlagerungsrisiko. Die regionspezifische Fruchtfolge Winterweizen - Zuckerrüben - Stärkekartoffeln führt auf 91 % der Fläche zu einem durchschnittlichen Gefährdungsrisiko (s. Tab. III.3-1).

In Buttenheim ist unter den gleichen Bedingungen die Gefahr einer Nitrat-Auswaschung aus dem Oberboden, ähnlich wie in Straßkirchen, unter den Kulturen Körnermais, Zuckerrüben und Kartoffeln am größten. Ihr Anbau bedingt auf 89 % der Fläche ein sehr großes Nitrat-Verlagerungsrisiko, obwohl, wie eingangs erwähnt, weniger gedüngt wird (s. Tab. III.3-2). Auch hier schneiden die Wintergetreidearten, allen voran die Wintergerste und der Winterroggen, am besten ab. Die Status-quo-Fruchtfolgen für die Albhochfläche (Wintergerste - Winterroggen - Kleegras) und für das Albvorland (Winterweizen - Wintergerste - Silomais) gefährden das Grundwasser immerhin noch auf 32 % der Fläche durch ein großes Nitrat-Austragsrisiko.

Tabelle III.3-1: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, *Untersuchungsgebiet Straßkirchen***

	Pflanzenart	Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
		sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Status-quo-Intensität	WR	97,2	2,7	0	0	0
	WG	91,0	6,1	2,7	0	0
	WW, Hafer	0	91,0	6,1	2,7	0
	WRaps, ZR	0	0	91,0	6,1	2,7
	KM, SKartoffel	0	0	0	91,0	8,9
WSG-Intensität	WR, WG	97,2	2,7	0	0	0
	WG mit, WR mit, Energiegras 2, Dauerbrache	91,0	6,1	2,7	0	0
	WW, SKartoffel mit, Energiegras 2, Miscanthus	0	91,0	6,1	2,7	0
	WRaps, RM, ZR mit, SKartoffel	0	0	91,0	6,1	2,7
	ZR	0	0	0	91,0	8,9
Hohe Intensität	WW, WG, WR, SKartoffel, Energiegras 2, Miscanthus, Dauerbrache	97,2	2,7	0	0	0
	WRaps, KM, ZR, Energiegras 1, SWP	91,0	6,1	2,7	0	0
	Fruchtfolge					
Status-quo-Intensität	WW-ZR-SKartoffel	0	0	91,0	6,1	2,7
Hohe Intensität	WW-ZR-SKartoffel, WW-ZR-KM	0	0	91,0	6,1	2,7
	Energiegras 2, Miscanthus	0	91,0	6,1	2,7	0
	Dauerbrache	91,0	6,1	2,7	0	0
WSG-Intensität	WW-ZR-SKartoffel, Energiegras 2, Miscanthus, Dauerbrache	97,2	2,7	0	0	0
	WW-ZR-KM	91,0	6,1	2,7	0	0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende:

AF = Ackerfläche, WR = Winterroggen, WG = Wintergerste, WW = Winterweizen, WRaps = Winterraps,
ZR = Zuckerrübe, KM = Körnermais, SM = Silomais, SKartoffel = Stärkekartoffeln, SWP = Schnellwuchsplantagen
Energiegras 1 = Pflegevariante Grünland (ohne Düngung, 1 Schnitt), Energiegras 2 = Eingesäte Ackerfläche (Düngung, 2 Schnitte)
mit = mit Stroh bzw. Kraut
ohne = ohne Stroh bzw. Kraut
oben = Gebiet der Albhochfläche (niedrige Ackerzahlen) in Buttenheim
unten = Gebiet des Albvorlandes (hohe Ackerzahlen) in Buttenheim

Tabelle III.3-2: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Untersuchungsgebiet Buttenheim**

	Pflanzenart	Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
		sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Status-quo-Intensität	WG, WR	11,4	56,3	32,1	0	0
	WW	7,6	3,8	56,3	32,1	0
	Hafer, SM_{unten} u. $Kleegras_{oben}$	0,2	7,3	27,9	41,9	22,5
	WRaps	0	0,2	7,3	27,9	64,4
	KM, ZR, SKartoffel	0	0	7,6	3,8	88,5
Hohe Intensität	WG, WR	11,4	56,3	32,1	0	0
	$Dauerbrache_{unten}$, $Rotationsbr._{oben}$	11,4	32,2	46,6	9,6	0
	WW, Energiegras 1, Miscanthus, SWP	7,6	3,8	56,3	32,1	0
	SKartoffeln, SM_{unten}, $Kleegras_{oben}$	0,2	7,3	27,9	41,9	22,5
	Energiegras 2	7,6	3,8	56,3	32,1	0
	WRaps	0	7,3	4,0	32,2	56,2
	$WRaps_{mit}$, KM, ZR	0	0	7,6	3,8	88,5
WSG-Intensität	WW, WG, WR, $SKartoffel_{mit}$	11,4	56,3	32,1	0	0
	Energiegras 2, SM_{unten}, $Klee_{oben}$, $Dauerbrache_{unten}$, $Rotationsbr._{oben}$	11,4	32,2	46,6	9,8	0
	SKartoffel	7,6	27,9	41,9	22,5	0
	WRaps, KM, ZR, Misc., Energiegras 1, SWP	7,6	3,8	56,3	32,1	0
	Fruchtfolge					
Status-quo-Intensität	WW-WG-SM_{unten} WG-WR-$Kleegras_{oben}$	7,6	3,8	56,3	32,1	0
Hohe Intensität	WW-WG-SM_{unten} WG-WR-$Kleegras_{oben}$ Miscanthus	7,6	3,8	56,3	32,1	0
WSG-Intensität	WW-WG-$WRaps_{unten}$ WG-WR-$WRaps_{oben}$	7,3	4,0	32,2	46,6	9,6
	$Dauerbrache_{unten}$ WG-$Rotationsbr.$-$Kleegras_{oben}$	11,4	32,2	46,6	9,6	0
	Energiegras 2	0,2	7,3	27,9	41,9	22,5
	SWP_{oben}	0,7	0	70,8	28,4	0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende: siehe Tabelle III.3-1

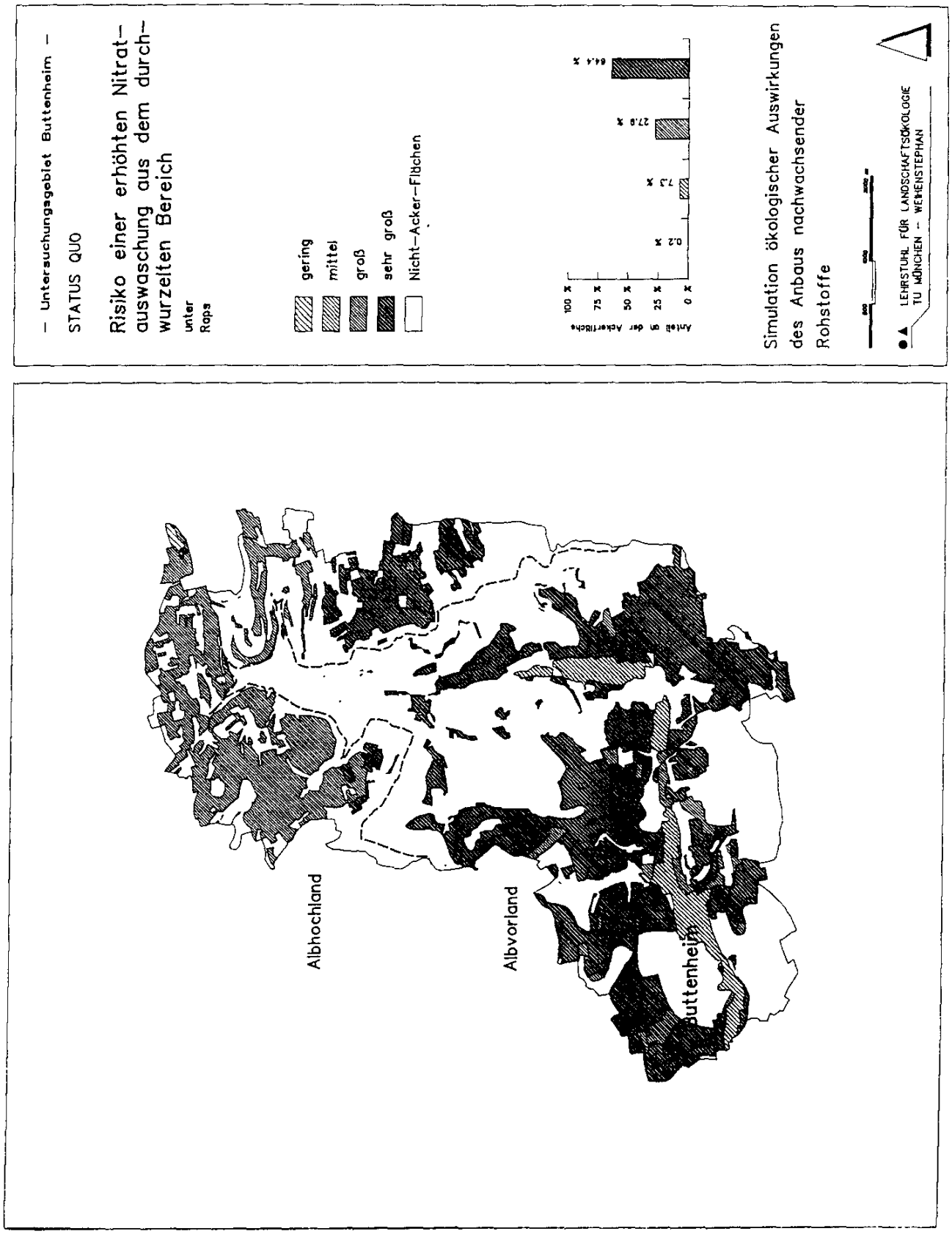


Abbildung III.3-1: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Status-quo-Intensität, Untersuchungsgebiet Buttenheim**

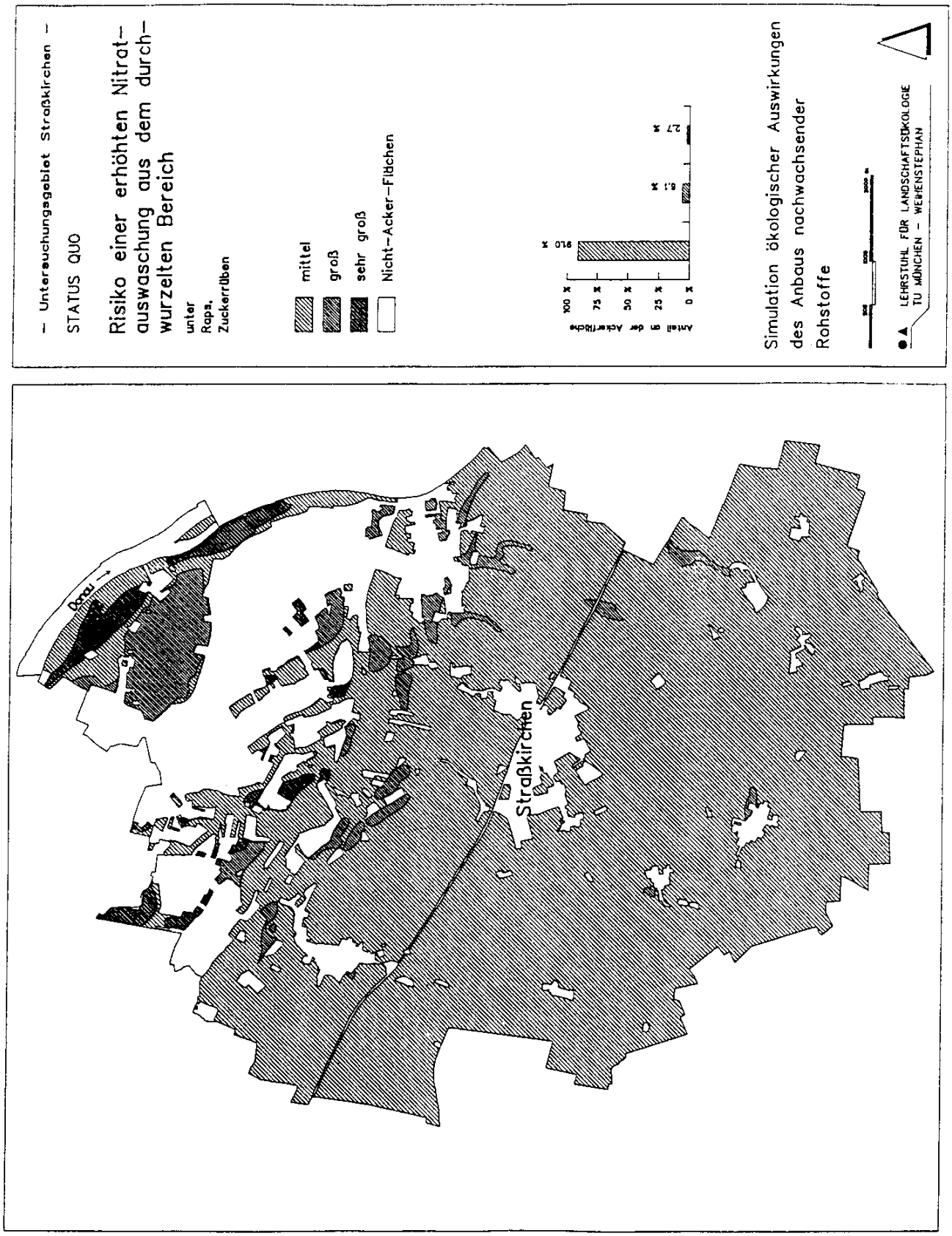


Abbildung III.3-2: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Status-quo-Intensität, Untersuchungsgebiet Straßkirchen**

Hohe Intensität 2005

Unter den Rahmenbedingungen einer auf eine intensive landwirtschaftliche Produktion ausgerichteten Agrarpolitik verändert sich das Stickstoffverlagerungsmuster im Vergleich zu den derzeitigen standort- und kulturbezogenen Verhältnissen nicht im befürchteten Maße. Ein Vergleich der Risikostufenverteilung zeigt, daß die Situation bei Hoher Intensität durch Düngungs- und Ertragssteigerungen bis zum Jahr 2005 nicht verschärft wird. Dieses Ergebnis basiert allerdings auf der Annahme, daß durch züchterische und technische Fortschritte die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs entscheidend verbessert wird. In Straßkirchen kann nur durch eine Dauerbrache erreicht werden, daß auf 91 % der Ackerfläche das Nitrat-Verlagerungsrisiko auf ein sehr geringes Niveau absinkt. Mit dem Anbau von Miscanthus und Energiegras kann im Vergleich zur fortgeschriebenen Status-quo-Landnutzung die potentielle Nitrat-Belastung von der Gefährdungsstufe mittel auf die Stufe gering heruntergedrückt werden (s. Tab. III.3-1). In Buttenheim dagegen ergibt sich durch den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen keine Veränderung (vgl. Tab. III.3-2). Die Abbildungen, die aus dem Materialband Nr. 26 und 27 entnommen wurden, verwenden für die Bezeichnung "Hohe Intensität" den Begriff "GATT".

WSG-Intensität 2005

Unter agrarpolitischen Rahmenbedingungen, die schwerpunktmäßig auf den Schutz der Umwelt ausgelegt sind, verringert sich der potentielle Stickstoffaustrag aus dem Oberboden unter dem Anbau aller analysierten pflanzlichen Kulturen (s. Abb. III.3-3 bis Abb. III.3-6). Der Einfluß der agrarpolitisch bestimmten Produktionsintensität auf die Umweltauswirkungen reicht so weit, daß er die pflanzenspezifischen Unterschiede deutlich verkleinert. Die standortbedingten Unterschiede werden dagegen nicht nivelliert. Die Pflegevariante Grünland (Energiegras 1) ist in Straßkirchen auf 97 % der Ackerfläche mit einem nur sehr geringen Nitrat-Verlagerungsrisiko behaftet. In Buttenheim dagegen kann auch die Einsaat der Ackerfläche (Energiegras 2) unter umweltschonender Intensität (Umbruch nach vier Jahren) nicht verhindern, daß die gesamte Ackerfläche mit einem mittleren bis sehr großen Nitrat-Verlagerungsrisiko behaftet ist.

3.5.2 Risiko der Belastung von Oberflächengewässern durch den Eintrag von Stoffen

Das Risiko des Eintrags fester und löslicher Stoffe in Oberflächengewässer wurde in zwei Stufen erfaßt. Zuerst wurde das Risiko des Eintrags fester Stoffe, dann das Risiko des Eintrags von löslichen Stoffen erhoben und anschließend ein Gesamtrisikowert gebildet.

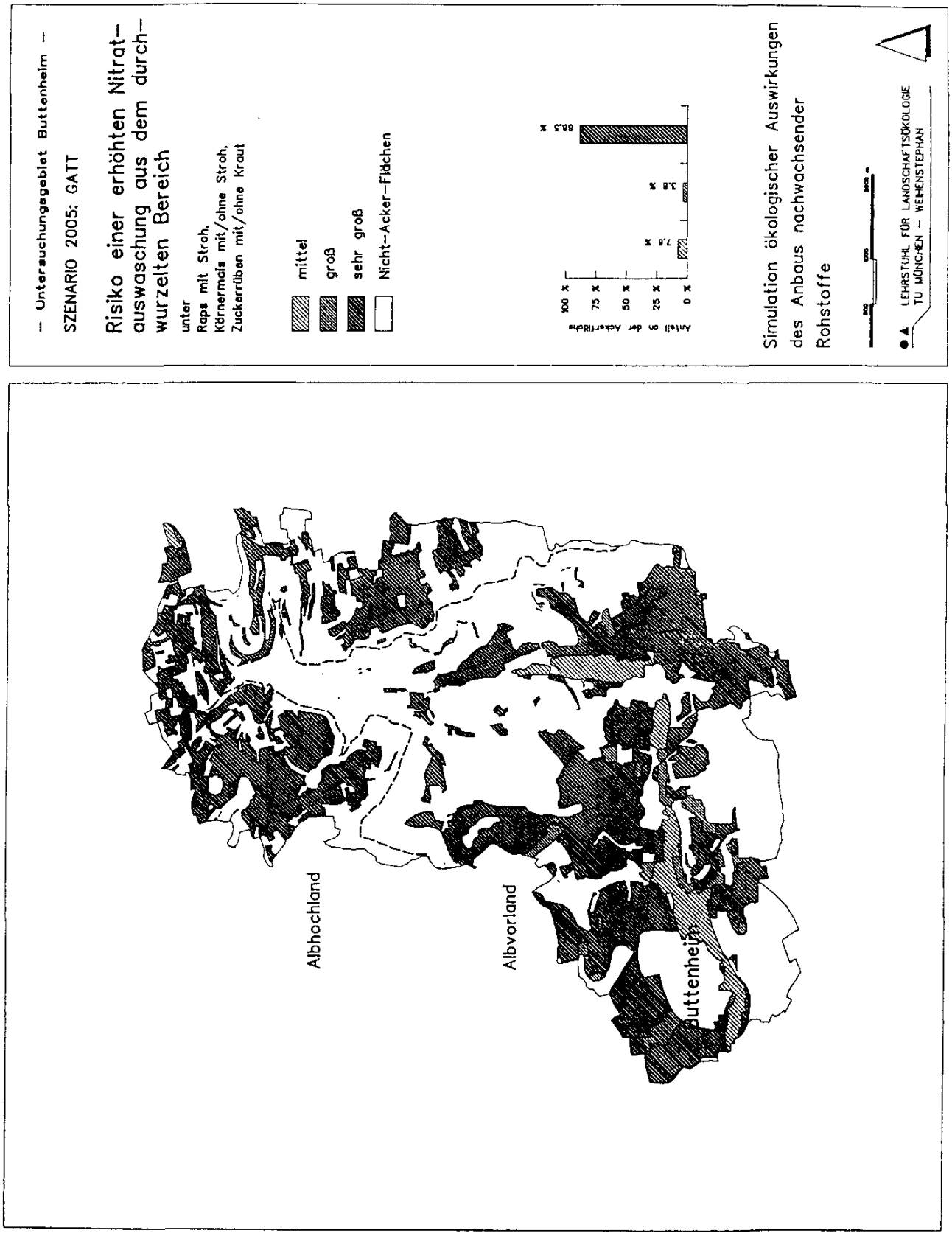


Abbildung III.3-3: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Hohe Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Buttenheim**

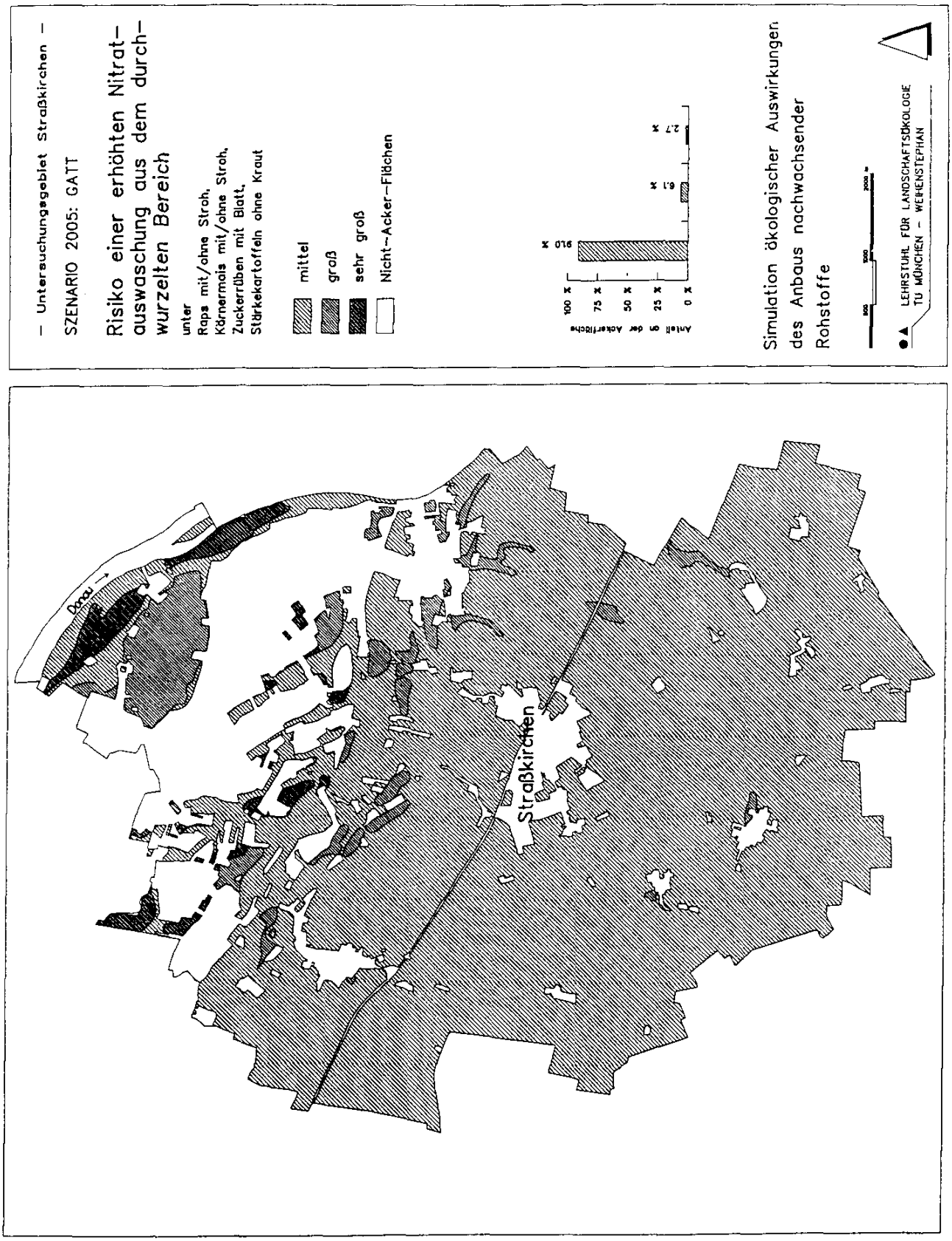


Abbildung III.3-4: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, Hohe Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Straßkirchen**

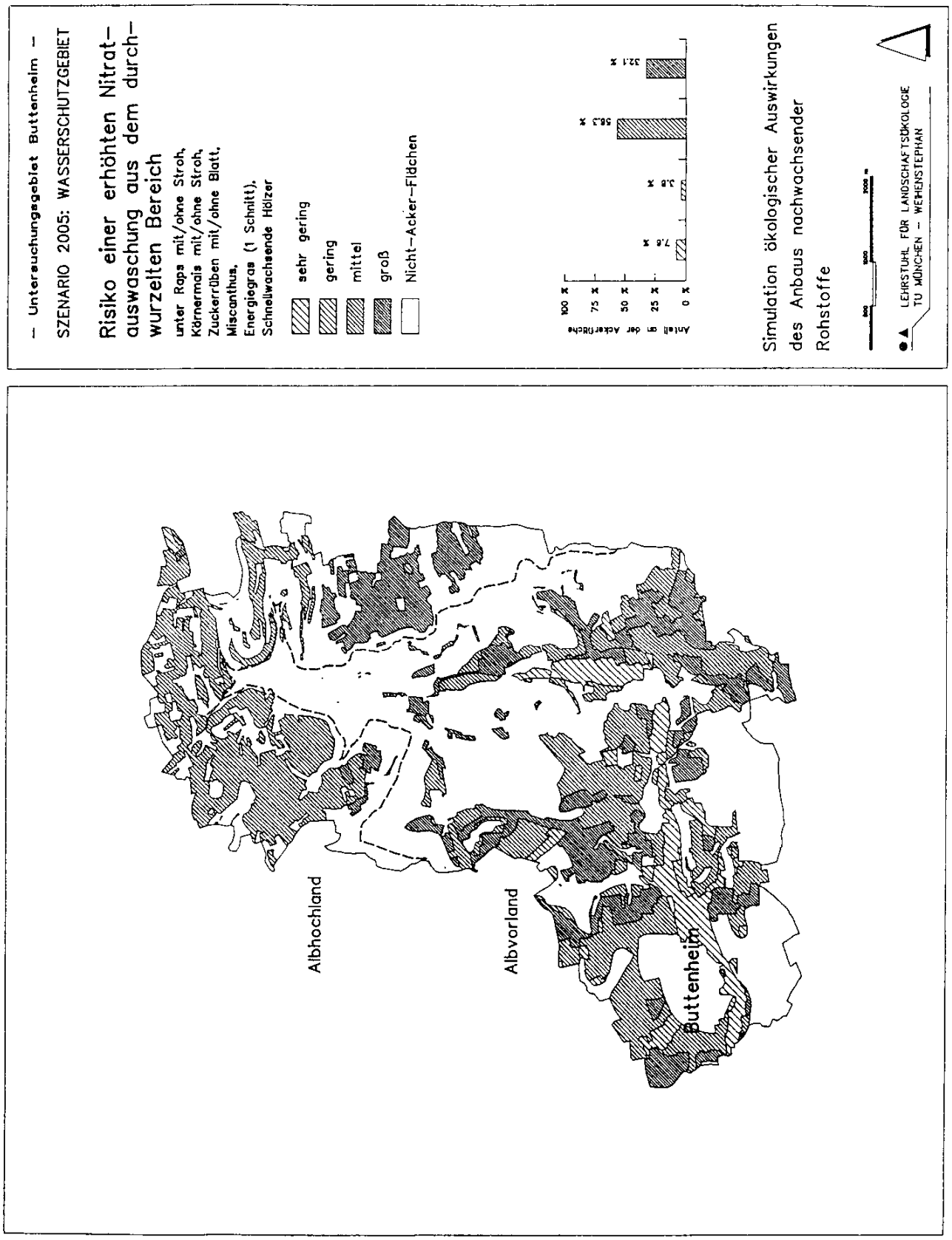


Abbildung III.3-5: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, WSG-Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Buttenheim**

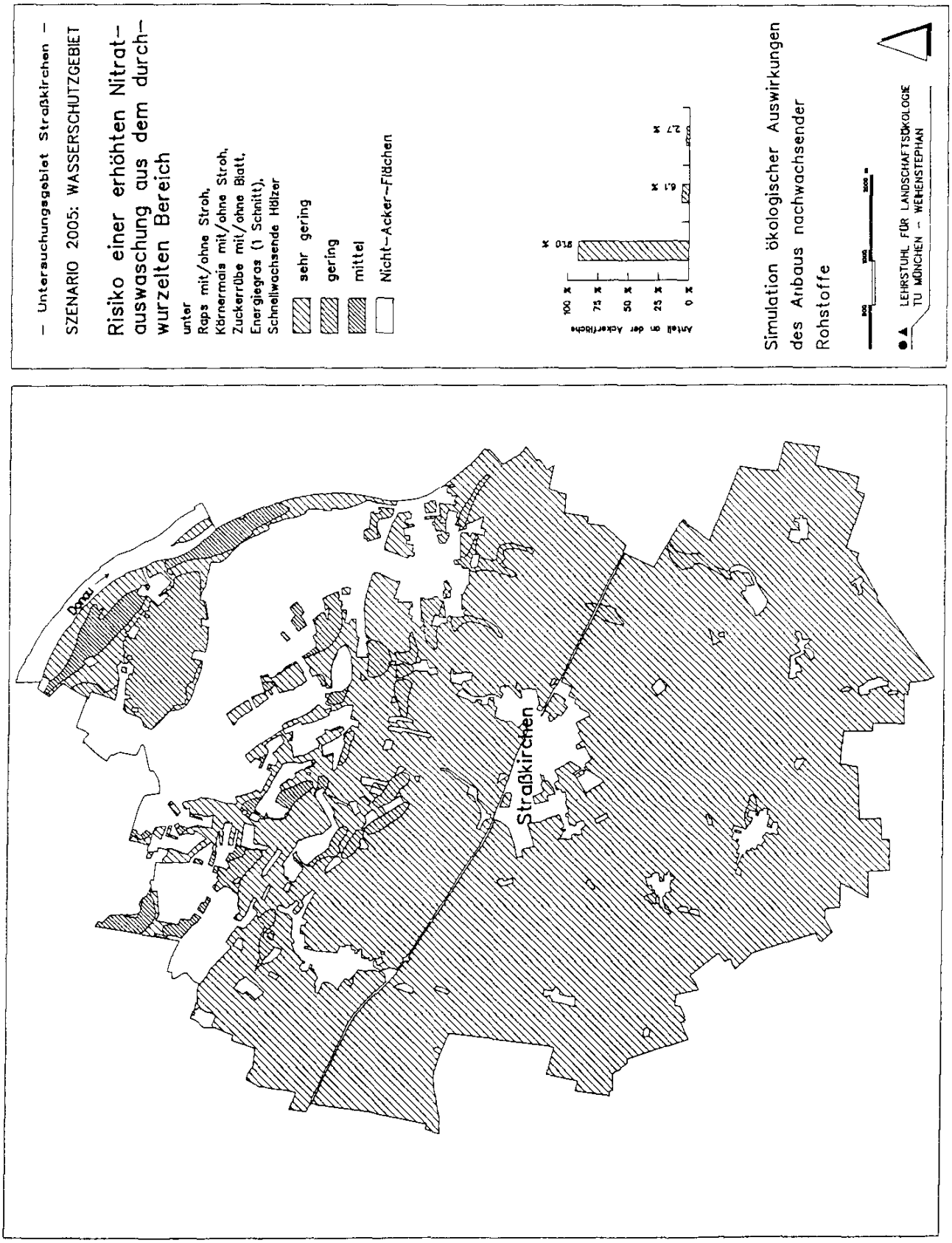


Abbildung III.3-6: **Risiko einer erhöhten Nitratauswaschung aus dem durchwurzelten Bereich, WSG-Intensität 2005, Untersuchungsgebiet Straßkirchen**

Mit dem Eintrag von Bodenpartikeln (feste Stoffe) in Oberflächengewässer ist wegen der festen Bindung von Phosphat an die Kolloide auch ein Phosphateintrag verknüpft.

Lösliche Stoffe, die durch eine oberflächliche Abschwemmung in Oberflächengewässer eingetragen werden können, sind Nitrat und Pflanzenschutzmittel. Der Eintrag von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln über Abtrifterscheinungen wird im GIS-Modell nicht berücksichtigt. Die Ergebnisdarstellung erfolgt wieder in Risikoklassen, die von eins bis fünf, d.h. von sehr gering bis sehr hoch reichen.

Der Anbau von Energiegras und schnellwachsenden Baumarten führt in Buttenheim sowohl unter intensiven als auch unter extensiven Produktionsverhältnissen zu ähnlichen bzw. sogar noch günstigeren Werten im Hinblick auf das Risiko der Gewässerbelastung als die Variante "Dauerbrache" (s. Tab. III.3-4). Der Flächenanteil der Risikostufe "sehr gering" ist von rd. 33 auf 80 bzw. 96 % angewachsen.

In Straßkirchen läßt sich ein solcher ökologischer Vorteil der genannten Festbrennstoffe unter der N-Abgabe bzw. WSG-Intensität nicht erkennen. Bei der hohen Produktionsintensität schneiden diese Festbrennstoffpflanzen allerdings um eine ganze Stufe besser ab als die regionsspezifische Fruchtfolge (s. Tab. III.3-3).

Tabelle III.3-3: **Risiko der Gewässerbelastung durch den Austrag fester und löslicher Stoffe, Untersuchungsgebiet Straßkirchen**

	Pflanzenart/ Fruchtfolge	Straßkirchen Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
		sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Status-quo-Intensität	WW-ZR-SKartoffel	0	69,6	23,3	5,8	1,2
Hohe Intensität	WW-ZR-SKartoffel	0	69,6	23,2	5,8	1,2
	WW-ZR-KM	0	69,2	23,4	5,9	1,3
	Energiegras 2	76,3	10,4	11,0	2,0	0
	Miscanthus	76,1	10,4	10,9	2,2	0,1
	Dauerbrache	76,4	21,3	2,0	0	0
WSG-Intensität	WW-ZR-SKartoffel	69,6	11,9	14,1	3,1	1,0
	WW-ZR-KM	69,2	12,1	14,1	3,2	1,3
	Energiegras 2	76,3	10,4	11,0	2,0	0
	Miscanthus	76,1	10,4	10,9	2,2	0,1
	Dauerbrache	76,4	21,3	2,0	0	0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende: siehe Tabelle III.3-1

Tabelle III.3-4: **Risiko der Gewässerbelastung durch den Austrag fester und löslicher Stoffe, Untersuchungsgebiet Buttenheim**

	Pflanzenart/ Fruchtfolge	Buttenheim				
		Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
		sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Status-quo-Intensität	WW-WG-SM$_{unten}$ WG-WR-Kleegras$_{oben}$	32,8	45,6	10,0	7,7	3,6
Hohe Intensität	WW-WG-SM$_{unten}$ WG-WR-Kleegras$_{oben}$	32,8	45,6	10,0	7,7	3,6
	WW-WG-WRaps$_{unten}$ WG-WR-WRaps$_{oben}$	29,2	50,0	10,3	7,5	2,7
	Dauerbrache$_{unten}$ WG-Rotationsbrache-Kleegras$_{oben}$	79,5	13,0	6,5	0,8	0
	Energiegras 2	79,0	7,3	6,7	6,5	0,3
	Miscanthus	70,3	19,1	7,6	2,8	0
	SWP$_{oben}$	96,2	3,3	0,3	0	0
WSG-Intensität	WW-WG-SM$_{unten}$ WG-WR-Kleegras$_{oben}$	68,7	15,7	6,7	6,6	2,1
	WW-WG-WRaps$_{unten}$ WG-WR-WRaps$_{oben}$	29,2	50,2	10,2	7,4	2,7
	Dauerbrache$_{unten}$ WG-Rotationsbrache-Kleegras$_{oben}$	79,5	13,0	6,5	0,8	0,0
	Energiegras 2	79,0	11,9	6,8	2,1	0
	Miscanthus	70,3	19,1	7,6	2,8	0
	SWP$_{oben}$	96,2	3,3	0,3	0	0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende: siehe Tabelle III.3-1

3.5.3 Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser

Die Auswertungen zum Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln basieren auf Abschätzungen zum Verhalten organischer Chemikalien in Böden (DVWK 1989).

Die Modellarbeiten konzentrieren sich auf die im Vorsaat-, Vorauflauf- oder Nachauflaufverfahren direkt auf den Boden applizierten Unkrautbekämpfungsmittel, von denen die größte Gefahr für das Grundwasser ausgeht. Untersucht wurden verschiedene Mittel, von denen bekannt ist, daß sie ein bedeutsames Einsatzpotential besitzen. Die nachfolgenden Aussagen sind insofern pflanzenspezifisch, als gewisse Wirkstoffe bevorzugt bei bestimmten Kulturen eingesetzt werden. Die Aussagen der Untersuchungen sind allerdings in erster Linie wirkstoffspezifisch, weil ein Mittel in verschiedenen Kulturen eingesetzt werden kann bzw. für eine NR-Pflanze verschiedene Unkrautbekämpfungsmittel zur Auswahl stehen.

Die Gefährdung des Grundwassers wird neben den wirkstoffspezifischen Eigenschaften auch von der pflanzen- und bodenartspezifischen Aufwandmenge bestimmt. Ein Beispiel dafür ist der Wirkstoff Fluazifopbutyl (Fusilade), der sowohl im Zuckerrüben- als auch im Raps-, Sonnenblumen-, Öllein- und Kartoffelanbau eingesetzt wird. Entsprechend der geringeren Aufwandmenge im Sonnenblumenanbau ist das Gefährdungspotential dort im Vergleich zu den übrigen genannten Kulturen herabgesetzt. Die wirkstoffspezifischen chemisch-physikalischen Eigenschaften in Kombination mit der Sorptionsfähigkeit des Standortes sind von Bedeutung für das Grundwassergefährdungspotential. In Buttenheim war das Grundwassergefährdungspotential der sorptionsfähigen Pflanzenschutzmittel geringer als in Straßkirchen, weil der Anteil der Böden mit höheren Tonanteilen überwiegt. Der Einsatz von Glyphosat beim Anbau von Energiegras, Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten stellt in Straßkirchen und in Buttenheim auf dem überwiegenden Flächenanteil eine mittlere Gefährdung für das Grundwasser dar (vgl. Tab.III.3-5).

Tabelle III.3-5: **Gefährdung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmittel (Herbizide), Untersuchungsgebiete Straßkirchen und Buttenheim**

Pflanzenart	Wirkstoff	Straßkirchen					Buttenheim				
		Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)					Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
		sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Zuckerrübe	Chloridazon	0	0	57,3	22,4	20,1	0	0	10,9	80,6	8,3
	Ethofumesat	69,7	25,5	4,7	0	0	91,6	7,7	0,6	0	0
	Fluazifopbutyl	57,3	22,4	15,4	4,7	0	10,9	80,6	7,7	0,6	0
	Phenmedipham	83,4	11,7	4,7	0	0	94,0	5,3	0,6	0	0
	Triallat	0	6,0	63,7	25,5	4,7	0	14,6	76,9	7,7	0,6
Winterweizen	Isoproturon	0	57,3	18,6	19,2	4,7	0	33,1	60,8	5,3	0,6
	Methabenzthiazuron	0	1,5	68,2	25,5	4,7	0	10,6	80,9	7,7	0,6
Wintergerste	Dichlorprop	0	0	57,3	22,4	20,1	0	0	10,9	80,6	8,3
	Chlortoluron	0	69,7	17,2	13,0	0	0	91,4	2,5	5,9	0
	Pendimethalin	0	6,0	63,7	30,2	0	0	14,6	76,9	8,3	0
Winterroggen	Dichlorprop	0	0	57,3	22,4	20,1	0	0	10,9	80,6	8,3
	Isoproturon	0	57,3	18,6	19,2	4,7	0	33,1	60,8	5,3	0,6
	Methabenzthiazuron	0	1,5	68,2	25,5	4,7	0	10,6	80,9	7,7	0,6
	Pendimethalin	0	6,0	63,7	30,2	0	0	14,6	76,9	8,3	0
Winterraps	Metazachlor	0	69,7	17,2	8,2	4,7	0	91,4	2,5	5,9	0
	Trifluralin	69,7	17,2	8,2	4,7	0	91,4	2,5	5,3	0,6	0
Sonnenblume	Fluazifopbutyl	79,8	15,4	4,7	0	0	91,6	7,7	0,6	0	0
	Pendimethalin	0	6,0	63,7	30,2	0	0	14,6	76,9	8,3	0
	Trifluralin	69,7	17,2	8,2	4,7	0	91,4	2,5	5,3	0,6	0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

3.5.4 Ausmaß der Erosion

Erosion, d.h. der Abtrag von Boden, kann über den Wasser- und den Windpfad erfolgen. Das GIS-Modell arbeitete ausschließlich mit der Wassererosion, der in den Untersuchungsgebieten eine weitaus größere Rolle zukommt. Die GIS-Analysen münden in quantitative Ergebnisse, die aussagen, wieviel Tonnen Boden unter den unterstellten Nutzungskonditionen abgetragen werden. Die Berechnung der Erosion lehnt sich an die Bodenabtragsgleichung von WISCHMEIER und SMITH (1978) und der von SCHWERTMANN et al. (1990) durchgeführten Anpassung an die bayerischen Verhältnisse an. Die Ergebnisse des GIS-Rechenlaufs werden in Anlehnung an die Toleranzgrenzen von SCHWERTMANN und in Abhängigkeit von der Gründigkeit des Bodens festgelegt. Die Einstufung der Erosion wird in Prozent der Toleranzgrenze angegeben.

Stufen	Gefährdungsgrad	Erosion (% der Toleranzgrenze)
1	sehr gering	25
2	gering	50
3	mittel	100
4	groß	200
5	sehr groß	> 200

Im Untersuchungsgebiet Buttenheim ist die Flächennutzungsalternative "Dauerbrache" der mit Abstand beste Weg, um die Erosionsgefahr auf ein geringes Niveau zu drücken. Der Anbau Nachwachsender Rohstoffe schneidet im Falle von Energiegras sehr gut bzw. im Falle von Miscanthus und der Schnellwuchsplantagen eher schlecht ab (s. Tab. III.3-6). Die größte Gefahr eines Bodenabtrags ist mit dem Anbau von Silomais verknüpft. Das aufgezeigte Erosionsrisiko unter Silomais läßt sich durch anbautechnische Maßnahmen, wie z.B. Untersaaten, verringern. Dies ist allerdings mit einem zusätzlichen Kostenaufwand verbunden. Durch die geringe ackerbauliche Nutzung der Flächen am Albanstieg ist die Erosionsgefahr nicht in dem Maße gegeben, wie dies aufgrund der Neigungsstufen zu befürchten wäre.

In Straßkirchen ergibt sich eine geringe Erosionsanfälligkeit, die sich nur leicht zwischen den verschiedenen Flächennutzungen und Produktionsintensitäten unterscheidet. Angesichts der geringen Neigungsstufe der Landschaft überrascht dieses Ergebnis nicht. Auch hier läßt sich, wenn auch bei weitem nicht so ausgeprägt, eine Vorzüglichkeit der Dauerbrache bzw. des Anbaus von Energiegras gegenüber dem Anbau der Hackfrüchte Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln erkennen.

Tabelle III.3-6: Gefahr des Bodenabtrags durch Wasser, Untersuchungsgebiete Straßkirchen und Buttenheim

Pflanzenart/Fruchtfolge	Straßkirchen					Buttenheim				
	Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)					Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Dauerbrache	99,3	0,4	0,1	0	0	88,1	9,2	2,3	0,2	0
Energiegras 2, Rotationsbr., Kleegras	98,1	1,1	0,5	0,1	0	71,5	17,1	8,7	2,3	0,2
SWP	97,4	1,0	1,1	0,1	0,1	62,0	22,6	10,5	4,2	0,4
WW, WG, WR, Hafer	96,0	1,7	1,6	0,3	0,1	56,2	24,0	12,5	6,2	0,9
WRaps	94,7	3,2	1,1	0,5	0,2	50,0	21,2	17,7	8,2	2,6
Miscanthus	92,2	5,0	1,0	1,2	0,3	49,7	17,8	19,5	9,1	3,6
ZR, SKartoffel	92,0	3,7	1,8	1,7	0,5	48,6	9,1	22,2	12,5	7,2
Silomais, Körnermais	86,3	8,1	3,4	1,2	0,9	47,6	3,3	20,2	17,5	11,1
WW-ZR-SKartoffel	86,3	8,1	3,4	1,2	0,9	-	-	-	-	-
WW-ZR-KM	86,0	5,7	5,3	1,0	1,7	-	-	-	-	-
Energiegras 2	98,1	1,1	0,5	0,1	0	71,5	17,1	8,7	2,3	0,2
WW-WG-SM_{unten} WG-WR-$Kleegras_{oben}$	-	-	-	-	-	54,3	11,4	21,4	9,2	3,5
WW-WG-WRaps WG-WR-WRaps	-	-	-	-	-	50,0	21,2	17,7	8,2	2,6
$Dauerbrache_{unten}$ WG-Rotationsbr.-$Kleegras_{oben}$	-	-	-	-	-	78,8	11,3	6,3	3,1	0,3
SWP_{oben}	-	-	-	-	-	49,9	22,7	17,1	9,0	1,0

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende: siehe Tabelle III.3-1

3.5.5 Ausmaß der Bodenverdichtung

Die Gefahr der Verdichtung des Bodens durch Anbau-, Pflege- oder Erntemaßnahmen ist in beiden Testgebieten unter der Dauerbrache am geringsten (s. Tab. III.3-7). Ebenfalls sehr günstig sind die Werte unter Energiegras und Miscanthus. Eine größere Gefahr der Bodenverdichtung stellt sich bei Zuckerrüben und Körnermais ein. Tendenziell reagiert Straßkirchen weniger empfindlich auf Bodendrucklasten als Buttenheim. Dies hängt mit dem niedrigeren Tongehalt und den anders gelagerten Feuchtigkeitsverhältnissen in Straßkirchen zusammen.

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachwachsende Rohstoffe müssen auch bei steigenden Flächenerträgen nicht zu einer höheren Gefährdung der Naturräume führen als der Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Voraussetzung dafür sind allerdings züchterische und produktionstechnische Fortschritte und wenig sensible Produktionsstandorte. Ein Anbau von Pflanzenarten zur Produktion von Nachwachsenden Rohstoffen wie auch von Nahrungs- und Futtermitteln auf produktionsschwachen Böden oder auf Grenzstandorten kann aufgrund der nicht vorhandenen Pufferzonen und der Standortempfindlichkeit auch unter extensiven Bedingungen zu einer gewissen Umweltgefährdung führen. Diese sensiblen Standorte sollten deshalb prioritär aufgeforstet oder extensiv bewirtschaftet werden.

Das Risiko einer Belastung der natürlichen Umwelt hängt stark, teilweise sogar entscheidend, von den agrarpolitischen Rahmenbedingungen ab. Auf Umweltentlastung ausgerichtete Produktionsverfahren, wie z.B. die Intensität N-Abgabe bzw. die WSG-Intensität, können, wie die Ergebnisse der Wirkungsanalysen zeigen, sogar die pflanzenspezifischen Unterschiede nivellieren.

Unter den getroffenen Annahmen sind die Pflanzenarten Miscanthus, Energiegras und die schnellwachsenden Baumarten, im Vergleich über alle Auswirkungsbereiche, nach der Nutzungsalternative "Dauerbrache" die umweltverträglichsten Anbauvarianten. Angesichts der noch unzureichenden pflanzenbaulichen Erfahrungen mit Miscanthus und den schnellwachsenden Baumarten ist es allerdings empfehlenswert, diese Schlußfolgerung durch weitere Forschungstätigkeiten zu prüfen.

Die beispielhaften Modellanalysen zeigen, daß pauschalierende Zuordnungen von Umweltgefährdungsrisiken zu bestimmten Pflanzenarten nur tendenziell möglich sind.

Tabelle III.3-7: **Risiko der Bodenverdichtung, Untersuchungsgebiete Straßkirchen und Buttenheim**

Pflanzenart/Fruchtfolge	Straßkirchen					Buttenheim				
	Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)					Flächenanteile der Risikostufen (% der AF)				
	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß
Rotations-, Dauerbrache	95,2	4,7	0	0	0	87,8	11,5	0,6	0	0
Energiegras 2, Misc., SWP	86,9	8,2	4,7	0	0	85,8	9,3	4,7	0	0
WW, WG, WR, WRaps, Hafer, Kleegras	86,9	8,2	4,7	0	0	85,8	1,9	11,5	0,6	0
SKartoffel	0	86,9	8,2	4,7	0	0	85,8	9,3	4,1	0,6
SM, KM, ZR	0	86,9	8,2	0	4,7	0	85,8	1,9	7,4	4,7
WW-ZR-SKartoffel WW-ZR-KM	0	86,9	8,2	4,7	0	-	-	-	-	-
Energiegras 2, Miscanthus	86,9	8,2	4,7	0	0	85,8	9,3	4,7	0	0
Dauerbrache	95,2	4,7	0	0	0	-	-	-	-	-
WW-WG-WRaps$_{unten}$ WG-WR-WRaps$_{oben}$	-	-	-	-	-	85,8	1,9	11,5	0,6	0
SWP$_{oben}$	-	-	-	-	-	99,2	0,7	0	0	0
Dauerbrache$_{unten}$ WG-Rotatationsbr.-Kleegras$_{oben}$	-	-	-	-	-	87,8	11,5	0,6	0	0
WW-WG-SM$_{oben}$ WG-WR-Kleegras$_{oben}$	-	-	-	-	-	33,3	52,4	9,3	4,3	0,3

Quelle: VOERKELIUS et al. 1992, Materialbände Nr. 25 bis 27

Legende: siehe Tabelle III.3-1

Literaturverzeichnis zu Kapitel III

APFELBECK, R., 1989: Raps als Energiepflanze. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG), Band 156, Diss. Weihenstephan

AUERNHAMMER, H., 1989: Elektronik auf dem Acker - kein Selbstzweck. DLG-Mitteilungen 104 (21/22), 1096-1101

BASSAM, N. el, M. DAMBROTH und I. JACKS, 1992: Die Nutzung von Miscanthus sinensis (Chinaschilf) als Energie- und Industriegrundstoff. Landbauforschung Völkenrode 42 (3), 199-205

BENCKISER, G., G. GAUS, K.-M. SYRING, K. HAIDER und D. SAUERBECK, 1987: Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 150, 241-248, zitiert in: SCHEFFER, F., und P. SCHACHTSCHABEL, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. 12. neu bearbeitete Auflage, Verlag Enke, Stuttgart

BLAB, J., 1984: Grundlagen des Biotopschutzes für Tiere. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 24

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg.), 1988/90: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1988/90. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

– –, 1989: Agrarbericht 1989. Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung

– –, 1991: Agrarbericht 1991. Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung

BOLLING, I., und W. SÖHNE, 1982: Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37 (2), 54-57

BOUWMAN, A.F., 1990: Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley, New York, 1-21

BREMNER, J.M., und A.M. BLACKMER, 1981: Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (ed.): Denitrification, Nitrification and Atmospheric Nitrous Oxide. John Wiley, New York, 151-170

BREMNER, J.M., G.A. BREITENBECK und A.M. BLACKMER, 1981: Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from soils. J. Environ. Qual. 10, 77-80

BROUWER, W., 1972: Handbuch des speziellen Pflanzenbaues, Bd. 1. Verlag Paul Parey, Berlin Hamburg

CAST (Council for Agricultural Science and Technology), 1976: Effect of increased nitrogen fixation on stratospheric ozone. CAST-Report Nr. 53, Iowa State University, Ames.

CATES, R.L., und D.R. KEENEY, 1987: Nitrous oxide production throughout the year from fertilized and manured maize fields. J. of Environ. Qual. 16, 443-447

COLBOURN, P., und R.J. DOWDELL, 1984: Denitrification in field soils. Plant and Soil 76, 213 - 226

CONRAD, R., W. SEILER und G. BUNSE, 1983: Factors influencing the loss of fertilizer into the atmosphere as N_2O. Journal of geophysical research. Vol. 88, 6709-6718

DAVIDSON, E. A., 1992: Sources of nitric and nitrous oxide following wetting or dry soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56 (1), 95-102

DENMEAD, O.T., J.R. FRENEY und J.R. SIMPSON, 1979: Studies of nitrous oxide emissions from grass sward. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 726-728

DOLUSCHITZ, R., und C. FUCHS, 1989: Management-Informationssysteme (8): Maschinenkosten richtig kalkulieren und auswerten. Württembergisches Wochenblatt 156 (16), 30-34

DUTCH, J., und P. INESON, 1988: Denitrification of an upland forest site. Forestry (Eynsham) 63 (4), 363-378

DUXBURY, J.M., und D.R. BOULDIN, 1982: Emissions of nitrous oxide from soil. Nature 298, 462-464

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Hrsg.), 1989: Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen - Teil II - Abschätzen des Verhaltens organischer Chemikalien in Böden. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Entwurf vom September 1989, Bonn

EICHNER, M.J., 1990: Nitrous oxide emissions from fertilized soils, a summary of available data. J. Environ. Qual. 19 (2), 272-280

ENQUÊTE-KOMMISSION "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", 1990: 3. Bericht zum Thema Schutz der Erde. Deutscher Bundestag, Drucksache 11/8030

FIRESTONE, M.K., und E.A. DAVIDSON, 1989: Microbiological basis of NO and N_2O production and consumption in soil. In: M.O. Andreae and D.S. Schimel (eds.): Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley, New York

GEBHARD, H.-J., 1986: Anpassungsmöglichkeiten landwirtschaftlicher Betriebe in Baden-Württemberg an eine Begrenzung des Einsatzes ertragssteigernder und ertragssichernder Produktionsmittel (Diss. Uni. Hohenheim). Agrarwirtschaft, Sonderheft 108

GEISLER, G., 1988: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion (2. Aufl.). Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

GOODROAD, L.L., und D.R. KEENEY, 1984: Nitrous oxide emission from marshland prairie ecosystems. J. Environ. Qual. 13 (3), 448-452

GOREAU, T.J., W.A. KAPLAN, S.C. WOFSY, M.B. McELROY, F.W. VALOIS und S.W. WATSON, 1980: Production of NO_2^- and N_2O by nitrifying bacteria at reduced concentrations of oxygen. Appl. Environ. Microbiol. 40, 526-532

GROSSKOPF, W., und KAPPELMANN, 1989/90: Agrarpolitikszenarien für die NR-Studie. Zwischenbericht zu dieser Studie

HENRICHSMEYER, W., N. ZIMMERMANN und B. STROTMANN, 1992: Regional und betriebsstrukturell differenzierte Analysen von Szenarien mit nachwachsenden Rohstoffen unter Anwendung des regionalen Agrar- und Umweltinformationssystems RAUMIS. Materialband Nr. 23 zu dieser Studie

HOTZ, A., W. KOLB und W. KUHN, 1993: Chinaschilf wächst nicht in den Himmel. DLG-Mitteilungen 1, 50-53

HOTZ, A., W. KOLB und T. SCHWARZ, 1989: Nachwachsende Rohstoffe - eine Chance für die Landwirtschaft? Sonderdruck aus: Bayer. Ldw. Jahrbuch 66 (1)

KAHNT, G., 1990: Energiepflanzen. Energiegewinnung aus Lignozellulose-Biomasse (LB) (und Zweitnutzung zur Zelluloseherstellung). Kurzbericht, Institut für Pflanzenbau, Universität Hohenheim

KÖHLER, S., 1989: Vorstellungen der Industrie zur künftigen Entwicklung und Anwendung von Pflanzenschutzmitteln unter Berücksichtigung des erforderlichen Grundwasserschutzes. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 79, 415-434

KÖHNE, M., 1990: Stickstoffsteuer - Lösung des Nitratproblems? DLG-Mitteilungen 10, 472-475

KOLB, W., 1992: Leistungsfähigkeit von Miscanthus und anderen ausdauernden Gräsern. Vortrag vom 27. April in Freising

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Hrsg.), 1988: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaftl. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft (14. Aufl.). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

– –, 1989: Datensammlung für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft (11. Aufl.). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

– –, 1990: Standarddeckungsbeiträge 1988/89 und Rechenwerte zur Betriebssystematik für die Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 142

MALKOMES, H.-P., 1985: Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. Berichte über Landwirtschaft, Pflanzenschutzmittel und Boden, Sonderheft 198

MINAMI, K., 1987: Emissions of nitrous oxide (N_2O) from agro-ecosystem. JARQ Vol. 21, 22-27

MOSIER, A.R., G.L. HUTCHINSON, B.R. SABEY und J. BAXTER, 1982: Nitrous oxide emissions from barley plots treated with ammonium nitrate or sewage sludge. J. Environ. Qual. 11, 78-81

MOSIER, A.R., und G.L. HUTCHINSON, 1979: Nitrous oxide emissions from irrigated cornfield. Science 205, 1125-1127

– – und – –, 1981: Nitrous oxide emissions from cropped fields. J. Environ. Qual. 10, 169-173

MÜHLBAUER, W., 1988: Warmlufttrocknung - Energieeinsatz, Regelungstechnik, Entwicklungstendenzen. In: AEL, HEA, KTBL (Hrsg.), Landwirtschaft und Elektrizität. Getreidekonservierung und -aufbereitung, 9-31

NIEMANN, P., 1989: Herbizidresistenz als Zuchtziel - Anmerkungen zu Nutzen, Risiken und Perspektiven. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 41 (3)

NOMMIK, H., und K. LARSSON, 1989: Measurement of denitrification rate in undisturbed soil cores under different temperature and moisture conditions using nitrogen-15 tracer technique. Swedish J. Agric. Res. 19 (1), 35-44

OHEIMB, von R., J. PONATH, G. MANN, Chr. SERGEOIS, U. WERSCHNITZKY und H. WILLER, 1987: Energie und Agrarwirtschaft. Direkter und indirekter Energieeinsatz im agrarischen Erzeugerbereich in der Bundesrepublik Deutschland. KTBL-Schrift 320

OSTER, W., und P. SCHWEIGER, 1992: Ergebnisse 3-jähriger Anbauversuche mit Schilfpflanzen. Informationen für die Pflanzenproduktion, Heft 3, Landesanstalt für Pflanzenbau (Hrsg.), Forchheim (Baden-Württemberg)

OTTOW, J.C.G., 1992: Tagungsbeitrag 18. Hochschultag, Universität Gießen

POTH, M., und D.D. FOCHT, 1985: ^{15}N-Kinetic analysis of N_2O production by Nitrosomonas europaea: an examination of nitrifier denitrification. Appl. Environ. Microbiol. 49, 1134-1141

ROBERTSON, K., 1991: Emissions of N_2O in Sweden - natural and anthropogenic sources. AMBIO 20 (3/4), 151-154

ROHMANN, U., und H. SONTHEIMER, 1985: Nitrat im Grundwasser - Ursachen - Bedeutung - Lösungswege. Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe

RONEN, D., M. MAGARITZ und E. ALMON, 1988: Contaminated aquifers are a forgotten component of the global N_2O budget. Nature 335, 57-59

SCHALVO, 1987: Verordnung des Ministeriums für Umwelt über Schutzbestimmungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten und die Gewährung von Ausgleichsleistungen (Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung - SCHALVO). GBl. (Baden-Württemberg) 22, 742-751

SCHUHMACHER, W., 1980: Schutz und Erhaltung gefährdeter Ackerwildkräuter durch Integration von landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz. Natur und Landschaft 55 (12), 447-453

SCHUSTER, W., W. SCHREINER, H. LEONHÄUSER und K.-H. ZSOCHE, 1982:Über die Ertragssteigerung bei einigen Kulturpflanzen in den letzten 30 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Acker- und Pflanzenbau 151, 368-387

SCHWERTMANN, U., W. VOGEL und M. KAINZ, 1990: Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

SEESSELBERG, F., 1990: Was kostet künstlicher Regen? DLG-Mitteilungen 7, 338-340

SEILER W., und R. CONRAD, 1981: Mikrobielle Bildung von N_2O (Distickstoffoxid) aus Mineraldüngern - ein Umweltproblem? Forum Mikrobiologie 6/81, 322-328

SHOJI, S., T. KUREBAYASHI und J. YAMADA, 1990: Growth and chemical composition of Japanese Pampas Grass (Miscanthus sinensis) with special reference to the formation of dark-colored andisols in northeastern Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 36 (1), 105-120

SOMMER, C., 1985: Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. Landtechnik 40 (9), 378-384

SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen), 1985: Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sondergutachten März 1985. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart/Mainz

STATISTISCHES BUNDESAMT, verschiedene Jahrgänge: Ausgewählte Zahlen für die Agrarwirtschaft. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Fachserie 3, Reihe 1

STREHLER, A., R. APFELBECK, A. GRIMM, A.G. MEIERING, P. PONTIUS und B.A. WIDMANN, 1990: Energetische Nutzung von landwirtschaftlichen Einjahrespflanzen. Endbericht für das BML, 87 UM 04

TIETEMA, A., W. BOUTEN und P.E. WARTENBERGH, 1991: Nitrous oxide dynamics in an oak-beech forest ecosystem in the Netherlands. Forest Ecology and Management, 44 (1), 53-62

UBA (Umweltbundesamt, Hrsg.), 1989: Daten zur Umwelt (3. Aufl.). Verlag E. Schmidt, Berlin

VOERKELIUS, U., G. ZILBAUER und J. SCHILD, 1991: Simulation ökologischer Auswirkungen des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe am Beispiel zweier ausgewählter Testgebiete, Textband, Kartenband Buttenheim und Kartenband Straßkirchen. Materialbände Nr. 25 bis 27 zu dieser Studie

WISCHMEIER, W.-H., und D.D. SMITH, 1987: Predicting rainfall erosion loss - a guide to conservation planning. USDA, Agric. Handbook No. 537; zitiert in SCHWERTMANN et al., 1990

WEINSCHENCK, G., und R. WERNER, 1989: Einkommenswirkungen ökologischer Forderungen an die Landwirtschaft. Landwirtschaftliche Rentenbank, Schriftenreihe Band 1, Frankfurt a.M.

WERNER, W., und S. DABBERT, 1990: Stickstoffabgabe - der Schlüssel zur Lösung ökologischer und agrarstruktureller Probleme der Landwirtschaft? Agrarwirtschaft 39 (3), 88-90

WOOD, P.M., 1986: Nitrification as a bacterial energy source. In: J.I. Prosser (ed.) Nitrification. IRL Press, Oxford, England

ZEDDIES, J., und R. DOLUSCHITZ, 1990/91: Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren von NR-Pflanzen bei derzeitigen und zukünftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland. Materialbände Nr. 4 bis Nr. 16 zu dieser Studie

ZEDDIES, J., und R. DOLUSCHITZ, 1991: Ergänzungen zur Beschreibung der Produktionsverfahren: AKh-Ansätze für 2005, Nährstoffbilanzen, Maschinenliste für 2005, Schlepperstunden und Treibstoffverbrauch pro ha, Bodendrucklasten. Materialband Nr. 17 zu dieser Studie

Kapitel IV

Produktlinien zur energetischen Nutzung

IV Produktlinien zur energetischen Nutzung

1. Stand der Technik, technische Entwicklungsperspektiven

1.1 Festbrennstoffe

Zu dem für die Zukunft hochinteressanten Bereich der Festbrennstoffe aus Pflanzen ist zu den Prozeßschritten Ernte, Trocknung, Verdichtung, Lagerung und zu erforderlichen Transporten einerseits zu sagen, daß hier oft mehrere technische Möglichkeiten in Betracht gezogen werden müssen. Andererseits ist festzustellen, daß es zahlreiche Fragen zur Bewährung dieser Prozeßschritte und zur Bewährung von Schrittkombinationen in der Praxis gibt, die noch abzuklären sind. Von laufenden und mehr noch von in der Vorbereitung befindlichen Pilotprojekten sind wichtige Klärungsbeiträge zu erhoffen. Im Anhang IV.1 sind die verschiedenen Technologien dieses "Infrastrukturbereiches" und zugehörige ökonomische Kenndaten mit Spannen näher beschrieben.

Nachstehend wird etwas näher auf den Stand der Technik und die Entwicklungsperspektiven bei der Verwendung von Festbrennstoffen eingegangen. Dabei bestehen deutliche Unterschiede je nach der Größenklasse der Anlagen.

Generell lassen sich Festbrennstoffe auch in kleineren Anlagen unter 1 MW zufriedenstellend verbrennen. Es gibt jedoch deutliche Unterschiede je nach der Art der Verbrennung:

- Pellets und Hackschnitzel als Brennstoffe lassen sich zuverlässiger beherrschen als Häckselgut aus Stroh, Heu oder Miscanthus. Die meisten aufgetretenen Störungen sind auf Schwierigkeiten bei der Auflösung der Ballen zurückzuführen. Auch im Brennraum zeigen sich bei Häckselgutfeuerungen im Jahresverlauf häufiger Probleme (Verpuffungen, Schlackebildung), so daß für diesen Bereich Forschungsbedarf besteht. Feuerungsanlagen für Ballen haben spürbar höhere Kosten (vgl. Tab. A IV.2-1 bis A IV.2-3) und erfordern mehr Arbeitsstunden pro Jahr für den Betreiber der Feuerungsanlage.
- Anlagen für Hackschnitzel oder Pellets mit automatischer Beschickung sind kommerzialisiert und vor allem in Österreich weit verbreitet.
- Die Brennstoffeuchte ist von Bedeutung. Die Verbrennungsführung bei zu geringen Trockenmassengehalten ist vor allem bei kleinen Feuerungen deutlich verschlechtert, was zu deutlichen Wirkungsgradeinbußen und zu hohen Schadstoffemissionen führt.

Festbrennstoffanlagen können, im Gegensatz zu den meisten Ölbrennern, mit verminderter Brennstoffmenge pro Zeiteinheit betrieben werden (Teillast). Dies ergibt jedoch geringere Jahreswirkungsgrade und sehr oft emissionsseitige Pro-

bleme (vgl. Kap. IV.4.5.4). Abhilfen könnten ausreichend groß dimensionierte Wärmespeicher sein.

In der Tabelle A IV.2-1 sind technische und ökonomische Kenndaten für Heizwerke und Dampferzeuger aufgeführt. Die Parameter der dadurch ersetzten Ölanlagen sind in der Tabelle A IV.2-2 zusammengestellt.

Die Aussagen für die kleineren Biomasse-Verbrennungsanlagen gelten generell auch für die Größenklasse 2 bis 5 MW Feuerungsleistung. Jedoch führt ein größerer Aufwand an Regelungstechnik und Emissionsminderungsmaßnahmen bei dem zugehörigen ca. 0,5 bis 1 t/h Biomasse-Input nicht zu gravierenden Erhöhungen der spezifischen Investitionen. Die Verbrennung von Pellets aus Stroh oder Miscanthus bzw. der Einsatz von Holz-Hackschnitzeln ist technisch gesehen unproblematisch. Bedienungspersonal muß nicht ständig bei der Anlage sein.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Häckselgutfeuerung. Die Zuverlässigkeit des Ballenauflösers im Ganzjahreseinsatz ist auch bei dieser Leistungsklasse oft nicht zufriedenstellend. Erleichterungen für den reibungslosen Ablauf können Pufferlager (Silos) für den gehäckselten Brennstoff darstellen. Seit wenigen Jahren bieten u.a. dänische Firmen Anlagen in der Größenordnung 3 bis 8 MW Feuerungsleistung zur Verbrennung unaufgelöster Ballen an. Durch ein Schleusensystem werden die Ballen in den Kesselraum eingeschoben. Dort brennen die Ballen an den Stirnflächen ab. Die Investitionskosten liegen in der gleichen Höhe wie bei Anlagen mit Ballenauflösung. In Anlagen für unaufgelöste Ballen wurden bereits versuchsweise Miscanthusballen verbrannt. Weitere Erfahrungen wären wünschenswert. So z.B. eine Klärung der Frage, inwieweit diese Technik für die Größenklasse der Inputleistungen von 50 MW und mehr für Heizkraftwerke geeignet ist, und ob sie für die Verbrennung von Heuballen in Frage kommt.

Für die detaillierten Analysen dieses Kapitels zu den Heizkraftwerken mit Inputleistungen von 50 bis 150 MW wurde die Verbrennung in Wirbelschichtfeuerungen unterstellt, die sich nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand für manche Arten der festen Energieträger aus Pflanzen technisch gut eignen.

Wichtige Fragen sind jedoch noch offen: Kann die Brennstoffzufuhr für Häckselgut einwandfrei funktionsfähig gestaltet werden? Wie wird man mit dem hohen Kaliumgehalt von Heu und dem damit verknüpften niedrigen Ascheerweichungspunkt und Ascheschmelzpunkt fertig? Bei welchen Brennstoffen aus Pflanzen können die NO_x-Emissionen und die N_2O-Emissionen zufriedenstellend beherrscht werden? Inwieweit bewährt sich die Vergasung von Festbrennstoffen aus Pflanzen in Wirbelschichtanlagen zur Integration in HKW mit Gas- und Dampfkreislauf, wie wir dies für 2005 mit in Betracht ziehen? Gelingt die Rohgas-

reinigung vor der Gasverbrennung in der Gasturbine mit den Spezifikationen, die für die Turbine erforderlich sind? Bewährt sich das Prinzip des "Cheng-Kreislaufs"?

Diese Fragen verdeutlichen, daß wir bei der Verwendung von Festbrennstoffen aus Pflanzen in größeren Anlagen nur in Ausnahmefällen vom "Stand der Technik" sprechen können. Es bestehen in vielen der angesprochenen Bereiche Herausforderungen an die Forschung, Entwicklung und Demonstration. Entsprechende Anstrengungen können teilweise davon profitieren, daß es zu manchen Teilfragen ähnliche Herausforderungen bei der Entwicklung der Kohle-Technologien gibt. Pellets und Ballen (für Häckselgut) werden als Brennstoff-Beispiele diskutiert.

Nachstehend werden Modellanlagen zur Verwendung von Festbrennstoffen aufgelistet, die für die quantitativen Analysen ausgewählt wurden. Die unterstellten näheren technischen und ökonomischen Kenndaten für diese Modellanlagen sind in den Tabellen von Anhang A IV.2-1 bis A IV.2-4 aufgeführt.

Modellanlagen zur Verwendung

- 50 kW-Anlage, die mit Öl-Zentralheizungen verglichen wird.
- 500 kW-Anlage, die mit Öl-Zentralheizungen verglichen wird.
- 2 MW-Anlage mit Dampferzeugung aus Pellets oder Hackschnitzeln. Als Vergleich dienen Dampferzeuger, die mit leichtem Heizöl befeuert werden.
- 2 MW-Anlage, die auf Stroh- oder Miscanthus-Ballen ausgerichtet ist. Als Vergleich dienen Dampferzeuger, die mit leichtem Heizöl befeuert werden.
- 3 MW_e-Anlage mit kombinierten Gas- und Dampfturbinen, in denen Dampf erzeugt und Strom ausgekoppelt wird. Die Miscanthus-Pellets werden vergast und das produzierte Gas zur Dampferzeugung verbrannt. Die Vergasung wird durch die heißen Abgase einer erdgasbefeuerten Gasturbine unterstützt (Konzeptvorschlag: Firma EC, Heidelberg, 1991). Diese Anlage wird mit einem heizölbetriebenen Dampferzeuger verglichen.
- 5 MW-Heizwerk für Pellets oder Hackschnitzel mit Wärmeverteilungsleitungen. Die Anlage wird mit Öl-Zentralheizungen verglichen.
- 5 MW-Heizwerk, das auf Stroh- oder Miscanthus-Ballen ausgerichtet ist. Als Vergleich dienen Dampferzeuger, die mit leichtem Heizöl befeuert werden. Die Anlage wird mit Öl-Zentralheizungen verglichen.
- 3 MW_e-Blockheizkraftwerk, das Fernwärme erzeugt und Strom auskoppelt. Das BHKW besitzt Wärmeverteilungsleitungen und arbeitet nach dem Prinzip der oben beschriebenen 3 MW_e-Anlage. (Vergleich wie beim 12 MW_e-Heizkraftwerk)

- 12 MW_e-Heizkraftwerk mit Dampferzeuger und Dampfturbine, das in einer Wirbelschichtanlage die Pellets oder Hackschnitzel verbrennt und für das ein Fernwärmenetz aufgebaut oder ausgeweitet werden muß. Die Anlage wird mit Öl-Zentralheizungen verglichen. Der erzeugte Strom wird anhand der Kosten der Stromerzeugung in einem großen (500 MW_e/5000 h/a) Kohlekraftwerk bewertet. Auslastungsunterschiede werden berücksichtigt.

- 25 MW_e-Heizkraftwerk mit der gleichen Technik wie bei der 12 MW_e-Anlage. (Vergleich wie beim 12 MW_e-Heizkraftwerk)

- 25 MW_e-Heizkraftwerk unter Berücksichtigung technischer Weiterentwicklungen. Unterstellt ist eine Wirbelschichtvergasung von Pellets oder Hackschnitzeln, die Verbrennung des Gases in einer Brennkammer für eine Gasturbine, Dampferzeugung aus den heißen Turbinengasen, Dampfinjektion in die Gasturbine ("Cheng-Kreislauf") und in den Vergaser. (Vergleich wie beim 12 MW_e-Heizkraftwerk)

- 25 MW_e-Heizkraftwerk bei vorhandenem Fernwärmenetz (z.B. bei Ersatzanlagen für alte Braunkohleanlagen in Ostdeutschland), wobei ein Steinkohle-HKW als konkurrierendes HKW angesehen wird. (Vergleich wie beim 12 MW_e-Heizkraftwerk)

- 42 MW_e-Heizkraftwerk mit einer Technik wie bei der 12 MW_e-Anlage. (Vergleich wie beim 12 MW_e-Heizkraftwerk)

- Zumischung zu oder Ersatz von Braunkohlenbriketts in vorhandenen Kleinfeuerungsanlagen.

- Zumischung von Hackschnitzeln, Briketts oder Pellets zu bestehenden Kohleanlagen, die mit stückiger Kohle arbeiten.

- Methanolerzeugung aus Pellets oder Hackschnitzeln. Die Rohstoffe werden mit Sauerstoff vergast, das Gas gereinigt, zur Shift-Reaktion gebracht und das gewonnene Methanol gereinigt. Verglichen wird mit der Methanolproduktion aus Erdgas.

- Wasserstoffgewinnung aus Pellets oder Hackschnitzeln mit einer Prozeßtechnik wie bei Methanol (siehe oben). Als Vergleichsmaßstab wird die Wasserstoffherstellung aus Erdgas herangezogen.

Die Liste dieser Verwendungsanlagen umfaßt keineswegs alle in Frage kommenden oder in der Literatur diskutierten Technologien zur energetischen Nutzung von Festbrennstoffen aus Pflanzen. In der Liste fehlen beispielsweise das in der Entwicklung befindliche Verfahren der Flash-Pyrolyse, das Michel-Kim-Verfahren zur Vergasung oder die Pflanzenstaubverbrennung in der Brennkammer einer Turbine. Diese und andere Anlagentypen fehlen in unserer Liste der Modellanlagen nicht deshalb, weil sie von vornherein als wenig interessant für die Zu-

kunft erscheinen, sondern weil uns vorerst nur recht unsichere Basisdaten zugänglich waren.

Unvollständig sind auch die Pflanzenarten, die als Basis für Festbrennstoffe in die quantitative Analyse dieses Kapitels einbezogen wurden. Beispielsweise fehlen Roggen, Triticale oder Arundo donax sowie andere C_4-Pflanzen als Miscanthus (z.B. Zuckerhirse). Der Hauptgrund für derartige Unvollständigkeiten ist die erforderliche thematische Begrenzung.

1.2 Pflanzenöle

Pflanzenöle in Verbrennungs-Kraftmaschinen

Die Verwendbarkeit von Sonnenblumen-, Soja- und Rapsöl für Dieselmotoren ist seit langem bekannt. In neuerer Zeit kommen auch Palmöl, Baumwollöl und das Öl der Purgiernuß für eine solche Verwendung in die Diskussion. Dabei dürften einige Ölsorten nur regionale Bedeutung haben.

Für den Fall einer großmaßstäblichen Verwendung von Pflanzenölen im Kraftstoff-Sektor werden, wie bekannt, folgende technischen Lösungswege diskutiert:

a) Das Pflanzenöl wird von der Mineralöl-Wirtschaft übernommen und in der Raffinerie an geeigneter Stelle unter Zugabe von Wasserstoff in die Produktion eingespeist, um DIN-gerechtes Gasöl und Nebenprodukte zu erzeugen.

b) Das Pflanzenöl wird, nach im Laufe der weiteren Entwicklung zwischen Pflanzenöl- und Motoren-Herstellern festzulegenden Spezifikationen, in pflanzenöltaugliche Dieselmotoren oder in - durch motorseitige Maßnahmen - weiterentwickelten, speziellen Pflanzenölmotoren eingesetzt.

c) Das im Pflanzenöl enthaltene Glyzerin wird mit Hilfe der Umesterung durch einen anderen Alkohol ersetzt. Hier ist gegenwärtig die Umesterung von Rapsöl mit Methanol zu Rapsöl-Methylester (RME) im Gespräch (auch ein "REE" auf Ethanolbasis oder die Umesterung anderer Pflanzenfette sind in der Diskussion).

d) Zumischung von Pflanzenölen oder ihren Estern zu Gasöl-Kraftstoffen. Auch hier sind gegenwärtig Rapsöl und RME die Favoriten.

Wegen der wohl noch auf längere Zeit nur begrenzten Versorgungsmöglichkeit werden bei 100%-pflanzenölstämmigen Kraftstoffen - von Insellösungen einmal abgesehen - die Motoren möglicherweise "vielstoffähig", zumindest jedoch "zweistoffähig" konzipiert sein müssen, um jederzeit auf normales Gasöl zurückgreifen zu können. Dies hat Konsequenzen u.a. bezüglich der Optimierung bei den Emissionen.

Falls sich durch weiterführende, gründlichere und umfassendere Untersuchungen generelle Umweltvorteile von RME oder durch seinen Einsatz Erleichterungen bei der Motoren-Entwicklung erweisen sollten, könnten Importe von Pflanzenölen oder deren Estern den Anteil nachwachsender Energieträger im heimischen Markt erhöhen. Vermutlich wäre das jedoch mit höheren Preisen verbunden, da anzunehmen ist, daß die Weltmarktpreise für Pflanzenöle bei verstärkter Nachfrage nach ihnen ansteigen werden, insbesondere, wenn auch andere Nationen zunehmend Pflanzenöle als Energieträger einsetzen werden.

Es darf unterstellt werden, daß es Motoren-Entwicklern und -Konstrukteuren gelingt, daß auch Motoren für den Betrieb mit alternativen Kraftstoffen die jeweils geltenden Emissions-Grenzwerte einhalten werden. Da aber 100%-alternative Kraftstoffe vorläufig wohl nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen und sich damit die Nachfrage nach entsprechenden Motoren bei den Herstellern nur in Kleinserien niederschlagen werden, könnte das wirtschaftliche Interesse der Industrie an einer raschen Weiterentwicklung solcher Motoren begrenzt sein.

Diese Situation könnte sich ändern, wenn etwa zeitgleich auch in anderen, inner- oder außereuropäischen Ländern verstärkt alternative Kraftstoffe nachgefragt werden oder wenn Pflanzenöl-Motoren auch beim Einsatz von Gasöl technische, ökonomische oder ökologische Vorteile vorweisen. Hieraus könnte sich auch für Hersteller von Großserien-Motoren ein Anreiz für ein verstärktes Engagement ergeben.

Für Pflanzenöl-Kraftstoffe oder Mischkraftstoffe, die von der DIN-Norm für Gasöl abweichen, ist auch ein kostengünstiges Verteilungsnetz erforderlich. Darüber hinaus sind für diese Kraftstoffe entsprechende Spezifikationen und ggf. Prüfverfahren bzw. Prüfmotoren verbindlich zu vereinbaren.

a) Rapsöl in der Raffinerie

Beim Einsatz von Rapsöl als additiven Rohstoff in Mineralöl-Raffinerien entstehen als Endprodukte keine neuen Kraftstoff- oder Heizölqualitäten. Die Eigenschaften des produzierten Dieselkraftstoffs würden innerhalb der bisherigen DIN-Spannen bleiben. Es würde keine merkliche Änderung der technischen Eigenschaften des Dieselkraftstoffs auftreten. Im Kraftstoff-Verteilungssystem wären keine zusätzlichen Lagertanks, Zapfsäulen und auch keine kraftfahrzeugseitigen Anpassungen erforderlich.

Die offenen technischen Fragen im Bereich der Raffinerie werden gegenwärtig intensiv untersucht. Der Einsatz von Rapsöl in den Hydrocrackern einer Raffinerie scheint bis zu einem Anteil von 20 % problemlos möglich zu sein (REGLITZKY et

al. 1992). Nach erfolgreicher Klärung könnte diese Art der Verwendung von Rapsöl rasch eingeleitet werden - vorbehaltlich der Schaffung hinreichend attraktiver ökonomischer Randbedingungen.

Erwartbar ist, daß die Mineralöl-Raffinerien flexibel auf zeitlich schwankende Angebotsmengen an Pflanzenölen und auf schwankende Preisrelationen reagieren können. In dieser Beziehung haben insbesondere die unter b) und c) genannten Optionen Nachteile.

b) Rapsöl in Hubkolben-Motoren

Im Hinblick auf eine bessere Alterungs-Beständigkeit sowie zur Vermeidung von Verlackungs- und Verstopfungsproblemen im Kraftstoff-System ist die Verwendung von mindestens teilraffiniertem Rapsöl in der von den Ölmühlen üblichen, gleichbleibenden Qualität zu empfehlen (HAVENITH 1991).

Der Phosphorgehalt von Rapsöl führt bei Anwesenheit von Wasser zu Ausflokkungen und Ablagerungen im Motor. Der Phosphorgehalt sollte deswegen möglichst niedrig gehalten werden. Bei kaltgepreßtem Rapsöl gelingt dies durch eine entsprechende Entschleimungstechnik, bei großtechnisch verarbeitetem Rapsöl ist mindestens eine Teilraffinierung erforderlich (STREHLER et al. 1992).

Bei 100%-Rapsöl muß wegen dessen hoher kinematischer Viskosität im kalten Zustand der Motor mit normalem Gasöl gestartet und abgefahren werden. Das bedeutet gegenwärtig ein zweites Kraftstoff-System auf der Niederdruckseite.

Bei konventionellen Direkteinspritz (DI)-Motoren treten bei Verwendung von Rapsöl und Rapsöl/Gasöl-Gemischen Probleme durch Ablagerungen und Verkokungen im Brennraum und an den Einspritzdüsen auf, die bis zum Versagen des Motors führen können. Die Zeitdauer bis zum Versagen des Motors ist bei den Gemischen auch von der Höhe des Rapsöl-Zumischungsanteils abhängig (WÜLLERSTORFF 1986, VELLGUTH 1988). Ebenso wurde bei den konventionellen DI-Motoren eine Verdünnung des Schmieröls durch unverbranntes Rapsöl nachgewiesen. Die "Porsche-Studie" (RICHTER et al. 1991) hat gezeigt, soweit sie verallgemeinert werden kann, daß bei konventionellen Gasöl-Motoren Kammermotoren mit großem Zylindervolumen beim Einsatz von Rapsöl deutlich geringere technische Probleme haben als Direkteinspritzer.

Bei einigen Herstellern sind die Entwicklungen von Kammer-Dieselmotoren so weit gediehen, daß Ackerschlepper mit rapsöl-tauglichen Motoren am Markt angeboten werden.

Die Fa. Elsbett betreibt weiterhin die Entwicklung spezieller Pflanzenöl-Motoren mittlerer und hoher Leistung mit Direkteinspritzung. Diese Motoren können mit kaltgepreßtem, wasserentschleimtem Rapsöl, aber auch mit teil- oder vollraffiniertem Rapsöl bzw. mit RME betrieben werden, sofern der Gehalt des in den Phospholipiden vorliegenden Phosphors unter 40 ppm liegt; auch der Einsatz von Gasöl, anderen Pflanzenölen oder Mischkraftstoffen ist möglich. Die Motoren der höheren Leistungsklassen besitzen eine Doppel-Einspritzung, mit der die Schwärzungszahl der Rußemission deutlich gesenkt werden kann. Es wurden inzwischen mehrere Lizenzen an Motoren-Hersteller verkauft, u.a. eine an die Fa. DMS in Schönebeck bei Magdeburg, die stationäre Rapsöl-Motoren unterschiedlicher Leistung, auch zum Einsatz als Antriebsaggregate in Block-Heizkraftwerken kommerziell anbieten will. Die argentinische Fa. Zanello beabsichtigt ähnliches bei Nutzfahrzeugmotoren. Die Fa. Elsbett selbst wickelt gegenwärtig einen Exportauftrag von 20 Fahrzeugen mit Malaysia ab, die dort mit Palmöl betrieben werden. An kalten Tagen sorgt ein Gasöl-Kraftstoffsystem für einwandfreien Start (ELSBETT 1992). Neben anderen waren auch die Firmen Deutz und Elsbett an Forschungsvorhaben der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) in Mali beteiligt, deren Ziel es ist, den Anbau der Purgiernuß und die Verwendbarkeit des daraus zu gewinnenden Öls als Diesel-Kraftstoff zu untersuchen (HENNING 1992). In Mali wurde auch regulär auf dem Markt gekauftes Baumwollsaatöl eingesetzt. Auch auf den Kapverdischen Inseln hat die GTZ schon Versuche mit Purgiernußöl durchführen lassen (SEIDEL 1992). Pflanzenöl-Motoren könnten für Entwicklungsländer mit eigener Pflanzenöl-Produktion eine starke Bedeutung erlangen. Hier ist ggf. die deutsche Entwicklungshilfepolitik angesprochen.

c) RME in Hubkolben-Motoren

Motortechnisch sind umgeesterte Pflanzenfette mit einer dem Gasöl vergleichbaren kinematischen Viskosität uneingeschränkt kompatibel mit Gasöl-Kraftstoff, auch in jedem Mischungsverhältnis. Voraussetzung ist aber, daß eine Qualität des RME vorliegt, die nur geringe Mengen an Glyzerin, Triglyceriden und Restalkoholen enthält (WEIDMANN und HEINRICH 1992). Auch ergeben sich eventuell Konsequenzen für das Schmieröl (speziell formulierte Motoröle und/oder verkürzte Wechselintervalle (BERGMANN und KORTE 1991)) und für einige Gummi- und Kunststoffteile (WEIDMANN und HEINRICH 1992). Die für 100%-RME bei ca. -10 °C liegende Kaltstartgrenze kann durch eine geeignete Additivierung verbessert werden (HEINRICH et al. 1992). Nach WÖRGETTER und SCHROTTMAIER (1992) kommt der Jodzahl eine besondere Bedeutung zu.

Da RME in der Summe seiner Eigenschaften dem Gasöl ähnlicher ist als das Rapsöl selbst, könnten die Anpassungsaufwendungen für die Verringerung bzw.

Optimierung der Emissionen bei RME leichter und kostengünstiger zu bewerkstelligen sein als für die Verwendung von Rapsöl. Voraussetzung ist aber, daß es gelingt, eine möglichst eng begrenzte Kraftstoff-Spezifikation zu entwickeln, deren Daten auch nach der weiteren Handhabung des Kraftstoffes (Transport, Lagerung) eingehalten werden können.

Der Einsatz von RME als Diesel-Kraftstoff wird, wegen seiner zum Gasöl ähnlichen Kennwerte, praktisch bei allen namhaften Motoren-Herstellern untersucht.

d) Mischkraftstoffe

Gemische aus mineralöl- und pflanzenstämmigen Kraftstoffen werden als "Mischkraftstoffe" bezeichnet. Beide Komponenten sind, ggf. unter Hinzufügung von Lösungsvermittlern, bis zu großen Anteilen mischbar. Für Otto-Kraftstoffe kommen hier u.a. Methanol (MeOH) und Ethanol (EtOH) in Betracht. Für Diesel-Kraftstoffe sind MeOH und EtOH bei zusätzlicher Verwendung von Zündbeschleunigern ebenfalls geeignet, aber die gegenwärtige Entwicklung konzentriert sich auf die Zumischung von Rapsöl oder Rapsölmethylester (RME) zu Gasöl. Beide sind in beliebigem Verhältnis mit Gasöl mischbar, jedoch steigt bei Zumischung von Rapsöl die kinematische Viskosität des Gemisches nichtlinear mit der Größe des Zumischungsanteils stark an; bei Zumischung von RME nimmt sie hingegen nur geringfügig zu. Eine Entmischung der Gemische tritt auch bei langen Lagerungszeiten nicht auf, bei ungünstiger Lagerung können sich aber einige Stoffwerte ändern.

Nur der Vollständigkeit wegen sei erwähnt, daß in der Vergangenheit Versuche, hochkonzentriertes MeOH oder EtOH direkt als Diesel-Kraftstoff einzusetzen, zu positiven Ergebnissen geführt haben. Hilfsmittel dazu waren entweder Zündbeschleuniger zur Erhöhung der Cetan-Zahl, Schichtladung mit Hochspannungs- oder Glühkerzen-Zündung, ein Zwei-Kraftstoff-System zum Zünden mit Gasöl oder die Verdampfung des Kraftstoffs beim Einsatz in aus Dieselmotoren abgeleiteten Gas-Ottomotoren.

Wie bereits erwähnt, führen auch Gemische aus Gasöl mit Rapsöl als Diesel-Kraftstoff, unabhängig von der Höhe des Rapsölanteils, in konventionellen Dieselmotoren zu Funktionsstörungen. Eine Ausnahme hiervon scheinen gegenwärtig Kammer-Dieselmotoren mit großen Zylinder-Volumina zu machen.

Bei frischem oder sorgfältig gelagertem RME als Zumischkomponente sind bisher keine motortechnischen Probleme aufgetreten, weder bei Kammer- noch bei Direkteinspritz-Dieselmotoren. Der etwas geringere Heizwert von RME wirkt sich

auch bei den Mischkraftstoffen nur unbedeutend auf Motorleistung und Kraftstoffverbrauch aus.

Rapsöl in Gasturbinen

Da Rapsöl in Brennern großer Leistung verbrannt werden kann, sollte es sich ausser in stationären Gasturbinen auch zumindest in größeren Turbinen-Luftstrahl-Triebwerken als Ersatz für Kerosin als Flugturbinen-Treibstoff verwenden lassen. Diesbezügliche Untersuchungen sind jedoch bislang nicht bekannt geworden.

Rapsöl im Wärmemarkt

Eine weitere Möglichkeit, einen, bezogen auf das mögliche Angebot, unbegrenzten Markt für Pflanzenöle zu erschließen, ist der Wärmemarkt. Hier kommen sowohl Einzelverbraucher, wie Ein- oder Mehrfamilienhäuser, als auch Industriebetriebe, fossil befeuerte Heizwerke und Wärme-Kraftwerke in Betracht.

Die angesprochenen Einsatzbereiche sind technologisch deutlich weniger anspruchsvoll als die Verwendung von Pflanzenölen im Verkehr. Es könnte daher sinnvoll sein, mit Pflanzenölen mineralische Heizöle zu substituieren und diese Mitteldestillate dem Verkehrssektor zur Verfügung zu stellen, sofern die Ökonomie für den Wärmemarkt attraktiv gestaltet werden kann. Auf diese Frage wird in Kapitel IV.3.2 eingegangen.

Die Verwendung von 100%-Rapsöl ist gegenwärtig nur in Spezialbrennern oder Brennern mit höheren Leistungen, insbesondere solchen für Heizöl S ausgelegten, störungsfrei möglich. Rapsöl als Ersatz für Heizöl EL kann in Kleinfeuerungsanlagen nur in mehr oder weniger hohen Anteilen als Zumischung zum HEL mit bestimmten Brenner/Kessel-Kombinationen betrieben werden. Besitzen die Brenner eine Ölvorwärmung und die Kessel eine heiße Brennkammer, können Zumischanteile von 20 %, in Spezialfällen bis zu 50 % erreicht werden. Da viele ältere (Gebäude-) Heizungsanlagen diesem Standard nicht entsprechen, können gegenwärtig kundenspezifische Brennstoff-Mischungen höchstens verbrauchernah und individuell vom Letztlieferer (Heizölhändler für Kleinverbraucher, eventuell Raffinerie für Großabnehmer) hergestellt werden. Dafür sind jedoch kostenerhöhende zusätzliche Tank- und Mischanlagen erforderlich. Die Abbildung IV.1.2-1 zeigt den gegenwärtigen Stand der Einsatzmöglichkeiten von Rapsöl im Wärmemarkt auf.

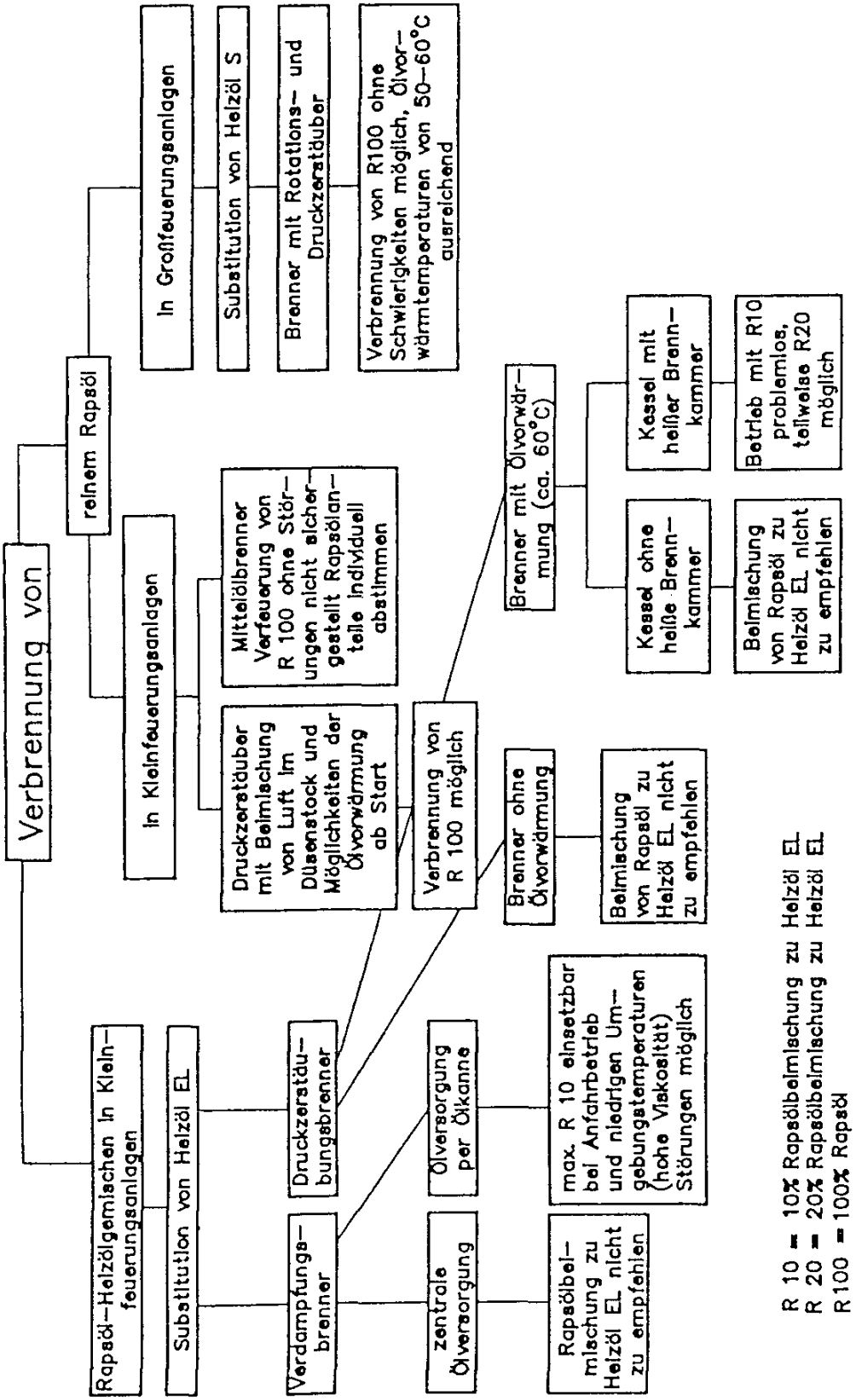


Abbildung IV.1.2-1: **Mögliche Rapsöl-Beimischungsanteile zu Heizöl EL sowie Möglichkeiten der Verfeuerung von 100%-Rapsöl bei verschiedenen Verbrennungstechniken (STREHLER et al. 1992)**

Lagerung rapsölstämmiger Energieträger

Die Untersuchungen von STREHLER et al. (1992) zeigen, daß unter Beachtung gewisser Randbedingungen Rapsöl, RME sowie deren Gemische mit Gasöl auch über längere Zeit (untersucht bis 21 Monate) für Heizungszwecke ohne ins Gewicht fallende Veränderungen ihrer Eigenschaften gelagert werden können. Ein Bakterienbesatz in Form von aeroben oder anaeroben Keimen wurde nicht gefunden. Die etwas höheren Anforderungen für den direkten Kraftstoff-Einsatz (speziell Wasseraufnahme und Verkokungsneigung) sind vermutlich wegen des im allgemeinen schnellen Umschlags des Lagerungsvolumens bei den Tankstellen von untergeordneter Bedeutung.

Beim Einsatz von Rapsöl in Fahrzeug-Dauerläufen bildeten sich im Tank Pilze, die sich dann im ganzen Kraftstoffsystem ausbreiteten, auch setzten sich nach relativ kurzer Versuchsdauer die Kraftstoffilter mit Schleimstoffen zu (WEIDMANN und HEINRICH 1992).

Modellfälle für quantitative Analysen

Aus dem beschriebenen größeren Bereich der Varianten zur Herstellung und Verwendung von flüssigen Energieträgern aus Ölpflanzen wurden die folgenden Modellfälle für quantitative Analysen ausgewählt:

- Entschleimtes und teilraffiniertes Rapsöl als Ersatz für mineralölstämmiges leichtes Heizöl im Wärmemarkt (z.B. zur Dampferzeugung).
- Entschleimtes und teilraffiniertes Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenölverträgliche Direkteinspritzmotoren. Für gegenwärtige Verhältnisse wurden Mehrkosten in Höhe von 20 000 DM zur Ausrüstung des Fahrzeugs mit einem Elsbett-Motor unterstellt. Für die Zukunft (2005) wurde dagegen von einer Serienfertigung ohne nennenswerte Mehrkosten ausgegangen.
- Entschleimtes und teilraffiniertes Rapsöl als additiver Rohstoff für Mineralölraffinerien
- Rapsölmethylester als Kraftstoff für Dieselmotoren

1.3 Andere flüssige und gasförmige Energieträger

Ethanol

Laut EG-Richtlinie 85/536 dürfen dem Otto-Kraftstoff bis zu 5 % Ethanol (EtOH) zugemischt werden, zusätzlich dürfen Lösungsvermittler enthalten sein. E5-Kraftstoff kann, sofern die DIN-Normen eingehalten sind, eingesetzt werden, ohne Änderungen an derzeitigen Kfz-Motoren vornehmen zu müssen. Es ist nicht möglich, durch einfaches Zumischen von 5 % EtOH einen DIN-gerechten Otto-Kraftstoff zu erzeugen. Um diese Normen einzuhalten, müssen am Grundkraft-

stoff einige Korrekturen vorgenommen werden, insbesondere beim Dampfdruck, Siedeverhalten, Elastomer-Verträglichkeit und Korrosionsschutz (GIERE 1986).

Eine Zumischung von bis zu 7 % EtOH zum Benzin ist ohne volumetrische Verbrauchsnachteile möglich. Der geringere Heizwert des EtOH wird durch verbesserte Verbrennungseigenschaften des Gemischs kompensiert oder überkompensiert, ein größerer Zumischanteil läßt jedoch den Verbrauch ansteigen.

Mit Rücksicht auf die Straßen-Oktanzahl (SOZ) sollten nach GIERE und NIERHAUVE (1985) für heutige Großserienfahrzeuge nicht mehr als 5 bis 8% EtOH zugesetzt werden, da die SOZ zu höheren Zumisch-Anteilen hin abnimmt, bzw. die Gemisch-Aufbereitung sich immer mehr vom Optimum entfernt. Dieses kann bei starker Motor-Belastung zu Schäden führen.

Für die quantitativen Modellanalysen wurde eine Beimischung von 5 % Ethanol zum Ottokraftstoff unterstellt.

Methanol

Für die Verwendung von Methanol als Otto-Kraftstoffkomponente gilt ähnliches wie für Ethanol-Zumischungen. Bei Beimischungen bis zu 3 % bleibt der Otto-Kraftstoff voll werkstoffverträglich. Bei Beimischungen bis zu 5 % ist kein volumetrischer Mehrverbrauch zu beobachten. Das bedeutet, wegen des im Vergleich zu Benzin deutlich geringeren Energiegehaltes von Methanol, daß bei bis zu 5%igen Beimischungen ein ausgleichender Wirkungsgradvorteil zu verzeichnen ist.

Im Falle von Methanol erfolgt diese günstige Verwendung (Zumischung zu Otto-Kraftstoff bis zu 3 %) gegenwärtig schon weitgehend. Höhere Beimischungsraten von Methanol sind möglich (bis zu fast 100 %), erfordern aber zunehmend Kfz-seitige Anpassungsmaßnahmen, die den Substitutionswert des beigemischten Methanols mindern. Dieser Substitutionswert wird bei wachsenden Beimischungsanteilen auch deshalb geringer, weil der Wirkungsgradvorteil deutlich geringer wird.

Abschätzungen zeigen, daß es insgesamt kostengünstiger ist, die Herstellung von Methanol aus Biomasse als Ersatz der bisherigen Herstellung aus fossilen Energieträgern (hauptsächlich aus Erdgas) für die bisherigen Einsatzbereiche zu betreiben, als gleichzeitig die Verwendung von Methanol im Kraftstoffbereich auszuweiten.

Deshalb wird Methanol in den nachfolgenden Abschnitten auch nur im Sinne der Erdgassubstitution bei der Herstellung des Methanols diskutiert. Das gleiche gilt für den ähnlich gelagerten Fall der Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse.

2. Energiebilanzen

Anhand der Analyse der Energiebilanzen zu ausgewählten festen, flüssigen und gasförmigen nachwachsenden Energieträgern wird nachfolgend dargestellt, welcher Energieertrag erzielbar ist, bei welchem Energieaufwand und in welchem Verhältnis sich hierdurch fossile Energieträger substituieren lassen.

Auf diesen Substitutionsverhältnissen baut einerseits die monetäre Bewertung der nachwachsenden Energieträger auf (Substitutionswerte, s. Kap. IV.3.2), andererseits wird aus diesem Verhältnis ihr Beitrag zur CO_2-Minderung abgeleitet (vgl. Kap. IV.4.1).

2.1 Energieertrag und Prozeßenergiebedarf

Bei der Ermittlung des Energieertrages pro Hektar, der mit den verschiedenen nachwachsenden Energieträgern (NE) in der Gegenwart und in 2005 zu erzielen ist, wurde von der "Hohen Produktionsintensität" und, mit Ausnahme von Miscanthus, von durchschnittlichen Ertragsverhältnissen ausgegangen (vgl. Kap. III.1).

Die Energieträger wurden energetisch jeweils mit ihrem Heizwert (H_u) bewertet. Nebenprodukte bei der Gewinnung von Sekundärenergieträgern (z.B. Rapsöl), die als Futtermittel genutzt werden (z.B. Rapsextraktionsschrot), wurden nicht mit ihrem Heizwert bewertet, sondern mit der "eingesparten" Energie beim Anbau alternativer Futtermittel (z.B. Sojaextraktionsschrot), die aus dem Futtertrog verdrängt werden (Substitutionsansatz). Bei der Ableitung der für eine Energiebilanz relevanten Kenngrößen Energie-Input und Energie-Output wurde versucht, konsequent den "Substitutionsansatz" (vgl. RÖVER und AUSTMEYER 1988) zu verfolgen. Diese Vorgehensweise richtet die energetische Bewertung alleine danach aus, in welchem Umfang fossile Energieträger benötigt werden (s. Prozeßenergiebedarf) bzw. fossile Energieträger substituiert werden können.

Bei der Abschätzung des Prozeßenergiebedarfs wurden alle Komponenten berücksichtigt, die mit der Bereitstellung der Energieträger frei Verwendung verbunden sind. Die wichtigsten Vertreter hierfür sind vor allem Treibstoff, Elektrizität und Düngemittel. Der Energiebedarf für die Bereitstellung der Investitionsgüter (z.B. Gebäude, Maschinen) oder der menschlichen Arbeitskraft wurden hierbei nicht

berücksichtigt. Ihr Anteil am Primärenergiebedarf liegt nach Abschätzungen von BORN (1992) im großen und ganzen unter 5 %. Insgesamt dürfte der Verzicht auf die mühevolle Abschätzung der Energieaufwendung und der damit verbundenen CO_2-Emission bei der Anlagenerstellung nicht zu deutlichen Verfälschungen der Netto-Bilanzen führen.

Wie sich der Prozeßenergiebedarf im einzelnen aufschlüsselt, ist für den Bereich Anbau dem Kapitel III.1 zu entnehmen, bzw. wird in Kapitel A IV.1.1 für den Bereich Transport, Lagerung und Konditionierung ausgeführt und soll hier nur in Ansätzen kommentiert werden.

In Tabelle IV.2-1 ist für alle betrachteten festen und flüssigen Energieträger dargestellt, welcher Energieertrag pro Hektar erzielt werden kann und welcher Prozeßenergiebedarf hierzu nötig ist, in Abhängigkeit von der Art der Konditionierung und der jeweiligen Transportentfernung zur Verwendung.

Mit Miscanthus kann aufgrund der unterstellten günstigen Ertragsverhältnisse (vgl. Kap. III.1) der höchste Energieertrag pro Hektar erreicht werden, gefolgt von Holz aus Schnellwuchsplantagen und Heu von eingesäten Ackerflächen. Mit Rapsöl und Ethanol als flüssigen Energieträgern lassen sich dagegen nur deutlich geringere Energieerträge pro Hektar erzielen.

Diese Energieträger zeichnen sich im Gegensatz zu den Festbrennstoffen durch einen deutlich höheren Prozeßenergieaufwand aus, hier dargestellt in Prozent des Energieertrags. Dieser liegt z.B. für die Ethanolbereitstellung aus Zuckerrüben (Gegenwart) bei rd. 70 % des in Ethanol meßbaren Energieertrags, er könnte jedoch durch die energetische Verwendung der Rübenschnitzel zur Dampferzeugung auf rd. 43 % gesenkt werden. Während bei Ethanol (s.a. Ethanol aus Weizen) rd. 2/3 bis 3/4 des Energieaufwands in der Ethanolfabrik anzusetzen sind, wird der Energieaufwand für die Bereitstellung von Rapsöl in erster Linie durch den Bereich Anbau, hier insbesondere durch die N-Düngung, bestimmt.

Die direkte energetische Nutzung (Verbrennung) des Weizenkorns oder der Rapssaat scheint somit aus Sicht des Energieertrags bzw. des eingesparten Prozeßenergieaufwands sinnvoller zu sein als die Bereitstellung eines daraus gewonnenen flüssigen Energieträgers, der einen eventuell höheren Marktwert besitzt.

Der Anteil des Anbaus (Werte in Klammern) an diesem Prozeßenergiebedarf ist bei all den Rohstoffträgern bestimmend (vgl. Kap. III.1), die eine hohe N-Düngung erfordern (z.B. Heu, W-Raps). Der Energieaufwand für Transport, Konditionierung (z.B. Pressen von Ballen, Häckseln von Miscanthus) und für die Trocknung des Ernteguts werden hierbei nicht dem Bereich Anbau zugerechnet.

Tabelle IV.2-1: **Energieertrag und fossiler Prozeßenergiebedarf zur Bereitstellung verschiedener nachwachsender Energieträger in Abhängigkeit von unterschiedlicher Konditionierung und Transportentfernung**

Nachwachsende Energieträger	Gegenwart		2005	
	Energieertrag (H_u) *) (MWh/ha)	Prozeßenergiebedarf (in % des Energieertrags) (dar. Anbau)	Energieertrag (H_u) *) (MWh/ha)	Prozeßenergiebedarf (in % des Energieertrags) (dar. Anbau)
Stroh (von Winterweizen)	(6,08 t TM/ha)		(6,56 t TM/ha)	
– Ballen, 5-10 km	**27,7**	3,4 (2,0)	**29,8**	3,2 (2,0)
– Ballen, 30 km	"	3,5 (")	"	3,4 (")
– Pellets, 5-10 km	"	11,0 (")	"	10,3 (")
– Pellets, 30 km	"	11,0 (")	"	10,3 (")
– Briketts , ländlich	"	11,3 (")	"	10,6 (")
– Briketts , städtisch	"	12,2 (")	"	11,5 (")
Heu (von eingesäten Flächen)	(10,0 t TM/ha)		(11,70 t TM/ha)	
– Ballen, 5-10 km	**45,5**	11,0 (9,6)	**53,2**	10,4 (9,0)
– Ballen, 30 km	"	11,2 (")	"	10,5 (")
– Pellets, 5-10 km	"	16,5 (")	"	15,3 (")
– Pellets, 30 km	"	16,5 (")	"	15,3 (")
Miscanthus	(20,0 t TM/ha)		(25,0 t TM/ha)	
– Ballen, 5-10 km	**93,0**	4,6 (3,0)	**116,3**	6,4 (4,9)
– Ballen, 30 km	"	4,8 (")	"	6,6 (")
– Pellets, 5-10 km	"	14,1 (")	"	15,2 (")
– Pellets, 30 km	"	14,1 (")	"	15,3 (")
Holz-Hackschnitzel				
– aus Ind.-Restholz, 5-10 km		2,2 (0)		2,1 (0)
– aus Ind.-Restholz, 30 km		2,2 (0)		2,1 (0)
– aus Schnellwuchsplantagen (Kurzumtrieb), 5-10 km	(10,0 t TM/ha) **47,5**	4,4 (1,6)	(11,0 t TM/ha) **52,3**	3,6 (1,6)
– aus Schnellwuchsplantagen (Kurzumtrieb), 30 km	"	4,4 (1,6)	"	3,6 (1,6)
Rapssaat (91 % TS)	(3,11 t FM/ha)		(4,25 t FM/ha)	
– für Feuerungsanlagen, 5-10 km	**19,5**	22,8 (21,1)	**26,7**	16,2 (14,6)
– für Feuerungsanlagen, 30 km	"	22,8 (21,1)	"	16,2 (14,6)
Rapsöl	(1,19 t/ha)		(1,63 t/ha)	
– als Heizöl	**12,1**	37,6 1) (34,1)	**16,6**	26,1 (23,6)
– für Duotherm-Motoren	"	37,6 1) (")	"	26,1 (")
– als Raffinerie-Rohstoff	"	37,0 1) (")	"	25,5 (")
– als Rapsölmethylester	**11,8**	47,0 1) (35,1)	**16,1**	33,6 (24,3)
Weizenkorn (86 % TS)	(6,43 t FM/ha)		(8,48 t FM/ha)	
– für Festbrennstoffanlagen	**25,2**	15,9 (15,2)	**33,2**	12,3 (11,7)
	(1,88 t Eth/ha)		(2,48 t Eth/ha)	
– für Ethanolerzeugungsanlagen	**14,1**	89,6 1) (28,7)	**18,6**	28,5 1)2) (22,1)
Zuckerrüben (23 % TS)	(50,60 t FM/ha)		(64,15 t FM/ha)	
	(4,40 t Eth/ha)		(5,58 t Eth/ha)	
– für Ethanolerzeugungsanlagen	**33,0**	70,2 1) (14,1)	**41,8**	42,6 1)2) (11,1)

*) Energieertrag brutto (vor Abzug des Prozeßenergiebedarfs) als H_u.

1) Einschließlich Prozeßenergiebedarf für die Konversion.

2) Für 2005 wurde unterstellt, daß Stroh bzw. Rübenschnitzel als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

Der Prozeßenergiebedarf für die Bereitstellung der festen Energieträger Stroh, Heu, Miscanthus und Holzhackschnitzel beträgt rd. 2 bis 17 %. Hierbei ist absolut bestimmend, in welcher Konditionierung diese Rohstoffe bereitgestellt werden.

Die Konditionierung in Ballen ist die energiesparendste Variante, während für die Pelletierung beispielsweise von Stroh und Heu rd. 3/4 des gesamten Prozeßenergiebedarfs anzusetzen sind. Nähere Ausführungen hierzu finden sich in Kapitel A IV.1.1.

Aufgrund technischer Entwicklungen, effizienterer Nutzung der eingesetzten N-Dünger und höherer Erträge, ist der Prozeßenergiebedarf unter zukünftigen Verhältnissen (2005) etwas geringer als in der Gegenwart. Diese Einspareffekte sind vor allem bei den Kulturen ausgeprägt, die bisher durch eine hohe N-Düngung gekennzeichnet waren (z.B. Raps).

2.2 Energetisches Brutto- und Netto-Substitutionsverhältnis

Die Bewertung der nachwachsenden Energieträger wird daran gemessen, in welchem Verhältnis sie fossile Energieträger substituieren können.

Hierbei sind etwaige Vor- und Nachteile beim Wirkungsgrad (Überführung in Nutzenergie) zu berücksichtigen. Das energetische Substitutionsverhältnis drückt aus, wieviel fossile Energie (MWh_{fos}) pro Einheit nachwachsender Energieträger (MWh_{NE}) substituiert werden kann. Beim energetischen Brutto-Substitutionsverhältnis werden die fossilen Energieträger und die nachwachsenden Energieträger lediglich auf der Stufe der letzten Verwendung miteinander verglichen. Beim energetischen Netto-Substitutionsverhältnis wird darüber hinaus auf seiten des nachwachsenden Energieträgers der fossile Prozeßenergiebedarf zur Bereitstellung des nachwachsenden Energieträgers berücksichtigt.

Brutto-Substitutionsverhältnis

Tabelle IV.2-2 gibt einen Überblick über das energetische Brutto-Substitutionsverhältnis für die unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten der festen, flüssigen und gasförmigen nachwachsenden Energieträger; Nachteile bzw. Vorteile im Wirkungsgrad sind hierbei bereits berücksichtigt. Außerdem sind die fossilen Energieträger aufgeführt, die jeweils substituiert werden.

Bei der Verwendung fester Energieträger ist mit zunehmender Größe der Verwendungsanlage, innerhalb des gleichen Anlagentyps, in der Regel eine effizientere Energienutzung und somit ein größeres Substitutionsverhältnis verbunden. Am Beispiel der Heizkraftwerke (HKW) von 12 MW_e bis 42 MW_e wird dies deutlich; dies beruht hier vor allem auf höheren Wirkungsgraden bei der Gewinnung von elektrischem Strom.

Tabelle IV.2-2: **Brutto-Substitutionsverhältnis zwischen fossilen Energieträgern und nachwachsenden Energieträgern (NE) bei verschiedenen Verwendungslinien**

Verwendungslinie	Energetisches Brutto-Substitutions-verhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Substituierte fossile Energieträger (fos) (Substitutionsanteil in %, bezogen auf MWh)
	Gegenwart	2005	
FESTE ENERGIETRÄGER:			
50 kW-Heizanlagen			
– Pellets / Hackschnitzel	0,887	0,887	leichtes Heizöl
500 kW - Heizanlagen			
– Pellets / Hackschnitzel	0,901	0,901	leichtes Heizöl
2 MW - Dampferzeuger			
– Ballen	0,869	0,869	leichtes Heizöl
– Pellets / Hackschnitzel / Rapssaat	0,901	0,901	leichtes Heizöl
3 MW_e-Kombianlage-Dampf			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,364	1,275	Gegenwart: (38,3%) (61,7%) 2005: (41,0%) (59,0%)
5 MW - Heizwerk			
– Ballen	0,859	0,821	leichtes Heizöl
– Pellets / Hackschnitzel	0,890	0,853	leichtes Heizöl
3 MW_e-Kombianlage-BHKW			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,334	1,226	Gegenwart: (36,9%) (63,1%) 2005: (38,6%) (61,4%)
12 MW_e - HKW			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,235	1,142	Gegenwart: (48,8%) (51,2%) 2005: (50,5%) (49,5%)
25 MW_e - HKW, konventionell			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,271	1,168	Gegenwart: (46,2%) (53,8%) 2005: (47,6%) (52,4%)
25 MW_e - HKW, fortschrittlich			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel / Weizenkorn	1,271	1,248	Gegenwart: (46,2%) (53,8%) 2005: (39,7%) (60,3%)
42 MW_e - HKW			leichtes Heizöl + Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,295	1,194	Gegenwart: (43,6%) (56,4%) 2005: (45,2%) (54,8%)
25 MW_e - HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-Steinkohle-HKW)			
– Ballen	1,000	1,000	Steinkohle
– Pellets / Hackschnitzel	1,000	1,000	"
Zumischung in vorhand. Braunkohlen-Kleinfeuerungsanlagen	0,971	0,971	Braunkohle
– Briketts			
Zumischung in vorhand. Steinkohle-Anlagen (> 10 MW)			
– Pellets / Hackschnitzel / Weizenkorn / Rapssaat	1,000	1,000	Steinkohle

Tabelle IV.2-2: **Brutto-Substitutionsverhältnis zwischen fossilen Energieträgern und nachwachsenden Energieträgern (NE) bei verschiedenen Verwendungslinien**

- Fortsetzung -

Verwendungslinie	Energetisches Brutto-Substitutions-verhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Substituierte fossile Energieträger (fos) (Substitutionsanteil in %, bezogen auf MWh)
	Gegenwart	2005	
FLÜSSIGE ENERGIETRÄGER:			
Rapsöl			
– als Heizöl	1,000	1,000	leichtes Heizöl
– für Duotherm-Motoren	1,071	1,000	Dieselkraftstoff
– als Raffinerie-Rohstoff	0,929	0,929	Raffinerie-Rohstoff
Rapsölmethylester	1,000	1,000	Dieselkraftstoff
Ethanol [1]	1,250	1,250	Ottokraftstoff
Methanol			
– Pellets / Hackschnitzel	0,721	0,726	Erdgas
GASFÖRMIGE ENERGIETRÄGER:			
Wasserstoff			
– Pellets / Hackschnitzel	0,719	0,725	Erdgas

[1] Bei Beimischung von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff von Ottomotoren

Für die 25 MW_e-HKW ist auch eine fortschrittliche Variante dargestellt, die die Vorvergasung der Biomasse unterstellt (Näheres in Kap. IV.1.1) und hierdurch im Vergleich zu den dargestellten Verhältnissen für die Gegenwart zu deutlich höheren Substitutionsverhältnissen kommt.

Bei kleineren Verwendungsanlagen (z.B. 5 MW-Heizwerk) wurde im Gegensatz zu größeren Anlagen (z.B. 25 MW_e-HKW) unterstellt, daß die Verwendung von Ballen im Vergleich zu Pellets mit einem Wirkungsgradnachteil verbunden ist und somit das Substitutionsverhältnis etwas geringer ausfällt.

Die in Tabelle IV.2-2 dargestellten prozentualen Anteile, mit denen leichtes Heizöl und Steinkohle substituiert werden, sind vor allem für die Ableitung der spezifischen CO_2-Emissionen (vgl. Kap. IV.4.1) von Bedeutung.

Bei der Verwendung von Rapsöl in Duotherm-Motoren wurde für 2005 unterstellt, daß herkömmliche Dieselmotoren den gleichen Wirkungsgrad erreichen und somit kein Substitutionsvorteil für Duotherm-Motoren bestehenbleibt.

Für Ethanol wurde eine Beimischung von 5 % zu Ottokraftstoff angenommen. Es wurde unterstellt, daß eine MWh Ethanol unter diesen Bedingungen 1,25 MWh mineralölstämmigen Ottokraftstoff ersetzt.

Bei der Produktion von Methanol und Wasserstoff aus Biomasse führt der Nachteil beim Wirkungsgrad der entsprechenden Anlage und der zusätzliche Energieaufwand für die Bereitstellung von Sauerstoff dazu, daß das Brutto-Substitutionsverhältnis, verglichen mit der entsprechenden Gewinnung über Erdgas, deutlich unter 1 liegt (vgl. Tab. IV.2-2).

Netto-Substitutionsverhältnis

Das energetische Netto-Substitutionsverhältnis wird abgeleitet durch Subtraktion des Prozeßenergiebedarfs für die Bereitstellung der nachwachsenden Energieträger frei Verwendung (vgl. Tab. IV.2-1) vom energetischen Brutto-Substitutionsverhältnis am Verwendungsort des Energieträgers (vgl. Tab. IV.2-2).

In Tabelle IV.2-3 sind mögliche Kombinationen von nachwachsenden Energieträgern aus Tabelle IV.2-1 und Verwendungslinien aus Tabelle IV.2-2 zusammengestellt. Insgesamt wurde versucht, sowohl verwendungsbedingte (anlagenbedingte) als auch rohstoffbedingte Effekte darzustellen.

Die verschiedenen Verwendungslinien für Festbrennstoffe lassen sich nahezu durchgängig am Beispiel Strohpellets diskutieren, einschließlich der Gewinnung von Methanol und Wasserstoff. Diese verwendungsbedingten Effekte wurden bereits im Zusammenhang mit dem Brutto-Substitutionsverhältnis diskutiert.

Am Beispiel der Verwendungslinien "25 MW_e-HKW" und "Zumischung in vorhandenen SK-Anlagen (>10 MW)" sind die verschiedenen festen nachwachsenden Energieträger einander gegenübergestellt, wobei diese rein rohstoffbedingten Effekte bereits im Zusammenhang mit Kapitel IV.2.1 diskutiert wurden.

Aus diesem Vergleich wird nochmals deutlich, daß mit Hackschnitzeln aus Industrie-Restholz oder Schnellwuchsplantagen das höchste Netto-Substitutionsverhältnis erreicht werden kann, gefolgt von Stroh-, Miscanthus- und Heu-Pellets.

Aus dem Vergleich Weizen (-korn) als Festbrennstoff oder als Rohstoff für die Ethanolgewinnung wird deutlich, daß die direkte energetische Nutzung des Korns netto mehr als dreimal soviel fossile Energie einspart wie die energetische Nutzung des daraus gewonnenen Ethanols (Gegenwart). Diese Verhältnisse werden mittelfristig (2005) wesentlich verbessert, wenn bei der Ethanolproduktion das Getreidestroh als Energieträger eingesetzt wird. Für die energetische Nutzung von Raps als Rapssaat oder Rapsöl bzw. RME trifft diese Aussage in ähnlicher Weise zu.

Die beim energetischen Netto-Substitutionsverhältnis festgestellte Rangfolge der NE-Produktlinien findet sich in nahezu gleicher Abstufung auch bei der Rangfolge hinsichtlich Netto-CO_2-Minderung pro Energieeinheit wieder (vgl. Kap. IV.4.1).

Tabelle IV.2-3: **Energetisches Brutto-Substitutionsverhältnis, Prozeßenergiebedarf und energetisches Netto-Substitutionsverhältnis für verschiedene NE-Produktlinien**

NE-Produktlinien	Brutto-Substitutions-verhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Prozeßenergiebedarf (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Netto-Substitutions-verhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	0,887	0,887	0,110	0,103	0,777	0,784
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	0,022	0,021	0,865	0,866
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,152	0,746	0,735
500 kW - Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	0,901	0,901	0,110	0,103	0,791	0,798
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	0,022	0,021	0,879	0,880
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,152	0,760	0,749
2 MW - Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	0,869	0,869	0,034	0,032	0,835	0,837
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– SWP- Hackschnitzel						
• 2000 h/a	0,901	0,901	0,044	0,036	0,857	0,865
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	0,901	0,901	0,141	0,152	0,760	0,749
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– Rapssaat						
• 2000 h/a	0,901	0,901	0,228	0,162	0,673	0,739
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	1,364	1,275	0,141	0,152	1,223	1,123
5 MW - Heizwerk						
– Stroh-Ballen	0,859	0,821	0,034	0,032	0,825	0,789
– Miscanthus-Ballen	"	"	0,046	0,064	0,813	0,757
– Stroh-Pellets	0,890	0,853	0,110	0,103	0,780	0,750
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	0,022	0,021	0,868	0,832
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,152	0,749	0,701
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	1,334	1,226	0,141	0,153	1,193	1,073
12 MW_e - HKW						
– Stroh-Pellets	1,235	1,142	0,110	0,103	1,125	1,039
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	1,094	0,989
25 MW_e - HKW						
– Miscanthus-Pellets	1,271	1,168	0,141	0,153	1,130	1,015

Tabelle IV.2-3: **Energetisches Brutto-Substitutionsverhältnis, Prozeßenergiebedarf und energetisches Netto-Substitutionsverhältnis für verschiedene NE-Produktlinien**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinien	Brutto-Substitutionsverhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Prozeßenergiebedarf (MWh_{fos}/MWh_{NE})		Netto-Substitutionsverhältnis (MWh_{fos}/MWh_{NE})	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e - HKW 1)						
– Stroh-Pellets	1,271	1,248	0,110	0,103	1,161	1,145
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	0,022	0,021	1,249	1,227
– SWP-Hackschnitzel	"	"	0,044	0,036	1,227	1,212
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	1,130	1,095
– Heu-Pellets	"	"	0,165	0,153	1,106	1,095
– Weizen (-korn)	"	"	0,159	0,123	1,112	1,125
42 MW_e - HKW						
– Stroh-Pellets	1,295	1,194	0,110	0,103	1,185	1,191
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	1,154	1,041
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	1,000	1,000	0,110	0,103	0,890	0,897
– Stroh-Ballen	"	"	0,035	0,034	0,965	0,966
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	0,971	0,971	0,113	0,106	0,858	0,865
– Stroh-Briketts, städt.	"	"	0,122	0,115	0,849	0,856
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (> 10 MW)						
– Stroh-Pellets	1,000	1,000	0,110	0,103	0,890	0,897
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	0,022	0,021	0,978	0,979
– SWP-Hackschnitzel	"	"	0,044	0,036	0,956	0,964
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	0,859	0,847
– Heu-Pellets	"	"	0,165	0,153	0,835	0,847
– Weizen (-korn)	"	"	0,159	0,123	0,841	0,877
– Rapssaat	"	"	0,228	0,162	0,772	0,838
Rapsöl						
– als Heizöl	1,000	1,000	0,376	0,261	0,624	0,739
– für Duotherm-Mot.	1,071	1,000	"	"	0,695	0,739
– als Raffinerie-Rohstoff	0,929	0,929	0,370	0,255	0,559	0,668
Rapsölmethylester	1,000	1,000	0,470	0,336	0,530	0,664
Ethanol 2) 3)						
– aus Zuckerrüben	1,250	1,250	0,702	0,426	0,548	0,824
– aus Weizen	"	"	0,896	0,285	0,354	0,965
Methanol						
– Stroh-Pellets	0,721	0,726	0,110	0,103	0,611	0,623
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	0,580	0,573
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	0,719	0,725	0,110	0,103	0,609	0,622
– Miscanthus-Pellets	"	"	0,141	0,153	0,578	0,572

SK = Steinkohle; BK = Braunkohle; SWP = Schnellwuchsplantage

1) Im Gegensatz zu anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

2) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundstoff für Ottomotoren.

3) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

3. Ökonomische Analyse

3.1 Methodisches Vorgehen und wichtige Basisannahmen

3.1.1 Methodisches Vorgehen bei der Kostenerfassung

Der ökonomischen Analyse liegen Kostenvergleiche der Bereitstellung und Verwendung von nachwachsenden Energieträgern (NE) einerseits und der Kosten konkurrierender Produktlinien mit fossilen Energieträgern andererseits zugrunde.

In analoger Weise wie bei den Energiebilanzen werden bei der ökonomischen Analyse zunächst die Kosten berechnet, die insgesamt für die Bereitstellung der verschiedenen NE bis zur Anlieferung bei der Verwendungsanlage anfallen. In einem zweiten Schritt der Analyse werden die Substitutionswerte der NE für diese Verwendungsanlagen abgeschätzt.

Der Substitutionswert gibt an, wie teuer der angelieferte pflanzenbürtige Energieträger je Energieeinheit höchstens sein dürfte, um zu gleichen Gesamtkosten wie bei der konkurrierenden Produktlinie für fossile Energieträger zu führen - bei gleichen oder gleichwertigen Energiedienstleistungen oder Sekundärenergieträgern wie bei der Verwendung der fossilen Energieträger (FE).

Die Differenz zwischen den Kosten der Bereitstellung und dem Substitutionswert ergibt die Kostenunterdeckung (jeweils je gelieferter Energieeinheit des NE), die eine wichtige Kenngröße zur ökonomischen Bewertung der verschiedenen NE-Produktlinien ist.

Die Verwendungsanlage ist dabei in der Regel die Anlage, in der die diskutierten Energieträger als Endenergieträger verwendet werden (z.B. Dampferzeuger oder Kraftfahrzeug). Davon abweichend ist in den folgenden Fällen die Verwendungsanlage eine Energieumwandlungsanlage (vgl. die Beschreibung der Modellanlagen zur Verwendung in den Kapiteln IV.1.1 und IV.1.2):

- 25 MW_e-HKW bei vorhandenem Fernwärmenetz, das mit einem Steinkohle-HKW gleicher Größe und gleicher Fernwärmeabgabe konkurriert,
- Rapsöl als additiver Raffinerierohstoff zur Produktion spezifikationsgleicher Mitteldestillate,
- Festbrennstoffe zur Herstellung von Methanol bzw. Wasserstoff verglichen mit der Herstellung aus Erdgas.

Die Berechnung der Substitutionswerte knüpft an Preise für fossile Energieträger an (s. Tab. IV. 3.1-1), die bei den Verwendungsanlagen entweder eingangsseitig oder ausgangsseitig vergleichbar sind.

Berücksichtigt werden bei der Abschätzung des Substitutionswerts:

- Wirkungsgradunterschiede zwischen den Verwendungsanlagen für NE und für FE,
- Kapitalkostenunterschiede,
- Unterschiede bei den Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie bei den arbeitsabhängigen Kosten (außer den Kosten für NE).

Sofern bei den Verwendungsanlagen für die NE-Produktlinien oder bei vorgelagerten Umwandlungsanlagen auch verkaufbare Nebenprodukte anfallen, werden diese zu deren Gunsten als kostenmindernd berücksichtigt. Maßgeblich für den Wertansatz der nicht-energetischen Nebenprodukte ist ihr - unterstellter - Marktwert. Bei dem Koppelprodukt Strom, das z.B. bei der Wärmeerzeugung anfällt, werden Arbeits- und Leistungsgutschriften für den erzeugten Strom aus Kostenberechnungen für große Mittellast-Kohlekrafwerke abgeleitet (500 MW_e, 5000 h/a).

Im Gegensatz hierzu muß in einer einzelwirtschaftlichen Betrachtungsweise eine Stromgutschrift in Ansatz gebracht werden, deren Höhe durch die gesetzlich geregelte Vergütung für in das öffentliche Netz eingespeisten Strom aus Biomasse (75 % des durchschnittlichen Verbraucherpreises) festgelegt ist. 1991 betrug diese Vergütung ca. 140 DM/MWh.

Die Kenngrößen "Bereitstellungskosten für NE frei Anlage", "Substitutionswert" und "Kostenunterdeckung" werden ergänzt durch die Kenngröße "erforderliche Schwellenpreise für fossile Energieträger". Sie werden ebenfalls für die jeweilige NE-Produktlinie in Konkurrenz zur fossilen Produktlinie berechnet. Die Berechnung dieser Kenngröße erlaubt es, sich zunächst von den vorab festgelegten Preisen für fossile Energieträger zu lösen (s. Tab. IV.3.1-1) und anschließend Überlegungen darüber anzustellen, auf welche Höhe das fossile Energieträgerpreisniveau insgesamt, d.h. durch (Welt-)Marktpreissteigerungen und/oder durch energie- oder umweltpolitisch begründete Abgaben, bereits heute gestiegen sein müßte ("gegenwärtige Situation") oder bis zum Jahr 2005 ansteigen müßte ("zukünftige Situation"), um die Wirtschaftlichkeitsschwelle zu erreichen.

Der erforderliche Schwellenpreis wird aus Gründen der Anschaulichkeit bezogen auf den Verbraucherpreis für leichtes Heizöl (für Kleinverbraucher) angegeben. Demgemäß bedeutet beispielsweise ein Schwellenpreis von 100 DM/MWh Heizöl im Falle von Heizkraftwerken, daß das substituierte Heizöl von 36 DM/MWh (oh-

ne Steuern) um 64 DM/MWh auf 100 DM/MWh angehoben werden müßte, und daß auch der Preis für die substituierte Importkohle um 64 DM/MWh (von gegenwärtig 15 DM/MWh auf 79 DM/MWh) angehoben werden müßte. Die Darstellung der so berechneten Schwellenpreise erfolgt in Balkendiagrammen.

Bei der Berechnung der Schwellenpreise wird berücksichtigt, daß sich die Kosten für die NE-Produktlinie bei höheren Preisen für fossile Energieträger ebenfalls verteuern, wenn für die NE-Produktlinie fossile Prozeßenergie benötigt wird. Je höher der Bedarf einer NE-Produktlinie an fossiler Prozeßenergie, umso stärker muß der Preis des fossilen Energieträgers steigen, damit die NE-Produktlinie gegenüber der konkurrierenden fossilen Produktlinie bei Konstanz aller anderen Kostenkomponenten die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreicht.

3.1.2 Wichtige Basisannahmen der ökonomischen Analyse

Für alle wesentlichen Systemkomponenten der NE-Produktlinien werden einzelne Kostenkomponenten ermittelt, sofern sie nicht als mit den entsprechenden Kostenkomponenten der zugeordneten fossilen Produktlinien identisch unterstellt werden können. Dies betrifft die Prozeßkettenbereiche des Anbaus und der Ernte Nachwachsender Rohstoffe, der Konditionierung/Konversion und der Verwendung. Das Vorgehen und die wichtigen Basisannahmen bei der Kostenberechnung für den Anbau der pflanzlichen Rohstoffe sind in Kapitel III.1 ausführlich beschrieben worden.

Alle Angaben zu den Bereitstellungskriterien der NE beziehen sich hier auf die Variante "Hohe Intensität" und wurden mit Ausnahme von Miscanthus für durchschnittliche Ertragsverhältnisse abgeleitet. Die Auswirkungen einer extensiven landwirtschaftlichen Produktion (s. Variante "N-Abgabe") oder von günstigen oder weniger günstigen Ertragsverhältnissen auf die Bereitstellungskosten der NE sind in Kapitel III.1 erörtert. Aus Gründen der Vereinfachung mußte jedoch in Kapitel IV auf diese Differenzierung verzichtet werden.

Für den Bereich der "Zwischenschritte", die von der Ernte über Konditionierung, Trocknung, Lagerung, Konversion und Transporte bis zur Verwendungsanlage reichen, werden die Art der Kostenberechnung und die dafür wichtigen Basisdaten im Anhang A IV.1 beschrieben.

Tabelle IV.3.1-1: **Preisannahmen für fossile Energieträger für die gegenwärtige und die zukünftige Situation ("Gegenwart" und "2005") (ohne Mehrwertsteuer)**

	Gegenwart [1]				2005 [1]	
	Preis ohne Steuern [2]		Mineralölsteuer/ Erdgassteuer [3]		Preis ohne Steuern [2]	
	(DM/MWh)	(DM/l)	(DM/MWh)	(DM/l)	(DM/MWh)	(DM/l)
Heizöl, extra leicht (HEL)			8	0,08		
Kleinverbraucher	36	0,36			47	0,47
Großverbraucher	31	0,31			42	0,42
ab Raffinerie	28	0,28			39	0,39
Heizöl, schwer (HS), zur Wärmeerzeugung			2,60	0,29		
Großverbraucher	18	0,20		(30 DM/t)	29	0,32
ab Raffinerie	15	0,16			26	0,28
Dieselkraftstoff (DK)			54,20	0,542		
ab Tankstelle	39	0,39			50	0,50
ab Raffinerie	31	0,31			42	0,42
Ottokraftstoff (OK) (Superbenzin, unverbleit)			91,70	0,82		
ab Tankstelle	47	0,42			58	0,52
ab Raffinerie	38	0,34			49	0,44
Erdgas [4]		(DM/m³, H_u)		(Pf/m³, H_o)		(DM/m³, H_u)
Haushalte	50	0,44	4	3,5	61	0,54
		(DM/m³, H_u)				(DM/m³, H_u)
Blockheizkraftw. (BHKW)	36	0,32			47	0,41
		(DM/m³, H_u)				(DM/m³, H_u)
Großverbraucher	21	0,19			32	0,28
Steinkohle [5]		(DM/t SKE)	–	–		(DM/t SKE)
Importkohle	15	122			24	195
		(DM/t SKE)				(DM/t SKE)
Inländische Steinkohle [6]	37	301			40	326
Braunkohle [5]			–	–		
Kraftwerkskohle	15	122			24	195
		(DM/t SKE)				
Briketts für Kleinverbr., (20 GJ/t)	45	366			49	396
		(DM/t SKE)				
Einspeisevergütung (für i. d. öffentl. Netz eingespeisten Strom aus Biomasse) [7]	140	–	–	–	–	–

1) Angaben zum spezifischem Gewicht und Energiegehalt finden sich in Tabelle A IV.4.1-1 (Anhang)

2) Die Preisannahmen sind ohne gegebenenfalls fällige Mehrwert-, Mineralöl- oder Erdgassteuer ausgewiesen. Die gegebenenfalls fällige Erdölbevorratungsabgabe ist implizit in den Preisannahmen enthalten, sie ist jedoch vernachlässigbar gering.
Die Preisannahmen für die "Gegenwart" orientieren sich an den Zahlen von Schiffer für 1990 (SCHIFFER 1991).
Zu den Preisannahmen für die Situation "2005" siehe Text.

3) *Diese Steuersätze sind seit 01.07.91 gültig (s. SCHIFFER 1992).*

4) Umrechnungsfaktor: 1 m³(H_u) = 1,11 m³(H_o).

5) Einschließlich Transportkosten.

6) Ruhrkohle-Listenpreis

7) Der (Mindest-)Wert für die "Gegenwart" ist seit 01.01.91 gültig und betrifft Biomasse nur aus Betrieben der Land- und Forstwirtschaft (s. GRASSI 1992).

Die Kostenberechnungen beziehen sich auf die gegenwärtige und die zukünftige Situation. Mit der gegenwärtigen Situation ist die Situation Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre angesprochen. Je nach Datenverfügbarkeit und dem Zeitpunkt, zu dem eine endgültige Festlegung der Ausgangsdaten erforderlich war, beziehen sich die Ausgangsdaten zum Teil auf unterschiedliche Jahreszeiträume.

Abschätzungen für 2005 sind stellvertretend als solche für die mittelfristige Zukunft in 10 bis 15 Jahren zu verstehen. Die Festlegung technischer, ökonomischer und umweltrelevanter Basisannahmen für 2005 erfolgte aufgrund von Expertenbefragungen, Plausibilitätsüberlegungen auf der Basis von Trendermittlungen oder durch die Abschätzung wahrscheinlicher technischer Fortschritte.

Dies gilt auch für die Vergleichstechnologien mit fossilen Energieträgern. Entsprechende Kenngrößen hierzu sind in den Tabellen IV.3.1-2 bis IV.3.1-3 enthalten. Weitere Kennwerte zum Prozeßenergiebedarf sowie zum energetischen Brutto- und Netto-Substitutionsverhältnis sind bereits in Tabelle IV.2-3 aufgeführt. Im Zweifelsfall wurde für die Situation 2005 eine Konstanz der Gegenwartswerte unterstellt (bei monetären Größen: reale Konstanz).

Die Abbildung aller in Geldeinheiten ausgedrückten Ausgangsdaten, Zwischen- und Ergebnisgrößen für die gegenwärtige und die zukünftige Situation erfolgt zu Preisen von 1990. Durch die Angaben in realen Preisen lassen sich die Kostenangaben für die gegenwärtige und die zukünftige Situation direkt miteinander vergleichen.

Die wesentlichen Kostenelemente im Konversions- und Verwendungsbereich umfassen die Investitionskosten, die Energiekosten und andere Betriebskosten. Letztere (gegebenenfalls einschließlich Unternehmensteuerbelastung) werden in Relation zur Höhe der Investitionssumme im Anhang (Tab. A IV.2-1 bis A IV.2-5) dargestellt. Dieser Prozentsatz wurde nach vorangehender Analyse der näher aufgeschlüsselten tatsächlichen Betriebskosten für einzelne Anlagetypen ermittelt oder extrapoliert.

Die Investitionskosten, die nicht als jährlich wiederkehrende Ausgaben während der Nutzung einer Anlage oder eines Teilsystems einer energetischen Produktlinie anfallen, werden auf die anlagen- oder teilsystemtypische Nutzungsdauer verteilt, indem unter Zugrundelegung dieser Nutzungsdauer und eines durchschnittlichen realen Zinssatzes von 5 %/a zunächst eine Annuitätsrate entsprechend dem in Wirtschaftlichkeitsrechnungen häufig angewandten Verfahren ermittelt wird. Die Annuitätsrate wird anschließend mit den sogenannten einmaligen Kosten multipliziert und führt zu den auf die Jahre der Nutzung entfallenden real konstanten Jahreskosten.

Tabelle IV.3.1-2: **In der ökonomischen Analyse verwendete technische Kenndaten und Ertrags-Basisdaten für nachwachsende Energieträger**

	(1) Spezif. Gewicht	(2) Energie-gehalt (H_u)	(3) Ertrag [1]		(4) Bruttoenergieertrag (H_u) [1]	
			Gegenwart [2]	2005	Gegenwart [2]	2005
Landwirtschaftliche Rohstoffe frei Konversion		(MWh/t TM)	(t TM/ha)		(MWh/ha)	
Stroh (von Winterweizen, TS-Gehalt: 86 %)	–	4,55	6,08	6,56	27,7	29,8
Heu (von eingesäten Flächen, TS-Gehalt: 86 %)	–	4,55	10,0	11,7	45,5	53,2
Weizenkorn (von Winterweizen, TS-Gehalt: 86 %)	–	4,55	5,53	7,29	25,2	33,2
Miscanthus [3]	–	4,65	20,0	25,0	93,0	116,3
Holz-Hackschnitzel, Schnellwuchsplantage (Kurzumtrieb) [4]	–	4,75	10,0	11,0	47,5	52,3
Holz-Hackschnitzel, Industrie-Restholz	–	4,75	–	–	–	–
Rapssaat (von Winterraps, TS-Gehalt: 91 %)	–	6,90	2,83	3,87	19,5	26,7
Zuckerrüben (TS-Gehalt: 23 %)	–	–	11,64	14,75	–	–
Flüssige Energieträger frei Ort der letzten Verwendung	(kg/l)	(MWh/t)	(t/ha)			
Rapsöl, teilraffiniert (aus Winterraps, 94 % der theoretisch möglichen Ausbeute)						
– als Heizöl, Dieselkraftstoff oder Raff.-Rohstoff	0,92	10,19	1,19	1,63	12,1	16,6
– als Rapsölmethylester [5]	0,88	10,31	1,14	1,56	11,8	16,1
Ethanol (90 % der theoretisch möglichen Ausbeute)						
– aus Zuckerrüben	0,79	7,49	4,40	5,58	33,0	41,8
– aus Winterweizen	0,79	7,49	1,88	2,48	14,1	18,6

Quellen: Spalten (3) und (4): Eigene Berechnungen, siehe Kapitel III.1. Aus Praktikabilitätsgründen konnten hier nur punktuelle und keine Spannenwerte berücksichtigt werden.

1) Erträge frei Konversionsanlage (Festbrennstoffe) bzw. frei Verwendungsanlage (flüssige und gasförmige Energieträger), Fall "Hohe Intensität", durchschnittlicher Standort (vgl. Kapitel III.1)

2) Dreijahresdurchschnitt 1986-88

3) Erträge auf günstigen Standorten, im Mittel eines 10-Jahre-Zeitraums

4) Erträge im Mittel von fünf Umtriebsperioden

5) RME-Ertrag pro Hektar

TM: Trockenmasse, TS: Trockensubstanz

Tabelle IV.3.1-3: **Kosten der Bereitstellung nachwachsender Energieträger**

Nachwachsender Energieträger	Kosten nachwachsender Energieträger bei Anlieferung an der Verwendungsanlage (DM/MWh)			
	Gegenwart		2005	
	gesamt	darunter Anbau	gesamt	darunter Anbau
Stroh (von Winterweizen)				
– Ballen, 5-10 km	17,4	6,6	16,3	6,6
– Ballen, 30 km	20,7	"	19,6	"
– Pellets, 5-10 km	36,9	"	32,5	"
– Pellets, 30 km	38,0	"	33,6	"
– Briketts, ländl.	56,7	"	52,1	"
– Briketts, städt.	69,2	"	65,7	"
Heu (von eingesäten Flächen)				
– Ballen, 5-10 km	58,9	49,5	48,1	39,3
– Ballen, 30 km	61,8	"	51,0	"
– Pellets, 5-10 km	78,2	"	63,5	"
– Pellets, 30 km	79,1	"	64,6	"
Miscanthus				
– Ballen, 5-10 km	48,6	34,4	36,1	25,6
– Ballen, 30 km	51,4	"	38,9	"
– Pellets, 5-10 km	72,1	"	60,0	"
– Pellets, 30 km	73,2	"	61,1	"
Holz-Hackschnitzel				
– aus Ind.-Restholz, 5-10 km	26,5	0	22,7	0
– aus Ind.-Restholz, 30 km	27,4	0	23,4	0
– aus Schnellwuchsplantage (Kurzumtrieb), 5-10 km	64,0	33,5	53,7	25,5
– aus Schnellwuchsplantage (Kurzumtrieb), 30 km	66,5	33,5	56,6	25,5
Rapssaat (aus Winterraps)				
– für Feuerungsanlagen, 5-10 km	144,2	128,8	95,2	81,9
– für Feuerungsanlagen, 30 km	144,9	128,8	95,9	81,9
Rapsöl (aus Winterraps)				
– als Heizöl	220,4	207,8	153,3	132,0
– für Duotherm-Motoren	226,3	"	159,2	"
– als Raff.-Rohstoff	218,4	"	151,3	"
– als Rapsölmethylester	256,9	213,9	184,8	135,9
Weizenkorn				
– für Festbrennstoffanlagen	113,0	97,1	81,5	65,7
– für Ethanolerzeugungsanlagen	273,8	173,7	234,2 [1)]	117,5
Zuckerrüben				
– für Ethanolerzeugungsanlagen	190,3	93,6	193,5 [1)]	66,0

1) Für 2005 wurde unterstellt, daß Stroh bzw. Rübenschnitzel als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden. Dadurch erhöhen sich die Konversionskosten.

Diese Vorgehensweise zur Abbildung der jährlichen Kapitalkosten - Wahl eines einheitlichen durchschnittlichen Zinssatzes und Zugrundelegung der gesamten voraussichtlichen Nutzungsdauer einer Anlage - entspricht dem z.B. in dem Dritten Bericht der ENQUÊTE-KOMMISSION (1991) "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" (Teilband II, Abschnitt E) beschriebenen Vorgehen, das sich für eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise eignet.

Die steuerlichen Belastungen der NE-Produktlinien und der fossilen Produktlinien durch Mehrwert- und Energiesteuern werden in den Kostenberechnungen dieser Studie wie nachfolgend angegeben berücksichtigt.

Alle Preise und Kosten gehen ohne Mehrwertsteueraufschlag in die Berechnungen ein, was für Vergleiche aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist. Insoweit die Preise und Kosten den gewerblichen Sektor betreffen, stellt die Mehrwertsteuer ohnehin nur einen durchlaufenden Posten und damit keine tatsächliche Kostenbelastung für ein Unternehmen dar.

Bei Endverbrauchsgütern für Privatpersonen, wie Heizöl frei Kellertank oder Dieselkraftstoff ab Tankstelle, bedeutet der ohne Mehrwertsteuer angesetzte Vergleich von Kosten und Kostenunterdeckungen, daß diese Größen aus der Sicht des letzten gewerblichen Verkäufers verglichen werden, also z.B. aus der Sicht des Betreibers einer Tankstelle.

Der private Käufer an der Tankstelle würde Kostenvorteile oder Kostennachteile um den jeweils gültigen Mehrwertsteuersatz (gegenwärtig 15 %) vergrößert sehen, sofern Kostendifferenzen proportional in Preisdifferenzen übersetzt würden.

Die Belastungen der Energiepreise und -kosten mit Mineralölsteuer und Erdgassteuer werden ebenfalls aufgrund des hier angewandten volkswirtschaftlichen Ansatzes rechnerisch nicht berücksichtigt.

Auf diese Weise ergibt sich für den Fall der Kostengleichheit von NE-Produktlinien mit entsprechenden fossilen Produktlinien keine Änderung des Volkseinkommens, auf das bei dem volkswirtschaftlich orientierten Teil der ökonomischen Analyse im Prinzip abgehoben wird.

Die Mineralöl- und Erdgassteuer bleibt auch deshalb in dem volkswirtschaftlichen Berechnungsansatz unberücksichtigt, weil die Höhe der derzeit gültigen Steuersätze nicht als ein Indikator für die externen Kosten der Herstellung und Verwendung der mit ihnen belasteten fossilen Energieträger angesehen werden kann.

Die Erdölbevorratungsabgabe ist vom Grundkonzept her in den Preisen der mineralölstämmigen Energieträger mit enthalten, da zu unterstellen ist, daß das Aufkommen dieser Abgabe für Aufgaben verwendet wird, die speziell mit der Verwendung dieser Energieträger verbunden sind und deren Umfang sich bei reduziertem Umfang des Einsatzes dieser Energieträger ebenfalls mindert. Die quantitative Bedeutung der Erdölbevorratungsabgabe ist jedoch vernachlässigbar gering.

Die Energiepreisannahmen für die "Gegenwart" und die Situation "2005" sind in der Tabelle IV.3.1-1 enthalten. Die Preise für die Gegenwart orientieren sich an den Durchschnittszahlen für das Jahr 1990, wie sie z.B. von SCHIFFER (1991) veröffentlicht wurden. Die Erdöl- und Erdgaspreisannahmen entsprechen in etwa einem Rohölpreisniveau von 20 US-$/barrel.

Die Preise für die Importsteinkohle orientieren sich an den Grenzübergangspreisen, die Preise für die einheimische Steinkohle am Ruhrkohle-Listenpreis (d.h. vor Berücksichtigung von über den Kohlepfennig oder den Selbstbehalt der Verwender finanzierten Preisreduzierungen). Die unterstellten Steinkohlepreise schließen jeweils eine Transportkostenpauschale ein.

Die Preise für die Braunkohle beziehen sich auf die neuen Bundesländer. Da hierfür nicht auf statistische Unterlagen zurückgegriffen werden kann, wird unterstellt, daß der Preis für Kraftwerksbraunkohle dem Preis für die konkurrierende Importsteinkohle entspricht. Die unterstellten Braunkohlenpreise schließen ebenfalls eine Transportkostenpauschale ein.

Die Annahme für die (Mindest-)Vergütung von aus Biomasse im land- und forstwirtschaftlichen Sektor erzeugtem Strom orientiert sich an der seit 01.01.91 gültigen gesetzlichen Regelung, nach der hierfür 75 % des spezifischen Durchschnittserlöses der Elektrizitätsversorgungsunternehmen aus der Stromabgabe anzusetzen sind.

Für die Energiepreissituation "2005" wird, bezogen auf den Heizwert, ein paralleler Preisanstieg für die hier berücksichtigten Energieträger und Verwendungszwecke von rd. 11 DM/MWh (real) unterstellt (Ausnahme: inländische Steinkohle). Dem entspricht ein Rohölpreisanstieg auf rd. 30 US-$/barrel. Die jüngsten Energiepreisschätzungen von PROGNOS (1992) führen in etwa zu derselben Größenordnung wie die Preisannahmen dieser Studie. Die Schlußfolgerungen dieser Studie sind jedoch wenig abhängig davon, ob für 2005 eher 20, 30 oder 40 US-$/barrel angesetzt werden. Für die inländische Steinkohle wurde unterstellt, daß die Preise ähnlich wie die Kosten um real ca. 10 % bis 2005 steigen. Die genauen Zahlen sind Tabelle IV.3.1-1 zu entnehmen. Für den Fall einer deutlich

spürbaren CO_2-/Energie-Abgabe (oder -Steuer) ist mit dämpfenden Rückwirkungen auf die Weltmarktpreise für Energieträger zu rechnen. Wegen der Unsicherheiten in der Höhe derartiger Abgaben oder Steuern wurde jedoch darauf verzichtet, entsprechende Fallunterscheidungen bei den Weltmarktpreisen für 2005 durch Abschätzung der Rückwirkungen auszuarbeiten.

Die Annahmen für die Mineralöl- und Erdgassteuerbelastung - sie ist für die Kostenbetrachtungen unter gegenwärtigen einzelwirtschaftlichen Rahmenbedingungen von Belang - spiegeln die seit 01.07.91 gültigen Steuersätze wider.

Die Berechnungen zu zwei der in der vorliegenden Studie zur Darstellung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse herangezogenen Kenngrößen - gesamte Kostenunterdeckung der NE-Produktlinie (= Subventionsbedarf) und erforderliche Schwellenpreise für fossile Energieträger - umfassen jeweils auch eine Variante, in der die für den Anbau nachwachsender Energieträger gewährten bzw. der durch den Anbau nachwachsender Energieträger eingesparten Marktordnungskosten berücksichtigt werden. Für den Ansatz der agrarpolitischen Gutschriften wurde die Situation vor Beginn der jüngsten EG-Agrarreform vom 01.07.1992 zugrundegelegt.

Die Analyse der konkreten Verhältnisse ergab, daß bei durchschnittlichen Bodenqualitäten mit einer auf den Hektar bezogenen durchschnittlichen Gutschrift in Höhe von 1500 DM für die gegenwärtigen Verhältnisse (1990) gerechnet werden kann. Speziell für Schnellwuchsplantagen wurde unterstellt, daß diese nur auf schlechteren Böden angepflanzt würden und für diese daher nur 900 DM/ha anzusetzen sind. Für die Situation um das Jahr 2005 wurden nominal konstante Hektar-Beträge, entsprechend 1000 und 600 DM/ha zu real konstanten Preisen, unterstellt.

3.2 Ergebnisse der ökonomischen Analyse für gegenwärtige und für zukünftige Verhältnisse

3.2.1 Kosten der Bereitstellung

Die Angaben zu den NE-Bereitstellungskosten sind in Spalte (1) von Tabelle IV.3.2-1 enthalten und beziehen sich auf eine Megawattstunde Heizwert des bereitgestellten Energieträgers am Eingang der Verwendungsanlage ("frei Verwendungsanlage"). Die exemplarisch ausgewählten Kombinationen von NE und Verwendungsanlagen entsprechend denen bei der Darstellung der Energiebilanzen in Kapitel IV.2.

Im Bereich der Festbrennstoffe aus Pflanzen ergeben sich - nicht überraschend - die geringsten Kosten (frei Verwendungsanlage) für die Neben- bzw. Abfallprodukte Stroh und Industrie-Restholz. Strohballen sind bei kurzen Transportentfernungen im Vergleich zu anderen Festbrennstoffen frei Anlage relativ preisgünstig. Aus feuerungstechnischen Gründen und wegen der Handhabungsprobleme scheiden Strohballen als Energieträger für kleine Verbrennungsanlagen (<1 MW) wahrscheinlich aus.

Pellets oder Briketts aus Stroh, Heu oder Miscanthus haben für größere Transportentfernungen Vorteile hinsichtlich der Kosten für die Lagerung und den Transport. Sie haben auch bei größeren Anlagen verbrennungstechnische Vorteile sowie Vorteile bei der Vergasung. Deshalb muß der kostenaufwendigere Weg der Pelletierung mit in Betracht gezogen werden.

Die Energieerzeugung über das Weizenkorn ist mit aufgeführt, um den Weg der energetischen Ganzpflanzennutzung (Korn und Stroh von Getreide) in die Analysen mit einbeziehen zu können. Außerdem ist hierdurch eine Vergleichsmöglichkeit zur Produktion von Ethanol aus Weizen (-korn) gegeben.

Die gemeinsame Verbrennung oder Vergasung von Korn und Stroh (Ganzpflanze) wurde nicht näher untersucht, da hierfür Nachteile offensichtlich sind:

a) Im Falle der Ballenlinie ist mit Kornverlusten von bis zu 20 % zu rechnen.

b) Im Falle der gemeinsamen Pelletierung oder Brikettierung von Korn und Stroh ergeben sich Kostennachteile gegenüber der alleinigen Verdichtung von Stroh, da das Korn bereits in einer gut lagerbaren und transportierbaren Form vorliegt.

Da der Energiegehalt des Korns bei Weizen etwa dem des Strohs entspricht, lassen sich die Bereitstellungskosten frei Verwendungsanlage und die Kostenunterdeckung für die energetische Nutzung von Stroh und Korn für Weizen als Mittelwert der Angaben in Tabelle IV.3.2-1 für Strohballen oder Strohpellets einerseits und der Angaben für Weizen (-korn) andererseits abschätzen. Ohne auf die Zahlenwerte im einzelnen einzugehen, sei vermerkt, daß diese Mittelwerte insbesondere dann in vergleichbarer Größe oder günstiger als für andere speziell angebaute Energiepflanzen ausfallen, wenn sich der Weg über die Verdichtung bei Stroh, Heu und Miscanthus als erforderlich erweist. Der Grund ist in diesem Fall der Vorteil der beim Korn entfallenden Verdichtung.

Heu-Pellets und Rapssaat wurden in die Betrachtungen einbezogen, weil beide Rohstofflinien keines besonderen Trocknungsaufwands bedürfen, und weil im Falle der Rapssaat der Vergleich zur Verwendung von Rapsöl interessieren mag. Für beide gilt jedoch, daß keine Erfahrungen bei der Verbrennung oder Vergasung vorliegen, und daß es Schwierigkeiten aufgrund des höheren Kaliumgehaltes (verglichen mit Stroh) und im Falle der Rapssaat auch wegen des hohen Stickstoffgehaltes von rd. 4 % geben könnte.

Die in den Tabellen zusammengefaßten Zahlenraster beziehen sich auf Angaben, die je Megawattstunde (MWh) Heizwert des produzierten Energieträgers bis zur Anlieferung beim Verwender (Heizanlage, Dampferzeuger, Heizwerk, Heizkraftwerk, Kraftstofftank, Wasserstofferzeuger) gelten. Die in den Tabellen angeführten Werte sind mit einer Unsicherheitsspanne zwischen 10 und 30 % behaftet. Im Interesse der Übersichtlichkeit in den Tabellen und Abbildungen wurde jedoch auf ihre Darstellung verzichtet. Exemplarisch sind diese Unsicherheitsspannen für die Schwellenpreise in grafischer Form angegeben (s. Kap. IV.3.2.3).

Die Struktur der Bereitstellungskosten zwischen den verschiedenen nachwachsenden Energieträgern für die Situation "2005" entspricht weitgehend jener in der Gegenwart. Das Kostenniveau, in realen Preisen, sinkt vor allem wegen der berechneten sinkenden Anbaukosten. Eine Ausnahme sind die Bereitstellungskosten für Ethanol auf der Basis von Zuckerrüben - hier werden die sinkenden Anbaukosten überkompensiert durch den Anstieg der Konversionskosten, der durch die höheren Investitionskosten für die Verbrennung von Rübenschnitzeln als Energieträger zur Dampferzeugung im Gegensatz zur fossilen Verbrennungsanlage bedingt ist. Bei Heu, Miscanthus, Rapssaat und Weizenkorn für Festbrennstoffanlagen fallen die Bereitstellungskosten um 20 bis 30 %. Um 10 bis 15 % sinken sie bei Hackschnitzeln aus Industrie-Restholz und Schnellwuchsplantagen sowie bei Stroh-Pellets. Unter 10 % bleibt die Senkung der Bereitstellungskosten bei Strohballen und Strohbriketts.

Tabelle IV.3.2-1: **Bereitstellungskosten, Substitutionswert und gesamte Kostenunterdeckung für verschiedene Produktlinien nachwachsender Energieträger (NE)**

NE-Produktlinie	(1) NE-Bereitstellungskosten frei Verwendungsanlage (DM/MWh)		(2) NE-Substitutionswert [1] (DM/MWh)		(3) Gesamte Kostenunterdeckung [1][2] (DM/MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	37	33	–50	–40	87	73
– Ind.-Resth.-Hackschn.	27	23	"	"	77	63
– Miscanthus-Pellets	72	60	"	"	121	100
500 kW - Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	37	33	–19	–9	55	41
– Ind.-Resth.-Hackschn.	27	23	"	"	45	32
– Miscanthus-Pellets	72	60	"	"	90	69
2 MW - Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	17	16	–14	–5	32	21
• 4000 h/a	"	"	6	16	11	0
– SWP-Hackschnitzel						
• 2000 h/a	64	54	–4	6	68	47
• 4000 h/a	"	"	12	22	52	32
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	72	60	–4	6	75	54
• 4000 h/a	"	"	12	22	59	38
– Rapssaat						
• 2000 h/a	144	95	–4	6	148	89
• 4000 h/a	"	"	12	22	132	73
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	72	60	–2 (44)	25 (55)	74 (28)	35 (5)
5 MW - Heizwerk						
– Stroh-Ballen	17	16	–24	–15	42	31
– Miscanthus-Ballen	49	36	–24	–15	73	52
– Stroh-Pellets	37	33	–20	–11	57	43
– Ind.-Resth.-Hackschn.	27	23	"	"	47	34
– Miscanthus-Pellets	72	60	"	"	92	71
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	73	61	–33 (13)	–8 (22)	106 (60)	69 (39)
12 MW_e - HKW						
– Stroh-Pellets	38	34	–24 (–10)	–14 (–5)	62 (48)	47 (39)
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	–14 (–5)	96 (82)	75 (66)
25 MW_e - HKW						
– Miscanthus-Pellets	73	61	–13 (3)	–3 (7)	85 (70)	64 (54)

1) Die Zahlen in Klammern sind aus dem subventionsfreien inländischen Steinkohlepreis abgeleitet.

2) Ermittelt durch Saldierung von Spalte (1) und Spalte (2).

3) Im Gegensatz zu den anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

4) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren.

5) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

6) Abgeleitet aus dem Vergleich mit den Kosten der Herstellung von Methanol bzw. Wasserstoff aus Erdgas.

Tabelle IV.3.2-1: **Bereitstellungskosten, Substitutionswert und gesamte Kostenunterdeckung für verschiedene Produktlinien nachwachsender Energieträger (NE)**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	(1) NE-Bereitstellungskosten frei Verwendungsanlage (DM/MWh)		(2) NE-Substitutionswert [1] (DM/MWh)		(3) Gesamte Kostenunterdeckung [1)2)] (DM/MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [3]						
– Stroh-Pellets	38	34	– 13 (3)	21 (33)	51 (35)	12 (0)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	27	23	"	"	39 (24)	2 (– 10)
– SWP-Hackschnitzel	67	57	"	"	79 (64)	35 (23)
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	"	85 (70)	40 (28)
– Heu-Pellets	79	65	"	"	92 (77)	43 (31)
– Weizen (-korn)	113	82	"	"	125 (110)	60 (48)
42 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	38	34	– 5 (11)	5 (16)	43 (27)	28 (18)
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	"	77 (61)	56 (45)
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	38	34	13	22	26	12
– Stroh-Ballen	21	20	10	19	11	1
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	57	52	39	43	18	10
– Stroh-Briketts, städt.	69	66	39	43	31	23
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (> 10 MW)						
– Stroh-Pellets	38	34	13 (35)	22 (38)	26 (4)	12 (– 4)
– Ind.-Resth. -Hackschn.	27	23	"	"	14 (– 8)	2 (– 14)
– SWP-Hackschnitzel	67	57	"	"	54 (32)	35 (19)
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	"	60 (38)	40 (24)
– Heu-Pellets	79	65	"	"	67 (45)	43 (27)
– Weizen (-korn)	113	82	"	"	100 (79)	60 (44)
– Rapssaat	145	96	"	"	132 (110)	74 (58)
Rapsöl						
– als Heizöl	220	153	30	41	190	112
– für Duotherm-Mot.	226	159	15	50	212	109
– als Raffinerie-Rohstoff	218	151	15	25	204	126
Rapsölmethylester	257	185	39	50	218	135
Ethanol [4)5)]						
– aus Zuckerrüben	190	194	59	73	132	121
– aus Weizen	274	234	"	"	215	162
Methanol						
– Stroh-Pellets	38	34	– 14 [6]	– 5 [6]	52	38
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	"	86	66
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	38	34	– 13 [6]	– 4 [6]	51	38
– Miscanthus-Pellets	73	61	"	"	86	65

Obwohl die Bereitstellungskosten bis zur Verwendungsanlage in einigen Fällen nur wenig höher oder (bei Industrierestholz) sogar geringer sind als z.B. die Preise für leichtes Heizöl für Kleinverbraucher, kann man daraus nicht auf die Nähe zur Wettbewerbsfähigkeit schließen. Dies wird bei der Diskussion der Substitutionswerte deutlich.

3.2.2 Substitutionswert und Kostenunterdeckung

Im Hinblick auf einen umfassenden Vergleich nachwachsender und fossiler Energieträger sind alle weiteren Elemente der jeweiligen Produktlinie im Anschluß an die Kosten der Bereitstellung der Energieträger zusätzlich zu berücksichtigen. Wie bereits in Kapitel IV.3.1 dargestellt, erfolgt dies durch eine entsprechende Berücksichtigung von gegebenenfalls zu unterstellenden Unterschieden zwischen der fossilen und der NE-Produktlinie hinsichtlich der Kapital- und Betriebskosten und des energetischen Wirkungsgrads der Verwendungsanlagen. Diese Unterschiede führen zum Abweichen des Substitutionswertes von den vergleichbaren Marktpreisen für fossile Energieträger (s. Tab. IV.3.1-1).

Wie die Ergebnisse der Berechnungen zeigen (s. Spalte (2) von Tab. IV.3.2-1), ist der Substitutionswert nur in einem einzigen Fall mit dem Marktpreis eines fossilen Energieträgers identisch, nämlich bei Rapsöl für Duotherm-Motoren für die Situation "2005" (50 DM/MWh; Vergleichskraftstoff: Dieselkraftstoff). Der Substitutionswert für die gegenwärtigen Verhältnisse liegt deutlich unter dem Marktwert, weil in diesem Fall erhebliche Umrüstungskosten am Motor unterstellt werden.

Nur in zwei Fällen ist der Substitutionswert höher als der Marktwert, nämlich bei Ethanol aus Zuckerrüben und Weizen. Der höhere Substitutionswert dieser beiden Produktlinien hängt mit dem Wirkungsgradvorteil zusammen, der bei einer Beimischung von bis zu 5 % Ethanol zu Ottokraftstoffen genutzt werden kann (vgl. Kap. IV.2). In allen sonstigen Fällen ist der Substitutionswert für die gegenwärtigen und für die zukünftigen Verhältnisse niedriger als der jeweilige Marktwert des zum Vergleich herangezogenen fossilen Energieträgers. Bei Heiz- und Heizkraftwerken ist er sogar überwiegend negativ für die Fälle der Ausweitung von Fernwärme-Versorgungssystemen mit HKW. Dort, wo der Substitutionswert bereits für die gegenwärtige Situation positive Werte aufweist (z.B. bei den NE-Produktlinien "Zumischung in vorhandenen Steinkohleanlagen"), ist er bei weitem nicht hoch genug, um die relativ hohen Bereitstellungskosten in der Gegenwart und in der Zukunft zu decken.

Ein etwas günstigeres Bild ergibt sich dann, wenn man die Preise der inländischen Steinkohle statt der Importkohlepreise bei der direkten oder indirekten Steinkohlensubstitution unterstellt. In Tabelle IV.3.2-1 sind die entsprechenden Zahlen für den Substitutionswert und für die Kostenunterdeckung jeweils in Klammern beigefügt.

Das hohe Preisniveau der inländischen Steinkohle, welche ungefähr den Förderkosten (zuzüglich Transportkosten) entspricht, kann nur durch finanzielle Stützungsmaßnahmen (überwiegend bei der Verwendung) aufrechterhalten werden. Dennoch lassen sich bei der Substitution inländischer Steinkohle durch NE mit gewissen Vorbehalten Vergleiche der NE-Bereitstellungskosten mit den gestützten Preisen der inländischen Steinkohle insofern vertreten, als in beiden Fällen Stützungsmaßnahmen erfolgen - auf der einen Seite aus kohlepolitischen Gründen, auf der anderen Seite aus agrarpolitischen Gründen. Nach Abzug der unten diskutierten agrarpolitischen Gutschriften von der Kostenunterdeckung für die NE (vgl. Tab. IV.3.2-2) ist der Ansatz der inländischen Steinkohlenpreise jedoch nicht mehr sehr sinnvoll.

Die Abschätzungen für die Gegenwart gehen bei den Verwendungsanlagen von dem zu Beginn der neunziger Jahre prinzipiell erreichten technischen Entwicklungsstand aus. Für die Heizkraftwerke werden Wirbelschichtanlagen mit Dampfkreislauf und Dampfturbine unterstellt. Die Abschätzungen im Bereich Rapsöl gehen davon aus, daß die Gewinnung und Raffination in zentralen Anlagen stattfindet. Eine dezentrale "on farm"-Abpressung wurde nicht näher untersucht, da die offensichtlichen ökonomischen Nachteile dieses Verfahrens bereits in der Literatur belegt sind (vgl. GÖTZKE 1986). Die verwendeten technischen und ökonomischen Basisdaten für einige Anlagen zur Verwendung fester nachwachsender Energieträger und für die mit fossilen Energieträgern betriebenen Vergleichsanlagen sind dem Anhang zu entnehmen.

Welche Möglichkeiten zusätzliche technische Fortschritte eröffnen können, wird am Beispiel eines 25 MW_e-Heizkraftwerks zur Substitution von getrennter Dampf- und Stromerzeugung aufgezeigt. Für diese Anlage wurde für die Situation "2005" eine erfolgreiche Entwicklung von HKW-Typen unterstellt, die eine ökonomisch und energetisch effizientere Stromerzeugung durch Vergasung der biogenen Energieträger mit nachfolgender Verbrennung in einer Gasturbine erreichen. Daraus ergeben sich vergleichsweise hohe Substitutionswerte (und geringe Kostenunterdeckungen). Anhand des Einsatzes von Miscanthus-Pellets in einem derart technisch fortentwickelten HKW einerseits und in einem konventionellen HKW andererseits zeigt sich, daß recht erhebliche Unterschiede in den Substitutionswerten auftreten können. Die hier zu verzeichnende Differenz von

Tabelle IV.3.2-2: **Gesamte Kostenunterdeckung, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende Kostenunterdeckung für verschiedene NE-Produktlinien**

NE-Produktlinie	(1) Gesamte Kostenunterdeckung [1] (DM/MWh)		(2) Agrarpolitische Gutschrift [2] (DM/MWh)		(3) Verbleibende Kostenunterdeckung [1][3] (DM/MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	87	73	-	-	87	73
– Ind.-Resth.-Hackschn.	77	63	-	-	77	63
– Miscanthus-Pellets	121	100	16	9	105	91
500 kW - Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	55	41	-	-	55	41
– Ind.-Resth.-Hackschn.	45	32	-	-	45	32
– Miscanthus-Pellets	90	69	16	9	74	60
2 MW - Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	32	21	-	-	32	21
• 4000 h/a	11	0	-	-	11	0
– SWP-Hackschnitzel						
• 2000 h/a	68	47	19	11	49	36
• 4000 h/a	52	32	"	"	33	20
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	75	54	16	9	59	45
• 4000 h/a	59	38	"	"	43	29
– Rapssaat						
• 2000 h/a	148	89	77	37	71	52
• 4000 h/a	132	73	"	"	55	36
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	74 (28)	35 (5)	16	9	58 (12)	26 (-4)
5 MW - Heizwerk						
– Stroh-Ballen	42	31	-	-	42	31
– Miscanthus-Ballen	73	52	16	9	57	43
– Stroh-Pellets	57	43	-	-	57	43
– Ind.-Resth.-Hackschn.	47	34	-	-	47	34
– Miscanthus-Pellets	92	71	16	9	75	62
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	106 (60)	69 (39)	16	9	90 (44)	60 (30)
12 MW_e - HKW						
– Stroh-Pellets	62 (48)	47 (39)	-	-	62 (48)	47 (39)
– Miscanthus-Pellets	96 (82)	75 (66)	16	9	80 (66)	66 (57)
25 MW_e - HKW						
– Miscanthus-Pellets	85 (70)	64 (54)	16	9	69 (54)	55 (45)

1) Die Zahlen in Klammern sind aus dem subventionsfreien inländischen Steinkohlepreis abgeleitet.

2) Entsprechend 1500 DM/ha bzw. 900 DM/ha (Schnellwuchsplantagen) für gegenwärtige Verhältnisse und 1000 DM/ha bzw. 600 DM/ha (Schnellwuchsplantagen) für zukünftige Verhältnisse. Umgerechnet mit dem Bruttoenergieertrag je Hektar gemäß Tab. IV. 3.1.-2.

3) Ermittelt durch Saldierung von Spalte (1) und Spalte (2).

4) Im Gegensatz zu den anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

5) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren.

6) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

Tabelle IV.3.2-2: **Gesamte Kostenunterdeckung, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende Kostenunterdeckung für verschiedene NE-Produktlinien**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	(1) Gesamte Kostenunterdeckung [1] (DM/MWh)		(2) Agrarpolitische Gutschrift [2] (DM/MWh)		(3) Verbleibende Kostenunterdeckung [1][3] (DM/MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [4]						
– Stroh-Pellets	51 (35)	12 (0)	-	-	51 (35)	12 (0)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	39 (24)	2 (−10)	-	-	39 (24)	2 (−10)
– SWP-Hackschnitzel	79 (64)	35 (23)	19	11	60 (45)	24 (12)
– Miscanthus-Pellets	85 (70)	40 (28)	16	9	69 (54)	31 (19)
– Heu-Pellets	92 (77)	43 (31)	33	19	59 (44)	24 (12)
– Weizen (-korn)	125 (110)	60 (48)	60	30	66 (51)	30 (18)
42 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	43 (27)	28 (18)	-	-	43 (27)	28 (18)
– Miscanthus-Pellets	77 (61)	56 (45)	16	9	61 (45)	47 (36)
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	26	12	-	-	26	12
– Stroh-Ballen	11	1	-	-	11	1
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	18	10	-	-	18	10
– Stroh-Briketts, städt.	31	23	-	-	31	23
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (>10 MW)						
– Stroh-Pellets	26 (4)	12 (−4)	-	-	26 (4)	12 (−4)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	14 (−8)	2 (−14)	-	-	14 (−8)	2 (−14)
– SWP-Hackschnitzel	54 (32)	35 (19)	19	11	35 (13)	24 (8)
– Miscanthus-Pellets	60 (38)	40 (24)	16	9	44 (22)	31 (15)
– Heu-Pellets	67 (45)	43 (27)	33	19	34 (12)	24 (8)
– Weizen (-korn)	100 (79)	60 (44)	60	30	41 (19)	30 (14)
– Rapssaat	132 (110)	74 (58)	77	37	55 (33)	37 (21)
Rapsöl						
– als Heizöl	190	112	124	60	66	52
– für Duotherm-Mot.	212	109	"	"	88	49
– als Raffinerie-Rohstoff	204	126	"	"	80	66
Rapsölmethylester	218	135	122	60	95	75
Ethanol [5][6]						
– aus Zuckerrüben	132	121	46	24	86	97
– aus Weizen	215	162	107	54	108	108
Methanol						
– Stroh-Pellets	52	38	-	-	52	38
– Miscanthus-Pellets	86	66	16	9	70	57
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	51	38	-	-	51	38
– Miscanthus-Pellets	86	65	16	9	70	56

rd. 24 DM/MWh entspricht etwa 110 DM je Tonne Trockenmasse des pflanzlichen Rohstoffs bzw. rd. 40 % der Bereitstellungskosten von Miscanthus-Pellets. Dieses Beispiel illustriert, wie lohnend Anstrengungen zur technischen Entwicklung und Demonstration in diesem Bereich sein können.

Wie bereits in Kapitel IV.3.1 dargestellt, führt die Saldierung der Bereitstellungskosten nachwachsender Energieträger frei Verwendungsanlage mit dem Substitutionswert nachwachsender Energieträger für jeweils eine definierte NE-Produktlinie (einschließlich der zugeordneten konkurrierenden fossilen Produktlinie) zur Kenngröße "gesamte Kostenunterdeckung". In einer Variante der derart berechneten Kenngröße wird zusätzlich eine agrarpolitische Gutschrift mit einbezogen. Die Kenngröße mit Verrechnung der agrarpolitischen Gutschrift wird abgekürzt als "verbleibende Kostenunterdeckung" bezeichnet. Die agrarpolitische Gutschrift gilt für alle nachwachsenden Energieträger mit Ausnahme der Reststoffe Stroh und Industrie-Restholz. Ihre Höhe wird für gegenwärtige Verhältnisse (vor der Reform der EG-Agrarpolitik) auf 1500 DM/ha bzw. 900 DM/ha für Schnellwuchsplantagen veranschlagt. Bei in etwa nominaler Konstanz beträgt die Gutschrift für die mittelfristigen Verhältnisse inflationsbereinigt 1000 DM/ha bzw. 600 DM/ha. Bezogen auf die geerntete bzw. gelieferte Energiemenge wirken sich diese flächenbezogenen Gutschriften umso stärker aus, je geringer der Hektarertrag an Energie ist.

Aus dem Gesamtbild der Berechnungsergebnisse (s. Spalte (3) von Tab. IV.3.2-1 u. Tab. IV.3.2-2) ist abzulesen, daß die NE-Produktlinien, gemessen an der verbleibenden Kostenunterdeckung, die aus volkwirtschaftlicher Sicht definierte Wirtschaftlichkeitsschwelle generell nicht erreichen. Diese Aussage gilt für die gegenwärtigen und die zukünftigen Verhältnisse, ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften. Zwar verweisen die Zahlen für die Situation "2005" auf eine - mögliche - Verbesserung der Gesamtsituation. Ein wesentlicher Durchbruch der nachwachsenden Energieträger bzw. NE-Produktlinien ist aber noch nicht absehbar. Dies gilt auch dann, wenn man die für die zukünftigen Verhältnisse unterstellten Energiepreisannahmen, entsprechend einem realen Anstieg des Rohöls von rd. 20 auf rd. 30 $ pro barrel, zugrunde legt. Besonders ungünstig schneiden NE- Produktlinien mit Rapsöl und solche zur Erzeugung von Ethanol ab.

Im Hinblick auf die Orientierung zukünftigen Handelns erscheint es sinnvoll, die relative Position der nachwachsenden Energieträger mit ihren verschiedenen Verwendungszwecken anhand der Kenngröße Kostenunterdeckung speziell für die Situation "2005" zu verdeutlichen und hieraus Ansatzpunkte für die möglichen Beiträge nachwachsender Energieträger zu einer vorsorgenden Energiepolitik mit zunehmenden Anteilen pflanzenbürtiger Energieträger zu entwickeln.

Wenn man die untersuchten Produktlinien nach der Höhe der verbleibenden Kostenunterdeckung in drei Gruppen ordnet, ergibt sich folgende Rangordnung der nachwachsenden Energieträger und ihrer Verwendungsbereiche:

- An erster Stelle stehen Strohballen in gut ausgelasteten mittelgroßen Dampferzeugern (2 MW), Strohpellets und Industrie-Restholz-Hackschnitzel in technisch weiterentwickelten mittelgroßen Heizkraftwerken (25 MW_e) und Strohpellets in 42 MW_e-HKW (bei Substitution inländischer Steinkohle) sowie als Zumischung in vorhandenen Steinkohlenanlagen (>10 MW). Ähnlich günstig sind auch Strohpellets und Strohballen in 25 MW_e-HKW zur Substitution eines gleich großen Steinkohle-HKW sowie Strohbriketts zur Substitution von Braunkohle in Kleinfeuerungsanlagen auf ländlichen Standorten.

- Die zweite Position besetzen Industrie-Restholz-Hackschnitzel in mittelgroßen Heizanlagen, Strohballen auch in weniger gut ausgelasteten mittelgroßen Dampferzeugern (2 MW), SWP-Hackschnitzel und Miscanthus-Pellets in gut ausgelasteten mittelgroßen Dampferzeugern (2 MW), Strohpellets in 12 MW_e-HKW (bei Strom gegenüber inländischer Steinkohle gerechnet), SWP-Hackschnitzel, Miscanthus- und Heupellets in technisch weiterentwickelten mittelgroßen Heizkraftwerken, Strohpellets in 42 MW_e-HKW (bei Strom gegenüber Importkohle gerechnet), Strohbriketts zur Substitution von Braunkohle in Kleinfeuerungsanlagen auf städtischen Standorten, Festbrennstoffe als Zumischung in vorhandenen Steinkohlenanlagen, Strohpellets in Methanol- und Wasserstofferzeugungsanlagen.

- Zur dritten, ungünstigsten Kategorie gehören NE-Produktlinien mit Weizenkorn und Rapssaat, Rapsöl, teilweise auch solche mit Miscanthus-Pellets. Ethanol aus Weizen und Zuckerrüben schneidet bei diesem Vergleich am schlechtesten ab.

3.2.3 Schwellenpreise für fossile Energieträger

Die Bedeutung der Schwellenpreise wurde in Kapitel IV.3.1.1 erläutert.

Die Auswahl und Gruppierung der NE-Produktlinien (s. die drei Blöcke in den Abbildungen IV.3.2-1 bis IV.3.2-4) orientieren sich an den folgenden relativ stark zukunftsbezogenen Teilfragen:

- Welche Anlagen sind am geeignetsten für Festbrennstoffe, insbesondere für Miscanthus als häufig herausgestelltem Hoffnungsträger im Festbrennstoffbereich?

- Welchen pflanzenstämmigen Festbrennstoffen ist bei einer gegebenen Verwendungsanlage (hier: vorhandene Steinkohleanlagen > 10 MW) der Vorzug zu geben?

- Welches Muster ergibt sich beim Vergleich der Schwellenpreise für feste und für flüssige Energieträger?

Bei der Berechnung der Schwellenpreise wurde berücksichtigt, daß die bereitgestellten nachwachsenden Energieträger bei höheren Preisen für fossile Energieträger ebenfalls teurer werden, je nach dem Bedarf an fossiler Prozeßenergie bis zur Anlieferung der nachwachsenden Energieträger an der Verwendungsanlage. Die Berechnungen weisen als Ergebnis zunächst das erforderliche Preisniveau des je nach NE-Produktlinie spezifisch substituierten fossilen Energieträgers aus. Durch den Vergleich mit dem für die gegenwärtige Situation gültigen Preis wird hieraus der erforderliche absolute Preisanstieg des jeweiligen fossilen Energieträgers (in realen Preisen) ermittelt. Für die hier ausschließlich in graphischer Form erfolgende Ergebnisdarstellung wird dieser absolute Preisanstieg, sofern er sich nicht ohnehin auf extra leichtes Heizöl (HEL) für Kleinverbraucher bezieht, in Relation zum gegenwärtigen Preis für extra leichtes Heizöl in Höhe von 36 DM/MWh (s. Tab. IV.3.1-1) eingetragen. Der Preis für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher gilt somit als Indikator für das gesamte Preisniveau fossiler Energieträger. Denn es wird davon ausgegangen, daß bei den Größenordnungen von Preissteigerungen fossiler Preise, von denen hier die Rede ist, die marktwirtschaftlich, energie- oder umweltpolitisch bewirkten absoluten Preisanstiege bei einem fossilen Energieträger mit einem in etwa gleich hohen absoluten Preisanstieg bei allen anderen fossilen Energieträgern systembedingt verbunden sind.

Die beiden Abbildungen IV.3.2-1 und IV.3.2-2 enthalten die Ergebnisse der Berechnungen zum erforderlichen HEL-Schwellenpreis für die gegenwärtigen und die zukünftigen Verhältnisse. Die Produktlinien sind in den Abbildungen durch Ziffern gekennzeichnet, die in der Legende vor den Abbildungen erklärt sind. Ein Vergleich der beiden Abbildungen weist ein insgesamt deutlich niedrigeres HEL-Schwellenpreisniveau für die Situation "2005" aus. Kleinere strukturelle Veränderungen innerhalb der drei Blöcke der ausgewählten NE-Produktlinien sind vorhanden. Für die weitere Interpretation wird jedoch nur auf die Ergebnisse für die Situation "2005" zurückgegriffen, da davon auszugehen ist, daß speziell diese Ergebnisse die geeigneten Ansatzpunkte für die möglichen Beiträge nachwachsender Energieträger zu einer vorsorgenden Energiepolitik bieten.

Wie aus Abbildung IV.3.2-2 deutlich wird, sind Heizanlagen unter 1 MW (1. Block, Option 1 und 2) hinsichtlich der Verwendung von Festbrennstoffen (dargestellt am Beispiel von Miscanthus) kaum attraktiv. Das liegt in erster Linie an dem höheren finanziellen Aufwand (je MWh) bei der Verwendung von festen NE in kleineren Anlagen, der auch bei den Angaben zur Kostenunterdeckung durchschlägt. Heizwerke in der Größenordnung von 5 MW sind ebenfalls eher ungünstig, wenn sie mit dem Aufbau eines Netzes zur Wärmeverteilung verbunden sind.

Die Verwendung von Festbrennstoffen zur Dampferzeugung oberhalb 1 MW (1. Block, Optionen 3, 4 und 5) stellt dagegen eine interessante Variante dar. Bei einer guten Auslastung mit 4000 h/a kann die 2 MW-Anlage mit der Verwertung der Festbrennstoffe in HKW (Optionen 8 bis 10) oder Steinkohleanlagen (Option 11) konkurrieren. Als Fazit läßt sich somit feststellen, daß für NE vor allem gute Chancen bei Dampferzeugern und Heizkraftwerken bestehen. Wird bei der Ableitung des Substitutionswertes für HKW und Kohleanlagen der subventionsfreie inländische Steinkohlepreis zugrundegelegt (Optionen 8', 9', 10', 11'), verbessern sich die Chancen für die Verwendung der festen NE weiterhin.

Der Vergleich mit dem durch Protektionsmaßnahmen teilweise aufrechterhaltenen inländischen Steinkohlenpreis ist jedoch nur mit Vorbehalten vertretbar, und nur dann, wenn der Vergleich mit den vollen Bereitstellungskosten der NE - ohne agrarpolitische Gutschrift - durchgeführt wird.

Beim Vergleich verschiedener Festbrennstoffe (s. 2. Block) wird (ähnlich wie beim Indikator der Kostenunterdeckung) deutlich, daß die Verwendung der Nebenprodukte Industrie-Restholz-Hackschnitzel und Stroh-Pellets die preiswerteste Variante ist. Für Stroh liegt der HEL-Schwellenpreis bei rd. 50 DM/MWh, entsprechend rd. 0,55 DM/l extra leichtes Heizöl. Für Hackschnitzel aus Schnellwuchsplantagen oder für Miscanthus-Pellets liegt der HEL-Schwellenpreis bei rd. 95 DM/MWh. Unter Berücksichtigung einer agrarpolitischen Gutschrift sinkt der HEL-Schwellenpreis auf rd. 85 DM/MWh und ist damit vergleichbar mit dem HEL-Schwellenpreis bei Heu.

Nach Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften bei der Kenngröße Schwellenpreis ergeben sich bei der direkten Verbrennung von Weizenkorn und Rapssaat geringere Schwellenpreise als bei der energetischen Nutzung von Rapsöl oder Ethanol.

Unter den NE-Produktlinien mit flüssigen und gasförmigen Energieträgern schneidet die Erzeugung von Methanol und Wasserstoff, speziell aus Stroh, am günstigsten ab (3. Block, Optionen 14 bis 17). Rapsöl- und Ethanol-Produktlinien liegen ohne Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften in etwa gleichauf, mit einer solchen Verrechnung ist ein deutlicher Vorteil des Rapsölbereichs zu erkennen.

LEGENDE

zu den Abbildungen IV.3.2-1 bis IV.3.2-4

EINSATZ VON MISCANTHUS-PELLETS IN VERSCHIEDENEN ANLAGENTYPEN

1 50 kW-Anlage (Vgl.: Öl-Zentralheizungen)
2 500 kW-Anlage (Vgl.: Öl-Zentralheizungen)
3 2 MW-Anlage mit Dampferzeugung, 2000 h/a (Vgl.: Dampferzeuger mit leichtem Heizöl)
4 2 MW-Anlage mit Dampferzeugung, 4000 h/a (Vgl.: Dampferzeuger mit leichtem Heizöl)
5 3 MW_e- Anlage mit Dampferzeugung und Stromauskopplung (Vgl.: Heizölbetrieb)
6 5 MW-Heizwerk (Vgl.: Öl-Zentralheizungen)
7 3 MW_e-Blockheizkraftwerk mit Fernwärmeerzeugung und Stromauskopplung
8 12 MW_e-Heizkraftwerk mit Dampferzeuger, Dampfturbine und Fernwärmenetz
8' Wie 8, jedoch berechnet mit subventionsbereinigtem, inländischem Steinkohlepreis
9 25 MW_e-Heizkraftwerk
9' Wie 9, jedoch berechnet mit subventionsbereinigtem, inländischem Steinkohlepreis
10 42 MW_e-Heizkraftwerk
10' Wie 10, jedoch berechnet mit subventionsbereinigtem, inländischem Steinkohlepreis
11 Zumischung in vorhandenen Steinkohlenanlagen, die mit stückiger Kohle arbeiten
11' Wie 11, jedoch berechnet mit subventionsbereinigtem, inländischem Steinkohlepreis

FESTBRENNSTOFFE, DIE IN VORHANDENEN KOHLEANLAGEN DER STÜCKIGEN KOHLE ZUGEMISCHT WERDEN

1 Zumischung von Industrie-Restholz-Hackschnitzeln
2 Zumischung von Stroh-Pellets
3 Zumischung von Hackschnitzeln aus Schnellwuchs-Plantagen
4 Zumischung von Miscanthus-Pellets
5 Zumischung von Heu-Pellets
6 Zumischung von Weizen (-korn)
7 Zumischung von Rapssaat

FLÜSSIGE und GASFÖRMIGE ENERGIETRÄGER

8 Rapsöl als Ersatz für mineralölstämmiges leichtes Heizöl im Wärmemarkt
9 Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenölverträgliche Direkteinspritzmotoren
10 Entschleimtes und teilraffiniertes Rapsöl als additiver Rohstoff für Mineralölraffinerien
11 Rapsölmethylester als Kraftstoff für Dieselmotoren
12 Ethanol aus Zuckerrüben
13 Ethanol aus Weizen
14 Methanolerzeugung aus Stroh-Pellets (Vgl.: Methanolproduktion aus Erdgas)
15 Methanolerzeugung aus Miscanthus-Pellets (Vgl.: Methanolproduktion aus Erdgas)
16 Wasserstoffgewinnung aus Stroh-Pellets (Vgl.: Wasserstoffgewinnung aus Erdgas)
17 Wasserstoffgewinnung aus Miscanthus-Pellets (Vgl.: Wasserstoffgewinnung aus Erdgas)

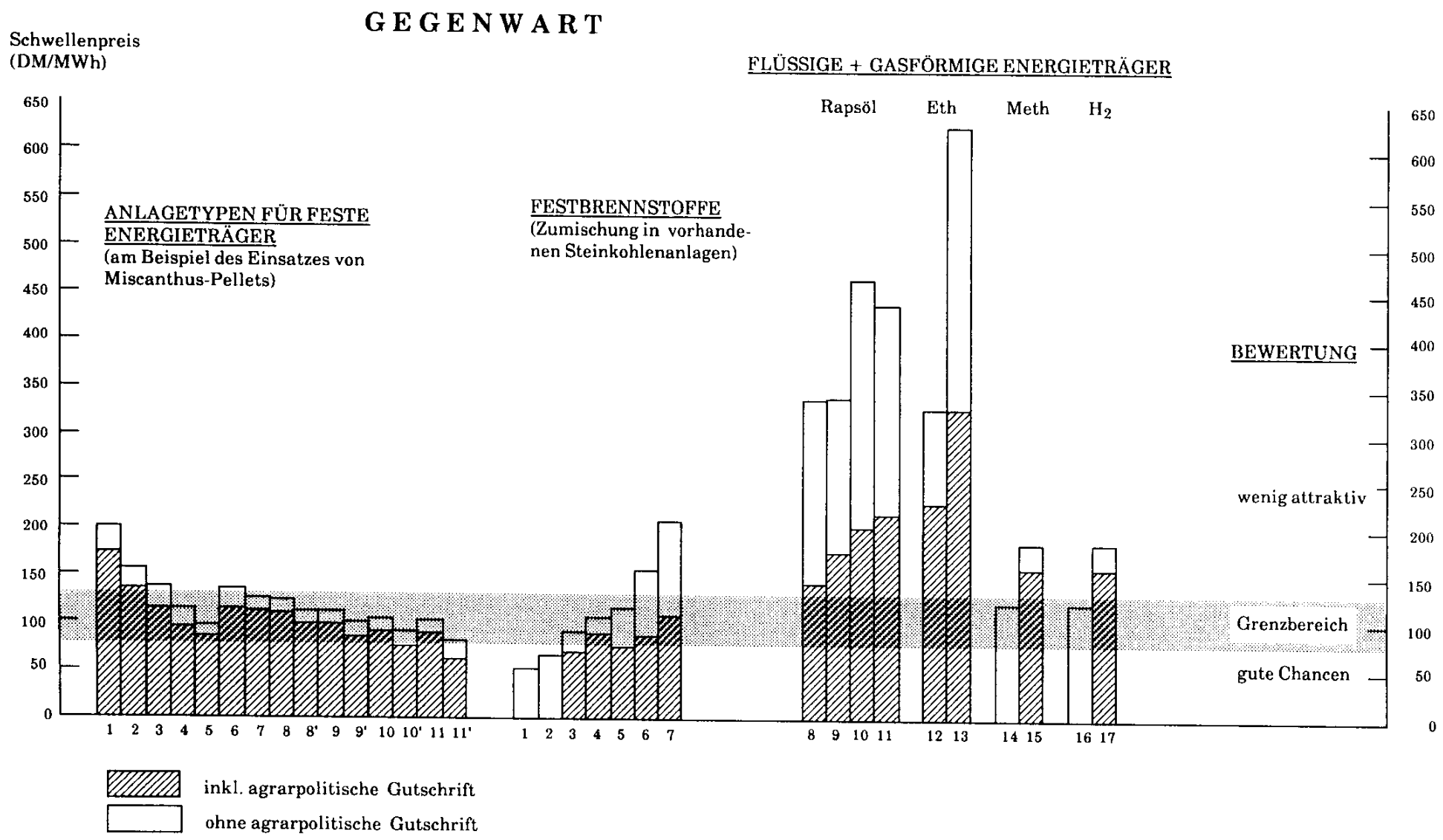


Abbildung IV.3.2-1: **Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - gegenwärtige Verhältnisse**

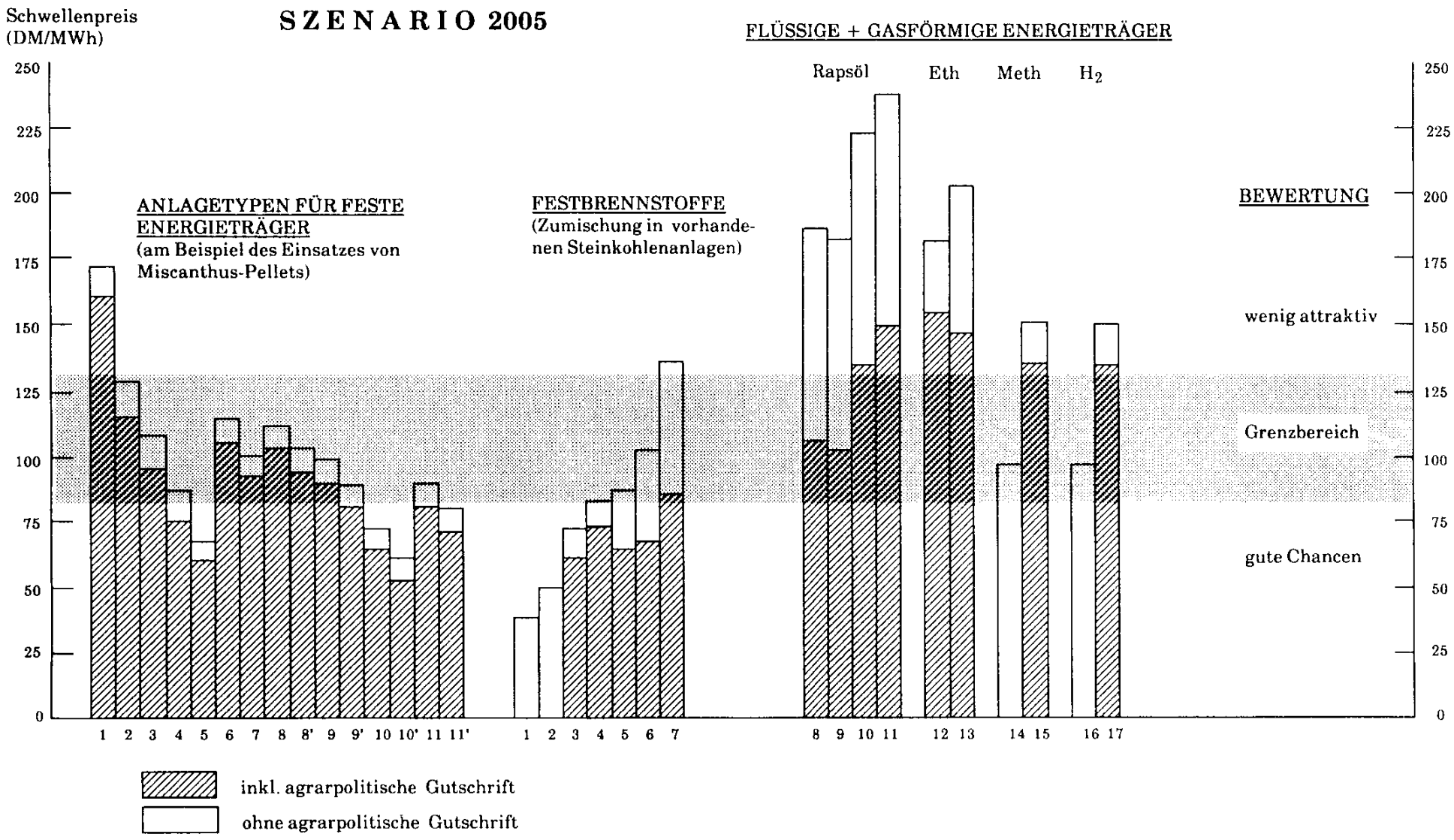


Abbildung IV.3.2-2: **Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - zukünftige Verhältnisse**

Innerhalb der Rapsölvarianten (3. Block, Optionen 8 bis 11) ergibt sich das gleiche Präferenzmuster wie bei den Kostenunterdeckungen. Zur Erlangung der Wettbewerbsfähigkeit der beiden günstigsten Rapsölvarianten, Rapsöl als Ersatz für mineralölstämmiges extra leichtes Heizöl im Wärmemarkt und als Kraftstoff für pflanzenölverträgliche Direkteinspritzmotoren, müßte der Preis der Leitgröße HEL auf rd. 190 DM/MWh ohne bzw. auf rd. 110 DM/MWh mit Verrechnung einer agrarpolitischen Gutschrift steigen. Das wäre, bezogen auf den derzeitigen HEL-Preis (ohne Mineralölsteuer) von 36 DM/MWh bzw. 0,36 DM/l, ein Anstieg von mehr als 400 bzw. 200 %.

Alle in den Ergebnistabellen und -abbildungen dieser Studie angeführten Abschätzungen sind natürlich mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheitsspannen werden in erster Linie durch zwei Komponenten bestimmt:

- Unsicherheiten bei Basisinformationen. Für die gegenwärtige Situation ist dies vor allem bei Miscanthus und Schnellwuchsplantagen relevant. Bei der Abschätzung der züchterischen und technischen Fortschritte bis "2005" bestehen generell Unsicherheiten.

- Abweichungen von den unterstellten durchschnittlichen Verhältnissen, z.B. hinsichtlich des Standorts (Höhe der Erträge), der Betriebsgröße und -struktur (Fixkosten, Pachtansätze).

In gleicher Weise wie für den Bereich Anbau und Ernte der nachwachsenden Energieträger wirken sich die beiden zuvor genannten Komponenten auf die Abschätzung der Kosten für Trocknung, Konditionierung, Transport, Konversion und Verwendung aus.

Die Bedeutung der Unsicherheitsspannen in diesem Bericht wird beispielhaft an der Kenngröße Schwellenpreise für die Situation "2005" knapp erläutert (s. Abb. IV.3.2-4). Abbildung IV.3.2-3 bildet die gegenwärtige Situation ab. Anhand dieser Abbildungen ist erkennbar, daß die Unsicherheitsspannen bei Kleinanlagen (< 2 MW, 1. Block, Optionen 1 und 2) und bei flüssigen Energieträgern (3. Block) deutlich größer sind als bei größeren Anlagen (1. Block, Optionen 7 bis 11) bzw. bei der Zumischung von verschiedenen Festbrennstoffen in vorhandenen Steinkohlenanlagen (2. Block). Der Grund hierfür ist vor allem darin zu sehen, daß bei Kleinanlagen die prinzipielle Variationsbreite bei der Ableitung der Substitutionswerte relativ hoch und das Substitutionsverhältnis (Austausch fossiler Energieträger durch NE) deutlich ungünstiger sind als bei größeren Anlagen.

Bei den flüssigen Energieträgern führt der im Vergleich zu den Festbrennstoffen höhere Prozeßenergiebedarf zu einem deutlich ungünstigeren Netto-Substitutionsverhältnis und in Folge zu höheren Unsicherheitsspannen.

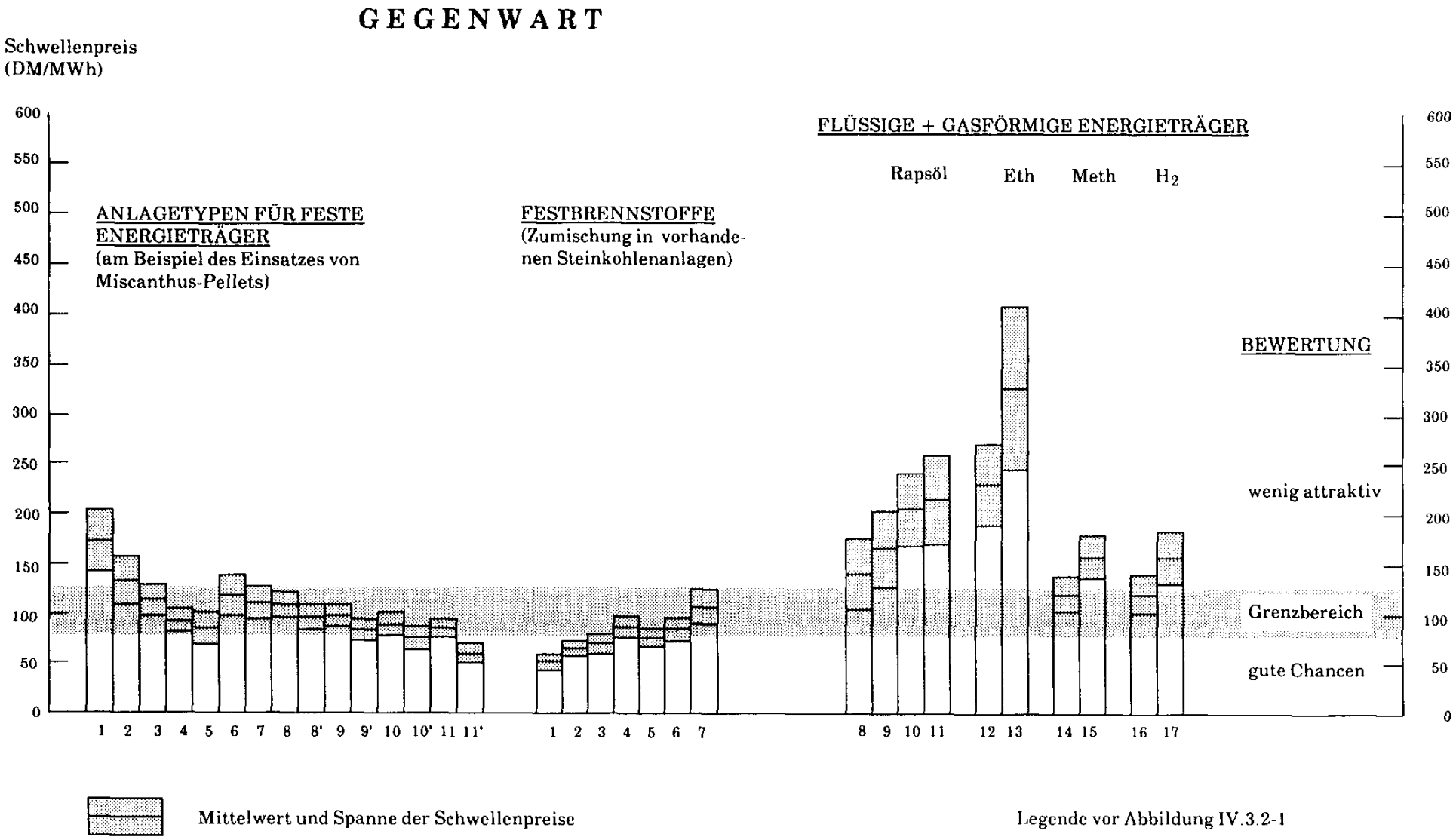


Abbildung IV.3.2-3: **Spannen der Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher nach Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften, zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - gegenwärtige Verhältnisse**

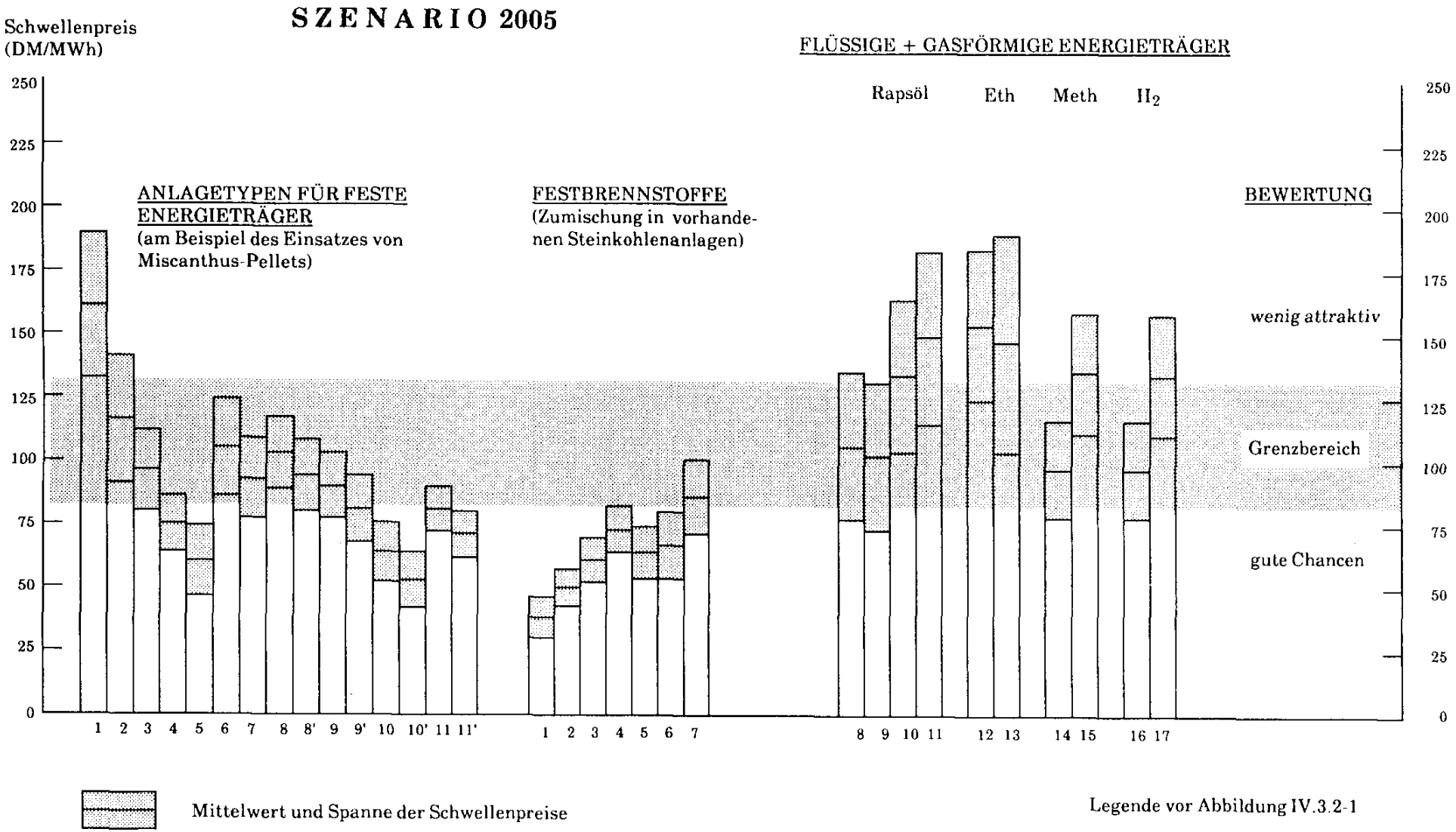


Abbildung IV.3.2-4: **Spannen der Schwellenpreise für extra leichtes Heizöl für Kleinverbraucher nach Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften, zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeitsschwelle von NE-Produktlinien - zukünftige Verhältnisse**

3.2.4 Die gegenwärtige Wettbewerbsfähigkeit aus einzelwirtschaftlicher Sicht

Aus der einzelwirtschaftlichen Sicht von Unternehmen (z.B. Stadtwerken) und Privatpersonen (z.B. als Käufer von Kraftstoff an der Tankstelle) sieht das Präferenzmuster für unterschiedliche Energieträger aus Pflanzen ganz anders aus als in der bisher beschriebenen und volkswirtschaftlich (Volkseinkommen als Meßlatte) orientierten Sicht des Vergleichs von Kosten und Substitutionswerten.

Die wichtigsten Unterschiede ergeben sich daraus, daß steuerliche Vorteile in sehr unterschiedlicher Weise für unterschiedliche Arten der energetischen Nutzung von Pflanzen bestehen, und daraus, daß auch die gegenwärtigen Fördermaßnahmen für regenerative Energieträger sehr unterschiedlich bei unterschiedlichen Arten von Verwendungsanlagen sind. Wichtige Unterschiede können sich auch daraus ergeben, daß die für die Wettbewerbsfähigkeit maßgebenden Marktpreise für die pflanzlichen Rohstoffe in der Regel unter den Produktionskosten liegen (vgl. Kapitel III.1). Dies ist nach der Neuordnung der EG-Agrarpolitik 1992 verstärkt der Fall - insbesondere bei Ölpflanzen.

Wenn man die Verhältnisse nach flüssigen und nach festen Energieträgern aus Pflanzen ordnet, ergibt sich das folgende Bild:

Flüssige Energieträger

Bei der Ölproduktion aus inländisch angebauten Ölpflanzen liegen die Vollkosten der Produktion im Durchschnitt mit über 2 000 DM/t Öl (berechnet für 1987) ganz erheblich über dem Weltmarktpreis, der gegenwärtig (1992) rund 700 DM/t beträgt und ungefähr dem Inlandspreis ab Ölmühle entspricht. Die verbleibende Differenz wird seit der Neuordnung der EG-Agrarpolitik überwiegend über die Flächenprämie für den Rapsanbau ausgeglichen.

Für die aus einzelwirtschaftlicher Sicht interessierende Preisbildung - etwa für RME an der Tankstelle - sind (im Gegensatz zur volkswirtschaftlichen Betrachtung) nicht die hohen Vollkosten, sondern die deutlich geringeren Abgabepreise ab Ölmühle bzw. die Importpreise der maßgebende Anknüpfungspunkt.

Ethanol und Pflanzenöle sowie Produkte aus Pflanzenölen wie Ölmethylester sind in der Bundesrepublik Deutschland gegenwärtig dann von der Mineralölsteuer befreit, wenn sie ohne Vermischung mit mineralölstämmigen Energieträgern als Ottokraftstoff oder als Dieselkraftstoff oder als Heizöl verwendet werden. Im Falle von Ethanol und raffinierten, aber nicht umgeesterten Pflanzenölen erfordert dies

jedoch motorseitige Maßnahmen zur Anpassung an den Kraftstoff, die gegenwärtig nicht billig sind und dem Steuervorteil entgegenstehen.

Anfang 1992 hat die EG-Kommission einen Richtlinienvorschlag für den Ministerrat erarbeitet, nach dem Pflanzenöle und Ethanol aus Pflanzen zu 90 % bis 100 % von der Mineralölsteuer befreit werden sollen und zwar auch im Falle von Beimischungen. Im Falle eines entsprechenden Ministerratsbeschlusses und einer nationalen Umsetzung könnte Rapsöl als Beimischung zu Dieselkraftstoff, als Rohstoff für RME oder als Raffinerierohstoff aus einzelwirtschaftlicher Sicht nahezu attraktiv werden. Ähnliches gilt für Beimischungen von Ethanol (bis 5 %) zu Ottokraftstoffen (OK).

Aus den Angaben von Tabelle IV.3.1-1 geht hervor, daß bei 100%iger Befreiung von der Mineralölsteuer die folgenden Steuervorteile von pflanzenbürtigen flüssigen Energieträgern gegenüber mineralölstämmigen Energieträgern bestehen:

Pflanzenöle als Heizöl gegenüber leichtem Heizöl	8,00 DM/MWh
Pflanzenöle als Dieselkraftstoff gegenüber mineralölstämmigem DK	54,20 DM/MWh
Ethanol aus Pflanzen gegenüber mineralölstämmigem OK	91,70 DM/MWh

Daraus wird verständlich, daß Pflanzenöle als Brennstoff zur Substitution von mineralölstämmigem leichten Heizöl auch im Falle der Verwirklichung der EG-Ministerratsvorlage keine Wettbewerbschancen haben.

Zu betonen ist, daß der diskutierte weitgehende Verzicht auf die Mineralölsteuer für pflanzenbürtige Kraftstoffanteile auch für importierte Pflanzenöle gelten würde, beispielsweise auch für Palmöl, das sich durch Preisvorteile auf dem Weltmarkt gegenüber Rapsöl oder Sonnenblumenöl auszeichnet. Daraus würden sich wahrscheinlich höhere Chancen für Palmöl als Raffinerierohstoff oder zur Herstellung von Methylester ergeben als im Falle der Pflanzenöle aus dem inländischen Anbau.

Feste Energieträger

Bei den festen Energieträgern spielen gegenwärtig die Flächenprämien, die für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen auf stillgelegten Flächen gewährt werden, je Energieeinheit eine geringere Rolle als bei den flüssigen Energieträgern. Der Hauptgrund dafür ist, daß im Falle von Energiegras, Miscanthus oder Holz mehr Energie je Hektar und Jahr geerntet werden kann, und daß die Flä-

chenprämien entsprechend auf mehr Energieeinheiten umgelegt werden müssen. Im Falle von Stroh entfallen die Prämien.

Die Festbrennstoffe aus Pflanzen unterliegen keiner Energiesteuer. Die daraus erwachsende Preiserleichterung im Wärmemarkt ist jedoch mit 8 DM/MWh gegenüber leichtem Heizöl und 4 DM/MWh gegenüber Erdgas vergleichsweise gering.

Eine gewisse Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von Kraftwerken und Heizkraftwerken, die mit festen NE befeuert werden, hat die Vergütungsregelung für die Einspeisung von aus regenerativen Energiequellen erzeugtem Strom. Danach muß Strom aus Biomasse mit mindestens 75 % des durchschnittlichen Stromabgabepreises vergütet werden. Gegenwärtig (1992) würde die Stromvergütung dementsprechend etwa 140 DM je MWh_e entsprechen. Für die Zahlen in Tabelle IV.3.2-1 würde das für die HKW bedeuten, daß der Substitutionswert für die angelieferten Festbrennstoffe um ca. 5 DM je MWh höher ist als mit Preisen für Importkohle zur Stromerzeugung berechnet. Die Kostenunterdeckung ist dementsprechend um ca. 5 DM je MWh geringer. Der mäßige Steuervorteil bei der Heizölsubstitution schlägt sich bei den HKW mit 4 bis 5 DM je MWh beim Substitutionswert nieder.

4. Umweltanalysen

4.1 CO_2-Minderung und CO_2-Minderungskosten

Die Verwendung nachwachsender Energieträger (NE) ist mit einem Beitrag zur CO_2-Minderung verbunden, der sich primär aus der Art des substituierten fossilen Energieträgers (FE) herleitet. Die in dieser Studie unterstellten CO_2-Emissionsfaktoren fossiler Energieträger sind in Tabelle A IV.4.1-1 aufgeführt (Anhang). Die CO_2-Emissionen pro verbrauchter Energieeinheit steigen vom kohlenstoffarmen Energieträger Erdgas über das Heizöl EL (HEL) und die Steinkohle bis zur kohlenstoffreichen Braunkohle an. Die größten CO_2-Einsparungen lassen sich demnach erzielen, wenn die NE Braunkohle oder Steinkohle substituieren, die geringsten beim Ersatz von Erdgas.

In zweiter Linie kann der CO_2-Minderungsbeitrag der NE auch durch Wirkungsgradunterschiede der Verwendungsanlagen für FE und NE und damit durch das energetische Substitutionsverhältnis zwischen fossiler und nachwachsender Energie bestimmt sein. Die unter Berücksichtigung dieser Einflußfaktoren für die Gegenwart ermittelte Brutto-CO_2-Minderung, bezogen auf eine Einheit des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers (s. Tab. IV.4.1-1), ist bei substituiertem Erdgas mit rd. 120 kg CO_2/MWh besonders niedrig (s. die Produktlinien zur Erzeugung von Methanol und Wasserstoff). Wird HEL oder Dieselkraftstoff ersetzt, können durch die NE brutto rd. 250 kg CO_2/MWh eingespart werden (s. 50 und 500 kW-Heizanlagen). Die Brutto-CO_2-Minderung ist bei einer Substitution von Steinkohle mit rd. 280 bis rd. 330 kg CO_2/MWh noch höher (s. Zumischungen zu vorhandenen Steinkohlenanlagen). Bei der Substitution von stückiger Braunkohle (nicht Braunkohlenbriketts) durch Zumischung in vorhandenen BK-Anlagen würden sich etwa 400 kg CO_2/MWh ergeben. Wird der Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung mit verrechnet, der auch mit FE in HKW genutzt werden könnte, dann ergeben sich auch bei der Substitution von HEL und Steinkohle bis zu 400 kg CO_2/MWh. Die größte Brutto-CO_2-Minderung mit rd. 400 kg CO_2/MWh kann durch den Einsatz von NE in Heizkraftwerken erreicht werden. Der hohe Wert bei den beiden betrachteten Ethanol-Produktlinien (rd. 350 kg CO_2/MWh) ist mit auf das günstige energetische Substitutionsverhältnis zurückzuführen, welches durch die unterstellte Beimischung von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren bedingt ist.

Die Brutto-CO_2-Minderung ist für die Gegenwart und für die zukünftige Situation nahezu identisch. Unterschiede kommen durch angenommene technische Verbesserungen bei den Verwendungsanlagen auf seiten der fossilen oder der nachwachsenden Produktlinien zustande.

Tabelle IV. 4.1-1: **Brutto- und Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers**

NE-Produktlinie	(1) Brutto-CO_2-Minderung [1] (kg CO_2 / MWh)		(2) Prozeß-CO_2-Emissionen (kg CO_2 / MWh)		(3) Netto-CO_2-Minderung [2] (kg CO_2 / MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	251	251	31	29	220	222
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	6	6	244	245
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	211	208
500 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	255	255	31	29	224	226
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	6	6	248	249
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	215	211
2 MW-Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	246	246	10	9	236	237
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– SWP-Hackschnitzel						
• 2000 h/a	255	255	13	10	243	245
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	255	255	40	43	215	212
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
– Rapssaat						
• 2000 h/a	255	255	64	46	191	209
• 4000 h/a	"	"	"	"	"	"
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	425	395	40	43	385	352
5 MW-Heizwerk						
– Stroh-Ballen	243	243	10	9	233	234
– Miscanthus-Ballen	243	232	13	18	230	214
– Stroh-Pellets	252	241	31	29	220	212
– Ind.-Resth.-Hackschn.	252	241	6	6	245	235
– Miscanthus-Pellets	252	241	40	43	212	197
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	415	380	40	43	375	337
12 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	379	350	31	29	348	321
– Miscanthus-Pellets	"	350	40	43	339	307
25 MW_e-HKW						
– Miscanthus-Pellets	392	360	40	43	352	317

1) Die Brutto-CO_2-Minderung ist in erster Linie durch die substituierte fossile Produktlinie bestimmt. Gegebenenfalls sind auf seiten der NE-Produktlinie ergänzende fossile Verwendungsanlagen unterstellt. Auf diese Weise wird sichergestellt, daß die beiden verglichenen Produktlinien in Art und Menge vergleichbare Energiedienstleistungen bereitstellen. Zur Art und Menge der brutto substituierten fossilen Energieträger für verschiedene NE-Produktlinien siehe Tabelle IV. 2-2.

2) Bei der Netto-CO_2-Minderung wird ausgehend von der Brutto-CO_2-Minderung der fossile Energiebedarf zur Bereitstellung der NE zusätzlich berücksichtigt (s. Tab. IV. 2-3). Es ist unterstellt, daß für den Durchschnitt des fossilen Prozeßenergiebedarfs zur Bereitstellung der NE der durchschnittliche CO_2-Emissionsfaktor für Mineralölprodukte gilt: 283 kg CO_2 je MWh Prozeßenergie.

3) Im Gegensatz zu den anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

4) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

5 Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren.

Tabelle IV.4.1-1: **Brutto- und Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	(1) Brutto-CO_2-Minderung [1] (kg CO_2 / MWh)		(2) Prozeß-CO_2-Emissionen (kg CO_2 / MWh)		(3) Netto-CO_2-Minderung [2] (kg CO_2 / MWh)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [3]						
– Stroh-Pellets	392	389	31	29	361	360
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	7	6	386	383
– SWP-Hackschnitzel	"	"	12	10	380	379
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	352	346
– Heu-Pellets	"	"	47	43	345	346
– Weizen (-korn)	"	"	45	35	347	355
42 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	401	370	31	29	370	340
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	361	326
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	329	329	31	29	298	300
– Stroh-Ballen	329	329	10	10	319	319
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	281	281	32	30	249	251
– Stroh-Briketts, städt.	281	281	35	33	246	248
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (> 10 MW)						
– Stroh-Pellets	329	329	31	29	298	300
– Ind.-Resth.-Hackschn.	"	"	6	6	323	323
– SWP-Hackschnitzel	"	"	12	10	317	319
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	289	286
– Heu-Pellets	"	"	47	43	282	286
– Weizen (-korn)	"	"	45	35	284	294
– Rapssaat	"	"	65	46	265	283
Rapsöl						
– als Heizöl	283	283	105	72	178	211
– für Duotherm-Mot.	303	283	105	72	198	211
– als Raffinerie-Rohstoff	260	260	103	71	157	189
Rapsölmethylester	283	283	129	93	154	190
Ethanol [4)5)]						
– aus Zuckerrüben	354	354	226	134	128	219
– aus Weizen	"	"	251	80	103	274
Methanol						
– Stroh-Pellets	121	125	31	29	90	95
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	82	81
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	122	125	31	29	90	96
– Miscanthus-Pellets	"	"	40	43	82	81

Die Brutto-CO_2-Minderung der NE-Produktlinien ist zu kürzen um jene CO_2-Emissionen, die mit dem fossilen Energieaufwand zur Bereitstellung der nachwachsenden Energieträger verbunden sind. Diese Prozeß-CO_2-Emissionen fallen bei Anbau und Ernte des Nachwachsenden Rohstoffs, beim Transport zur Konversions- oder Verwendungsanlage und bei der Vorverarbeitung (z.B. Pelletierung, Rapsöl- und Ethanolgewinnung) an. Bei ihrer Berechnung aus dem Prozeßenergiebedarf wurden 0,283 t CO_2/MWh angesetzt. Dies entspricht dem spezifischen Emissionsfaktor von Heizöl und Dieselkraftstoff, inkl. eines Zuschlags von 7% für Raffinerieverlust.

Die Prozeß-CO_2-Emissionen für die Situation "Gegenwart", bezogen auf eine Megawattstunde (MWh) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers (s. Tab. IV.4.1-1), belaufen sich für die Bereitstellung fester nachwachsender Energieträger auf bis zu 10 bis 15 % der Brutto-CO_2-Minderung der jeweiligen NE-Produktlinie (Ausnahme: Produktlinien mit Rapssaat, mit 20 bis 25 %). Die entsprechenden Prozeß-CO_2-Emissionen für flüssige und gasförmige Energieträger belaufen sich überwiegend auf rd. 25 bis 40 % (s. die Produktlinien mit Rapsöl sowie die Herstellung von Methanol und Wasserstoff), zum Teil sogar auf 50 bis 70 % (s. die Produktlinien Rapsölmethylester und Ethanol), da hier der Energiebedarf für die Konversionsstufe mit zu berücksichtigen ist.

Die Prozeß-CO_2-Emissionen für die Situation "2005" sind überwiegend ähnlich hoch wie die für die Gegenwart, eine Tendenz zur energetischen Rationalisierung kommt in zum Teil verringerten spezifischen CO_2-Emissions-Zahlen zum Ausdruck. Diese Tendenz ist bei den Produktlinien mit Rapssaat und Weizenkorn deutlich zu erkennen. Die erheblich verringerten Prozeß-CO_2-Emissionen für die Ethanol-Produktlinien sind darauf zurückzuführen, daß für 2005 der Einsatz von Rübenschnitzeln bzw. Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung unterstellt wurde. Deutliche Verbesserungen bei den Prozeß-CO_2-Emissionen sind auch bei den Rapsöl-Produktlinien zu erwarten. Leicht erhöhte spezifische CO_2-Emissions-Zahlen weisen lediglich die NE-Produktlinien mit Miscanthus-Ballen oder -Pellets auf.

Die Netto-CO_2-Minderung (s. Tab. IV.4.1-1) ergibt sich als Saldierung von Brutto- und Prozeß-CO_2-Emissionen. Es zeigt sich, daß auch nach Berücksichtigung von Prozeß-CO_2-Emissionen die Art des substituierten fossilen Energieträgers letztlich ausschlaggebend ist für die CO_2-Bilanz-Vorteile der einzelnen NE-Produktlinien. Die mögliche Netto-CO_2-Minderung der in dieser Studie betrachteten NE-Produktlinien, bezogen auf eine Megawattstunde (MWh) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers, beträgt für die Gegenwart (Angaben für die Situation "2005" in Klammern)

- 80 bis 90 (80 bis 95) kg CO_2/MWh beim Ersatz von Erdgas bei der Herstellung von Methanol oder Wasserstoff durch feste pflanzliche Energieträger,
- 100 bis 200 (190 bis 270) kg CO_2/MWh beim Ersatz von Mineralölprodukten durch Ethanol oder pflanzliche Öle,
- 190 bis 390 (210 bis 390) kg CO_2/MWh beim Ersatz von Mineralölprodukten, Stein- und Braunkohle durch feste pflanzliche Energieträger.

In der Tabelle IV.4.1-2 sind die Angaben zur Netto-CO_2-Minderung pro MWh und pro Hektar Anbaufläche dargestellt. Für die Umrechnung werden - mit Ausnahme von Miscanthus - durchschnittliche Hektarerträge bei hoher Anbauintensität zugrunde gelegt (s. Tab. IV.3.1-2, vgl. Kap. III.1). Das Zahlenbild zeigt mit rd. 20 bis 35 t CO_2/ha (Gegenwart) bzw. rd. 25-40 t CO_2/ha (2005) die größten flächenbezogenen CO_2-Minderungsvorteile beim Einsatz von Miscanthus zur Substitution von Mineralölprodukten bei der Wärmeerzeugung bzw. bei der Substitution von Steinkohle zur Stromerzeugung. Relativ günstig stehen unter den Rahmenbedingungen in "2005" auch Heupellets und Hackschnitzel aus Schnellwuchsplantagen da (rd. 13 bis 20 t CO_2/ha und Jahr). Deutlich am unteren Ende der Skala finden sich Stroh für die Methanol- und Wasserstofferzeugung und Rapsöl zur Herstellung von Rapsölmethylester (rd. 3 t CO_2/ha und Jahr für 2005).

Die hier angestellten Betrachtungen zur möglichen CO_2-Minderung durch nachwachsende Energieträger, in Form sowohl einer CO_2-Bilanz über mehrere Stufen der Bereitstellung nachwachsender Energieträger als auch eines Vergleichs mit einer geeigneten fossilen Produktlinie, konnten nur auf die augenfälligsten CO_2-Aspekte eingehen, die mit in etwa gleicher Zuverlässigkeit für alle betrachteten Energieträger und Produktlinien in konkrete Daten umzusetzen waren. Die Lücken in der CO_2-Quantifizierung beziehen sich insbesondere auf die direkten CO_2-Emissionen, die mit der Bereitstellung der fossilen Energieträger verbunden sind, sowie auf die indirekten CO_2-Emissionen, die mit der Erstellung der Anlagen und Einrichtungen zusammenhängen, welche auf den verschiedenen Stufen der Produktkette benötigt werden.

Die Berücksichtigung der hier vernachlässigten direkten CO_2-Emissionen, die mit der Bereitstellung der fossilen Energieträger - nur bei den Raffinerieprodukten Heizöl, Diesel- und Ottokraftstoff wurde ein Raffinerieverlust (Energieaufwand) von 7 % eingerechnet - verbunden sind, würden die Vorteile der nachwachsenden Energieträger letztlich nur noch verstärken. Ergänzend ist aber auch darauf hinzuweisen, daß diese Art von Emissionen bisher nicht in der Erfassung der

Tabelle IV. 4.1-2: **Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers und je Hektar (ha) Anbaufläche**

NE-Produktlinie	(1) Netto-CO_2-Minderung [1] (kg CO_2 /MWh)		(2) Netto-CO_2-Minderung [2] (t CO_2 /ha)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen				
– Stroh-Pellets	220	222	6,5	6,7
– Ind.-Resth.-Hackschn.	244	245	-	-
– Miscanthus-Pellets	211	208	19,6	24,1
500 kW-Heizanlagen				
– Stroh-Pellets	224	226	6,6	6,8
– Ind.-Resth.-Hackschn.	248	249	-	-
– Miscanthus-Pellets	215	211	20,0	24,6
2 MW-Dampferzeuger				
– Stroh-Ballen				
• 2000 h/a	236	237	7,0	7,1
• 4000 h/a	"	"	"	"
– SWP- Hackschnitzel				
• 2000 h/a	243	245	11,5	12,8
• 4000 h/a	"	"	"	"
– Miscanthus-Pellets				
• 2000 h/a	215	212	20,0	24,6
• 4000 h/a	"	"	"	"
– Rapssaat				
• 2000 h/a	191	209	3,7	5,6
• 4000 h/a	"	"	"	"
3 MW_e-Kombianlage-Dampf				
– Miscanthus-Pellets	385	352	35,8	40,9
5 MW-Heizwerk				
– Stroh-Ballen	233	234	6,9	7,0
– Miscanthus-Ballen	230	214	21,4	24,9
– Stroh-Pellets	220	212	6,5	6,4
– Ind.-Resth.-Hackschn.	245	235	-	-
– Miscanthus-Pellets	212	197	19,7	23,0
3 MW_e-Kombianlage-BHKW				
– Miscanthus-Pellets	375	337	34,9	39,2
12 MW_e-HKW				
– Stroh-Pellets	348	321	10,3	9,7
– Miscanthus-Pellets	339	307	31,6	35,7
25 MW_e-HKW				
– Miscanthus-Pellets	352	317	32,8	36,9

1) Netto-CO_2-Minderung je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers (s. Tab. IV.4.1-1).

2) Bezogen auf die Fläche, auf der der Rohstoff für den jeweiligen nachwachsenden Energieträger angebaut wird. Unterstellt sind die spezifischen Hektarerträge entsprechend einer hohen Anbauintensität (s. Tab. IV.3.1-2).

3) Im Gegensatz zu den anderen Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

4) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

5) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren

Tabelle IV.4.1-2: **Netto-CO_2-Minderung für verschiedene NE-Produktlinien, je MWh (H_u) des bereitgestellten nachwachsenden Energieträgers und je Hektar (ha) Anbaufläche**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	Netto-CO_2-Minderung [1] (kg CO_2/MWh)		Netto-CO_2-Minderung [2] (t CO_2/ha)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [3]				
– Stroh-Pellets	361	360	10,7	10,8
– Ind.-Resth.-Hackschn.	386	383	-	-
– SWP-Hackschnitzel	380	379	18,0	19,8
– Miscanthus-Pellets	352	346	32,8	40,2
– Heu-Pellets	345	346	15,7	18,1
– Weizen (-korn)	347	355	8,7	11,8
42 MW_e-HKW				
– Stroh-Pellets	370	340	11,0	10,2
– Miscanthus-Pellets	361	326	33,6	37,9
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)				
– Stroh-Pellets	298	300	8,8	9,0
– Stroh-Ballen	319	319	9,4	9,6
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen				
– Stroh-Briketts, ländl.	249	251	7,4	7,5
– Stroh-Briketts, städt.	246	248	7,3	7,5
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (>10 MW)				
– Stroh-Pellets	298	300	8,8	9,0
– Ind.-Resth.-Hackschn.	323	323	-	-
– SWP-Hackschnitzel	317	319	15,0	16,7
– Miscanthus-Pellets	289	286	26,9	33,2
– Heu-Pellets	282	286	12,8	15,0
– Weizen (-korn)	284	294	7,2	9,8
– Rapssaat	265	283	5,2	7,6
Rapsöl				
– als Heizöl	178	211	2,2	3,5
– für Duotherm-Mot.	198	211	2,4	3,5
– als Raffinerie-Rohstoff	157	189	1,9	3,1
Rapsölmethylester	154	190	1,9	3,2
Ethanol [4][5]				
– aus Zuckerrüben	128	219	4,2	9,1
– aus Weizen	103	274	1,5	5,1
Methanol				
– Stroh-Pellets	90	95	2,7	2,9
– Miscanthus-Pellets	82	81	7,6	9,5
Wasserstoff				
– Stroh-Pellets	90	96	2,7	2,9
– Miscanthus-Pellets	82	81	7,6	9,5

CO_2-Emissionen für die Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt sind, unabhängig davon, ob sie auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland anfallen oder nicht. Die genannten indirekten CO_2-Emissionen sind in Verbindung mit der zeitraumbezogenen Verwendung eines Energieträgers schwer zu erfassen, weil sie nicht regelmäßig anfallen und den einzelnen Verwendungsperioden nur kalkulatorisch zugeordnet werden könnten.

Das Verhältnis zwischen der Verknüpfung der Netto-CO_2-Minderung, in t CO_2/MWh, mit der bereits in Kapitel IV.3.2.2 dargestellten Kostenunterdeckung (DM/MWh) führt zu der Kenngröße CO_2-Minderungskosten (DM/t CO_2). Bei der Ableitung der Netto-CO_2-Minderung wurde ausschließlich das klimarelevante Spurengas CO_2 berücksichtigt. Auf eine entsprechende quantitative Berücksichtigung auch von Distickstoffoxid wurde wegen der gegenwärtig noch bestehenden großen Unsicherheiten bei der Quantifizierung der N_2O-Emissionen verzichtet. Auf die Größenordnung der N_2O-Emissionen wird in Kapitel IV.4.2 eingegangen.

Die CO_2-Minderungskosten werden ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften dargestellt (s. Tab. IV.4.1-3 und IV.4.1-4 sowie Abb. IV 4.1-1 und -2). Die Zahlen in den Klammern der Tabellen verweisen auf Berechnungen auf der Basis des subventionsfreien inländischen Steinkohlepreises. Das Zahlenbild läßt erkennen, daß mit Ausnahme der wenigen Fälle, in denen inländische Steinkohle substituiert wird, alle NE-Produktlinien zu positiven CO_2-Minderungskosten führen. Diese Grundaussage behält ihre Gültigkeit beim Übergang sowohl von der gegenwärtigen zur zukünftigen Situation ("2005") als auch von den Verhältnissen ohne Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften zu jenen mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften, auch wenn es hierbei zum Teil zu einer deutlichen Senkung der spezifischen CO_2-Minderungskosten kommt.

CO_2-Minderungsbeiträge durch NE werden nach den vorliegenden Berechnungsergebnissen finanzielle Stützungen der NE bzw. NE-Produktlinien und/oder zusätzliche finanzielle Belastungen fossiler Energieträger erfordern. Ordnungspolitische Maßnahmen wie Auflagen, Gebote oder Verbote dürften in diesem Teilbereich der CO_2-Minderungsoptionen nur in Ausnahmefällen sinnvolle Anwendungschancen bieten. Die Konkretisierung von Maßnahmen, die die Einnahmen- und/oder Ausgabenseite der staatlichen Haushalte betreffen, ist in erster Linie eine politische Frage, die primär auf Bundes- und EG-Ebene zu entscheiden ist. Die bereits seit einigen Jahren geführten Diskussionen über eine nationale CO_2-Steuer oder -Abgabe oder eine einheitlich für die EG entworfene kombinierte CO_2-/ Energiesteuer lassen erkennen, daß auf seiten der fossilen Energieträger die Chancen für umfassende, massive und kurzfristig wirksame Eingriffe nicht sehr

hoch sind. Erfolgversprechender ist eine mögliche Reduzierung der Mineralölsteuerbelastung für mit Mineralöl gemischte flüssige Energieträger aus Nachwachsenden Rohstoffen, für die EG-Vorschläge vorliegen. Wenn der Einsatz vor allem der festen Brennstoffe in der Bundesrepublik Deutschland gefördert werden soll, sind entsprechende Programme zugunsten gewerblich betriebener NE-Verwendungsanlagen zu erwägen.

Wenn den nachwachsenden Energieträgern vor allem unter CO_2-Minderungsaspekten Realisierungschancen eingeräumt werden, ist die Frage zu stellen, inwieweit andere technische Maßnahmen zur CO_2-Minderung in der Bundesrepublik Deutschland günstigere ökonomische Bedingungen aufweisen und deshalb vorzuziehen sind. Es handelt sich hierbei z.B. um Energiesparmaßnahmen, die Substitution kohlenstoffreicher durch kohlenstoffarme Energieträger oder auch durch die direkte Nutzung der Solarenergie.

Eigene Abschätzungen haben ergeben, daß die Ausweitung der Wärme-Kraft-Nutzung mit kohlebeschickten Heizkraftwerken zu CO_2-Minderungskosten in der Größenordnung zwischen 150 und 250 DM/t CO_2 führen. Wird ein mit Erdgas betriebenes Blockheizkraftwerk mit neu zu erstellendem Verteilungsnetz unterstellt, ist mit Kosten zwischen 60 und 120 DM/t CO_2 zu rechnen. Die oberen Bereiche der Spannen beziehen sich beim Ansatz von Stromgutschriften jeweils auf Importkohlepreise.

Die Literatur enthält Angaben zu CO_2-Minderungskosten, die von Null (oder gar Kostenvorteilen) bis zu vielen Hundert DM pro vermiedene Tonne CO_2 reichen. Dabei ist zu beachten, daß manche Berechnungen Saldierungen über unterschiedlich hohe, positive und negative, spezifische Kosten verschiedener CO_2-Minderungsmaßnahmen enthalten und insofern die dort ausgewiesenen, häufig relativ niedrigen Kosten mit den hier berechneten CO_2-Minderungskosten nicht vergleichbar sind. In den Fällen, in denen die spezifischen Kosten getrennt für einzelne CO_2-Minderungsmaßnahmen ausgewiesen werden, sind sie häufig mit hohen Spannenangaben versehen, die auf eine größere Anzahl von Teilmaßnahmen, aus denen sich die Gesamtmaßnahme zusammensetzt, verweisen. Angaben zum CO_2-Minderungspotential verschiedener Maßnahmen lassen erkennen, daß ein Maßnahmenpaket nur aus dem Bereich einer technischen Hauptoption, wie z.B. der Energieeinsparung, nicht ausreichen wird, das CO_2-Minderungsziel der Bundesregierung bis zum Jahr 2005 (-25 bis -30%) zu verwirklichen.

Jede Gesamtstrategie zur Verfolgung dieses Ziels wird neben Elementen mit recht geringen CO_2-Minderungskosten auch solche mit höheren CO_2-Minderungskosten enthalten, auch wenn man von NE-Beiträgen absieht.

Tabelle IV.4.1-3: **Gesamte Kostenunterdeckung, Netto-CO_2-Minderung und gesamte CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien**

NE-Produktlinie	(1) Gesamte Kostenunterdeckung [1] (DM/MWh)		(2) Netto-CO_2-Minderung [2] (kg CO_2/MWh)		(3) Gesamte CO_2-Minderungskosten [3] (DM/t CO_2)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	87	73	220	222	394	327
– Ind.-Resth.-Hackschn.	77	63	244	245	314	258
– Miscanthus-Pellets	121	100	211	208	575	482
500 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	55	41	224	226	248	182
– Ind.-Resth.-Hackschn.	45	32	248	249	183	128
– Miscanthus-Pellets	90	69	215	211	419	325
2 MW-Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	32	21	236	237	134	89
• 4000 h/a	11	0	"	"	47	2
– SWP-Hackschnitzel						
• 2000 h/a	68	47	243	245	279	194
• 4000 h/a	52	32	"	"	214	129
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	75	54	215	212	350	254
• 4000 h/a	59	38	"	"	276	179
– Rapssaat						
• 2000 h/a	148	89	191	209	776	425
• 4000 h/a	132	73	"	"	693	350
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	74 (28)	35 (5)	385	352	192 (72)	100 (15)
5 MW-Heizwerk						
– Stroh-Ballen	42	31	233	234	178	133
– Miscanthus-Ballen	73	52	230	214	317	241
– Stroh-Pellets	57	43	220	212	258	205
– Ind.-Resth.-Hackschn.	47	34	245	235	191	145
– Miscanthus-Pellets	92	71	212	197	432	359
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	106 (60)	69 (39)	375	337	282 (159)	206 (117)
12 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	62 (48)	47 (39)	348	321	177 (137)	148 (120)
– Miscanthus-Pellets	96 (82)	75 (66)	339	307	284 (243)	244 (214)
25 MW_e-HKW						
– Miscanthus-Pellets	85 (70)	64 (54)	352	317	242 (199)	201 (170)

1) Identisch mit Tabelle IV.3.2-1, Spalte (3). Zahlen in Klammern aus dem subventionsfreien inländischen Steinkohlepreis abgeleitet.

2) Abgeleitet aus Tabelle IV.2-3 und Tabelle A IV.4.1-1.

3) Spalte (1) dividiert durch Spalte (2). Zahlen in Klammern aus dem subventionsfreien inländischen Steinkohlepreis abgeleitet.

4) Im Gegensatz zu den anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

5) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren.

6) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

Tabelle IV.4.1-3: **Gesamte Kostenunterdeckung, Netto-CO_2-Minderung und gesamte CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien**

- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	(1) Gesamte Kostenunterdeckung [1] (DM/MWh)		(2) Netto-CO_2-Minderung [2] (kg CO_2/MWh)		(3) Gesamte CO_2-Minderungskosten [3] (DM/t CO_2)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [4]						
– Stroh-Pellets	51 (35)	12 (0)	361	360	140 (98)	34 (1)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	39 (24)	2 (–10)	386	383	102 (63)	5 (–27)
– SWP-Hackschnitzel	79 (64)	35 (23)	380	379	208 (169)	93 (61)
– Miscanthus-Pellets	85 (70)	40 (28)	352	346	242 (199)	115 (80)
– Heu-Pellets	92 (77)	43 (31)	345	346	265 (222)	125 (90)
– Weizen (-korn)	125 (110)	60 (48)	347	355	361 (318)	170 (136)
42 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	43 (27)	28 (18)	370	340	116 (72)	83 (52)
– Miscanthus-Pellets	77 (61)	56 (45)	361	326	214 (170)	171 (139)
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	26	12	298	300	86	40
– Stroh-Ballen	11	1	319	319	33	2
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	18	10	249	251	72	38
– Stroh-Briketts, städt.	31	23	246	248	124	93
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (> 10 MW)						
– Stroh-Pellets	26 (4)	12 (–4)	298	300	86 (12)	40 (–13)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	14 (–8)	2 (–14)	323	323	46 (–23)	5 (–44)
– SWP-Hackschnitzel	54 (32)	35 (19)	317	319	171 (101)	110 (60)
– Miscanthus-Pellets	60 (38)	40 (24)	289	286	208 (132)	139 (83)
– Heu-Pellets	67 (45)	43 (27)	282	286	236 (158)	151 (95)
– Weizen (-korn)	100 (79)	60 (44)	284	294	354 (277)	204 (150)
– Rapssaat	132 (110)	74 (58)	265	283	501 (418)	263 (206)
Rapsöl						
– als Heizöl	190	112	178	211	1067	532
– für Duotherm-Mot.	212	109	198	211	1067	519
– als Raffinerie-Rohstoff	204	126	157	189	1294	668
Rapsölmethylester	218	135	154	190	1415	710
Ethanol [5][6]						
– aus Zuckerrüben	132	121	128	219	1032	552
– aus Weizen	215	162	103	274	2085	591
Methanol						
– Stroh-Pellets	52	38	90	95	572	401
– Miscanthus-Pellets	86	66	82	81	1059	809
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	51	38	90	96	566	397
– Miscanthus-Pellets	86	65	82	81	1051	803

Tabelle IV.4.1-4: **Gesamte CO_2-Minderungskosten, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien**

NE-Produktlinie	(1) Gesamte CO_2- Minderungskosten [1] (DM/t CO_2)		(2) Agrarpolitische Gutschrift [2] (DM/t CO_2)		(3) Verbleibende CO_2-Minderungskosten [1][3] (DM/t CO_2)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
50 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	394	327	-	-	394	327
– Ind.-Resth.-Hackschn.	314	258	-	-	314	258
– Miscanthus-Pellets	575	482	76	41	499	440
500 kW-Heizanlagen						
– Stroh-Pellets	248	182	-	-	248	182
– Ind.-Resth.-Hackschn.	183	128	-	-	183	128
– Miscanthus-Pellets	419	325	75	41	344	284
2 MW-Dampferzeuger						
– Stroh-Ballen						
• 2000 h/a	134	89	-	-	134	89
• 4000 h/a	47	2	-	-	47	2
– SWP-Hackschnitzel						
• 2000 h/a	279	194	78	47	201	147
• 4000 h/a	214	129	"	"	136	83
– Miscanthus-Pellets						
• 2000 h/a	350	254	75	41	275	213
• 4000 h/a	276	179	"	"	201	139
– Rapssaat						
• 2000 h/a	776	425	403	179	373	246
• 4000 h/a	693	350	"	"	290	171
3 MW_e-Kombianlage-Dampf						
– Miscanthus-Pellets	192 (72)	100 (15)	42	24	150 (30)	76 (-10)
5 MW-Heizwerk						
– Stroh-Ballen	178	133	-	-	178	133
– Miscanthus-Ballen	317	241	70	40	247	201
– Stroh-Pellets	258	205	-	-	258	205
– Ind.-Resth.-Hackschn.	191	145	-	-	191	145
– Miscanthus-Pellets	432	359	76	44	356	315
3 MW_e-Kombianlage-BHKW						
– Miscanthus-Pellets	282 (159)	206 (117)	43	26	239 (116)	180 (91)
12 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	177 (137)	148 (120)	-	-	177 (137)	148 (120)
– Miscanthus-Pellets	284 (243)	244 (214)	48	28	236 (195)	216 (105)
25 MW_e-HKW						
– Miscanthus-Pellets	242 (199)	201 (170)	46	27	196 (153)	174 (143)

1) Zahlen in Klammern sind aus dem subventionsfreien inländischen Steinkohlepreis abgeleitet.

2) Abgeleitet aus Tab. IV. 3.2.-2, Spalte (2) und IV. 4.1.-3, Spalte (2).

3) Spalte (1) minus Spalte (2).

4) Im Gegensatz zu den anderen HKW-Anlagen wurde für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt.

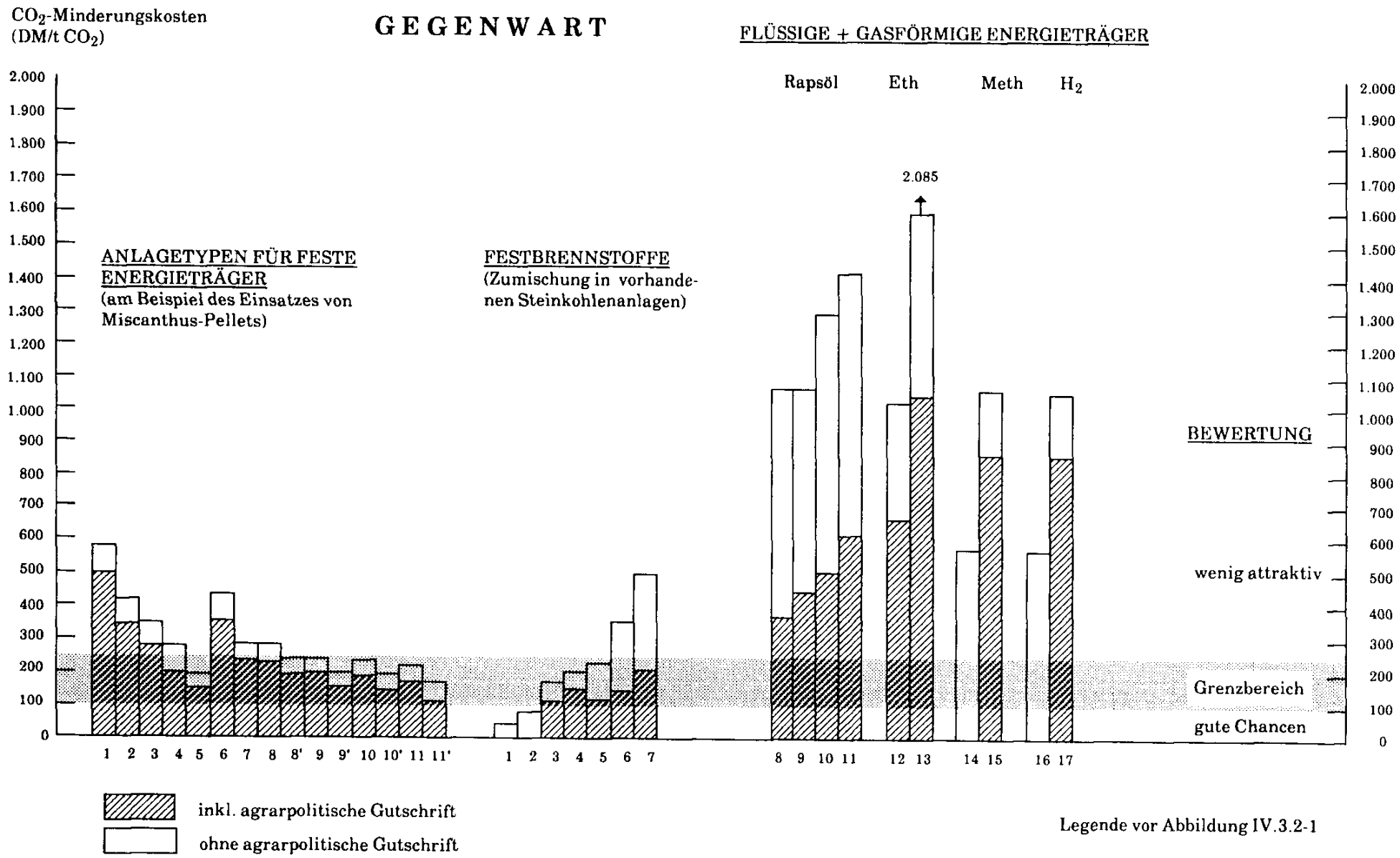
5) Bei Ethanol-Beimischungen von höchstens 5 % zum Grundkraftstoff für Ottomotoren.

6) Für 2005 wurde unterstellt, daß bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrüben bzw. Weizen die Rübenschnitzel bzw. das Stroh als Energieträger zur Dampferzeugung eingesetzt werden.

Tabelle IV.4.1-4: **Gesamte CO_2-Minderungskosten, agrarpolitische Gutschrift und verbleibende CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien**

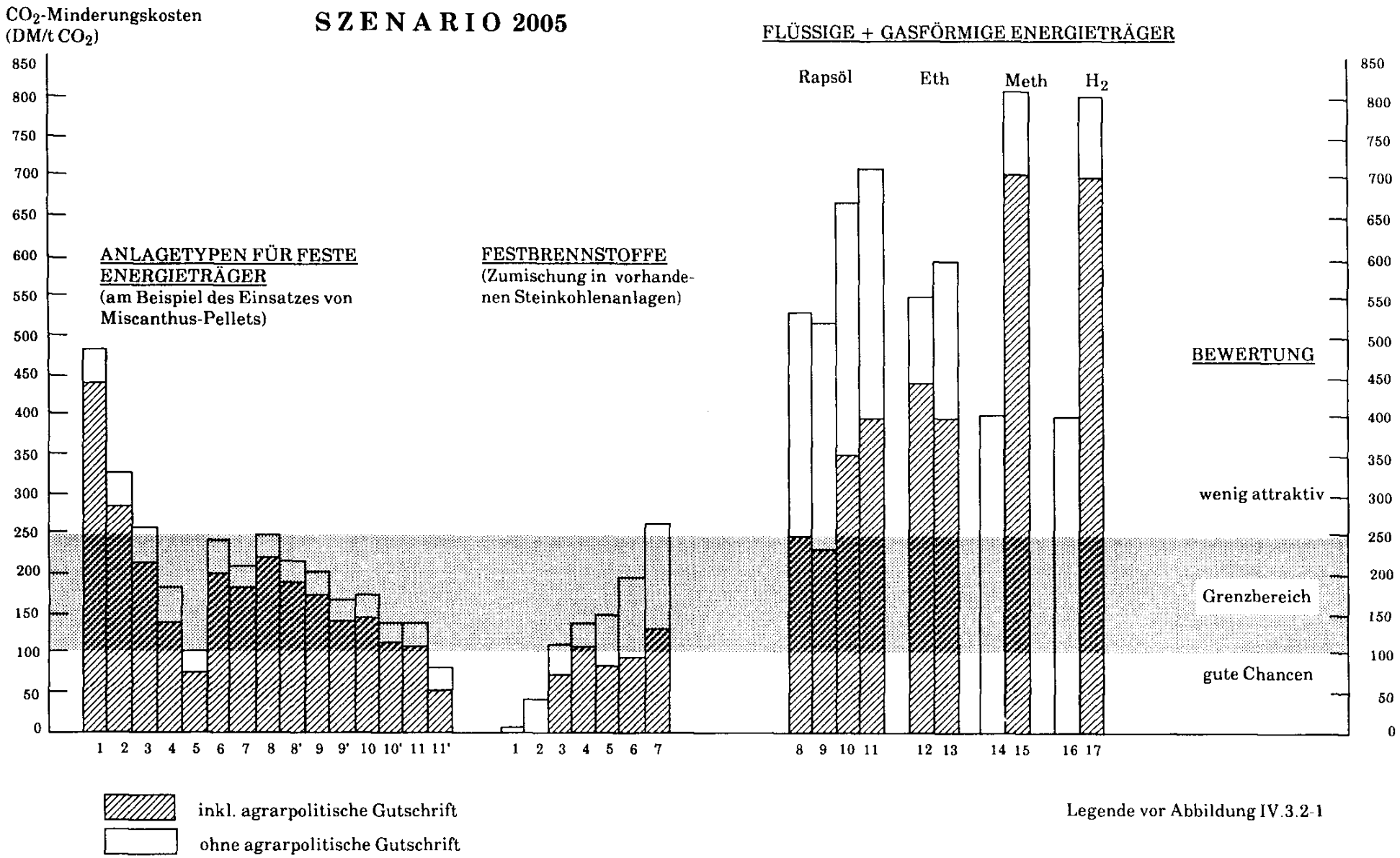
- Fortsetzung -

NE-Produktlinie	(1) Gesamte CO_2- Minderungskosten [1] (DM/t CO_2)		(2) Agrarpolitische Gutschrift [2] (DM/t CO_2)		(3) Verbleibende CO_2-Minderungskosten [1)3)] (DM/t CO_2)	
	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005	Gegenwart	2005
25 MW_e-HKW [4]						
– Stroh-Pellets	140 (98)	34 (1)	-	-	140 (98)	34 (1)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	102 (63)	5 (–27)	-	-	102 (63)	5 (–27)
– SWP-Hackschnitzel	208 (169)	93 (61)	50	30	158 (119)	63 (31)
– Miscanthus-Pellets	242 (199)	115 (80)	46	25	196 (153)	90 (55)
– Heu-Pellets	265 (222)	125 (90)	95	55	170 (105)	70 (35)
– Weizen (-korn)	361 (318)	170 (136)	172	85	190 (146)	85 (51)
42 MW_e-HKW						
– Stroh-Pellets	116 (72)	83 (52)	-	-	116 (72)	83 (52)
– Miscanthus-Pellets	214 (170)	171 (139)	45	26	170 (125)	145 (113)
25 MW_e-HKW (zur Substitution eines 25 MW_e-SK-HKW)						
– Stroh-Pellets	86	40	-	-	86	40
– Stroh-Ballen	33	2	-	-	33	2
Zumischung in vorh. BK-Kleinfeuerungsanlagen						
– Stroh-Briketts, ländl.	72	38	-	-	72	38
– Stroh-Briketts, städt.	124	93	-	-	124	93
Zumischung in vorhand. SK-Anlagen (>10 MW)						
– Stroh-Pellets	86 (12)	40 (–13)	-	-	86 (12)	40 (–13)
– Ind.-Resth.-Hackschn.	46 (–23)	5 (–44)	-	-	46 (–23)	5 (–44)
– SWP-Hackschnitzel	171 (101)	110 (60)	60	36	111 (41)	74 (24)
– Miscanthus-Pellets	208 (132)	139 (83)	56	30	152 (76)	108 (52)
– Heu-Pellets	236 (158)	151 (95)	117	67	119 (41)	84 (28)
– Weizen (-korn)	354 (277)	204 (150)	210	102	144 (66)	102 (47)
– Rapssaat	501 (418)	263 (206)	290	132	210 (127)	131 (74)
Rapsöl						
– als Heizöl	1067	532	694	287	372	246
– für Duotherm-Mot.	1067	519	625	287	442	232
– als Raffinerie-Rohstoff	1294	668	787	319	507	349
Rapsölmethylester	1415	710	795	315	619	395
Ethanol [5)6)]						
– aus Zuckerrüben	1032	552	357	109	675	443
– aus Weizen	2085	591	1034	197	1051	394
Methanol						
– Stroh-Pellets	572	401	-	-	572	401
– Miscanthus-Pellets	1059	809	198	106	861	703
Wasserstoff						
– Stroh-Pellets	566	397	-	-	566	397
– Miscanthus-Pellets	1051	803	197	106	854	697



Legende vor Abbildung IV.3.2-1

Abbildung IV.4.1-1: **CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften - gegenwärtige Verhältnisse**



Legende vor Abbildung IV.3.2-1

Abbildung IV.4.1-2: **CO_2-Minderungskosten für verschiedene NE-Produktlinien ohne und mit Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften - zukünftige Verhältnisse**

Bei der Bewertung der CO_2-Minderungskosten für Energieträger aus Pflanzen darf man demgemäß nicht nur die günstigsten Elemente einer Gesamtstrategie zum Vergleich heranziehen, sondern auch die hinsichtlich der CO_2-Minderungskosten weniger günstigen Elemente.

Zu welchen Grenzkosten der CO_2-Minderung (ohne NE) man dabei gelangen wird, ist gegenwärtig nur ungefähr abschätzbar. Die Autoren dieser Studie vermuten auf der Basis von Literaturaussagen und eigenen Abschätzungen, daß die Grenzkosten zur CO_2-Minderung um 25 % bis 2005 in der Spanne zwischen 100 DM/t CO_2 und 250 DM/t CO_2 liegen werden. Geht man von dieser Spanne aus, so erscheinen Maßnahmen im Bereich der nachwachsenden Energieträger, für die spezifische CO_2-Minderungskosten bis zu 250 DM pro vermiedene Tonne CO_2 für 2005 ausgewiesen werden, als potentiell interessante und konkurrenzfähige Elemente einer CO_2-Minderungspolitik für die Bundesrepublik Deutschland (vgl. Abb. IV.4.1-1 und -2). Bei Minderungskosten unter 100 DM/t CO_2 dürften die Chancen dafür ausgesprochen gut sein.

Ausgehend von der genannten Schwelle der CO_2-Minderungskosten sieht die Attraktivität der untersuchten NE-Produktlinien wie folgt aus: In kleinen 50 kW-Heizanlagen liegen die CO_2-Minderungskosten unter gegenwärtigen wie auch unter zukünftigen Rahmenbedingungen (2005) selbst bei der Verwendung preisgünstiger Rohstoffe wie Stroh oder Industrierestholz zum Teil weit über 250 DM pro Tonne CO_2 (s. Tab. IV.4.1-4).

Der Einsatz der genannten Reststoffe in 500 kW-Heizanlagen liegt unter den Rahmenbedingungen für 2005 mit rd. 180 bzw. rd. 130 DM/t CO_2 bereits im Bereich der interessanten CO_2-Minderungskosten. Die Verwendung speziell angebauter nachwachsender Energieträger, wie z.B. von Miscanthus in Form von Pellets, ist mit rd. 325 DM pro Tonne CO_2 bzw. 285 DM/t CO_2 (nach Verrechnung der agrarpolitischen Gutschrift) dagegen immer noch nicht attraktiv genug.

In der Größenklasse der 2 MW-Dampferzeuger sind in 2005, insbesondere bei guter Auslastung der Anlagen, nicht nur Reststoffe wie Stroh, sondern auch Energiepflanzen wie Miscanthus oder Holz aus Schnellwuchsplantagen (SWP-Hackschnitzel) kostenmäßig ebenfalls sinnvolle CO_2-Minderungskandidaten. Der Einsatz von Rapssaat in 2 MW-Dampferzeugern wäre allerdings auch in der mittelfristigen Zukunft eine ökonomisch (und auch ökologisch) wenig sinnvolle Option zur CO_2-Minderung.

Von der Leistungsklasse 3 MW_e-Kombianlage-Dampf bzw. 3 MW_e-BHKW an aufwärts bis hin zu den 42 MW_e-HKWs liegen die CO_2-Minderungskosten bei allen betrachteten Energiepflanzen und Reststoffen pro MWh in vielen Fällen deutlich

unter 250 DM. Diese NE-Produktlinien sind durchaus in der Lage, sinnvolle, d.h. ökonomisch interessante Beiträge zur Erreichung des genannten CO_2-Reduktionszieles zu leisten. Einzige Ausnahme hierbei ist mit CO_2-Minderungskosten von rd. 315 DM/t CO_2 der Einsatz von Miscanthus-Pellets in einem 5 MW-Heizwerk.

25 MW_e-HKWs, bei denen für 2005 ein weiterer technischer Fortschritt unterstellt wurde (oder die ein 25 MW_e-SK-HKW ersetzen), sind neben den vorhandenen Steinkohle-Anlagen bzw. den Braunkohle-Kleinfeuerungsanlagen, bei denen feste NE einfach zugemischt werden, diejenigen Anlagen, bei denen mit dem Einsatz von NE die CO_2-Belastung der Atmosphäre kostenattraktiv verringert werden kann.

Vergleicht man die ökonomische Vorzüglichkeit der NE im Hinblick auf die CO_2-Minderungskosten pro Tonne CO_2 untereinander, so stehen die Strohpellets und die Industrierestholz-Hackschnitzel in allen Verwendungsanlagen an erster Stelle. Dies bleibt auch so nach Verrechnung der agrarpolitischen Gutschriften.

Die flüssigen und gasförmigen Energieträger Rapsöl, Ethanol, Methanol und Wasserstoff sind angesichts der hohen CO_2-Minderungskosten auch in der mittelfristigen Zukunft weit davon entfernt, einen wirtschaftlich sinnvollen Beitrag zur CO_2-Minderung leisten zu können. Ihre CO_2-Minderungskosten liegen in 2005 mit rd. 400 bis 800 DM/t CO_2 weit über den genannten möglicherweise konkurrenzfähigen 250 DM/t CO_2. Dieses Bild ändert sich allerdings teilweise nach der Verrechnung agrarpolitischer Gutschriften. Der Einsatz von Rapsöl als Heizöl oder in Duotherm-Motoren führt dann mit rd. 240 DM/t CO_2 zu deutlich günstigeren CO_2-Minderungskosten.

4.2 Distickstoffoxid (N_2O)

Bis vor wenigen Jahren galt die Verbrennung fossiler Energieträger mit einem Emissionspotential von rund 5 Mio Tonnen pro Jahr als kräftigste anthropogene N_2O-Quelle. Heute weiß man, daß die damals bei Kohleanlagen gemessenen N_2O-Werte nicht ausschließlich aus den Verbrennungsabgasen der Kraftwerke stammten, sondern daß es sich dabei teilweise um Reaktionsprodukte handelte, die während der Lagerung in den Proben entstanden sind. In Anwesenheit von Schwefeldioxid und Wasserdampf wurde NO an den Oberflächen der Stahlprobenbehälter zu N_2O reduziert. Neuere Messungen zeigen, daß die N_2O-Emissionen aus Kraftwerken konventioneller Bauart eher gering sind. Es besteht noch Unklarheit darüber, ob auch die hohen N_2O-Werte, die in der Vergangenheit bei der Verbrennung von Biomasse analysiert wurden, geringer angesetzt werden müs-

sen. In den Abgasfahnen der Biomasseverbrennung finden sich wohl ähnlich hohe NO-Werte wie bei Kohleanlagen, aber wegen des geringen Schwefelgehalts der pflanzlichen Energieträger auch geringere Schwefeldioxidkonzentrationen.

Die Bildung von N_2O während der Verbrennung hängt in der Hauptsache von den Betriebsbedingungen, insbesondere der Verbrennungstemperatur, dem Luftüberschuß und der Zusammensetzung des Brennstoffs ab. Mit der Höhe des Stickstoffanteils im Brennstoff steigen die N_2O-Werte im Rauchgas. Die proteinhaltigeren Energieträger Rapssaat und Heu emittieren bei der Verbrennung deshalb möglicherweise mehr N_2O als Stroh oder Miscanthus. Die N_2O-Werte sinken mit zunehmender Verbrennungstemperatur, gleichzeitig steigen aber die NO_x-Emissionen an. Durch höhere Wassergehalte in der Biomasse wird die Verbrennungstemperatur herabgesetzt, was in konventionellen Verbrennungsanlagen zu einer Erhöhung der N_2O-Emissionen führen kann. Konventionelle Kohlefeuerungsanlagen emittieren zwischen 10 und 20 mg N_2O/m^3, Wirbelschichtfeuerungsanlagen (WSF) mit niedrigeren Verbrennungstemperaturen (800 bis 1000 °C) dagegen möglicherweise mehrere Hundert mg/m^3 (BONN und BAUMANN 1991). Würden bei der Verbrennung von Biomasse in WSF tatsächlich bis zu einigen Hundert mg N_2O/m^3 Rauchgas emittiert werden, wäre das ein Grund, die Biomasse zuerst zu vergasen und dann bei höheren Temperaturen zu verbrennen, wie dies bei fortschrittlichen HKWs vorgesehen ist. Höhere NO_x-Emissionen aus fossilen Verbrennungsanlagen werden heute durch Denox-Anlagen reduziert. Beim SNCR Verfahren (selektive nicht-katalytische Reduktion) wird Ammoniak oder eine Harnstofflösung als Reduktionsmittel verwendet. Während dieser Reduktion wird ein Teil des NO_x unvollständig reduziert und als N_2O freigesetzt.

Es deutet sich an, daß die stickstoffarmen pflanzlichen Festbrennstoffe Stroh, Miscanthus und Holz insgesamt, vom Anbau bis zur Verwendung, in gleichen Anlagen weniger N_2O emittieren als Raps und Heu.

Die N_2O-Emissionen, die aus dem Anbau der Festbrennstoffe freigesetzt werden, fallen angesichts der hohen Erträge und der damit erzielten CO_2-Minderung pro Hektar bei den meisten Festbrennstoff-Linien nicht ins Gewicht. Trotz der bereits hohen natürlichen (ohne N-Düngung) N_2O-Emissionen (s. Tab. III.2-5) könnte es bei der Produktion von Energiegras auf feuchtem Grünland ("Hohe Intensität") zu einer zusätzlichen N_2O-Freisetzung kommen, die eine Korrektur der verbleibenden Netto-CO_2-Minderung nahelegen würde.

Während der Konversion und Verarbeitung und auch bei der energetischen Verwendung der flüssigen Energieträger Rapsöl, RME und Ethanol wird vermutlich kaum N_2O freigesetzt.

Die durch den Anbau freigesetzten N_2O-Mengen sind aber möglicherweise nicht zu vernachlässigen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, daß sie die Klimavorteile der Netto-CO_2-Bilanz kompensieren. Das folgende Zahlenbeispiel illustriert die Größenordnung der quantitativen Verhältnisse für das Beispiel der Verwendung von RME als Kraftstoff. In diesem Beispiel beträgt die jährliche Brutto-CO_2-Minderung gegenwärtig etwa 3,6 t CO_2/ha, um 2005 kann sie auf 3,8 t CO_2/ha ansteigen. Die Netto-CO_2-Bilanz wird durch Emissionen beim Einsatz der Prozeßenergien auf etwa 1,9 t CO_2/ha (gegenwärtig) bzw. 3,2 t CO_2/ha (um 2005) gedrückt.

An diesen Zahlen sind für eine wegen N_2O korrigierte CO_2-Bilanz weitere Abstriche vorzunehmen, die dem CO_2-Äquivalent der N_2O-Emissionen entsprechen und nach Abrundungen zwischen 0,1 und 0,5 t CO_2(Äqu.)/ha und zwischen 0,1 und 0,6 t CO_2(Äqu.)/ha um 2005 liegen. Diese Zahlenspannen ergeben sich aus der in Kapitel III 2.3.6 erläuterten Spanne für N_2O-Emissionen bei Raps von grob 0,1 % bis 1 % der gedüngten Stickstoffmenge.

Die CO_2-Bilanz der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben wird von einer N_2O-Korrektur weit weniger betroffen, als die Ethanolproduktion aus Winterweizen oder Körnermais, da der flächenbezogene Ethanolertrag bei Zuckerrüben vergleichsweise hoch ist. Wird zusätzlich das Stroh als Energieträger genutzt, so verschieben sich diese Verhältnisse wieder zugunsten der Getreidearten.

4.3 Umweltrelevante Aspekte bei der Be- und Verarbeitung

4.3.1 Umweltrelevante Aspekte bei der Bioethanolherstellung

Bei der Gewinnung von Bioethanol fallen erhebliche Mengen an Schlempe (Dünn- und Dickschlempe) an. Die getrocknete Dickschlempe aus der Konversion von Getreide kann, ebenso wie Zuckerrübenschnitzel, verfüttert werden. Ein großes Problem stellt die Dünnschlempe, ein stark mit organischen Rückständen belastetes Abwasser, dar. Die Dünnschlempen, die bei der Verarbeitung von Zuckerrüben, Kartoffeln und Getreide anfallen, haben einen pH-Wert von 4 oder darunter. Der Anteil suspendierter Feststoffe ist bei Getreide mit rund 13 g/l Schlempe ausgesprochen hoch. Zwischen dem Gehalt an Trockensubstanz und dem CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) besteht ein linearer Zusammenhang. Die CSB-Werte von Getreidedünnschlempe liegen mit rund 70 g je Liter Schlempe um ein Drittel über denen von Kartoffelschlempe. Im Vergleich zur Rübenschlempe sind sie fast doppelt so hoch. Diese Abwässer können nicht in normale biologische Reinigungsanlagen abgegeben werden. Ihre Reinigungskapazität wäre überfordert. Bioethanolanlagen sind deshalb ohne technisch aufwendige Reinigungsverfahren nicht umweltverträglich. Um die Einleitungsanforderungen erfüllen zu können, müssen

anaerobe Kontakt- bzw. Festbettreaktoren und aerobe Kläranlagen nachgeschaltet werden. Während der Reinigung von Dünnschlempe und Abwasser fällt Überschußschlamm an, dessen Entsorgung auf Ackerflächen nicht immer unbedenklich ist.

In Bioethanolanlagen, die überwiegend Zuckerrüben als Rohstoff einsetzen, fallen - wie bei Zuckerrübenfabriken - während der Säuberung der Zuckerrüben größere Mengen Erde an. Ihre Rücknahme durch die Landwirte ist problematisch. Es besteht die Gefahr, mit dem Ausbringen verseuchter Erde nematodenfreie Felder zu kontaminieren.

4.3.2 Umweltrelevante Aspekte bei der Gewinnung von Rapsöl bzw. RME

Die Rapssaat wird wie alle pflanzlichen Ölträger zur Steigerung der Ölausbeute vor der Ölgewinnung zerkleinert und ggf. bis auf rund 80 °C vorgewärmt. Das pflanzliche Öl wird dadurch dünnflüssiger und läßt sich leichter abpressen. Allgemein üblich ist das Vorpressen der gereinigten und gewalzten Rapssaat mit kontinuierlich arbeitenden Schneckenpressen. Das gewonnene Öl wird zur Entfernung störender Partikel über Filteranlagen geleitet.

Mit Hilfe des aliphatischen Kohlenwasserstoffes Hexan kann wesentlich mehr Öl gewonnen werden als durch das einfache Pressen. Das Hexan wird nach dem Extraktionsvorgang größtenteils wiedergewonnen und erneut eingesetzt. Hexan ist ein leicht entzündbarer Stoff und stellt deshalb ein Umweltrisiko dar. Der Hexan-Recyclingprozeß ist nicht vollständig geschlossen. Die Abluft wird über lösungsmitteladsorbierende Kieselgelschichten oder Aktivkohlefilter geführt. Auch bei ordnungsgemäßem Betrieb gelangen kleinere Mengen an Hexan über den Luft- bzw. Wasserpfad in die Umwelt. Pro Tonne Raps wird rd. 1 kg Hexan emittiert. Dies entspricht einem Wert von 150 mg/m^3 Abluft (LURGI 1992). Andere Quellen sprechen von Gesamthexanverlusten zwischen 0,2 und 0,3 % pro Tonne Saat (THOMAS 1976). Ein Teil des eingesetzten Hexans verläßt die Verarbeitungsanlage als Bestandteil des Extraktionsschrots. Mit Hilfe von Wasserdampf kann das Hexan aus dem Schrot ausgetrieben werden. Die Ausdampfung des Hexans aus dem Schrot und die anschließende Trocknung und Kühlung sind mit rund 10 bis 15 kWh pro Tonne Schrot ein relativ energieaufwendiger Verfahrensschritt.

Während der Pressung und Extraktion der Rapssaat werden neben dem Öl auch eine Reihe anderer Substanzen freigesetzt. Das rohe Rapsöl enthält noch 0,3 bis 2,0 % freie Fettsäuren und rd. 1 % Phosphatide. Aus Gründen der Haltbarkeit und

wegen der Qualitätsanforderungen werden diese Begleitstoffe bei der Herstellung von Speiseöl mit Bleicherde entfernt.

Die notwendige Menge an Bleicherde hängt stark von der Rapsölqualität ab. Im Durchschnitt werden pro Tonne zu reinigenden Rapsöls 10 kg Bleicherde verbraucht. Das entschleimte und entsäuerte Rohöl wird zum Zwecke der Bleichung im Vakuum entgast, getrocknet und mit der dosierten Bleicherde in geschlossenen Filtern der Reaktion überlassen.

Mit zunehmender Menge an Bleicherde steigt auch der Ölverlust, denn die Ölaufnahmefähigkeit von Bleicherden kann bis zu 50 % ihrer Masse betragen. Mit einer guten Filterpresse können 70 bis 75 % des Öls aus der Bleicherde herausgepreßt werden. Das noch verbleibende Restöl wird mit Luft ausgeblasen oder mit Wasserdampf bzw. Hexan extrahiert. Bei der Luft-Methode besteht die Gefahr einer Explosion.

Es gilt abzuwarten, ob es bei technischen und energetischen Einsatzzwecken genügt, das Rapsöl nur bis zu einem gewissen Reinheitsgrad zu raffinieren (Teilraffinat) und auf eine Bleichung zu verzichten. Ist dies nicht der Fall, würden für die Vollraffination von Rapsöl größere Mengen an Bleicherde verbraucht. Unterstellt man eine Ausdehnung des Rapsanbaus zu energetischen und technischen Verwendungszwecken um eine Million Hektar, so würden zusätzlich 12 000 t Bleicherde benötigt.

Die verbrauchte Bleicherde ist ein Problemstoff und muß deponiert werden, sofern sie nicht in Zementfabriken als Brennstoff eingesetzt wird.

4.4 Belastung der Umwelt durch Transportvorgänge

Die großen Verarbeitungsanlagen für Ölsaaten liegen nicht in der Nähe der klassischen Rapsanbaugebiete, sondern an Wasserstraßen. Sie sind verkehrstechnisch gut angeschlossen. Der Ferntransport der Ölsaaten wird mit Schiffen, der Nahtransport mit Lastkraftwagen durchgeführt. Der Transport von Rapssaat bzw. Rapsöl verschärft folglich die Verkehrssituation nicht wesentlich.

Dem anbauseitig umweltfreundlicheren Profil der Festbrennstoffe steht im Vergleich zu den flüssigen Energieträgern aufgrund der geringeren Energiedichte eine stärkere Verkehrsbelastung durch die erforderlichen, umfangreichen Transportleistungen gegenüber. Die Versorgung eines 25 MW_e-Heizkraftwerkes mit Stroh würde beispielsweise zur Folge haben, daß alle 15 bis 20 Minuten ein zusätzlicher Lkw über die Straße rollt. In dicht besiedelten Gebieten könnte dies

nicht nur ein Umweltproblem (Lärm, Abgase, Stau), sondern auch ein Akzeptanzproblem mit sich bringen.

4.5 Umweltrelevante Aspekte bei der Verwendung

4.5.1 Biologische Abbaubarkeit von Rapsöl und RME

Natives Rapsöl ohne Zusätze wird unter idealen Bedingungen innerhalb einer Woche nahezu vollständig (95 %) abgebaut und gehört deshalb der Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 an, Dieselkraftstoff dagegen wird in die WGK 2 eingestuft. Aus Gründen der Motorenverträglichkeit, Lagerbarkeit und Winterfestigkeit müssen, ähnlich wie bei konventionellen fossilen Treibstoffen, dem Rapsöl bzw. RME verschiedene chemische Substanzen zugemischt werden. Je nach Toxizität und Abbaurate können diese Additive zu einer differenzierten ökologischen Bewertung führen. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, daß diese Zusatzstoffe kein größeres Risiko für das Wasser darstellen als die Additive im Dieselkraftstoff. Kleinere und mittlere Mengen an Rapsöl werden relativ schnell abgebaut. Trotz dieser guten Abbaubarkeit von Rapsöl wird die natürliche Selbstreinigungskraft des Bodens durch größere Chargen von Rapsöl bzw. RME überfordert. Deshalb muß bei einem Unfall oder Störfall das kontaminierte Erdreich entfernt und in einer biologischen Behandlungsanlage gereinigt werden. In ökologisch sensiblen Gebieten, wie z.B. in den Wasserschutzgebieten und auf Binnengewässern, wie z.B. dem Bodensee, könnte die gute biologische Abbaubarkeit des Rapsöls dennoch ein entscheidendes Argument für seinen Einsatz sein.

4.5.2 Emissionen bei der Verbrennung von Pflanzenölen

4.5.2.1 Pflanzenöle in Verbrennungs-Kraftmaschinen

Die technischen Probleme beim Einsatz von Pflanzenölen in Verbrennungs-Kraftmaschinen können im wesentlichen als gelöst oder als lösbar betrachtet werden. Nur unbefriedigend geklärt sind jedoch die mit dem Einsatz der Kraftstoffe auf Pflanzenbasis verbundenen Schadstoffemissionen.

Gegenwärtig werden auch in öffentlich geförderten Programmen häufig nur einzelne Fahrzeuge oder einzelne Motoren auf ihre Verträglichkeit mit Rapsöl oder RME und ihre betriebsbedingten Emissionen untersucht. Ein einzelner Motor ist aber im allgemeinen nicht repräsentativ für eine ganze Motoren-Serie und schon gar nicht für die der Wettbewerber. Die Fertigungsstreuungen bei der Motoren-Herstellung sind so groß, daß die Untersuchungsergebnisse einer großen Serie von Motoren breit streuen. Deswegen benutzt die Automobilindustrie eine große

Anzahl von z.B. 50 Motoren, die unter gleichen Bedingungen gefertigt wurden, um aus den Mittelwerten von deren Untersuchung auf das Emissionsverhalten der in Großserie gefertigten Motoren hochrechnen zu können (KLINGENBERG et al. 1977). Die Untersuchung einzelner Motoren des gleichen Typs verschiedener Hersteller und die Gegenüberstellung der daraus gewonnenen Ergebnisse können in den meisten Fällen daher nur einen qualitativen, orientierenden Charakter haben.

Ein Ziel der Motorenneu- und -weiterentwicklung ist deren Optimierung, wobei die Optimierungsziele einzelner Hersteller aus dem großen Bündel möglicher Ziele durchaus unterschiedlich sein können. Wenn für Otto- oder Gasöl-Kraftstoff entwickelte und optimierte Motoren mit pflanzenölstämmigen Kraftstoffen betrieben werden, werden die Ergebnisse i.a. anders ausfallen als nach Optimierung der Motoren oder ihrer Einstellwerte auf den neuen Kraftstoff.

Ein fairer Vergleich ist daher nur möglich, wenn eine große Zahl gleicher, auf den Einsatz von pflanzenölstämmigen Kraftstoffen hin optimierte Motoren mit einer großen Zahl von artgleichen Gasöl-Motoren verglichen wird.

Die Tatsache, Motoren für ganz bestimmte Randbedingungen optimieren zu müssen (und zu können), kann dann aber auch dazu führen, daß ein z.B. konsequent auf Rapsöl getrimmter Dieselmotor beim Einsatz von Gasöl, sofern nicht gleichzeitig Veränderungen an Motorparametern vorgenommen werden, in einer oder mehreren Meßgrößen schlechter abschneidet als beim Betrieb mit Rapsöl (HAVENITH 1991).

Diesem Dilemma kann man entgehen, indem der Motor entweder für den wechselnden Einsatz mehrerer Kraftstoffe optimiert wird, dann aber mit keinem von ihnen einzeln optimal läuft, oder daß eine Umschaltmöglichkeit relevanter Motorparameter, z.B. durch Wahl anderer Kennfelder einer elektronischen Motorsteuerung, vorgesehen wird. Die Kennfelder werden dann mit dem Übergang auf den jeweils anderen Kraftstoff umgeschaltet. Sind für solche, betrieblich durchzuführenden, motorseitigen Anpassungen auch mechanische Änderungen am Motor erforderlich (z.B. Übergang auf anders geformte Nocken), können der technische Aufwand und die Fertigungskosten hierfür relativ hoch sein.

Ein Wechselbetrieb zwischen Pflanzenöl- und Gasöl-Kraftstoff oder ein Betrieb mit Mischungen aus diesen beiden in Verbindung mit einem hier nur verwendbaren Oxydationskatalysator ist wegen der starken Sulfatbildung aus dem Schwefel des Gasöl-Kraftstoffs und der damit einhergehenden drastischen Erhöhung der Gesamtpartikel-Emission nicht empfehlenswert. Sogar bei Verwendung von schwefelarmem Gasöl-Kraftstoff mit 0,03 Gew.% Schwefel reicht die durch den

Katalysator erzielte Abnahme der organisch-löslichen Partikel nicht aus, um die erhöhte Sulfatbildung zu kompensieren (HAVENITH 1991). Auch bei einem Schwefelgehalt von nur 0,02 Gew.% wird von einer verstärkten Sulfatproduktion durch den Katalysator berichtet (HELD 1991). Ein verringerter Schwefelgehalt reduziert darüber hinaus bei allen Katalysator-Fahrzeugen auch die anderen limitierten Schadstoffe, wie amerikanische Untersuchungen im Rahmen des Auto/Oil-Program belegen. Die Ursache hierfür ist vermutlich eine geringere Schwefel-Desaktivierung des Katalysators, die allerdings reversibel ist (REGLITZKY et al. 1992).

Die Optimierung eines Motors setzt eine Standardisierung des Kraftstoffes voraus, aber der Kraftstoff muß seinerseits entsprechend dem, was mit Parameteränderungen am Motor leistbar ist, formuliert werden, entsprechend den anzustrebenden übergeordneten Zielen. So werden vermutlich mehrere Iterationsschritte erforderlich sein, bevor Kraftstoff und Motorentechnik aufeinander abgestimmt sein werden.

Wichtig für eine Optimierung ist die Zugrundelegung eines, den realen Einsatzbedingungen des jeweiligen Fahrzeugs möglichst nahekommenden Test-Zyklus.

Die Bewertbarkeit pflanzenölstämmiger Kraftstoffe oder ihrer Gemische mit Gasöl ist bezüglich der Umweltbelastungen gegenwärtig nicht eindeutig (STREHLER et al. 1992). Dabei ist die Bewertung auch abhängig von der Gewichtung der Schädlichkeit der einen Schadstoffkomponente gegenüber einer anderen. Vorteile bei einer Schadstoffkomponente werden häufig durch Nachteile bei einer anderen aufgewogen. Bei den limitierten Schadstoffen können keine generellen oder eindeutigen Umweltvor- oder -nachteile für rapsölstämmige Kraftstoffe oder Gemische mit ihnen gegenüber Gasöl für Serienmotoren benannt werden. Hier ist auch das teils stark unterschiedliche Verhalten der einzelnen, nicht auf diese Kraftstoffe optimierten Serienmotoren von Bedeutung. Dieser Zustand mag sich durch Optimierungs- oder gezielte Entwicklungsmaßnahmen ändern; zu beachten ist jedoch, daß Gasöl-Motoren ebenfalls ein Entwicklungspotential, auch bezüglich ihrer Emissionen, besitzen.

Bei den nichtlimitierten Schadstoffen stehen ebenfalls den Vorteilen für die eine Schadstoffgruppe entsprechende Nachteile bei einer anderen gegenüber. Aber auch hier gilt, daß Untersuchungen an einer wesentlich größeren Anzahl von Motoren vorgenommen werden müßten, um zu sichereren Aussagen gegenüber der bestehenden Flotte von (gegenwärtig im Einsatz befindlichen) Motoren zu gelangen, d.h., es ist ein Unterschied, ob pflanzenölstämmige Kraftstoffe in bestehenden oder in weiterentwickelten Motoren eingesetzt werden.

Hier seien einige Einzelinformationen aus jüngster Zeit referiert, deren Übertragbarkeit auf die gegenwärtige Flotte aller in der Bundesrepublik Deutschland betriebenen Fahrzeuge, insbesondere in praxisgerechten Testzyklen, noch geprüft werden müßte.

Die von RICHTER et al. (1992) an einigen Nutzfahrzeugmotoren im 13-Stufentest gemessenen Schadstoffemissionen beim Einsatz von 100%-Rapsöl werden im wesentlichen durch Messungen an 1,6 l Wirbelkammermotoren nach US FTP-75-Testbedingungen bestätigt (WEIDMANN und HEINRICH 1992). Demzufolge ergaben sich im Vergleich zu Gasöl-Kraftstoff deutliche Erhöhungen bei den HC-, CO- und den Aromaten-Emissionen, während die NO_x-Emissionen leicht niedriger ausfielen. Die Partikel-Emissionen waren stark erhöht, ebenso die nichtlimitierten Komponenten, wie Aldehyde und PAH. Während einer Dauererprobung verschlechterten sich diese hohen Emissionen weiterhin.

Es muß gegenwärtig offen bleiben, ob und wie sich die genannten Verhältnisse bei einer Weiterentwicklung und/oder Optimierung gegenwärtiger Großserienmotoren verbessern lassen.

Bei Motoren der Volkswagen AG, die auf den Betrieb mit Gasöl-Kraftstoff optimiert und mit dem Referenz-Kraftstoff CEC/RF-03 zertifiziert waren, wurden mit 100%-RME 40 bis 50 % niedrigere HC- und 25 % höhere NO_x-Emissionen gemessen. Die Höhe von CO- und Partikelemissionen hängt vom Brennverfahren ab (direkte oder indirekte Einspritzung). Beim CO lag die Reduzierung bei 0 bis 20 %, bei den Partikeln hingegen bei 10 bis 50 %; die günstigeren Werte wurden jeweils bei den Kammermotoren erzielt (HEINRICH et al. 1992). Bei den nichtlimitierten Schadstoffen wurden an einem 1,6 l Wirbelkammermotor deutlich höhere Aldehyd- aber ebenso deutlich niedrigere PAH-Emissionen gemessen (WEIDMANN und HEINRICH 1992).

Ein anderes Autorenteam (WÖRGETTER und SCHROTTMAIER 1992) berichtet, daß beim Einsatz von RME in Schleppermotoren die NO_x-Emissionen nur leicht angestiegen seien. Bei den Aldehyden sei das Acetaldehyd nahezu unverändert geblieben, während das krebsverdächtige Acrolein auf das Dreifache anstieg. Bei den Aromaten sind bis auf das krebserregende Benzol, das leicht angestiegen sei, die Emissionen weitgehend abgesunken.

Wenn man von grundlegenden Besonderheiten, wie dem je nach Rapssorte und Verarbeitungstechnik extrem niedrigen Schwefelgehalt von Rapsöl (bis zu einigen Hundert ppm) bzw. RME (STREHLER et al. 1992) und damit von der Verringerung von SO_2-Emissionen absieht, sind Unterschiede bei den Emissionen zwischen willkürlich ausgewählten (Groß-) Serienmotoren untereinander häufig grö-

ßer als Unterschiede, die durch Wahl eines anderen (alternativen) Kraftstoffs entstehen (s. Abb. IV.4.4-1 und IV.4.4-2), falls die Motoren die vorgesehene Lebensdauer bei Nennleistung mit dem für sie ungewohnten Kraftstoff überhaupt erreichen. Diese Aussage läßt sich auch aus den Ergebnissen der "Porsche-Studie" (RICHTER et al. 1991) ableiten.

Die Verbesserung heutiger Serienmotoren bei den Umweltdaten auf den heute bestmöglichen Stand und dessen technologische Weiterentwicklung könnten sich als der kürzere Weg zu geringeren Umweltbelastungen im Verkehrssektor herausstellen als der (partielle) Umstieg auf rapsölstämmige Kraftstoffe. Der Dieselmotor besitzt nach Meinung der Motorenhersteller noch ein deutliches Entwicklungspotential. Dies gilt nicht nur für den Betrieb mit Gasöl, sondern auch für die Verwendung von Pflanzenölen, die nicht auf Rapsöl beschränkt bleiben muß, sowie im Hinblick auf Optimierungsmaßnahmen für den wechselweisen Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffe.

Es ist ungewiß, ob die behaupteten und unter bestimmten Betriebsbedingungen bei einzelnen konventionellen Dieselmotoren bei einigen Schadstoffkomponenten gemessenen Umweltvorteile von 100%-RME oder bei Zumischungen von RME zu Gasöl - der Einsatz von Rapsöl, auch in Form einer Zumischung ist für die meisten konventionellen Dieselmotoren aus technischen Gründen unverträglich - im Zuge weiterer Grenzwert-Verschärfungen und der damit erzwungenen Weiterentwicklung konventioneller Dieselmotoren in voller Höhe (absolut oder relativ) erhalten bleiben.

Da heimisches Rapsöl von der Menge her nur einen geringen Teil des im Verkehr eingesetzten Gasöls ersetzen kann, können potentielle Umweltvorteile, z.B. durch RME-Einsatz im Kraftstoffsektor, bezogen auf die gesamte Flotte auch nur entsprechend gering ausfallen. Mit den Herstellern von Dieselmotoren müßte geklärt werden, ob sie sich durch die Verwendung von Pflanzenölen eine Erleichterung bei der Weiterentwicklung ihrer jeweiligen Motorentypen im Rahmen der erwartbaren zunehmenden Verschärfung der Emissionsgrenzwerte versprechen. Hierbei ist zwischen einer Zumischungsstrategie und dem Einsatz von 100%-Pflanzenölen (für eine begrenzte, klar umrissene Art von Fahrzeugtypen) zu unterscheiden. Zuvor müßten jedoch Grenzwerte für bisher nichtlimitierte Schadstoffe wie Aldehyde, BTX (Benzol, Toluol, Xylol) und PAH (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) festgelegt und realistische, dem tatsächlichen Verwendungsbereich der jeweiligen Fahrzeuge entsprechende Testprozeduren vorgeschrieben werden. Der gegenwärtig im PKW-Bereich angewendete US FTP-75-Testzyklus entspricht weder den europäischen Fahrverläufen noch den europäischen Klimabedingungen.

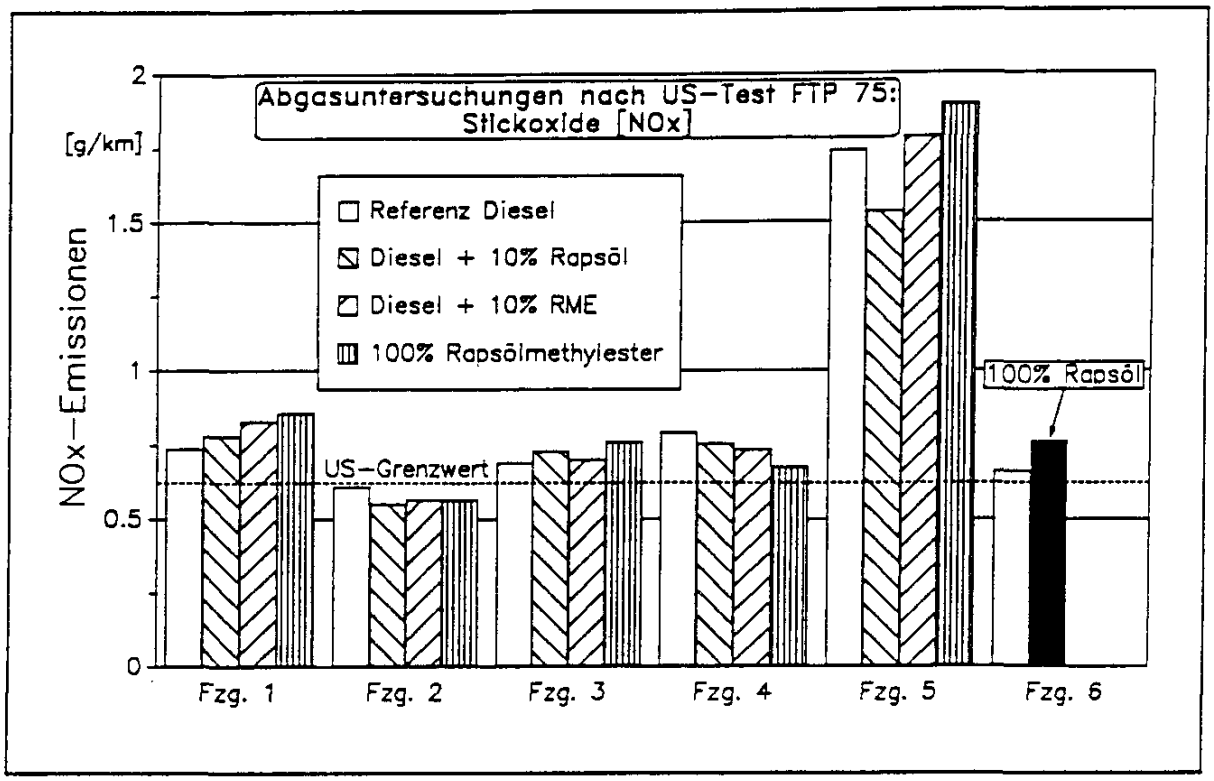


Abbildung IV.4.4-1: **Stickoxidemissionen von Fahrzeugen in Abhängigkeit von Kraftstoffvarianten - (FTP-75-Test nur 505s-Warmzyklus)**
Fzg. 6: Rapsölmotor (STREHLER et al. 1992)

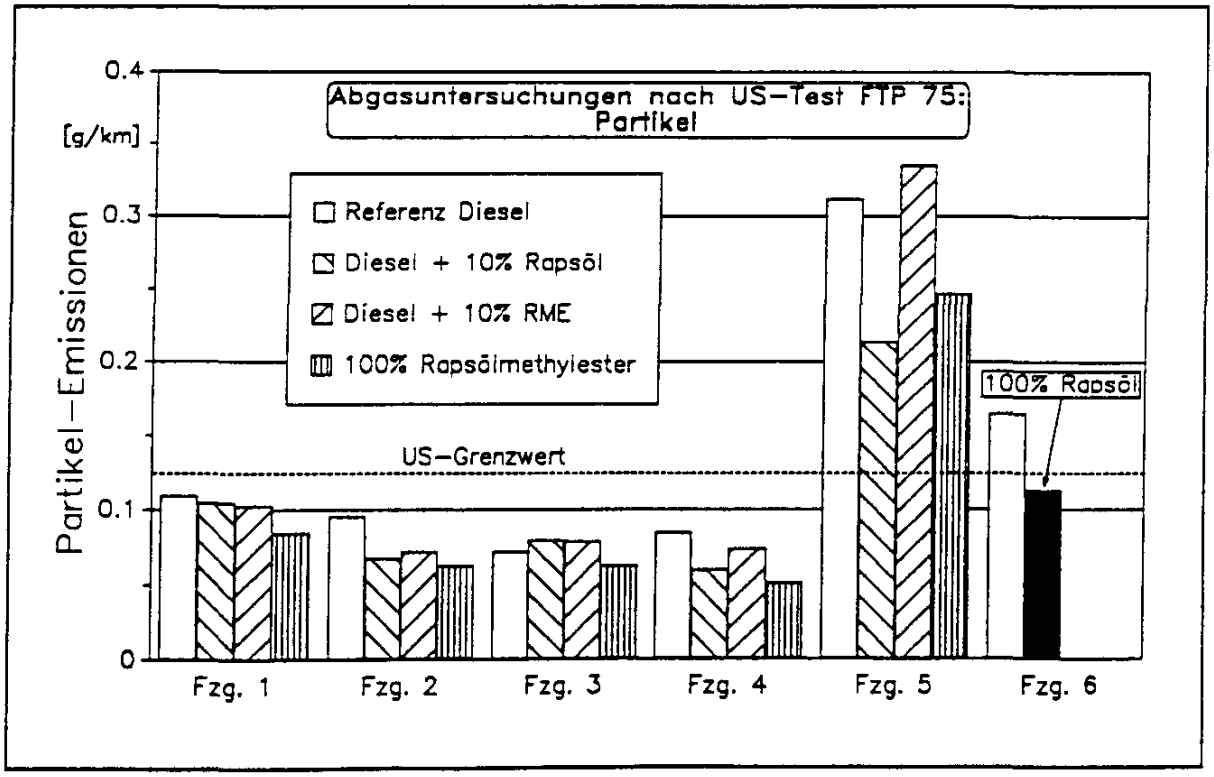


Abbildung IV.4.4-2: **Partikelemissionen von Fahrzeugen in Abhängigkeit von Kraftstoffvarianten - (FTP-75-Test nur 505s-Warmzyklus)**
Fzg. 6: Rapsölmotor (STREHLER et al. 1992)

4.5.2.2 Rapsöl im Wärmemarkt

Hinsichtlich der Emissionen ergaben sich nach Untersuchungen von STREHLER et al. (1992) für die Komponenten CO, NO_x, C_nH_m und Ruß keine so großen Unterschiede zwischen den Brennstoffen Heizöl EL (HEL) und Mischungen mit maximal 50 Vol.% Rapsölanteil, daß von entscheidenden Vor- bzw. Nachteilen gesprochen werden könnte. Bei den NO_x-Werten ist auch der Stickstoffgehalt des Rapsöls von Bedeutung.

Bei Einzelmessungen von Emissionen können verschiedene Institutionen je nach Art der Betriebsparameter teilweise zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. So wurden bei Messungen an Druck-Zerstäubungsbrennern mit Ölvorwärmung, unabhängig vom Verbrennungssystem (Gelb- oder Blaubrenner), beim Betrieb mit 20 % Zumischung zum HEL höhere CO- und niedrigere NO_x-Emissionen als beim Betrieb mit HEL festgestellt, der TÜV kam bei einem Gelbbrenner, mit allerdings etwas anderen Brennraumdrücken zu genau den entgegengesetzten Aussagen (STREHLER et al. 1992).

Bei Brennstoffgemischen mit Rapsöl wurden höhere Anteile an PAH, BTX und Aldehyden gemessen als bei Verwendung von HEL. Bei 20%-iger Zumischung von Rapsöl lagen diese Emissionen bei einem Druck-Zerstäubungsbrenner mit Ölvorwärmung zwar um die Faktoren 2,18 bzw. 1,87 und 2,51 höher als beim HEL, werden aber, absolut gesehen, als auf einem sehr niedrigen Niveau liegend charakterisiert.

Bei Verbrennung von Rapsöl als Ersatz für schweres Heizöl wurden etwas geringere CO-Emissionen, höhere C_nH_m-Emissionen und wesentlich niedrigere NO_x-Emissionen gemessen als bei Verwendung von schwerem Heizöl.

Die vorgenannten Untersuchungen wurden überwiegend an Standard-Heizanlagen durchgeführt, die bezüglich Betriebs- und Emissionsverhalten auf Mineralölbrennstoffe optimiert sind. Sollte sich ein für die Hersteller von Heizungsanlagen genügend großer, d.h. wirtschaftlich interessanter Markt für Pflanzenöl-Mischbrennstoffe etablieren (lassen), ist zu erwarten, daß Heizungsanlagen auch für diese Mischbrennstoffe durch Weiterentwicklung optimiert werden. Eine Synchronisierung mit der in der Diskussion befindlichen Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen ist anzustreben.

4.5.3 Ethanol

Werden Alkohole dem Benzin zugemischt (Mischkraftstoff), dann verringern sich die Anteile der CO- und C_nH_m-Komponenten im Rohabgas je nach Höhe des Zumischanteils, die NO_x-Emission steigt jedoch an. Die Veränderung der Rohabgasqualität ist darüber hinaus stark fahrzeugabhängig. SCHLIEPHAKE (1986) nennt Verringerungen um 22 % bei CO und 13 % bei HC für einen E5-Kraftstoff, während NO_x um 6 % zunimmt. Die Emissionsverbesserungen sind aber deutlich geringer als die mit geregelten Dreiwege-Katalysatoren erreichbaren.

In der Summe sind keine ins Gewicht fallenden Vor- oder Nachteile eines E5-Kraftstoffes gegenüber der Abgaszusammensetzung von ethanolfreiem Benzin nach einem geregelten Dreiwege-Katalysator zu erwarten.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn Dieselkraftstoff durch Ethanol ersetzt wird. Dieser Fall wurde aber angesichts der großen ökonomischen Nachteile nicht näher betrachtet.

4.5.4 Emissionen aus der Verwendung von Festbrennstoffen (außer CO_2 und N_2O)

Bei der Verbrennung fossiler oder biogener Brennstoffe wird der enthaltene Schwefel zu Schwefeldioxid oxidiert. Der Schwefelgehalt des Brennstoffs bestimmt deshalb die SO_2-Emissionsrate. Protein-, d.h. stickstoffreiche Festbrennstoffe sind problematisch, weil sie wahrscheinlich zu höheren NO_x-Emissionen führen. Die festen Rückstände einer vollständigen Verbrennung sollten in der Feuerung zurückbleiben. In der Praxis steigen aber die Staubgehalte mit den Aschegehalten der Brennstoffe an. Wenn man die Festbrennstoffe Heu, Stroh und Miscanthus anhand der genannten Kriterien diskutiert (s. Tab. IV.4.5.4-1), scheinen Miscanthus und Stroh, hinsichtlich der Inhaltsstoffe, die umweltfreundlichsten der betrachteten pflanzlichen Festbrennstoffe zu sein.

Nur gut getrocknetes Holz ist besser. Der Ascheanteil beträgt gerade noch 0,5 % und der Schwefelanteil liegt unter 0,1 % Schwefel (WÖRGETTER 1985). Der niedrige Ascheschmelzpunkt von Stroh kann zur Bildung harter Schlacken führen. Angesichts des noch niedrigeren Ascheerweichungspunktes von Heu gilt es noch zu klären, welche technischen Maßnahmen für eine zuverlässige und umweltfreundliche Verbrennung ergriffen werden müssen.

Wie die Angaben der Tabelle IV.4.5.4-1 zeigen, bestehen zwischen den einzelnen Stroharten bzw. Heuschnitten nennenswerte Unterschiede in den umwelt- und

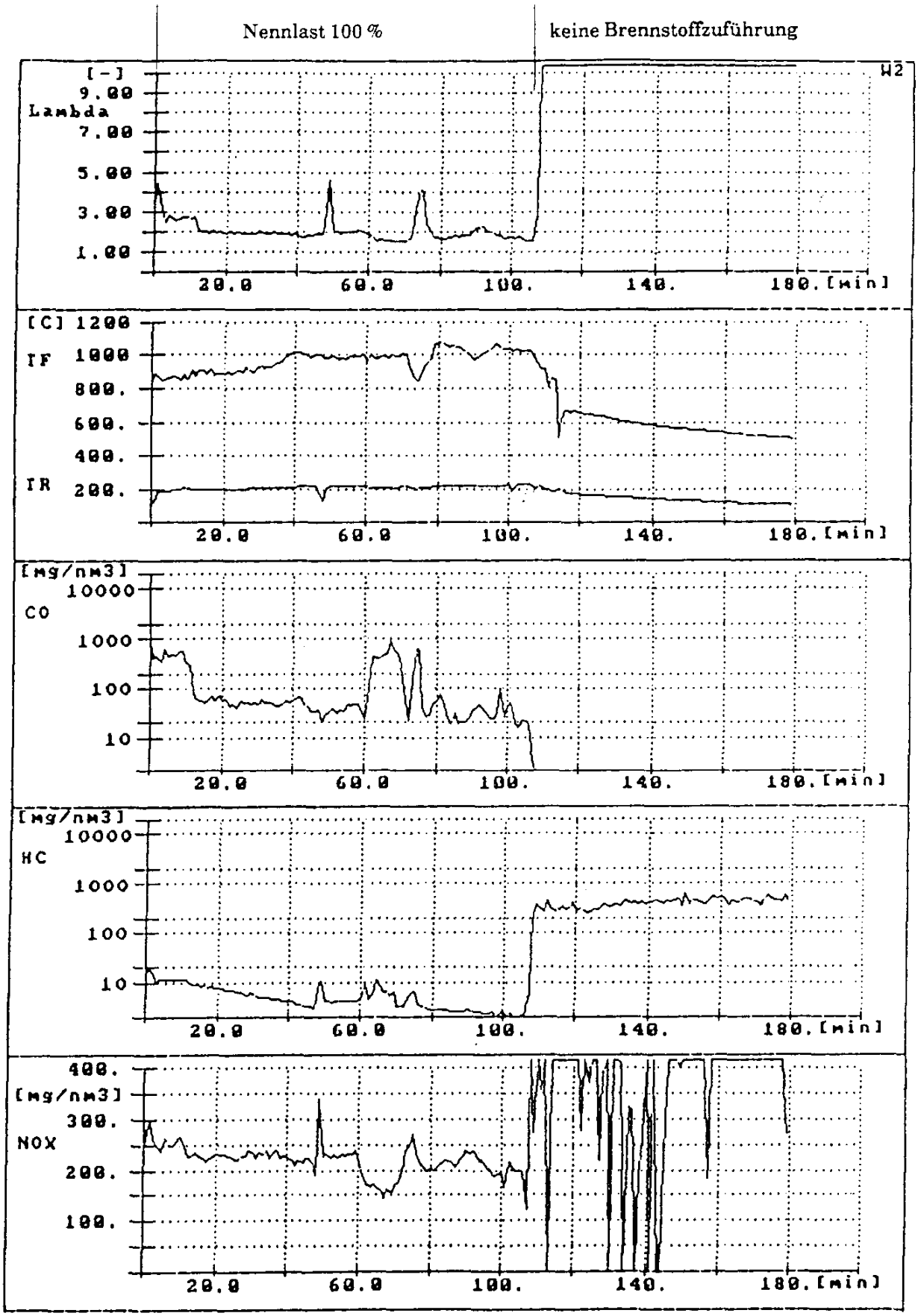
verbrennungstechnisch relevanten Inhaltsstoffen. Im Vergleich zu Getreidestroh hat z.B. Rapsstroh einen beinahe doppelt so hohen Stickstoffgehalt aber auch einen höheren Ascheschmelzpunkt.

Tabelle IV.4.5.4-1: Asche-, Schwefel- und Stickstoffgehalte verschiedener pflanzlicher Energieträger

Energieträger	Asche (in % der TS)	Schwefel (in % der TS)	Stickstoff (in % der TS)
Rapssaat	4,4	-	3,66
Weizenkorn	1,9	0,15	2,21
Rapsstroh	5,8	0,15	0,80
Getreidestroh	6,0	0,14	0,46
Miscanthus	5,0	0,10	0,50
Heu von Pflegevariante Grünland	7,0	0,46	1,20
Heu von eingesäter Ackerfläche	8,6	0,70	1,52

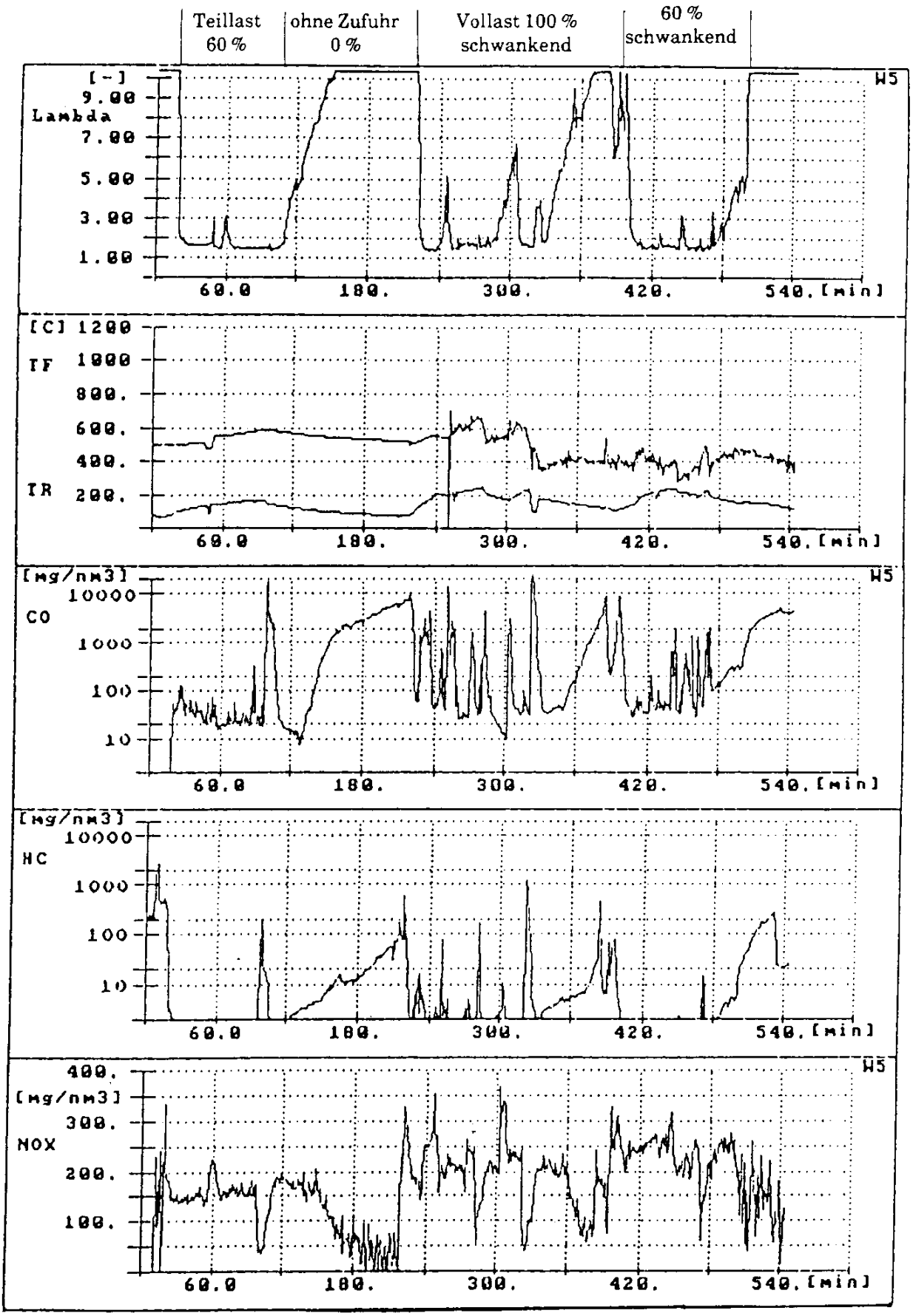
Der Wassergehalt der pflanzlichen Brennstoffe beeinflußt ebenfalls die Emissionswerte. Mit steigendem Wassergehalt verringert sich der Heizwert und damit tendenziell auch die Verbrennungstemperatur. Der Anteil unverbrannter Gase nimmt zu, der Anteil der thermisch gebildeten Stickoxide ab. Bei hohen Verbrennungstemperaturen werden Stickoxide aus dem Stickstoff der Verbrennungsluft gebildet. Im Falle der Holzverbrennung spielt diese thermische Bildung von Stickoxiden eine untergeordnete Rolle (NUSSBAUMER 1988).

Zwischen den verschiedenen Verwendungsanlagen und Feuerungssystemen bestehen große Unterschiede im Hinblick auf den Schadstoffauswurf. Kleinanlagen, die von der TA-Luft nicht erfaßt werden, weisen meist höhere durchschnittliche Emissionswerte auf. Zwischen den Minimal- und Maximalwerten gibt es eine relativ große Spanne, die mehr als zwei Größenordnungen überschreiten kann (vgl. Abb. IV.4.5.4-1 und Abb. IV.4.5.4-2). Von modernen großtechnischen Anlagen mit guten Wirkungsgraden kann dagegen eine schadstoffarme Verbrennung erwartet werden. In den letzten 20 Jahren ist der großtechnische Stand der Biomasseverbrennung im Gegensatz zur energetischen Nutzung fossiler Energieträger nur wenig weiterentwickelt worden. Dieses Ungleichgewicht gilt es durch verstärkte Forschungsanstrengungen zugunsten der Biomasse zu verändern.



Quelle: NUSSBAUMER 1988

Abbildung IV.4.5.4-1: **Ergebnisse von Rauchgasmessungen einer automatischen 400-kW-Unterschubfeuerung für Holzhackschnitzel unter Nennlast**



Quelle: NUSSBAUMER 1988

Abbildung IV.4.5.4-2: **Ergebnisse von Rauchgasmessungen einer automatischen 400-kW-Unterschubfeuerung für Holzhackschnitzel bei wechselnden Betriebsverhältnissen**

Im praktischen Einsatz verändert sich das Emissionsverhalten mit dem Verbrennungszyklus. Man unterscheidet zwischen den Phasen der Anfeuerung, der eigentlichen Verbrennung und des Ausbrandes. Nur während einer stationären Phase und bei betriebswarmer Feuerung verläuft die Verbrennung zufriedenstellend. Auch aufwendige Feuerungssysteme weisen in der Anfahr- und Ausbrandphase erhöhte Emissionswerte auf (NUSSBAUMER 1988). Hohe Anteile an Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen weisen auf eine unvollständige Verbrennung hin. Insbesondere kleine (< 1 MW) Holzfeuerungen können pro Kubikmeter Abgas und damit pro Energieeinheit größere Mengen an Kohlenwasserstoffen freisetzen (WÖRGETTER 1985).

Der Ablauf, und somit die Qualität der Verbrennung wird auch durch Form, Größe, Dichte bzw. Schüttdichte, Oberflächen/Volumen-Verhältnis und dem Wärmeleitverhalten des pflanzlichen Festbrennstoffes beeinflußt (WÖRGETTER 1991).

Die Verbrennung von Strohballen setzt z.B. mehr flüchtige Substanzen frei als die Verbrennung von Strohpellets. Die gleichmäßige Zufuhr eines homogenen Brennstoffes ist Voraussetzung für geringe Schadstoffemissionen. Dieses Ziel läßt sich gegenwärtig mit Pellets leichter erreichen als mit großen Ballen.

Bei der Verbrennung von Strohpellets in Kleinfeuerungsanlagen mit automatischer Beschickung werden im Vergleich zu den herkömmlichen Brennstoffen (Stein- bzw. Braunkohle) weniger SO_2 und weniger Schwermetalle freigesetzt. Dieser Entlastung kann allerdings eine Mehrbelastung an Stickoxiden, Staub, Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen gegenüberstehen.

Die Einhaltung der Grenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen ist im allgemeinen kaum erreichbar. Konstruktive Maßnahmen sind sehr kostenaufwendig und werden meist nicht durchgeführt. Besonders während des Anheizens und bei Lastwechsel ergeben sich erhöhte Emissionen an Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen, die bis zum 1000fachen der Emissionen beim warmen Ofen unter Vollast betragen können. Auch bei scheinbar stationären Zuständen können die Emissionswerte bis zu zwei Zehnerpotenzen schwanken.

Neben der Einsparung von fossilem CO_2 ist die Verringerung der SO_2-Emissionen bei bestimmten Arten des Ersatzes fossiler Energieträger von Bedeutung. Sowohl die Festbrennstoffe als auch Rapsöl und Ethanol sind nahezu bzw. absolut schwefelfrei. Aufgrund der Substitutionsverhältnisse ist die SO_2-Reduktion durch Strohbriketts, wenn man z.B. Braunkohlenbriketts mit 1,5 % Schwefel (Mitteldeutschland) in bestehenden Kleinfeuerungen ohne Entschwefelung ersetzt, weit größer als die von Rapsöl beim Ersatz von Dieselkraftstoff mit gegenwärtig rd. 0,18 % Schwefel. Unterstellt man SO_2-Vermeidungskosten von 3 DM/kg SO_2, wie

sie für große konventionelle Kohlekraftwerke veranschlagt werden, so kann dem Stroh ein SO_2-Bonus von 15 DM/MWh, dem Rapsöl dagegen nur von 90 Pf/MWh angerechnet werden (s. Tab. IV.4.5.4-2). Dieser Vorteil verringert sich auf rd. 15 Pf/MWh, wenn ab 1996 der Schwefelgehalt des Dieselkraftstoffs auf 0,04 % reduziert wird. Dabei wurde berücksichtigt, daß reines Rapsöl nicht ganz schwefelfrei ist, sondern rd. 100 ppm Schwefel (Rapsölmethylester (RME) rd. 50 ppm) enthält. Da schwefelarmes Rohöl nur in begrenzter Menge zur Verfügung steht, muß, um den niedrigen Schwefelgehalt einhalten zu können, in der Raffinerie eine Entschwefelung durchgeführt werden, die mit Mehrkosten verbunden ist. Der SO_2-Vorteil würde im Falle kohlebeschickter Einzelfeuerungen dazu führen, daß fast 50 % der notwendigen Subventionen allein durch die SO_2-Reduktion gerechtfertigt wären. In ähnlicher Weise könnten auch größere Anlagen, bei denen eine technische Rückhaltung des Schwefeldioxids nicht möglich oder finanzierbar ist, von der Substitution der Braunkohle durch Stroh profitieren (vgl. Tab. IV.4.5.4-2).

Tabelle IV.4.5.4-2: Monetarisierte SO_2-Vorteile der Verwendung von Strohbriketts und Rapsöl

	Strohbriketts	Rapsöl Gegenwart	Rapsöl ab 1996
Emissionsminderung (kg SO_2/MWh)	5 [1]	0,3 [2]	0,05 [2]
Vermeidungskosten (DM/kg SO_2)	3	3	3
Vermeidungskosten (DM/MWh)	15	0,9	0,15
Vermeidungskosten (DM/t bzw. Pf/ l)	60 DM/t Stroh	0,9 Pf/l Rapsöl	0,15 Pf/l Rapsöl

[1] gegenüber Braunkohlebriketts [2] gegenüber Dieselkraftstoff

4.6 Zusammenfassung der Umweltanalysen

Eine zusammenfassende Bewertung der umweltrelevanten Vor- und Nachteile von verschiedenen pflanzlichen Energieträgern erfordert einen synoptischen Überblick über die energetischen Prozeßketten. In den Tabellen IV.4.6-1 und IV.4.6-2 sind die wichtigsten Aussagen aus den Bereichen Anbau, Transport, Verarbeitung und Verwendung in verkürzter Form dargestellt. Bei den aufgeführten Produktlinien sind sowohl positive als auch negative Umweltauswirkungen vermerkt. Um zu einer Gesamtbewertung zu kommen, müßte man die verschiedenen Risiken der Klima-, Boden-, Luft- und Wasserbelastung miteinander verrechnen. Dieses "Gegeneinanderabwiegen" ist ein Prozeß, der nie frei von subjektiven

Werthaltungen sein wird. Dessen ungeachtet können Einordnungshilfen nützlich sein, selbst wenn sie nicht zu 100 % objektiv sind.

In der ökologischen Gesamtbewertung wird versucht, die wichtigsten Vor- und Nachteile der Prozeßketten vergleichend zu betrachten. Ausgehend vom Anbau bzw. der Bereitstellung der nachwachsenden Energieträger zeichnen sich deutliche Unterschiede zwischen den Festbrennstoffen (Miscanthus, Heu, Stroh, Holz) einerseits sowie den flüssigen Energieträgern (Rapsöl, RME, Ethanol) andererseits ab. Die Gefährdung von Boden, Wasser und Luft kann bei den Festbrennstoffen als gering bis sehr gering eingestuft werden. Die ökologischen Risiken der Produktion von Ethanol aus Zuckerrüben sind dagegen auch unter extensiven Produktionsbedingungen im Durchschnitt eher groß.

Winterweizen und Winterraps können sowohl direkt als Festbrennstoffe sowie nach einem Verarbeitungsschritt auch als flüssige Energieträger eingesetzt werden. Ihr Anbau bringt geringe Bodenbelastungen, aber relativ hohe Stickstoff- und Pflanzenschutzmittel (PSM)-Verlagerungsrisiken mit sich. Ihr ökologisches Profil ist deshalb ungünstiger als das der oben genannten Festbrennstoffe, aber besser als das der Herstellung von Ethanol aus Zuckerrüben. Dies hängt mit den Risiken der Bodenerosion, der Bodenverdichtung sowie der Verlagerung von PSM und Stickstoff in tiefere Bodenschichten zusammen. Die Herstellung von Ethanol aus Weizen ist wegen der im Vergleich zum Energieertrag nicht vernachlässigbaren N_2O-Emissionen, des ebenfalls relativ großen Nitrat-Verlagerungsrisikos und hauptsächlich wegen der hohen Anforderungen, die die umweltverträgliche Bewältigung der Dünnschlempe verursacht, ökologisch ebenfalls nicht unproblematisch.

Festbrennstoffe mit geringer Dichte wie Stroh-, Heu- und Miscanthus-Ballen können bei ihrem Transport zu größeren Verwendungsanlagen zu spürbaren Erhöhungen der LKW-Fahrten in der Nähe der Verwendungsanlagen führen. Begleitende Aktionen zur Entlastung der Probleme des Straßenverkehrs durch die Zwischenschaltung von Wasser- oder Schienentransporten werden in der Regel möglich sein, aber Zusatzkosten in einer Größenordnung von rd. 10 bis 30 DM/t erfordern. Die Lärm- und Staubentwicklungen müssen durch technische Maßnahmen in umweltverträglichen Dimensionen gehalten werden. Auch im Falle von Ethanol sind große Rohstoffmengen zu bewegen. Dank seiner hohen Energiedichte spielt beim Energieraps die Belastung der Infrastrukturen und der Umwelt durch Transportvorgänge eine untergeordnete Rolle.

Kleine und mittlere Feuerungsanlagen eignen sich angesichts der hohen Emissionswerte beim gegenwärtigen Stand der Technik weniger für den Einsatz von Festbrennstoffen. In größeren, technisch gut ausgestatteten Anlagen können die

Tabelle IV.4.6-1: **Umweltvorteile und -nachteile von der Produktion bis zur Verwendung fester nachwachsender Energieträger**

Feste Energieträger	Holzhackschnitzel		Stroh	Heu	Miscanthus
	Schnellwuchsholz	Waldrestholz			
Anbau *Umweltvorteile*	Geringe Bodenerosionsgefahr Geringe Bodenverdichtungsgefahr Auflockerung waldarmer Gebiete	Mögliche Verringerung des Krankheits- und Schädlingsdrucks	Keine zusätzlichen Produktionsmittel notwendig	Sehr geringe Bodenerosionsgefahr Sehr geringe Bodenverdichtungsgefahr Geringe Gefahr der Stickstoffverlagerung Sehr geringe Gefahr der PSM-Verlagerung	Geringe Bodenerosionsgefahr Geringe Gefahr der Stickstoffverlagerung Sehr geringe Gefahr der PSM-Verlagerung
Umweltnachteile	Im Vergleich zum konventionellen Wald höheres Düngungs- und PSM-Niveau Monokulturplantagen	Nährstoffentzug Verringerung des Humusvorrates	Verringerung des Humusvorrates		Mittlere Bodenverdichtungsgefahr Monokulturplantagen Möglicherweise Wasserbedarf zur Beregnung
Be-/Verarbeitung *Umweltvorteile*					
Umweltnachteile	Lärmentwicklung Erhöhtes Verkehrsaufkommen	Lärmentwicklung Erhöhtes Verkehrsaufkommen	Lärmentwicklung Staubemissionen Erhöhtes Verkehrsaufkommen	Lärmentwicklung Staubemissionen Gefahr der Selbstentzündung Erhöhtes Verkehrsaufkommen	Lärmentwicklung Staubemissionen Erhöhtes Verkehrsaufkommen
Verwendung *Umweltvorteile*	Geringere SO_2-Emissionen im Vergleich zu Heizöl EL und Kohle Deutliche CO_2-Minderung	Geringere SO_2-Emissionen im Vergleich zu Heizöl EL und Kohle Deutliche CO_2-Minderung	Geringere SO_2-Emissionen im Vergleich zu Heizöl EL und Kohle Deutliche CO_2-Minderung	Geringere SO_2-Emissionen im Vergleich zu Heizöl EL und Kohle Deutliche CO_2-Minderung	Geringere SO_2-Emissionen im Vergleich zu Heizöl EL und Kohle Deutliche CO_2-Minderung
Umweltnachteile	Höhere CO-, HC-, NO_x- und Staubemissionen im Vergleich zu Heizöl EL bei kleinen Feuerungsanlagen Ruß- und Teeremissionen insbesondere bei unvollständiger Verbrennung	Höhere CO-, HC-, NO_x- und Staubemissionen im Vergleich zu Heizöl EL bei kleinen Feuerungsanlagen Ruß- und Teeremissionen insbesondere bei unvollständiger Verbrennung	Höhere CO-, HC- und Rußemissionen im Vergleich zu Heizöl EL bei kleinen Feuerungsanlagen Schlackenprobleme	Höhere CO-, HC- und Rußemissionen im Vergleich zu Heizöl EL bei kleinen Feuerungsanlagen Ascheanfall doppelt so hoch wie bei Miscanthus	CO-, HC-, PAH-Emissionen, jedoch geringer als bei Stroh Staub- und Rußemissionen Ascheanfall geringer als bei Stroh und Heu

Tabelle IV.4.6-2: **Umweltvorteile und -nachteile von der Produktion bis zur Verwendung flüssiger nachwachsender Energieträger**

Flüssige Energieträger	Rapsölraffinat	Rapsölmethylester	Ethanol	
			Zuckerrüben	Winterweizen
Anbau *Umweltvorteile*	Geringe Bodenerosionsgefahr Geringe Bodenverdichtungsgefahr	Geringe Bodenerosionsgefahr Geringe Bodenverdichtungsgefahr		Geringe Bodenerosionsgefahr Geringe Bodenverdichtungsgefahr
Umweltnachteile	Großes Stickstoffverlagerungsrisiko Großes PSM-Verlagerungsrisiko	Großes Stickstoffverlagerungsrisiko Großes PSM-Verlagerungsrisiko	Große Bodenerosionsgefahr Sehr große Bodenverdichtungsgefahr Großes Stickstoffverlagerungsrisiko Großes PSM-Verlagerungsrisiko	Großes Stickstoffverlagerungsrisiko Großes PSM-Verlagerungsrisiko
Be-/Verarbeitung *Umweltvorteile*	Nebenprodukt Rapsextraktionsschrot als Futtermittel einsetzbar	Nebenprodukt Rapsextraktionsschrot als Futtermittel einsetzbar	Zuckerrübenschnitzel als Futtermittel einsetzbar	
Umweltnachteile	Brennbarkeit und Explosionsfähigkeit des Extraktionsmittels Hexan Freisetzung von Hexan Entsorgung von Bleicherde	Brennbarkeit und Explosionsfähigkeit des Extraktionsmittels Hexan Freisetzung von Hexan	Schlechte Lagerfähigkeit des Ernteguts Anfall großer Mengen an Ackererde Anfall von großen Mengen an Schlempe Gewässerbelastung durch hohe CSB- und BSB-Werte	Anfall von großen Mengen an Schlempe Gewässerbelastung durch Abwässer mit hohen CSB- und BSB-Werten
Verwendung als Brennstoff	Geringere NO_x- und C_nH_m-Emissionen vgl. mit Heizöl EL Höhere CO-Emissionen			
Verwendung als Kraftstoff *Umweltvorteile im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen*	Fast keine SO_2-Emissionen Geringere Rußemissionen (bei Zumischung) Biologisch abbaubar NO_x-Werte nicht eindeutig Mäßige CO_2-Minderung	Fast keine SO_2-Emissionen Geringere Partikelemissionen Biologisch abbaubar Etwas geringere CO- und HC-Werte PAH tendenziell geringer Mäßige CO_2-Minderung	E 5 (Serie): nur geringe Emissionsverbesserungen, Katalysator weiterhin erforderl. E 100 (Spezial): erhebliche Verringerung der CO-, HC-, NO_x-Emissionen in Ottomotoren, trotzdem Katalysator notwendig Kein SO_2, sehr wenig Partikel, deutlich weniger NO_x in DI-Motoren Mäßige CO_2-Minderung	E 5 (Serie): nur geringe Emissionsverbesserungen, Katalysator weiterhin erforderl. E 100 (Spezial): erhebliche Verringerung der CO-, HC-, NO_x-Emissionen in Ottomotoren, trotzdem Katalysator notwendig Kein SO_2, sehr wenig Partikel, deutlich weniger NO_x in DI-Motoren Mäßige CO_2-Minderung
Umweltnachteile im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen	Stechender Abgasgeruch Höhere CO- und HC-Werte, aber noch unterhalb bestehender Grenzwerte Höhere Aldehyd-, Acrolein-, Partikel- und PAH-Werte bei DI- und teilweise bei IDI-Motoren	Spezifischer Abgasgeruch Höhere NO_x-, Aldehyd-, Keton- und Aromatenemissionen	Höhere (E 5) bis erheblich höhere (E 100) Aldehydemissionen, Abhilfe durch Katalysator	Höhere (E 5) bis erheblich höhere (E 100) Aldehydemissionen, Abhilfe durch Katalysator

Grenzwerte der TA-Luft bzw. der Großfeuerungsanlagenverordnung - soweit erkennbar - eingehalten und unterschritten werden. Der Einsatz von Rapsöl oder RME bzw. die bis zu 5%ige Zumischung von Ethanol bringt wenig eindeutig erkennbare Vorteile bei den Kraftfahrzeugemissionen.

Die ökologische Bewertung bei Rapsölraffinat und Rapsölmethylester zur Verwendung als Kraftstoff ist wegen des bisher unzureichenden Kenntnisstandes als vorläufig einzustufen, obwohl verschiedene Untersuchungen bereits durchgeführt wurden. Analoges gilt für die Verwendung von Rapsölraffinat als Brennstoff.

Die geringen Schwefelgehalte der pflanzlichen Energieträger können in Spezialfällen zu einer nennenswerten Umweltentlastung führen. Ein Beispiel hierfür ist die Substitution schwefelhaltiger Braunkohlenbriketts in Anlagen ohne Rauchgasreinigung, die in den neuen Bundesländern nicht alle von heute auf morgen ersetzt werden können.

Mit Nitrat oder PSM-Rückständen verunreinigtes Wasser kann gereinigt, Bodenverdichtungen können gelockert und klassische Luftschadstoffe können durch technische Rückhaltemaßnahmen abgefangen werden. Ein Eingriff ins Weltklima und die damit einhergehenden Veränderungen der Flora, der Fauna und der anthropogenen Lebensgrundlagen sind dagegen irreparabel. Die Fähigkeit der pflanzlichen Energieträger, fossile Energieträger zu substituieren und damit den weiteren Anstieg der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre abzubremsen, erscheint aus dieser Sicht als das wichtigste Umweltmerkmal. Dieser Vorteil ist bei den Festbrennstoffen mit ihrem hohen CO_2-Einsparungspotential eindeutig stärker ausgeprägt als bei den flüssigen Energieträgern. Auch die Verrechnung der N_2O-Emissionen vom Anbau bis zur Verwendung ändert nichts an dieser Aussage.

Zu der gleichen bewertenden Einschätzung gelangt man bei Vergleichen der CO_2-Minderungskosten bei unterschiedlichen Handlungsoptionen bzw. des Entlastungsnutzens durch NE einerseits mit zurechenbaren Vermeidungskosten z.B. bei der stofflichen Belastung des Grundwassers, bei der SO_2-Emission oder bei zusätzlichen LKW-Fahrten andererseits.

Als ein nicht abgeklärter Punkt bei der ökologischen Gesamtbewertung für feste NE müssen die in ihrer Höhe noch unbekannten N_2O-Emissionen bei Wirbelschichtfeuerungen angesprochen werden. Eine entscheidende Änderung der Klimabilanz ist von dieser Seite jedoch nicht zu erwarten.

Im Bereich der kleineren Verbrennungsanlagen (< 1 MW) für feste NE stehen den klimarelevanten Vorteilen allerdings gegenwärtig Risiken der Emissionen

von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Ruß gegenüber, die sich insbesondere bei Lastwechseln der Feuerung bemerkbar machen und die sonst positive Gesamtbewertung beeinträchtigen.

Die Substitution von fossilen Energieträgern durch pflanzliche Festbrennstoffe bringt nicht nur eine beachtliche CO_2-Einsparung, sondern schont darüber hinaus das Grundwasser vor dem Eintrag unerwünschter Produktionsmittelrückstände. Berücksichtigt man die möglichen Ansätze zur Verringerung der Umweltbelastungen im Bereich der Konditionierung und des Transports, ergibt sich ein im Vergleich zu den flüssigen Energieträgern ökologisch günstigeres Profil für die Festbrennstoffe.

Innerhalb der Gruppe der flüssigen Energieträger ist die Rapsöl- bzw. RME-Produktlinie wegen der geringeren Umweltbelastungen im Anbau und in der Verarbeitung als umweltverträglicher zu beurteilen als die Ethanollinie. Normalerweise ist der Vorteil der guten biologischen Abbaubarkeit von flüssigen Energieträgern aus Pflanzen nicht entscheidend für die Bewertung. Anders kann die Situation in Arealen liegen, die gegenüber mineralölstämmigen Kraftstoffen ökologisch besonders empfindlich sind. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, z.B. auf empfindlichen Binnengewässern nur biologisch gut abbaubare Kraftstoffe für die Verwendung in Schiffsmotoren zuzulassen.

Im Zusammenhang mit der Betonung der Merkmale zur Klimaverträglichkeit der Energieträger aus Pflanzen, ist auf folgenden Sachverhalt hinzuweisen: Dieser Vorteil ist der entscheidende Punkt bei allen regenerativen Energieträgern. Bei allen regenerativen Energieträgern ist mit der Netto-Minderung der Risiken der Klimaänderungen zugleich ein langfristig bedeutsamer Beitrag zur Schonung der begrenzten fossilen Energievorräte der Erde und zur Minderung der nationalen und kontinentalen Abhängigkeit von diesen verknüpft.

5. Mittel- und längerfristige Marktperspektiven

Die kurz-, mittel- und langfristigen Marktperspektiven für die energetische Nutzung von Pflanzen werden je nach Art der Energieträger (fest, flüssig, gasförmig) und je nach der Zeitperspektive entweder hauptsächlich durch Grenzen bei den plausiblen Angebotsmengen aus der Bundesrepublik Deutschland, aus der EG oder aus Drittländern eingeschränkt, oder sie werden eingeschränkt durch Mengengrenzen der Vermarktbarkeit im Zeitablauf, also durch nachfrageseitige Restriktionen.

5.1 Nachfrageseitige Restriktionen

5.1.1 Nachfragegrenzen bei der Verwendung von Festbrennstoffen aus Biomasse

Wenn die CO_2-Vorteile der nachwachsenden Energieträger nicht in wachsendem Maße ökonomisch honoriert werden, könnte die energetische Nutzung fester Energieträger bis zum Jahr 2005 zwar um 2 bis 4 Mio t/a anwachsen, aufkommensseitig würde dies jedoch nur Industrierestholz, Altholz und Stroh betreffen.

Die nachfolgenden Abschätzungen gelten für ein Politikszenario, das sich davon deutlich unterscheidet und in dem das CO_2-Minderungsziel der Bundesregierung bis 2005 konsequent verfolgt wird. In ein solches Szenario passen u.a. Fördermaßnahmen zur beschleunigten Ausweitung der Kraft-Wärme-Kopplung und zum Bau von Fernwärmeleitungen. Desweiteren paßt in ein solches Szenario, daß eine national und europäisch organisierte ökonomische Honorierung der CO_2-Vorteile der festen Energieträger aus Pflanzen erfolgt. Die in diesem Fall - der aus der Sicht der Bearbeiter der Studie erstrebenswert ist - abschätzbaren Grenzen der Vermarktbarkeit in 10 bis 15 Jahren werden in den folgenden Teilabschnitten diskutiert und mit Zahlenspannen umrissen.

Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen

Unter den oben skizzierten Bedingungen ist der größte Teil des Verwendungspotentials für Anlagen zu veranschlagen, in denen Biomasse als Energieträger für gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt wird. Bis zum Jahr 2005 kann ein Verwendungspotential von 10 bis 24 Mio t/a Festbrennstoffen unterstellt werden. Zu dieser Spanne gelangt man auf der Basis der in Tabelle IV.5.1-1 aufgeführten Werte.

Tabelle IV.5.1-1: **Szenario für die zeitliche Entwicklung der Nachfrage nach festen Energieträgern für Heizkraftwerke und industrielle Prozeßdampferzeugung mit KWK bis 2005**

	Zeitraum			
	1990 – 1995	1995 – 2000	2000 – 2005	1990 – 2005
Ausweitung der Stromerzeugung mit KWK innerhalb des Zeitraums (TWh_e/a) 1)	15	20	25 - 55	60 - 90 1)
Ersatzbedarf zur Stromerzeugung mit KWK (TWh_e/a) 1)	6 - 10	6 - 10	9	25
Zusammen (TWh_e/a)	23	28	34 - 64	85 - 115
davon Biomasse (%) 1)	3	10 - 15	25 - 35	14 - 24
Biomasse (TWh_e/a)	0,7	3 - 4	8 - 22	12 - 27
Erforderlicher zuwachsender Einsatz von Biomasse 3) bis zum Ende des Zeitraums (Mio t/a)	1	2 - 4	7 - 19	10 - 24

1) Zeitverlauf bis 2005 nach eigenen Einschätzungen der Machbarkeit.

2) Der Mittelwert dieser Spanne (75 TWh_e/a) für den Gesamtzuwachs der Stromerzeugung mit KWK für HKW, BHKW und industrielle KWK in der Bundesrepublik Deutschland von 1990 bis 2005 stützt sich für die ABL auf Veranschlagungen der Klima-Enquête-Kommission (Szenario "Energiepolitik") und für die NBL auf den Mittelwert einer von BISCHOF (1992) angegebenen Spanne.

3) Heizwert 4 MWh/t bei 86 % Trockensubstanz. Bei der Umrechnung von TWh_e/a in den Heizwert des dafür erforderlichen Inputs wurden 0,3 kWh_e je kWh Input unterstellt.

Heizwerke

Heizwerke und Blockheizwerke, die für Biomasse ausgelegt werden, kommen am ehesten für vergleichsweise kleine Anlagen (1 bis 5 MW Feuerungsleistung) in Betracht, für die sich der Aufwand zur Stromauskopplung mit einer Dampfturbine nicht lohnt. Es hat sich gezeigt (s. Kap. IV.3), daß die ökonomischen Perspektiven für Heizwerke mit Biomasse in der Regel ungünstiger sind als für Heizkraftwerke (HKW). Deshalb werden für den Bereich der Heizwerke mittelfristig nur ca. 10 % des Marktpotentials für HKW, d.h. rd. 1 bis 2 Mio t/a Biomasse veranschlagt.

Dampferzeuger ohne KWK

Nach KAIER (1989) waren 1989 in der Bundesrepublik Deutschland (Alte Bundesländer) rd. 1100 holzbefeuerte Kessel im Größenbereich zwischen 1 und 100 MW Feuerungsleistung installiert, darunter 950 Anlagen (Kessel) mit Leistungen zwischen 1 und 5 MW, die vermutlich ganz überwiegend ohne KWK betrieben werden. Eine Ausweitung des Bestandes an Biomassefeuerungen um 500 bis 1500 Anlagen erscheint bei günstiger Preisbildung für Energieträger aus Pflanzen bis zum Jahr 2005 als erreichbar. Bei einer durchschnittlichen Feuerungsleistung von 3 MW und einer Auslastung von 2 500 h/a würde eine solche Entwicklung zu einem mittelfristigen Mehrbedarf an Biomasse von 1 bis 3 Mio t/a führen.

Vorhandene größere Kohleanlagen

Als weiteres mittelfristig bedeutsames Verwendungspotential ist der Ersatz von stückiger Steinkohle, vorzugsweise von stückiger Braunkohle und von Braunkohlenbriketts in bis zum Jahr 2005 noch vorhandenen Kohleanlagen, zu sehen. Der teilweise Ersatz der Kohle durch Zumischung von Biobrennstoffen oder durch Ersatz während bestimmter Zeitperioden kommt dabei ebenso in Betracht wie der dauerhafte Ersatz von Kohle bis zum Ende der Lebensdauer der Anlagen.

Für das Jahr 2005 erscheint uns eine Zumischung von 1 bis 3 Mio t/a Biobrennstoffen zu Kohle in größeren Kohleanlagen möglich. Während in den alten Bundesländern eher mit Steinkohle befeuerte Anlagen > 10 MW in Betracht kommen, sind in den neuen Bundesländern bereits Anlagen > 1 MW interessant, die mit Braunkohle beschickt werden.

Vorhandene Einzelfeuerungen

1989 wurden 5 Mio Wohnungen in Ostdeutschland mit Kohlefeuerung beheizt, davon 0,6 Mio in Kombination mit einer Gas- oder Stromheizung. Zur Befeuerung der Kohleöfen wurden 10,5 Mio t SKE, davon überwiegend in Form von Braunkohlenbriketts (9,6 Mio t SKE) eingesetzt. Wenn das Tempo des Ersatzes der Kohlefeuerungen durch Heizöl, Erdgas, Fernwärme und Strom gemäß den Einschätzungen von ESSO (1992) verläuft, werden im Jahr 2005 noch ca. 2 Mio t SKE an Festbrennstoffen für die verbleibenden Kohleöfen benötigt. In Westdeutschland dürfte der Kohleeinsatz für die direkte Raumheizung auf ca. 1 Mio t SKE/a bis zum Jahr 2005 absinken.

Wenn demonstriert werden kann, daß den Vorteilen der CO_2- und SO_2-Minderung beim teilweisen oder vollständigen Ersatz von Kohlenbriketts durch Bri-

ketts oder Pellets aus Biomasse keine wesentlichen Emissionsnachteile bei anderen Schadstoffen gegenüberstehen, ist die Substitution von 1 bis 2 Mio t SKE/a der insgesamt eingesetzten 3 Mio t SKE pro Jahr für die Bundesrepublik Deutschland vorstellbar. Dafür wären 2 bis 4 Mio t/a Festbrennstoffe erforderlich.

Im Gegensatz zu den (bisher) diskutierten Einsatzbereichen mit langfristig zunehmenden Einsatzpotentialen handelt es sich bei der Substitution von Kohle in vorhandenen Kohleanlagen und Einzelfeuerungen um Verwendungsmärkte mit längerfristig eher abnehmenden Nachfragemengen. Kurz- und mittelfristig kann dieser Nachfragebereich jedoch unter Umweltgesichtspunkten sehr interessant werden.

Zusammenfassung der mittelfristigen Verwendungspotentiale für Festbrennstoffe

Ausweitung der KWK bei HKWs u. industr. Dampferzeugern	8 bis 19 Mio t/a
Ersatz für vorhandene Anlagen mit KWK	2 bis 5 Mio t/a
Einsatz in neuen Heizwerken u. Blockheizwerken	1 bis 2 Mio t/a
Ersatzanlagen für industr. Dampferzeuger ohne KWK	1 bis 3 Mio t/a
Zumischung in vorhandenen Steinkohlenanlagen (> 10 MW)	1 bis 3 Mio t/a
Ersatz von Braunkohlenbriketts in vorhand. Einzelfeuerungen	2 bis 4 Mio t/a
SUMME	**15 bis 36 Mio t/a**

Bezogen auf den Heizwert entspricht dies einer Spanne von 8 bis 18 Mio t Steinkohleeinheiten pro Jahr.

Mittelgroße und kleinere Heizkraftwerke sowie industrielle Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen stellen den größten Teil des mittelfristigen Marktpotentials dar, Dampferzeuger und Heizwerke sowie Zumischungen zu Kohlefeuerungen dagegen den kleineren Teil.

Längerfristig, d.h. nach 2005, sind keine gravierenden Grenzen für die sinnvolle Verwendung der Aufkommenspotentiale im Energiemarkt zu erkennen, wobei dann auch Verwendungsmöglichkeiten wie Methanol- oder Wasserstofferzeugung durch Vergasung fester NE in Betracht kommen.

5.1.2 Nachfragegrenzen bei der Verwendung flüssiger Energieträger aus Pflanzen

Im Falle der energetischen Verwendung von Ethanol kommt aus technischen und ökonomischen Gründen am ehesten eine Zumischung von maximal 5 % zum Benzin in Betracht. Für die Bundesrepublik Deutschland würde das die Verwendung von bis zu 1,6 Mio t/a Ethanol bedeuten.

Unter gegenwärtigen Bedingungen würde für die Herstellung von 1,6 Mio t/a Ethanol aus Zuckerrüben eine Anbaufläche von etwa 0,35 Mio ha erforderlich sein, im Falle der Herstellung aus Weizen wären es etwa 0,85 Mio ha.

Im Falle der Pflanzenöle könnten bei Verwendung als Raffinerierohstoff oder bei den RME-Linien innerhalb weniger Jahre viel größere Mengen vermarktet werden, als von den im Kapitel IV.5.2 beschriebenen Angebotsgrenzen her in Frage kommen. Diese Aussage ergibt sich angesichts des gegenwärtigen (1990) Verbrauchs von 23 Mio t Dieselkraftstoff und 32 Mio t HEL, von denen mehr als 10 % ohne besondere Schwierigkeiten durch Pflanzenöle substituierbar sind.

5.2 Angebotsseitige Restriktionen

5.2.1 Flüssige Energieträger

Bei den flüssigen Energieträgern Rapsöl oder Ethanol sind es aufgrund des großen Marktpotentials nicht die verwendungsseitigen Restriktionen, sondern vielmehr Fruchtfolge- und Flächenrestriktionen, die den Anbau der entsprechenden Rohstoffträger wie z.B. Raps, Sonnenblumen, Weizen, Körnermais, Kartoffeln oder Zuckerrüben beschränken.

Geht man beispielsweise bei W-Raps von einer Fruchtfolgerestriktion von 25 % (in Prozent der Ackerfläche) aus, dann könnten maximal insgesamt bis zu rd. 3 Mio ha angebaut werden. 1992 lag die Rapsanbaufläche bei rd. 1 Mio ha, folglich könnten maximal bis zu 2 Mio ha Raps für den Nonfood-Bereich genutzt werden. Dies entspricht rd. 2,4 Mio t/a Rapsöl. Bedingt durch die betriebliche Situation sind jedoch viele landwirtschaftliche Betriebe (z.B. Futterbau-, Veredlungsbetriebe, usw.) nicht in der Lage, in dem angeführten Umfang Raps auf die Fläche zu bringen.

Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheitsverhältnisse sind für die Bundesrepublik Deutschland eher 1 bis 2 Mio ha als potentielle "Nonfood-Rapsfläche" zu

diskutieren. Regional kann es hierbei sicherlich zu einem Anstoßen an bzw. Überschreiten von Fruchtfolgerestriktionen kommen.

In ähnlicher Weise treffen diese Ausführungen auch auf die bereits genannten Rohstoffträger für die Ethanolproduktion zu.

In diesem Zusammenhang gilt anzumerken, daß diese Rohstofflinien auch für die chemisch-technische Verwendung in Frage kommen, allerdings mit einer deutlich geringeren Mengenbedeutung. Zwischen dem energetischen und dem chemisch-technischen Verwendungsbereich kann sich somit eine Konkurrenzsituation ergeben, die bei der Diskussion der möglicherweise bestehenden angebotsseitigen Restriktionen von nachwachsenden Energieträgern nicht aus den Augen verloren werden darf.

5.2.2 Feste Energieträger

Nebenprodukte und Abfallstoffe

Ein nicht zu unterschätzendes Angebotspotential bei nachwachsenden Energieträgern liegt im Bereich der festen Nebenprodukte und Abfallstoffe aus Land- und Forstwirtschaft und nachgelagerten Verarbeitungszweigen.

All diesen Rohstoffen ist gemeinsam, daß es bei ihrer Nutzung nicht zu einer zusätzlichen Flächenbindung und somit Flächenkonkurrenz kommt.

Mengenmäßig sind in erster Linie Stroh und Waldrestholz relevant. Die Verwendung von Pflegegut (anfallende Biomasse bei der Pflege im Landschaftsbau, Naturschutz oder Verkehrswegeschutz) spielt eine eher untergeordnete Rolle.

a) Stroh

Eigene Abschätzungen zum Strohaufkommen, das eventuell zu nichtlandwirtschaftlichen Zwecken genutzt werden könnte, sind in Tabelle IV.5.2-1 dargestellt.

Ausgehend vom veranschlagten Strohaufkommen und dessen teilweiser Verwendung in der Viehhaltung wurde abgeschätzt, welcher Teil der verbleibenden Strohmenge potentiell für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung in Frage kommt.

Bei der Abschätzung der Strohmenge, die zur Erhaltung einer ausgeglichenen Humusbilanz auf dem Feld zurückbleiben sollte, wurde unterstellt, daß (bei 30 % Rotteverluste auf der Miete) rd. 70 % der Strohmenge, die als Einstreu oder Futter in der Viehhaltung verwendet wird, wieder auf das Feld zurückgelangen (vgl.

Tabelle IV.5.2-1: **Abschätzungen zum Strohaufkommen, zur Strohverwendung in der Viehhaltung und zur disponiblen Strohmenge, die für außerlandwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht (Basis: 1989)**

	Alte Bundesländer (A) (Mio t/a)	Neue Bundesländer (B) (Mio t/a)	Summe (A + B) (Mio t/a)
1. Strohaufkommen	rd. 29	rd. 14	**rd. 43**
2. Strohverwendung in der Viehhaltung:			
– Verfütterung [1]	rd. 2		
– Einstreu für: - Geflügel, Schafe, Pferde	rd. 2		
- Rindvieh, Schweine [2]	rd. 5 – 8		
Summe (in % des Strohanfalls)	9 – 12 (rd. 30 – 40 %)	3 – 4 [3] (rd. 20 – 30 %)	**12 – 16**
3. Strohmenge, auf dem Feld verbleibend	17 – 20	10 – 11	**27 – 31**
4. Disponible Strohmenge für außerlandwirtschaftliche Nutzung (in % des Aufkommens) [4]	8 – 14 (rd. 30 – 50 %)	5 – 7 (rd. 35 – 50 %)	**13 – 21** (rd. 30 – 50 %)

1) BML 1991

2) Unterstellter Anteil der Güllewirtschaft: 70 bis 80 %; unterstellte Einstreumenge: rd. 6 kg Stroh pro Tag und GVE (Großvieheinheit)

3) Wegen der starken Konzentration der Tierhaltung in Großbeständen wurde näherungsweise von einem Strohbedarf für die Tierhaltung von rund 20 bis 30 % ausgegangen.

4) Annahmen: Je nach Fruchtfolge und Anbau von Zwischenfrüchten können 50 bis 70 % entnommen werden, ohne nachhaltige Beeinträchtigung der Humusbilanz; wenn 70 % der Strohmenge in der Einstreu wieder als Festmist auf das Feld zurückgelangt, "verbleiben" somit rd. 40 bis 60 % des Strohaufkommens auf dem Feld.

RUHR-STICKSTOFF AG 1988). Werden unter diesen getroffenen Annahmen 50 bis 70 % der derzeit auf dem Feld verbleibenden, nicht in der Viehhaltung genutzten Strohmenge jetzt zusätzlich zum Zwecke der nichtlandwirtschaftlichen Nutzung abgefahren (13 bis 21 Mio t/a), so verbleiben je nach Annahme (vgl. Tab. IV.5.2-1) rd. 40 bis 60 % des Strohaufkommens auf dem Feld. Mit dem oberen Bereich dieser Spanne dürfte somit kaum die Gefahr einer Humusverarmung des Standorts verbunden sein. Außerdem ist hierbei zu berücksichtigen, daß der Landwirt zusätzlich die Möglichkeit hat, durch Gründüngung über Zwischenfrüchte (z.B. Senf, Phacelia) eine Humusersatzwirtschaft zu betreiben.

Unter den hier angeführten Annahmen und Fallunterscheidungen könnten somit auf dem Gebiet der alten Bundesländer 8 bis 14 Mio t, auf dem Gebiet der neuen Bundesländer zwischen 5 und 7 Mio t, für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt somit 13 bis 21 Mio t Stroh pro Jahr potentiell außerlandwirtschaftlich genutzt werden.

Bedingt durch regionale Besonderheiten, wie z.B. hoher Viehbesatz, kann der prozentuale Anteil einer außerlandwirtschaftlichen Nutzung von Getreidestroh, gemessen am gesamten Strohaufkommen, sehr differieren.

Abschätzungen mit dem LP-Modell RAUMIS (HENRICHSMEYER et al. 1992, Materialband Nr. 23) zeigen, daß bei Erzeugerpreisen für Stroh von 80 bis 100 DM/t in den alten Bundesländern rd. 9 bis 18 Mio t Stroh pro Jahr bereitstünden, ohne hierbei in Konkurrenz mit der Verwendung als Einstreu oder Futtermittel zu gelangen, wobei die Mindestanforderungen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Humuswirtschaft) berücksichtigt sind. Unter diesen Rahmenbedingungen würde das für die alten Bundesländer abgeschätzte Angebot an Stroh also voll ausgeschöpft werden.

b) Pflegegut

Mengenabschätzungen zum Potential an pflanzlicher Biomasse, das jährlich im Zusammenhang mit Pflegemaßnahmen anfällt, sind kaum durchzuführen. Ältere Abschätzungen (PROJEKTGRUPPE 63, 1980) haben ergeben, daß allein im Bereich der Pflege von Straßenböschungen rd. 1 Mio t TS/a Gras anfällt und als Nachwachsender Rohstoff genutzt werden könnte. Dieses Potential erhöht sich deutlich, wenn Pflegegut aus dem Landschaftsbau und Naturschutz mit einbezogen wird. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß es sich oft um lokal begrenzte Flächen handelt und die als Pflegegut anfallende Biomasse gesammelt und an den Ort der Verwendung transportiert werden muß.

c) Industrierestholz und Altholz

Der Umfang an Industrierestholz, das derzeit keine Verwendung findet, sondern auf Deponien gelangt, lag Mitte der 70er Jahre bei rd. 1,1 Mio t/a (PETERS 1985). Heute dürfte sich diese Menge nach Grobabschätzungen des Verbandes der Sägewerksbesitzer eher in einer Größenordnung zwischen 2 und 3 Mio t/a bewegen, einschließlich der neuen Bundesländer (SEEGER 1992).

Für das Altholz aus Recycling wird ein energetisch nutzbares Angebotspotential von 0,1 bis 1 Mio t/a geschätzt (SCHLIEPHAKE und HACKER 1992, STREHLER 1991). Von PETERS (1985) wurde für Mitte der 80er Jahre ein Potential von

0,5 Mio t/a an verwertbarem Holz aus Sperrmüll abgeschätzt. Insgesamt könnten somit aus diesem Bereich rd. 3 Mio t Biomasse pro Jahr als Nachwachsender Rohstoff bereitgestellt werden.

d) Waldrestholz

Abschätzungen zum Waldrestholzaufkommen in der Forstwirtschaft gehen davon aus, daß in den alten Bundesländern rd. 3 bis 5 Mio t pro Jahr genutzt werden könnten. Hierbei wurden technische, ökonomische und ökologische Restriktionen berücksichtigt (PETERS 1985, SCHLIEPHAKE und HACKER 1992). Werden die neuen Bundesländer, mit einer Waldfläche von 3 Mio ha und einem Holzvorrat von rd. 200 fm/ha (zum Vergleich: 7,4 Mio ha Waldfläche bei 300 fm/ha Holzvorrat in den alten Bundesländern), anteilsmäßig in diese Abschätzungen einbezogen, so stünden zusätzlich 1 bis 2 Mio t/a Waldrestholz zur Verfügung.

Für die Bundesrepublik Deutschland könnte somit ein Angebot an Waldrestholz von rd. 4 bis 7 Mio t pro Jahr diskutiert werden. Das Angebot von Waldrestholz könnte im Zusammenhang mit der zunehmenden Schädigung des Waldes (Wertminderung des Holzes) zusätzlich an Umfang gewinnen, wobei dieser Effekt jedoch nur schwer abzuschätzen ist.

In diesem Zusammenhang muß auf die derzeit bestehenden Schwierigkeiten bei der Vermarktung von Schwachholz minderer Qualität hingewiesen werden. Die energetische Verwendung des Schwachholzes könnte sicherlich zu einer gewissen Entspannung dieser Lage führen.

Weitere Ausführungen zur Holzverfügbarkeit oder Aufforstung finden sich in Kapitel V.1. In diesem Kapitel wird ebenfalls die Bereitstellung von Holz aus Schnellwuchsplantagen beschrieben.

Aus der Summe der Nebenprodukte und Abfallstoffe, einschließlich eines gewissen Imports von Reststoffen, könnte sich somit ein Angebotspotential an Festbrennstoffen von 20 bis 35 Mio t/a ergeben. Dieses Potential schlüsselt sich wie folgt auf:

Stroh	13 bis 21 Mio t/a
Industrierestholz	2 bis 3 Mio t/a
Altholz	rund 1 Mio t/a
Waldrestholz	4 bis 7 Mio t/a
Importe	0 bis 3 Mio t/a
SUMME	**20 bis 35 Mio t/a**

Hinsichtlich der Verfügbarkeit dieser Mengen muß berücksichtigt werden, daß die chemisch-technische Verwendung von Lignocellulose, z.B. zur Produktion von Zellstoff, Holzstoff oder Faser- und Spanplatten, ebenfalls um einen Teil dieser preiswerten Nebenprodukte bzw. Abfallstoffe konkurriert, insbesondere um das Industrie- und Waldrestholz. Für diesen Verwendungsbereich wird bis 2005 ein Mehrbedarf zwischen 1 bis 7 Mio t Lignocellulose pro Jahr abgeschätzt (vgl. Kap. V.1.3).

Anbau von NR für Festbrennstoffe

Der gezielte Anbau von NR für Festbrennstoffe, wie z.B. die Produktion von Heu auf Dauergrünland und Ackerflächen oder der Anbau von Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten, wird in seinem Umfang neben den ökonomischen Rahmenbedingungen (Marktchancen, Wettbewerbsfähigkeit) vor allem auch von der Verfügbarkeit der hierfür benötigten Fläche begrenzt.

Einer ausführlichen Diskussion der mittelfristig verfügbaren Fläche soll hier nicht vorgegriffen werden. Sie erfolgt in Kapitel VI.2.1.

Nach diesen Abschätzungen zur Flächenverfügbarkeit könnten je nach Intensität der landwirtschaftlichen Produktion mittelfristig (2005) rd. 10 bis 33 % der LF aus der Produktion genommen werden, aufgrund bestehender Agrarüberschüsse und weiter zunehmender Flächenerträge. Unter diesen Bedingungen stünden somit 2 bis 5 Mio ha Ackerfläche und bis zu 1 Mio ha Dauergrünland für den Anbau von NR zur Verfügung.

Da für Dauergrünland der Umbruch und somit die Überführung in Ackerfläche oder die Aufforstung oft aufgrund bestehender Auflagen untersagt ist, könnte die Produktion von Heu als Festbrennstoff eine interessante Alternative darstellen. Eine grobe Abschätzung ergibt, daß mittelfristig bis zu 7 Mio t TM/a Heu als Festbrennstoff bereitgestellt werden könnten. Prinzipiell ist in diesem Zusammenhang jedoch anzumerken, daß das abgeschätzte Aufkommen an Festbrennstoffen auf nicht mehr benötigten Dauergrünland- und Ackerflächen, aufgrund teilweise zu großer Transportentfernungen zum Ort der Verwendung, aus Kostengründen nicht in vollem Umfang nutzbar ist. Durch Verdichtung (z.B. Pelletierung) der Festbrennstoffe kann diese Einschränkung deutlich abgeschwächt werden.

Abschätzungen mit dem LP-Modell RAUMIS (HENRICHSMEYER et al. 1992, Materialband Nr. 23) zeigen, daß bei Erzeugerpreisen für Heu von 60 bis 100 DM/t in den alten Bundesländern mittelfristig 6 bis 17 Mio t Heu pro Jahr für nichtlandwirtschaftliche Zwecke bereitgestellt werden könnten. Auch unter extensi-

ven Produktionsbedingungen (Beschränkung bzw. Verteuerung des Stickstoffdüngers) stünden nach diesen Abschätzungen immerhin noch 3 bis 8 Mio t Heu pro Jahr für eine außerlandwirtschaftliche Verwendung zur Verfügung.

Über die extensive Nutzung stillgelegter Ackerflächen könnten nach einer groben Abschätzung zusätzlich noch einmal 8 bis 20 Mio t Heu pro Jahr gewonnen werden. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß diese Fläche auch für die Produktion flüssiger nachwachsender Energieträger (Rapsöl, Ethanol) oder für die Bereitstellung chemisch-technischer Rohstoffe (Stärke, Zucker, pflanzliche Öle) verwendet werden könnte.

In gleicher Weise trifft dies auch für den gezielten (intensiven) Anbau von festen Energieträgern, wie z.B. Miscanthus, Gras oder schnellwachsende Baumarten, zu.

Falls sich klären sollte, daß die Verbrennung von Heu, trotz des hohen Kaliumgehaltes und des damit verbundenen niedrigen Ascheerweichungspunktes, kein technisches Problem darstellt, dürfte die Bereitstellung von Festbrennstoffen bis 2005 keinen nennenswerten zusätzlichen Anbau auf Ackerflächen erfordern.

Ist dieses Problem dagegen nicht mit einem auch ökonomisch noch vertretbaren technischen Aufwand zu lösen, dann kann durch den Anbau von Energiegetreide, Miscanthus oder schnellwachsenden Baumarten die eventuell bestehende Versorgungslücke bei Festbrennstoffen abgedeckt werden.

Wie die Abschätzungen von HENRICHSMEYER et al. (1992) andeuten (s. Beispiel Stroh, Heu), dürften die Angebotsmengen an Festbrennstoffen noch höher anzusiedeln sein, wenn hierfür für den Produzenten interessante Erzeugerpreise bezahlt werden.

5.3 Einordnung der mittel- und längerfristig möglichen Beiträge zur Energieversorgung und zur CO_2-Minderung in Gesamtperspektiven

Aus den Aussagen zu den nachfrageseitigen und zu den angebotsseitigen Restriktionen sind die folgenden Schlußfolgerungen zu ziehen:

- Für flüssige Energieträger aus Pflanzen sind mittel- und langfristig angebotsseitige Restriktionen maßgebend, und diese sind wegen des deutlich geringeren Netto-Energieertrags je Hektar gravierender als im Falle der festen Energieträger.

- Bei den festen Energieträgern sind kurz- und mittelfristige nachfrageseitige Restriktionen der "Flaschenhals". Was bis 2005 an Beiträgen der festen Energieträger aus Pflanzen zur Energieversorgung geleistet werden kann, hängt

entscheidend davon ab, ob das CO_2-Minderungsziel der Bundesregierung konsequent verfolgt wird oder nicht. Wenn es ernsthaft verfolgt wird, dann werden auch die energetischen Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung um 2005 deutlich stärker honoriert werden als gegenwärtig, was für die für diesen Fall in Tabelle IV.5.3-1 ausgewiesenen Einschätzungen sowie für andere Verwendungspotentiale für nachwachsende Energieträger (NE) eine Vorbedingung ist.

Eine konsequente Verfolgung des CO_2-Minderungsziels der Bundesregierung ist ebenfalls die Voraussetzung für eine deutliche Verringerung des Primärenergieeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland. Abschätzungen hierzu sind in Tabelle IV.5.3-1 für die Jahre 2005 und 2030 in Spannen angegeben.

Tabelle IV.5.3-1: **Primärenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland (in Mio t SKE/a)**

	1990	2005	2030
Insgesamt	**500**	**400 – 500**	**300 – 400**
darunter regenerativ	**10,8**	**23 – 40**	**50 – 92**
- Wasser	6	7 – 8	7 – 9
- Klärschlamm, Müll	2,7	4 – 5	5 – 7
- Biomasse	1,7	10 – 20	30 – 50
- Solarwärme	0,3	1 – 3	3 – 10
- Wind	< 0,1	1 – 3	3 – 6
- Photovoltaik	< 0,1	0 – 1	2 – 10
Regenerative Energieträger in % von Insgesamt	**2 %**	**5 % – 10 %**	**13 % – 30 %**

Quelle: Verschiedene Veröffentlichungen der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" und eigene Abschätzungen.

In dieser Tabelle sind der bescheidene gegenwärtige Beitrag der Biomasse zur Energieversorgung aufgeführt sowie die in Kapitel IV.5.1.1 erläuterte Spanne von 8 bis 18 Mio t SKE für 2005. Mögliche zusätzliche Beiträge von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern aus Biomasse sind in der Tabelle nicht veranschlagt.

Langfristig (z.B. um 2030) wird der mögliche Einsatz von Festbrennstoffen aus Pflanzen nicht mehr verwendungsseitig, sondern aufkommensseitig begrenzt. Wenn man eine einigermaßen realistisch erscheinende Spanne von 15 bis 25 % der gegenwärtigen LF in der Bundesrepublik Deutschland (18 Mio ha) in Betracht zieht und Erträge an Trockenmasse von etwa 15 t/ha und Jahr für einen Mix von C_3- und C_4-Pflanzen unterstellt, gelangt man mit zusätzlichen Beiträgen von

Stroh zu einem Biomasseaufkommen von 60 bis 100 Mio t/a (mit durchschnittlich 86 % Trockensubstanz). Der Energiegehalt entspricht dem von 30 bis 50 Mio t Steinkohle.

Die Tabelle illustriert, daß die Biomasse (im wesentlichen über Festbrennstoffe) schon um 2005 den mengenmäßig bedeutendsten Einzelbeitrag innerhalb der Gruppe der regenerativen Energiequellen leisten kann. Sie zeigt weiterhin, daß der Beitrag der Biomasse zur gesamten Energieversorgung langfristig keineswegs marginal bleiben muß, sondern einen wichtigen Anteil an der Primärenergiebedarfsdeckung erreichen kann.

Es ist darauf hinzuweisen, daß sich die Tabelle nur auf Beiträge regenerativer Energieträger inländischer Herkunft beschränkt. Regenerative Energieträger ausländischer Herkunft, auch Energieträger aus Pflanzen aus Ländern mit geringer Bevölkerungsdichte, könnten zusätzliche Versorgungsbeiträge liefern.

Der potentielle Beitrag der Energieträger aus (inländischen) Pflanzen zur CO_2-Minderung hängt im einzelnen davon ab, ob vorzugsweise Kohle, Öl oder Erdgas ersetzt wird. Wenn man mit einem Mittelwert der Netto-CO_2-Minderung für den Kohleersatz und für den Ölersatz durch feste Energieträger aus Pflanzen rechnet, ergeben sich etwa 2,1 t CO_2 je Tonne SKE an eingesetzten pflanzenbürtigen Energieträgern - ohne Anrechnung der energetischen Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung.

Damit ergibt sich für das Jahr 2005 durch den möglichen Mehreinsatz von rd. 8 bis 18 Mio t SKE an Biomasse gegenüber 1990 ein möglicher Beitrag zur CO_2-Minderung von ca. 17 bis 38 Mio t CO_2. Diese Spanne entspricht einem Anteil von 5 bis 15 % an dem von der Bundesregierung bis 2005 angestrebten CO_2-Minderungsziel.

Literaturverzeichnis zu Kapitel IV

BERGMANN, H., und M. KORTE, 1991: Alternative Antriebe und Kraftstoffe. VDI-Berichte 885, 83-127

BISCHOF, T., 1992: Chancen jetzt nutzen - Kommunale Energiekonzepte für Quedlinburg und Dresden. Energie 44 (4), 46-52

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg.), 1991: Die Futterwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland, Wirtschaftsjahr 1989/90. BML Daten-Analysen

BONN, B., und H. BAUMANN, 1991: Kenntnisstand der N_2O-Bildung in verschiedenen Feuerungsanlagen. VDI-Berichte 922, 625-634

ELSBETT, G., 1992: Pers. Mitteilung

ENQUÊTE-KOMMISSION "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.), 1991: Schutz der Erde, Teilband II. Bonn/Karlsruhe, 148

ESSO (Hrsg.), 1992: Energie sparen - Umwelt bewahren. ESSO Energieprognose '92, Presse- und Informationsabteilung der ESSO AG, Hamburg

GIERKE, H.-H., 1986: NR-Kolloquium des BMFT, 14./15.10. 1986 in Bonn, 37-42

GIERKE, H.-H., und B. NIERHAUVE, 1985: Alternative Kraftstoffe und ihre Bedeutung im Verkehrssektor. Symposium in der Technischen Akademie in Esslingen, 19. - 21.6.1985, 9-19

GÖTZKE, H., 1986: Wirtschaftliche Aspekte der Verwendung von Pflanzenöl als Energieträger bei rohstoffnaher oder zentraler Saatenverarbeitung. Landbauforschung Völkenrode 36 (1), 28-39

GRASSI, G., 1992: Electricity production from biomass in the E. C. Technological options and economic perspectives. CEC - DGXII/February 1992

HAVENITH, C., 1991: Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugmotoren bei Verwendung von Pflanzenölen. VDI-Berichte 885, 129-144

HEINRICH, H., G. DECKER und R. WEGENER, 1992: Alternative Kraftstoffe - Chancen und Risiken aus der Sicht von Volkswagen. VDI-Berichte 1020, 37-68

HELD, W., 1991: Schwefelarmer Dieselkraftstoff und Oxidationskatalysator - ein Konzept für die Zukunft? VDI-Berichte 885, 167-181

HENNING, R., 1992: Förderung der Erosionsbekämpfung im Sahel durch Produktion und Nutzung von Pflanzenöl als Kraftstoff. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn

HENRICHSMEYER, W., N. ZIMMERMANN und B. STROTMANN, 1992: Regional und betriebsstrukturell differenzierte Analyse von Szenarien mit nachwachsenden Rohstoffen unter Anwendung des regionalen Agrar- und Umweltinformationssystems RAUMIS. Materialband Nr. 23 zu dieser Studie

KAIER, U., 1989: Folgerungen und Maßnahmen bei Feuerungen und Abluftanlagen. VDI-Berichte 772, 25-38

KLINGENBERG, H., H.BRUHN, H. HOLZAPFEL, D. KARSTENS, D. KINNE, N. KRAUSE, M. KUHLER, K.-H. LIES, L. PAZSIKA und P.-D. REIF, 1977: Prüfmethoden und Meßverfahren für Automobilabgase. Volkswagenwerk AG

LURGI, 1992: Telefon. Auskunft

NUSSBAUMER, Th., 1988: Emissionen von Holzfeuerungen. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

PETERS, A., 1985: Verschiedene Abschätzungen des Biomassepotentials. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.), Biomassenutzung im Rahmen von Energieversorgungskonzepten für den ländlichen Raum. Seminare, Symposien, Arbeitspapiere, Heft 20, 23-36

PROGNOS AG (Hrsg.), K. Eckerle, P. Hofer und K.P. Masuhr, 1992: Energiereport 2010. Die energiewirtschaftliche Entwicklung in Deutschland, Stuttgart

PROJEKTGRUPPE 63 (Nachwachsende Rohstoffe), 1980: Bericht über die Nutzung und Nutzungsmöglichkeiten Nachwachsender Rohstoffe zur Gewinnung von Energie und deren Grundstoffen. Bonn, August 1980

REGLITZKY, A. A., H. SCHNIEDER und H. KRUMM, 1992: Chancen zur Emissionsminderung durch konventionelle und alternative Kraftstoffe. VDI-Berichte 1020, 1-33

RICHTER, H.,V. KORTE und N. HEMMERLEIN, 1991: Experimentelle Untersuchung zur Nutzung von Pflanzenölen in Dieselmotoren. Abschlußbericht TV 8837 (Auftraggeber BMFT), Porsche AG, Weissach

RÖVER, H., und K.E. AUSTMEYER, 1988: Möglichkeiten der Energieumformung mit nachwachsenden Rohstoffen. VDI Berichte 675, 365-380

RUHR-STICKSTOFF AG (Hrsg.), 1988: Faustzahlen für die Landwirtschaft und Gartenbau (11. Aufl.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

SCHIFFER, H.-W., 1990: Energiemarkt '89. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 40 (3), 157-175

– –, 1991: Energiemarkt '90. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 41 (3), 154-173

– –, 1992: Energiemarkt '91. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 42 (3), 154-174

SCHLIEPHAKE, D., 1986: Alkohole für Kraftstoffe. In: Arbeitsgemeinschaft Nachwachsender Rohstoffe bei der Verbindungsstelle Landwirtschaft-Industrie e.V. (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe. Verlag J. Kordt, Bochum, Teil III

SCHLIEPHAKE, D., und C.-M. HACKER, 1992: Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff-Markt für holzbasierende Produkte. Materialband Nr. 32 zu dieser Studie

SEEGER, K., 1992: Gutachten über die Novellierung des Stromeinspeisungsgesetzes im Sinne einer Ausweitung der begünstigten KWK-Anlagen auf den Bereich der Holzwirtschaft (Kraft-Wärme-Kopplung), Hess.-Lichtenau

SEIDEL, R. (Fa. Elsbett), 1992: Pers. Mitteilung

STREHLER, A., 1991: Potentiale und Möglichkeiten der Wärmegewinnung aus Holz, Stroh und in der Landwirtschaft produzierten Energieträgern. Berichte und Studien der Hanns-Seidel-Stiftung e.V., München, Band 60, Reihe Agrarpolitik 5, 17-40

STREHLER, A., B. WIDMANN, R. APFELBECK, B. GESSNER und P. PONTIUS, 1992: Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht . "Gelbes Heft" Nr. 40, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft, München

THOMAS, A., 1976: Fette und Öle. In: Erdöl und Erdgas bis Formazanfarbstoffe.Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie. Band II, 471-474, 512

VELLGUTH, G., 1988: Pflanzenöl als Dieselkraftstoff-Substitut. Landbauforschung Völkenrode, 38 (1), 12-16

WEIDMANN, K., und H. HEINRICH, 1992: Einsatz von Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im VW/Audi Dieselmotor. VDI-Berichte 1020, 149-172

WÖRGETTER, M., 1985: Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft. Beratungsservice 33 (6), Wien

WÖRGETTER, M., 1991: Emissionen bei der Biomasseverbrennnung. Heizung - Lüftung - Klimatechnik, Heft 1

WÖRGETTER, M., und I. SCHROTTMAIER, 1992: Pilotprojekt "Biodiesel". VDI-Berichte 1020, 173-188.

WÜLLERSTORFF, von B., 1986: Agro-industrielles Forschungsprogramm der EG. BMFT/BML, Wissenschaftszentrum Bonn, 14./15. Okt. 1986, zitiert in HAVENITH (1991)

Kapitel V

Produktlinien zur Verwendung im technischen und chemischen Bereich

V Produktlinien zur Verwendung im technischen und chemischen Bereich

1. Holz

1.1 Vorbemerkungen

Holz ist der wichtigste Nachwachsende Rohstoff seit den frühen Anfängen der Menschheitsgeschichte. Die historisch gewachsenen und breit aufgegliederten Verwendungsbereiche von Holz lassen sich bei der Darstellung der gegenwärtigen Situation und bei Aussagen zu Zukunftsperspektiven nicht diskutieren, ohne auf etwas detaillierter gegliederte Teilthemen des Waldbaus und der Verwendung von Holz einzugehen. Dies ist einer der Gründe für die tiefere Gliederung von Holz als NR als im Falle der anderen Produktliniengruppen dieses Kapitels.

Auf die energetische Verwendung von Holz, insbesondere auch von Holz aus Schnellwuchsplantagen, ist in Kapitel IV eingegangen worden. Dabei wurden dort ökonomische und umweltrelevante Basisdaten verwendet, die in den folgenden Kapiteln 1.2.2 und 1.2.3 näher beschrieben werden.

Der überwiegende Teil der nachfolgenden Aussagen zu Holz bezieht sich jedoch auf den Anbau und die Verwendung von Holz mit konventionellen Umtriebszeiten.

1.2 Aspekte der Produktion von Holz

1.2.1 Produktionskenngrößen zur konventionellen Forstwirtschaft [1)]

1.2.1.1 Allgemeine Grundlagen

Der weitaus überwiegende Teil der Waldflächen in der Bundesrepublik Deutschland (ca. 90 %) wird im schlagweisen Hochwald bewirtschaftet. Bei dieser Betriebsart werden einzelne Bestände innerhalb eines festgelegten Produktionszeitraumes (Umtriebszeit) nach verschiedenen Verfahren wie Kahl-, Schirm-, Saum- oder Femelschlag natürlich oder künstlich verjüngt. Verschiedene Phasen der Bestandesentwicklung wie Jungwuchs, Dickung, Stangen-, Baum- und Altholz treten flächenmäßig getrennt auf. Der Übergang vom Altholz zum Jungwuchs geschieht durch einen flächenbetonten Verjüngungshieb.

Andere Betriebsarten wie Plenterwald (keine Umtriebszeit, keine flächenmäßige Trennung der Entwicklungsphasen), Mittelwald (mehrere Umtriebszeiten) und Niederwald (kurze Umtriebszeit) spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle V.1.2.1-1 zeigt die Verteilung der Waldfläche auf einzelne Bestandestypengruppen nach einer ersten Auswertung der Aufnahmedaten der Bundeswaldinventur (BWI) von 1987. Bestandestypen sind Gruppen von Rein- und Mischbeständen, die nach der Leitbaumart zugeordnet wurden, d.h. derjenigen Baumart, die mehr als 50 % der Bestandesfläche einnimmt.

Insgesamt beträgt der Anteil der Nadelholzbestände 67 %, der der Laubholzbestände 33 %. Der höchste Flächenanteil einer Bestandestypengruppe entfällt mit 43,3 % auf Fichten-Tannen-Bestände, gefolgt von Kiefern-Lärchen-Beständen mit 21,4 % Flächenanteil.

Die Bewirtschaftung im schlagweisen Hochwald erfolgt nach Betriebszieltypen, die nach Baumarten, Wuchsleistung, Zielsortimenten, Standort und Vorrangfunktionen festgelegt werden. Um das Spektrum der Produktionsverfahren möglichst weit abzudecken, wurden die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche gewählt. Durch die vier Hauptbaumarten wird die Waldfläche im schlagweisen Hochwald der Bundesrepublik Deutschland zu etwa 90 % erfaßt.

Als Grundlage für die hier durchgeführten Modellkalkulationen wurde das Normalwaldmodell unterstellt, bei dem die Fläche eines Forstbetriebes nach Baumar-

1) Ausführungen zu V.1.2.1 sind im wesentlichen dem Bericht von ENGLERT (1991) entnommen, Materialband Nr. 22 zu dieser Studie, S. 21 ff.

Tabelle V.1.2.1-1: **Flächen der Bestandestypen des schlagweisen Hochwaldes der Bundesrepublik Deutschland (1987)**

Bestandestyp	Fläche (ha)	Anteil (%)
Blöße	34 504	0,5
Fichte/Tanne	3 093 615	43,3
Kiefer/Lärche	1 529 497	21,4
Douglasie	167 934	2,3
Buche	1 219 878	17,1
Eiche	644 779	9,0
ALH/ALN*)	458 437	6,4
Summe	**7 148 623**	**100,0**

*) ALH: anderes Laubholz mit hoher Umtriebszeit
ALN: anderes Laubholz mit niedriger Umtriebszeit

Quelle: LOHNER (1990)

ten in Betriebsklassen aufgeteilt wird. Für jede Betriebsklasse gilt eine spezifische Umtriebszeit, die in gleichlange Nutzungsperioden unterteilt ist. Jede dieser Nutzungsperioden repräsentiert eine Altersstufe der Bestandesentwicklung. Im Normalwaldmodell wird unterstellt, daß in jeder Nutzungsperiode Bewirtschaftungsmaßnahmen in allen Altersklassen einer Betriebsklasse auf jeweils gleich großen Flächen getätigt werden. Auf diese Weise wird also das zeitliche Nacheinander der Nutzungen durch ein räumliches Nebeneinander ausgedrückt. Die bestandesweise Betrachtung forstlicher Produktionsverfahren (zeitliches Nacheinander) wird zum Abschluß exemplarisch am Beispiel Fichte diskutiert.

In Tabelle V.1.2.1-2 wird beispielhaft die Bestandesentwicklung eines Fichtenbestandes im schlagweisen Hochwald bei 100-jährigem Umtrieb zusammen mit den zugehörigen forstlichen Maßnahmen dargestellt.

Tabelle V.1.2.1-2: **Produktionsphasen im schlagweisen Hochwald (Fichte, 100 Jahre alt)**

Zeitraum (Jahre)	Bestandesent-wicklungsphase	Forstliche Maßnahme
1	Kultur	Bestandesbegründung
2 - 10	Jungwuchs	Jungwuchspflege
10 - 20 / 25	Dickung	Läuterung
20 / 25 - 50	Stangenholz	Jungdurchforstung
50 - 80	Baumholz	Altdurchforstung
ab 80	Altholz	Verjüngungsnutzung

Wachstums- und Nutzungsmodell

Zur Abschätzung der Naturalleistung der untersuchten Baumarten wurden Ertragstafeln verwendet. Ertragstafeln beschreiben für definierte Durchforstungsarten den Wachstumsgang von Reinbeständen anhand der wichtigsten ertragskundlichen Kennwerte in Tabellenform. Sie beinhalten also sowohl ein Nutzungs-, als auch ein Wachstumsmodell. Für die Untersuchung wurde als Nutzungsmodell die Durchforstungsart "mäßige Durchforstung" gewählt. Die damit unterstellten Entnahmemengen entsprechen am ehesten dem derzeitigen Einschlagsverhalten von Forstbetrieben.

Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit forstlicher Standorte, die im wesentlichen durch die Faktoren Klima, Boden und Hangneigung bestimmt ist, wird in den Ertragstafeln durch Ertragsklassen (Bonitäten) ausgedrückt. Ertragsklassen sind gekennzeichnet durch einen spezifischen Verlauf der Alters-Höhen-Entwicklung. Einem gegebenen Wertepaar (Alter, Höhe) eines Bestandes kann also stets eine konkrete Ertragsklasse zugeordnet werden, und es kann damit auf den weiteren Wachstumsverlauf und die zukünftigen Nutzungen geschlossen werden.

Aufgrund der gewählten Ertragstafel und durch die Festlegung der Bonität sind der Wachstumsverlauf und die zeitliche Struktur der Nutzungsmengen bestimmt. Für 5-jährige Zeitperioden können die ertragskundlichen Grunddaten eines Be-

standes, wie Masse des ausscheidenden und des verbleibenden Bestandes, mittlerer Brusthöhendurchmesser (BHD) oder Mittelhöhe angegeben werden.

Die unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten von Holz verschiedener Stärke und Güte erfordern eine Gliederung der anfallenden Nutzungsmengen in marktüblichen Sorten. Bei der Holzernte werden deshalb die eingeschlagenen Stämme in Stärke-, Güte- oder Verwendungsklassen eingeteilt. Grundlage hierfür ist die gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz (HKS). Im weiteren Verlauf der Berechnungen wird diese Sortenverteilung zusammen mit sortenspezifischen Holzpreisen zur Kalkulation der Holzerlöse der einzelnen Ertragstafelmodelle benutzt.

Die Stärkeklassensortierung ist nicht nur Grundlage für die Holzvermarktung, sondern auch für die Entlohnung der Waldarbeit, die in der Regel im Akkordlohn vergeben wird. Beim Erweiterten Sortentarif (EST), dem wichtigsten Holzerntetarif in der Bundesrepublik Deutschland, sind für alle Baumarten und Stärkeklassen Minutensätze für die Aufarbeitung eines Festmeters der jeweiligen Sorte in Tabellen zusammengefaßt. Die Holzerntekosten bestimmen sich dann aus den Sortenmengen, den Vorgabezeiten, den Schwierigkeitszuschlägen und dem Ecklohn.

Alle Baumarten wurden nach der Mittenstärken-Sortierung sortiert, lediglich für Fichte in Bayern und Baden-Württemberg wurde die dort übliche Heilbronner-Sortierung unterstellt.

1.2.1.2 Technische Kennwerte der Produktionsverfahren

Beim forstlichen Produktionsprozeß lassen sich folgende Teilbereiche unterscheiden:

- Kulturbegründung und -pflege: Hierunter fallen alle Maßnahmen vom Aufbau der Kultur bis zur vollständigen Sicherung der Kultur.

- Dickungspflege (Läuterung): Einmaliger Pflegeeingriff ohne verwertbaren Derbholzanfall im Alter von 10 bis 15 Jahren.

- Holzernte und Bringung: Durchforstungen und Endnutzung ab dem Bestandesalter von 20 Jahren bis zum Abtrieb des Bestandes bei Erreichen der Umtriebszeit.

Bei den abgeleiteten Arbeitsverfahren sind durchschnittliche Schwierigkeits-, Gelände- und Abfuhrverhältnisse unterstellt, ohne regionale Differenzierung. Im Bereich der Holzernte sind dies die Standardarbeitsverfahren des bundeseinheitlichen Erweiterten Sortentarifs; für die anderen Bereiche wurden für die Untersu-

chung Standardannahmen getroffen, die ebenfalls durchschnittliche Verhältnisse im Untersuchungsgebiet abdecken.

Weiterhin wird davon ausgegangen, daß alle neuzubegründenden Bestände künstlich, also durch Pflanzung, verjüngt werden und zum Schutz der Kulturen ein Rehwildzaun erforderlich ist.

Kulturbegründung und -pflege

Die im Rahmen der Kulturbegründung und -pflege notwendigen Arbeiten verteilen sich auf einen Zeitraum von 10 Jahren, vom Aufbau der Kultur bis zum Abbau des Kulturzauns. Die Zeitbedarfswerte für Arbeits- und Maschineneinsatz sind in Tabelle V.1.2.1-3 zusammengefaßt.

Zur Vereinfachung der Pflanzarbeiten ist vor der eigentlichen Pflanzung das Räumen der Schlagfläche vom Schlagreisig im Zusammenhang mit der vorangegangenen Endnutzung berücksichtigt. Das Zusammenschieben des Schlagreisigs auf Wällen außerhalb der Kulturfläche erfolgt durch einen Schlepper mit Reisiggabel.

Für die Pflanzung wurde ein manuelles Verfahren, mit den in der Tabelle angegebenen Leistungszahlen, unterstellt. Bei der Angabe des Pflanzenalters (z.B. Fichte 2/2) bedeutet die erste Zahl die Verweildauer im Anzuchtbeet, die zweite Zahl die Verweildauer im Vorschulbeet; das Gesamtalter bei der Pflanzung beträgt in dem o.a. Beispiel also vier Jahre. Aus waldbaulichen und ökologischen Gründen wird bei Eiche angenommen, daß zusätzlich ein Nebenbestand aus Buche, Hainbuche oder Linde eingebracht wird. Im Rechenmodell findet dieser Nebenbestand jedoch keine besondere Berücksichtigung, weil zu erwarten ist, daß sich der Unter- und Zwischenstand aus Schattlaubholz keiner höherwertigen wirtschaftlichen Verwendung zuführen lassen wird.

Zum Schutz der Pflanzen vor Konkurrenz durch Unkräuter und verdämmende Weichlaubhölzer ist bei den Nadelhölzern ein 3-maliges, bei den Laubhölzern ein 5-maliges Freischneiden mit einer Freistellungssense vorgesehen.

Trockenheit und Frost führen häufig zu Ausfällen in der Kultur. Für die Nachbesserung wurden durchschnittliche Ausfallprozente unterstellt.

Tabelle V.1.2.1-3: **Arbeits- und Maschineneinsatz bei der Kulturbegründung und -pflege (Angaben je Hektar)**

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Bodenvorbereitung:				
Schlagräumung				
Arbeitszeit (h)	10	10	10	10
Schlepper (MAS)*)	10	10	10	10
Pflanzung:				
Pflanzenalter (a)	2/2	2/0	2/0	2/0
Pflanzenzahl (Stück/ha)	3 000	8 000	8 000	9 000
Pflanzleistung (h/10^3 Stück)	15	11	11	15
Arbeitszeit (h)	45	88	88	135
Arbeitszeit Nebenbestand (h)				10
Verbißschutz:				
Zaunbau (Stützenzaun)				
Neubau (h)	55	55	55	55
Unterhaltung, Abbau (h)	20	20	20	20
Mäusebekämpfung:				
Arbeitszeit (h)			20	20
Unkrautbekämpfung:				
Freischneiden (h)	100	100	150	150
Nachbesserung:				
Pflanzenzahl (Stück)	300	800	1 200	1 800
Arbeitsleistung (Stück/h)	50	60	60	50
Arbeitszeit (h)	6	13	20	36

*) Maschinenstunden

Dickungspflege (Läuterung)

Die Dickungspflege ist eine einmalige Maßnahme, die in etwa 10- bis 15-jährigen Beständen durchgeführt wird. Ziel der Dickungspflege ist es, durch eine negative Auslese den Konkurrenzkampf auf die gutausgeformten Bestandesglieder zu lenken und durch die Stammzahlreduktion die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schneebruch zu erhöhen. Entnommen werden vorwüchsige, schlechtgeformte und kranke Stämme. Läuterungswerkzeug ist eine leichte Motorsäge. Im Gegensatz zu den Durchforstungen fällt bei der Läuterung kein verwertbares Derbholz an. Für die Dickungspflege wurde ein Arbeitseinsatz je Hektar von 30 Stunden (Fichte, Kiefer), 40 Stunden (Buche) und 50 Stunden (Eiche) angenommen.

Holzernte und Bringung

Zur Holzernte gehören alle Eingriffe, bei denen verwertbares Derbholz anfällt, also alle Durchforstungen und die Endnutzung. Wichtigste Ziele der Durchforstungen sind die Lenkung des Zuwachses auf die Wertträger, die Erhöhung der Bestandessicherheit, die Mischungsregulierung und, in den letzten Jahrzehnten vor dem Abtrieb, die Vorbereitung der Verjüngung. In den Modellrechnungen wird unterstellt, daß alle Maßnahmen nach den EST-Standardverfahren durchgeführt werden. Dabei wird der notwendige Arbeitszeitbedarf anhand der EST-Zeittabellen entsprechend der aufgearbeiteten Sorten, bei einem durchschnittlichen Schwierigkeitszuschlag von 20 %, berechnet.

Für das Auszeichnen der Bestände (Markieren der einzuschlagenden Stämme) wurde für jüngere Bestände (≤ 40 Jahre) ein Arbeitszeitbedarf von 2 AKh/ha, für ältere Bestände einer von 1 AKh/ha unterstellt. Zu den Nebenarbeiten des Hiebs gehören die Holzaufnahme, das Zusammenstellen der Lose, die Vorbereitung und die Durchführung des Holzverkaufs. Dafür wurde je angefangene 40 Festmeter (fm) bei durchschnittlicher Losgröße 1 h/fm veranschlagt.

Mit Holzbringung wird das Rücken der eingeschlagenen Stämme bzw. Stammteile vom Waldort bis zur nächsten LKW-befahrbaren Waldstraße oder zum vorgesehenen Holzlagerplatz bezeichnet. Die unterstellten Rückeleistungen von 4 fm/h für Industrie- bzw. schwaches Stammholz und 10 fm/h für stärkeres Stammholz gelten beim Einsatz eines Schleppers mit Funkseilwinde und mittleren Rückeentfernungen von 100 bis 150 m.

1.2.1.3 Ökonomische Kennwerte der Produktionsverfahren

Zielsetzung der ökonomischen Betrachtung ist die Ermittlung von Deckungsbeiträgen für die vier Hauptbaumarten, die einen Vergleich mit landwirtschaftlichen Nutzungsvarianten möglich machen. Auf der Kostenseite werden dabei bei gleicher Baumart und Ertragsklasse für alle regionalen Einheiten gleiche Voraussetzungen hinsichtlich der technischen Ausstattung und der angewendeten Verfahren unterstellt. Auf der Erlösseite hingegen werden regional differenzierte Annahmen getroffen, die aus verfügbaren Holzpreisstatistiken der Landesforstverwaltungen abgeleitet wurden.

Variable Spezialkosten

Die für die einzelnen Modellvarianten unterstellten Produktionsverfahren sind so angelegt, daß sie ohne größere Zusatzinvestitionen von einem landwirtschaftlichen Betrieb mit normaler Faktorausstattung bewältigt werden können. Als zu-

sätzliche Anbaugeräte an einen landwirtschaftlichen Schlepper werden für die forstlichen Verfahren eine Reisiggabel (für die Schlagräumung) und eine Funk-Seilwinde (für die Holzbringung) benötigt. Für den Fall, daß diese Geräte im landwirtschaftlichen Betrieb nicht vorhanden sind, wären entsprechende Investitionen zu tätigen.

In die nachfolgenden Deckungsbeitragsrechnungen sind alle anfallenden Materialkosten, die Kosten für Treib- und Schmierstoffe sowie kalkulierte Kostensätze für den Verschleiß der eingesetzten Arbeitsgeräte einbezogen. Beim Schleppereinsatz sind nur die variablen Kosten (Treib- und Schmierstoffe) berücksichtigt, weil angenommen wird, daß der Schlepper unterhalb der Leistungsabschreibung genutzt wird (vgl. Kap. III.1.1).

Kulturbegründungskosten

In Tabelle V.1.2.1-4 sind alle Kosten zusammengefaßt, die vom Aufbau der Kultur bis zur vollständigen Sicherung der Kultur kalkuliert wurden. Wichtigste Kostenkomponenten sind die Materialkosten, insbesondere für den Zaunbau und die Pflanzung. Auffallend ist der im Vergleich zu den Nadelhölzern besonders hohe Kulturbegründungsaufwand bei den Laubholzvarianten. Von untergeordneter Bedeutung sind die übrigen Kostenkomponenten für den Betrieb und den Verschleiß von Arbeitsgeräten.

Zur Abbildung der zeitlichen Struktur der im Modell anfallenden Erlöse und Kosten wurden 5-jährige Bestandesalterperioden gebildet, denen alle kalkulierten Einnahmen und Ausgaben zugeordnet wurden. Die mit der Kulturbegründung und -pflege verbundenen Kosten fallen in einem Zeitraum von 10 Jahren an, bis zum unterstellten Zeitpunkt des Zaunabbaus. Im Modell wurden die Kosten für die Kulturbegründung (Bodenvorbereitung, Pflanzung und Zaunbau) der ersten Altersperiode (0 bis 5 Jahre) und die Kosten für Verbißschutz und Nachbesserung der zweiten Periode (6 bis 10 Jahre) zugerechnet (vgl. Tab. V.1.2.1-6).

Bestandespflegekosten

Die Bestandespflege umfaßt alle Pflegeeingriffe, bei denen kein verwertbares Derbholz anfällt. Es wurde eine einmalige Dickungspflege (Läuterung) in der dritten Altersperiode (10 bis 15 Jahre) unterstellt. Die Kosten für die Läuterung betragen je nach Baumart 90 DM/ha (Fichte und Kiefer), 120 DM/ha (Buche) und 150 DM/ha (Eiche).

Tabelle V.1.2.1-4: **Kosten für die Kulturbegründung und -pflege (variable Spezialkosten)**

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Bodenvorbereitung:				
Schlagräumung (DM/ha)	100	100	100	100
Pflanzenbeschaffung:				
Pflanzenalter (Jahre)	2/2	2/0	2/0	2/0
Pflanzenbedarf (Stück/ha)	3 000	8 000	8 000	9 000
Preis je 1000 Pflanzen (DM)	350	160	550	750
Pflanzenkosten (DM/ha)	1 050	1 280	4 400	6 750
Nebenbestand (DM/ha)				550
Materialkosten (DM/ha)	10	10	10	10
Verbißschutz:				
Zaunbau (Stützenzaun)				
Zaunlänge	400	400	400	400
Materialkosten (DM/ha)	1 500	1 500	1 500	1 500
Mäusebekämpfung:				
Materialkosten (DM/ha)			130	130
Unkrautbekämpfung:				
Materialkosten (DM/ha)	10	10	10	10
Nachbesserung:				
Ausfall in %	10	10	15	20
Pflanzenkosten (DM/ha)	105	128	440	675

Holzernte- und Bringungskosten

Die Kostenkalkulation der Holzerntearbeiten basiert auf den Standardverfahren des Erweiterten Sortentarifs (EST). Da in den Deckungsbeitragsrechnungen die Arbeitszeit als Faktorbedarf eingeht, und somit kein Lohnansatz erfolgt, beschränken sich die Holzerntekosten auf die Kosten des Motorsägen- und Werkzeugeinsatzes.

Für die Holzbringung wurden die Leistungszahlen eines 50 bis 60 PS starken Schleppers, bei einem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von 5 Litern pro Stunde unterstellt.

Erlöse

Die forstliche Produktion liefert einen äußerst heterogenen Rohstoff, für den wegen seiner unterschiedlichen qualitativen Eigenschaften sehr viele Verwendungs-

möglichkeiten bestehen. Auf dem Holzmarkt haben sich entsprechend diesem breiten Spektrum der Verwendungsmöglichkeiten eine Reihe von sachlichen und regionalen Teilmärkten herausgebildet, die vor allem hinsichtlich der nachgefragten Baumarten, Dimension und Qualität sehr unterschiedlich sind. Grundlage für die Preisbildung auf diesen Teilmärkten ist die Einteilung des Rohstoffes Holz in Handelsklassen. In der Regel wird diese Klassifizierung des Holzes nach der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz (HKS) durchgeführt.

Zur Darstellung der unterschiedlichen Preisverhältnisse auf den regionalen Holzmärkten wurden für die Modellkalkulationen Holzpreise für Bundesländer auf Basis verfügbarer Holzpreisstatistiken der Landesforstverwaltungen (Staatswald) für das Stichjahr 1988 ermittelt.

In jeder Holzpreisregion wurden für die 6 Stammholzstärkeklassen (L) sowie für das "Sammelsortiment" Industrieholz (I), in dem alle Nicht-Stammholzsortimente zusammengefaßt sind, Durchschnittspreise berechnet, die mit den Mengenanteilen der Güteklassen gewogene Mittelwerte darstellen.

Beim Nadelholz wurden keine kalkulatorischen Kosten für die Entrindung in Ansatz gebracht, da auch die ausgewerteten Holzpreise für unentrindetes Holz gelten. Zwar ließe sich die Wertleistung von Forstbetrieben wegen der höheren Holzpreise für entrindetes Holz erhöhen, jedoch ist zu vermuten, daß die manuelle Entrindung nicht kostendeckend durchgeführt werden kann und Entrindungsmaschinen, wegen der hohen Anschaffungskosten, nur in größeren Forstbetrieben effizient eingesetzt werden können.

Wegen fehlender Holzpreisstatistiken für den Privatwald mußte unterstellt werden, daß sich die im Staatswald erzielten Holzpreise auch auf den Privatwald übertragen lassen. Die volle Übertragbarkeit dürfte jedoch nur für den Großprivatwald gegeben sein. Im Kleinprivatwald müssen vielfach Preisabschläge hingenommen werden, für die eine Reihe von Wettbewerbsnachteilen ursächlich sind:

- meist ungünstigere Abfuhrbedingungen,
- fehlende Informationen über das Marktgeschehen,
- mangelndes Wissen über die optimale Sortierung und Loszusammenstellung,
- geringe Verkaufsmengen und verstreute Lage der Holzlagerplätze,
- schlechterer Pflegezustand der Bestände und damit ungünstigere Güteklassenzusammensetzung des eingeschlagenen Holzes.

In den einzelnen Holzpreisregionen wurden für die einzelnen Baumarten die in der Tabelle V.1.2.1-5 zusammengestellten Holzpreise ermittelt. Wie schon er-

Tabelle V.1.2.1-5: **Holzpreise für Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, differenziert nach Bundesländern (1988)**

Stärke-klasse	BW (DM/fm)	BY (DM/fm)	HE (DM/fm)	NS (DM/fm)	NW (DM/fm)	RP (DM/fm)
FICHTE:						
H 1	93,8	91,8				
H 2	109,3	105,5				
H 3	124,3	118,9				
H 4	140,7	130,9				
H 5	162.3	143,9				
H 6	175,8	148,9				
HL/L 1	87,7	83,4	90,3	88,6	93,9	94,5
HL/L 2	101,4	86,3	110,5	103,9	112,4	109,1
HL/L 3	119,9	98,1	114,6	126,3	121,2	111,3
HL/L 4	133,4	111,1	115,7	133,4	112,0	97,9
HL/L 5	137,4	124,9	123,0	136,2	105,1	81,8
HL/L 6	141,8	139.8	155,5	136,5	122,7	76,3
I	70,0	68,9	61,1	62,2	77,4	65,9
KIEFER:						
L 1	64,3	77,2	70,1	67,5	69,6	69,3
L 2	82,2	102,7	93,4	97,6	84,8	84,8
L 3	114,0	137,8	134,4	138,8	111,8	115,1
L 4	172,6	179,0	184,8	164,7	146,1	160,0
L 5	232,3	186,5	223,2	171,4	119,8	204.0
L 6	224,0	243,8	220,6	176,3	136,0	247,6
I	56,8	60,0	45,0	58,1	55,7	62,0
BUCHE:						
L 1	69,4	97,9	79,0	71,3	85,0	69,2
L 2	91,0	99,3	89,3	85,5	94,9	88,3
L 3	120,8	127,3	112,0	110,7	117,3	105,2
L 4	156,4	164,5	147,8	138,3	153,8	137,7
L 5	185,6	196,7	178,6	159,8	180,0	163,3
L 6	203,6	212,4	180,6	162,0	174,3	151,8
I	73,1	65,0	57,5	75,4	76,4	82,2
EICHE:						
L 1	90,8	80,7	71,8	56,8	67,4	62,7
L 2	112,4	137,6	118,0	86,0	104,8	98,5
L 3	198,7	277,7	227,0	173,7	215,8	242,2
L 4	332,6	528,0	368,9	300,5	428,9	544,4
L 5	472,4	1112,0	513,1	389,8	483,9	1102,5
L 6	678,4	1717,7	668,9	456,6	619,5	1837,1
I	65,8	60,0	54,3	46,1	53,5	65,4

wähnt, wurde beim Fichten-Stammholz für Bayern und Baden-Württemberg die dort übliche Heilbronner-Sortierung (H) für Langholz unterstellt, während für Abschnitte auch hier die Mittenstärkesortierung (HL) gilt.

In der Regel werden bei allen Baumarten mit zunehmender Stärkeklasse höhere Holzpreise erzielt, außerdem ist zu berücksichtigen, daß z.T. erhebliche regionale Preisunterschiede bestehen. Besonders deutlich ist dies beim Eichenstammholz ausgeprägt, wo die in den traditionellen Eichenwertholzgebieten (z.B. Spessart, Pfälzer-Wald) erzielten Spitzenpreise von über 10 000 DM pro Festmeter zu hohen Durchschnittspreisen führen.

Die regionalen Preisunterschiede sind in weit geringerem Ausmaß durch die jeweiligen Marktpreise bedingt als durch die regional unterschiedliche Güteklassenzusammensetzung der verkauften Holzmengen. Preisstatistiken sind hierdurch überregional nur bedingt vergleichbar.

Von den regionalen Besonderheiten der Güteklassenzusammensetzung des Holzmarktangebotes zu unterscheiden sind zeitlich befristete Störungen des Holzmarktes, hervorgerufen durch außergewöhnliche, über dem langjährigen Mittel liegende, großflächige Kalamitäten. Die hier für das Jahr 1988 ermittelten Holzpreise wurden nicht durch außergewöhnliche Schneebrüche oder Sturmwürfe beeinflußt, dennoch ist nicht auszuschließen, daß in einzelnen Regionen Nachwirkungen aus Kalamitäten vorhergehender Jahre zu einem atypischen Holzmarktangebot geführt haben könnten.

Zur Ermittlung der für die Deckungsbeitragsrechnungen benötigten Bruttoerlöse wurden die aus dem Sortengliederungsmodell bekannten Sortenmengen mit den o.g. Holzpreisen bewertet.

Deckungsbeiträge

Die Modellrechnungen legen das bereits erwähnte Normalwaldmodell zugrunde. Obwohl das Normalwaldmodell ein in der Realität wohl nie zu erreichendes Ideal nachhaltiger Forstwirtschaft beschreibt, ist es das gebräuchlichste Modell zur Beschreibung forstlicher Produktionsprozesse. Es verkörpert einen stationären Gleichgewichtszustand, in dem die zeitliche Dimension der forstlichen Produktion in ein räumliches Äquivalent übergeführt ist.

Die betriebsklassenbezogenen Deckungsbeiträge wurden als Differenz zwischen den marktfähigen Leistungen aus den Holznutzungen und den variablen Spezialkosten berechnet. Die marktfähigen Leistungen einer Betriebsklasse ergeben sich als Summe der bis zur Umtriebszeit anfallenden Bruttoerlöse der Durchforstun-

gen und des Bruttoerlöses der Endnutzung. Das gleiche gilt für die variablen Spezialkosten.

Verdeutlicht wird dies durch die Tabelle V.1.2.1-6, die die jährlichen Kosten, Erlöse, Deckungsbeiträge und Faktoransprüche am Beispiel einer Fichten-Betriebsklasse bei verschiedenen Umtriebszeiten enthält. Da die Arbeitszeit nicht als Kostengröße in die Modellrechnungen einging, dieser Faktoranspruch aber für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren im Vergleich zu anderen Formen der Bodennutzung von Bedeutung ist, wird der Zeitbedarf für den Arbeitseinsatz und den Schleppereinsatz ausgewiesen.

Tabelle V.1.2.1-6: **Jährliche Erlöse, Kosten, Deckungsbeiträge und Faktoransprüche in Abhängigkeit von der Länge der Umtriebszeit (Fichte, I. Ertragsklasse, Preisregion BW)**

Umtriebszeit (a)	Bruttoerlös (DM/ha)	Variable Kosten (DM/ha)	Deckungsbeitrag (DM/ha)	Faktoranspruch (Arbeitseinsatz)	
				Gesamt (h/ha)	davon Schlepper (MAS/ha)
5	0	2 660	- 2 660	110,0	10,0
10	0	463	- 463	39,3	1,7
15	0	260	- 260	24,2	0,9
20	138	196	- 57	21,1	1,1
25	293	182	111	21,6	1,4
30	444	191	253	22,1	1,7
35	594	212	382	22,5	1,9
40	738	239	500	22,5	2,0
45	906	265	641	21,3	2,1
50	997	294	703	21,2	2,1
55	1 106	321	785	20,3	2,1
60	1 220	343	876	18,8	1,9
65	1 292	364	928	18,0	1,8
70	1 354	383	971	17,1	1,7
75	1 409	401	1 008	16,4	1,6
80	1 461	418	1 043	15,8	1,6
85	1 498	434	1 064	15,2	1,6
90	1 521	450	1 070	14,7	1,6
95	1 549	466	1 083	14,1	1,6
100	1 581	480	1 101	13,5	1,6
105	1 592	494	1 098	13,2	1,5
110	1 610	507	1 102	12,7	1,5
115	1 623	520	1 103	12,3	1,5
120	1 633	533	1 100	12,0	1,5

Aus Tabelle V.1.2.1-6 ist ersichtlich, daß die Deckungsbeiträge bis zu einer Umtriebszeit von 80 Jahren deutlich ansteigen. Darüber hinausgehende Umtriebszeiterhöhungen führen nur zu geringen Erhöhungen des jährlichen Deckungsbeitrages. Der maximale Deckungsbeitrag von 1 103 DM/ha wird bei einer Umtriebszeit von 115 Jahren erreicht. Hingewiesen werden sollte hier noch auf die relativ lange ertragslose Zeit zu Beginn der Produktionsperiode.

Der Verlauf des jährlichen Deckungsbeitrages in Abhängigkeit von der gewählten Umtriebszeit, gekennzeichnet durch einen zunächst steilen Anstieg, der zunehmend abflacht und nach Erreichen des Kulminationspunktes wieder absinkt, ist charakteristisch für alle Baumarten. Beim Vergleich der Baumarten, in der Reihenfolge Fichte-Kiefer-Buche-Eiche, zeigt sich, daß der Kulminationspunkt zunehmend später erreicht wird.

In der forstlichen Praxis wird die Festlegung der Umtriebszeit von vielfältigen Determinanten, insbesondere waldbaulichen Aspekten, bestimmt. Da diese im Rahmen dieser Arbeit nicht mit der erforderlichen Genauigkeit hätten abgebildet werden können, wurden hier aus pragmatischen Gründen, aber auch um die Ergebnisse innerhalb eines konsistenten Referenzsystems darstellen zu können, folgende, forstlich übliche Umtriebszeiten in den Betriebsklassen verwendet:

Fichte:	100 Jahre
Kiefer:	120 Jahre
Buche:	140 Jahre
Eiche:	160 Jahre

Tabelle V.1.2.1-7 gibt einen Überblick über die Größenordnung, in welchem Umfang die jährlich erzielbaren Deckungsbeiträge in Abhängigkeit von Baumart und Preisregion schwanken können.

In bezug auf die jährlichen Deckungsbeiträge der einzelnen Betriebsklassen zeichnen sich bei gleichem Leistungsniveau gegenwärtig zwei Gruppen hinsichtlich der Rentabilität der Baumarten ab. In Gebieten mit hohen Eichen-Wertholzanteilen (Bayern, Rheinland-Pfalz) werden die höchsten Deckungsbeiträge von der Eichen-Betriebsklasse erzielt, gefolgt von Fichte, Buche und Kiefer. In den übrigen Gebieten wird die Reihenfolge von der Fichten-Betriebsklasse angeführt, gefolgt von Eiche, Buche und Kiefer.

Ursache für die geringen Deckungsbeiträge bei Kiefer ist, neben der geringen Massenleistung und der problematischen Verwertung des bei den Vornutzungen anfallenden Schwachholzes, der hohe Anteil geringwertiger Güteklassen. Diese ungünstige Güteklassenverteilung muß im Zusammenhang mit der Tatsache ge-

Tabelle V.1.2.1-7: **Jährliche Deckungsbeiträge bei einem mittleren Leistungsniveau nach Preisregionen**

Baumart	Preisregion					
	BW (DM/ha)	BY (DM/ha)	HE (DM/ha)	NS (DM/ha)	NW (DM/ha)	RP (DM/ha)
Fichte	957	1 040	769	768	827	773
Kiefer	381	460	409	443	380	396
Buche	607	618	543	567	611	578
Eiche	707	1 089	758	578	774	1 064

sehen werden, daß Kiefernbestände häufig auf Standorten begründet werden, die für die anderen Baumarten nicht in Frage kommen, und daß notwendige Pflegeeingriffe vernachlässigt werden.

Exkurs: Annuitäten

In den bisherigen Ausführungen wurde als forstliches Betriebsmodell das Normalwaldmodell unterstellt, das das zeitliche Nacheinander der forstlichen Produktion in ein räumliches Nebeneinander transformiert und damit keine Zinsansprüche berücksichtigen muß. Da bei diesem Modellansatz davon ausgegangen wird, daß auf alle Altersklassen gleiche Flächenanteile entfallen, und Gegenstand der Analyse die Betriebsklasse ist, ist diese Vorgehensweise konsistent.

Wenn im Mittelpunkt einer ökonomischen Analyse die Entwicklung eines Einzelbestandes stehen soll, muß das zeitliche Nacheinander explizit Berücksichtigung finden (vgl. Tab. V.1.2.1-8), weil zwischen Bestandesbegründung und Endnutzung ein großer zeitlicher Abstand besteht. Um den Aspekt Einzelbestand, das zeitliche Nacheinander, zu berücksichtigen, sind hier zusätzlich zu den Deckungsbeiträgen Annuitäten berechnet worden. Diese Annuitäten transformieren das zeitliche Auseinanderklaffen von Ausgaben und Einnahmen in einen durchschnittlichen jährlichen Zahlungsstrom auf der Basis von Gegenwartswerten, die durch Abzinsen der zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Ausgaben und Einnahmen gewonnen werden.

Probleme entstehen bei der Festlegung des Zinssatzes. Dieser sollte die Kosten der Kapitalbindung in angemessener Weise widerspiegeln. Es läßt sich aber kaum ein Zinssatz für eine alternative Kapitalanlage finden, der hinsichtlich

Tabelle V.1.2.1-8: **Vergleich der jährlichen Deckungsbeiträge (DB) je Hektar einer Betriebsklasse und der Annuitäten je Hektar für einen Einzelbestand bei verschiedenen Kalkulationszinssätzen und Umtriebszeiten (Fichte, I. Ertragsklasse, Preisregion BW)**

		Betriebsklasse	Einzelbestand		
Umtriebszeit (a)	Zinsalter (a)	jährlicher Deck.beitrag (DM/ha)	Annuität Zins: 1 % (DM/ha·a)	Annuität Zins: 2 % (DM/ha·a)	Annuität Zins: 3 % (DM/ha·a)
5	1	−2 660	−2 660	−2 660	−2 660
10	6	−463	−473	−484	−505
15	11	−260	−272	−284	−309
20	16	−57	−79	−100	−143
25	21	111	80	44	−26
30	26	253	218	162	59
35	31	382	329	251	114
40	36	500	421	320	149
45	41	641	528	398	185
50	46	703	564	416	180
55	51	785	616	444	182
60	56	876	672	474	183
65	61	928	695	479	171
70	66	971	715	481	158
75	71	1 008	728	478	145
80	76	1 043	739	473	132
85	81	1 064	740	463	119
90	86	1 070	732	448	105
95	91	1 083	728	435	94
100	96	1 101	728	427	86
105	101	1 098	715	411	76
110	106	1 102	706	400	69
115	111	1 103	696	388	63
120	116	1 100	685	376	57

Laufzeit und Risiko die Verhältnisse der forstlichen Produktion wiedergibt, zumal dieses Risiko je nach Baumart und Standort sehr unterschiedlich sein kann.

Für das nachfolgende Beispiel einer Annuitätenrechnung wurden verschiedene Zinssätze unterstellt. Darauf hinzuweisen ist, daß diese Berechnungen eine Fortschreibung der Kosten und Holzpreise über den gesamten Nutzungszeitraum erfordern. Angesichts der vielfältigen Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung von Preisen, Kosten und auch Produktivitäten werden den Berechnungen hier die gegenwärtigen Preis- und Kostenverhältnisse sowie Güteklassenstrukturen für den gesamten Betrachtungszeitraum zugrunde gelegt.

In Tabelle V.1.2.1-8 wird der für diese Untersuchung unterstellte betriebsklassenorientierte Modellansatz der Einzelbestands-Betrachtung gegenübergestellt. In

der zweiten Spalte ist das Zinsalter angegeben, unter Berücksichtigung des angenommenen Pflanzenalters.

Wie die Ergebnisse zeigen, sind die jährlichen Deckungsbeiträge einer Betriebsklasse höher als die entsprechenden Annuitäten der Einzelbestände, wobei diese Differenz mit zunehmendem Alter wächst. Weiterhin wird deutlich, daß sich mit zunehmendem Zinsanspruch niedrigere Annuitäten errechnen und daß der maximale Wert der Annuität bei einer kürzeren Umtriebszeit erreicht wird.

1.2.2 Produktionskenndaten für schnellwachsende Baumarten (kurze Umtriebszeiten)

Die höchsten Biomassezuwächse unter den schnellwachsenden Baumarten haben unter unseren klimatischen Verhältnissen Pappeln und Weiden. Beide Pflanzenarten bringen nur an Standorten mit guter Wasserversorgung hohe Biomasseerträge. Die nachfolgenden Kostenschätzungen und Prozeßenergieaufwendungen zum Anbau von schnellwachsenden Baumarten beziehen sich auf eine Pappelmonokultur.

Es wurde unterstellt, daß pro Hektar 16 600 Pappeln gepflanzt und die Anlage in 5 Erntezyklen 15 Jahre lang genutzt werden kann. Für gegenwärtige Verhältnisse wird eine durchschnittliche Ertragsleistung von 10 t TM pro Hektar und Jahr unterstellt. Für die Zukunft (2005) wird davon ausgegangen, daß durch züchterische und technische Fortschritte die Ertragsfähigkeit der schnellwachsenden Baumarten auf durchschnittlich 11 t TM/ha·a ansteigt.

Im ersten Jahr sind neben den Kosten für die Bodenvorbereitung insbesondere die Ausgaben für den Kauf von ca. 2 800 Baumschulstecklingen für die 16 600 Pappeln zum kalkulierten Stückpreis von 50 Pf zu berücksichtigen. Die Anpflanzung erfolgt mit der Maschine, wobei 4 Personen zu je 8 Stunden notwendig sind. Für Nacharbeiten von Hand sind zusätzliche Arbeitsstunden unterstellt, wie auch für Nachpflanzungen von nicht angewachsenen Stecklingen (10 % Ausfall). Die Kosten der notwendigen Unkrautbekämpfung nach der Anpflanzung beinhalten eine Herbizidausbringung und zweimaliges Hacken mit der Maschinenhacke. Diese Kosten des ersten Jahres werden annuitätisch auf jedes der 15 Jahre Nutzungszeitraum umgelegt. Die Düngemittelmengen von 40 kg N, 6 kg P, 28 kg K, 51 kg Ca und 6 kg Mg gelten pro Hektar und Jahr und spiegeln den Nährstoffentzug wider.

Die Ernte erfolgt im 3-jährigen Turnus, jeweils zu Jahresende/-beginn. Sie ist im Kapitel A IV.1 (Bereitstellung von nachwachsenden Energieträgern) beschrieben.

Im Jahr nach einer Ernte wird die Fläche wiederum mit der Maschinenhacke zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.

Bei der Abschätzung der notwendigen Prozeßenergien (s. Tab. V.1.2.2-1) wurden die einzelnen Energieaufwendungen der Anpflanzung addiert und durch 150 t TM Gesamterntemenge pro Hektar in 15 Jahren (Gegenwart) dividiert. Die Düngemittel wurden mit ihrem spezifischen Energieaufwand für die Herstellung bewertet. Die Prozeßenergien für die zugekauften Baumschulstecklinge wurden vernachlässigt. Da sich die energetischen Aufwendungen für die Anpflanzung auf 15 Jahre verteilen und die Prozeßenergien für die Düngung mit ca. 2,3 GJ/ha·a bescheiden ausfallen, benötigt man als Energie-Input nur 1,6 % des Heizwertes der schnellwachsenden Pappeln.

Für zukünftige Verhältnisse (2005) wurden, inflationsbereinigt, nur geringe Kostenunterschiede zu den Gegenwartszahlen abgeschätzt. Eine gravierende Veränderung der Vorgehensweise bei der Anpflanzung ist, im Gegensatz zur Erntetechnik, nicht zu erwarten.

Tabelle V.1.2.2-1: Aufwendungen für die Anpflanzung von schnellwachsenden Baumarten, Beispiel Pappeln - gegenwärtige Verhältnisse

	Kosten (DM/t TM)	Energie-aufwand (MJ/t TM)	Arbeits-aufwand (h/t TM)
Bodenvorbereitung	5	9	0,04
Pflanzguterzeugung	24 1)	1	0,27
Pflanzgutlagerung	2	15	0,02
Anpflanzung	11	11	0,24
Nachpflanzung (10 % Ausfall)	4	1	0,05
Pflanzenschutz	5	20	0,10
Düngung	13	226	0,07
Fixkosten- und Pachtkostenanteil	95 2)	-	-
Summen	159 3)	283	0,79

1) Für 2005: 22 DM/t TM.

2) Verringerung der Fixkosten je Hektar um 33 % bis 2005 und Ertragserhöhungen um 10 % führen zu 59 DM/t TM für 2005.

3) Für 2005 ergeben sich 121 DM/t TM.

1.2.3 Umweltaspekte des Waldbaus

1.2.3.1 Umweltaspekte des Waldbaus mit konventionellen Umtriebszeiten

Ökologische und landschaftsökologische Funktionen

Der Wald ist nicht nur ein Rohstoff- oder Energielieferant. Er filtert auch Schadstoffe aus der Luft und schützt den Boden vor Erosion bzw. das Grundwasser vor anthropogenen Stoffeinträgen. Er schafft Lebensräume und bildet die Nahrungsgrundlage für zahlreiche, nicht selten bedrohte Tier- und Pflanzenarten. In Ballungsgebieten offeriert der Wald Erholungsmöglichkeiten für streßgeplagte Stadtmenschen. Die Fähigkeit der Bäume, Kohlendioxid zu fixieren und nicht nur regional, sondern auch global das Klima zu beeinflussen, ist ein weiterer Vorteil, der mit einer Aufforstung verknüpft ist. Nicht selten erfüllt der Wald mehrere der genannten Funktionen gleichzeitig. In bestimmten Fällen wird er gezielt als Immissions-, Boden- oder Wasserschutzwald bzw. als Erholungswald ausgewiesen.

Der Wert einer Aufforstung für den Arten- und Biotopschutz hängt von der Zusammensetzung des Waldes und der geographischen Lage ab. Mischwälder in waldarmen Landschaften sind von größerer Bedeutung für die Artenvielfalt von Fauna und Flora als Monokulturen in waldreichen Landschaften. In Gebieten mit geringem Waldanteil kann durch eine Aufforstung ein wertvoller Beitrag für den Arten- und Biotopschutz geleistet werden. Dies gilt allerdings nicht, wenn es sich um waldfreie Landschaftstypen handelt, wo mit der Aufforstung z.B. seltene Wiesen- oder Heidebiotope zerstört werden. Der gesamte deutsche Wald umfaßt rund 10,7 Mio ha und bildet damit den fünftgrößten Waldbestand Europas nach der Sowjetunion, Schweden, Finnland und Frankreich. In den alten Bundesländern finden sich 7,75 Mio ha und in den neuen Bundesländern 2,98 Mio ha. Der forstwirtschaftlich genutzte Wald ist kein besonders selten vorkommendes Ökosystem. Seine regionale Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz kann aber je nach Ausstattung und geographischer Lage dennoch groß sein.

Auswirkungen auf den Boden

Der natürliche Plenterwaldboden wird von einer Kraut-, Strauch- und Baumschicht bedeckt und ist dadurch gut gegen Wind- und Wassererosion geschützt. Bodenbearbeitungen, die zu einer Zerstörung der Bodenoberfläche führen und Angriffsmöglichkeiten für erosive Kräfte schaffen, werden bei der Vorbereitung des Feldes, der Aufforstung, der mechanischen Unkrautbekämpfung und der Rekultivierung durchgeführt. Gelegentlich kann es bei der Holzernte, insbesondere beim Rücken ganzer Bäume, zu Verletzungen der Moos-, Gras- und Krautschicht kom-

men. Die größte Gefahr resultiert hierbei aus der Ganzbaumernte, die einen wesentlich größeren Anteil des Waldbodens und der bodenbürtigen Flora in Mitleidenschaft zieht als die Stammernte. Das Erosionsrisiko ist aber gemessen an der Schutzleistung sehr gering. Der Wald hat eine über Jahrzehnte andauernde bodenbewahrende Funktion und wird deshalb gerade auch auf hängigen Flächen mit erhöhtem Erosionsrisiko angepflanzt.

Ein ökologisches Problem der Forstwirtschaft ist die Bodenverdichtung während der Holzernte. Der Einsatz schwerer Erntemaschinen und der Transport des Ernteguts können bei feuchter Witterung auf wenig stabilen Böden zu Bodenverdichtungen führen. Von landwirtschaftlichen Schleppern geht wegen ihrer geringen Transportkapazitäten eine größere bodenverdichtende Gefahr aus als von Forstspezialschleppern. Das Schadensmaß hängt wesentlich vom Zustand des Waldbodens ab. Ein gefrorener oder trockener Boden ist viel belastbarer als ein nasser, schwerer und strukturschwacher Boden.

Bodenverdichtungen führen zu einer Verringerung der Wasser- und Luftdurchlässigkeit des Bodens. Damit sind eine Verschlechterung der Wachstumsbedingungen für die Waldbäume und Sträucher sowie erschwerte Lebensbedingungen für die bodenbürtige Fauna, u.a. für die Regenwürmer, verbunden.

Durch eine sorgfältige Erschließung des Waldbestandes mit befestigten Waldwegen und Rückegassen kann der Schaden auf ein Minimum, z.B. auf den Umfang der Fahrwege, begrenzt werden. Eine Bearbeitung der gefällten Waldbäume auf einem Holzhof oder auf dem Waldweg verringert den Bodendruck, entzieht aber dem Standort durch den Abtransport der rindenreichen Äste wichtige Nährstoffe.

Auswirkungen auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer

Unter Waldbeständen wird im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen weniger, aber dafür qualitativ hochwertigeres Grundwasser gebildet. Dies hängt mit der hohen Filter- und Wasserspeicherkapazität des Waldes zusammen. Dazu kommt, daß die meisten Waldböden nährstoffarm sind und, wenn überhaupt, nur minimal gedüngt werden. In jüngster Zeit gibt es allerdings Anzeichen, daß auch unter Waldbeständen erhöhte Nitratwerte auftreten können.

Bei der forstlichen Düngung unterscheidet man zwischen der Grunddüngung, der Meliorationsdüngung und der Vitalisierungsdüngung. Wichtigstes Ziel der Grunddüngung ist es, die Bäume rasch aus der Wildverbiß- und der Unkrautzone zu bringen. Die Meliorationsdüngung dient der Rückführung der durch eine unpflegliche Behandlung des Waldbestandes (Monokulturen, Streunutzung oder Ganzbaumrückung) entnommenen Nährstoffe. Mit einer Vitalisierungsdüngung

werden die Nährstoffverluste, die durch den Säureeintrag in die Waldböden auftreten, ausgeglichen.

In der Forstwirtschaft werden nur selten chemische Pflanzenbehandlungsmittel eingesetzt. In verschiedenen staatlichen Forstverwaltungen wird inzwischen ganz auf den Einsatz von Herbiziden und Fungiziden verzichtet. Mechanische und manuelle Verfahren zur Schadensverhütung, wie z.B. der Bau eines Zauns gegen Wildschäden, haben eine weit größere Bedeutung. Die wichtigsten Forstschädlinge, die Borkenkäfer, werden, soweit möglich, auf biologische Art, z.B. mit Lockstoffen bekämpft.

Eine Reduzierung des Unkrauts ist angesichts der ausgeprägten Empfindlichkeit der jungen Austriebe gegenüber Unkrautkonkurrenz, insbesondere in der Etablierungsphase des Bestandes, notwendig. Die Unkrautbekämpfung kann mechanisch mit einem Hackgerät, einer Fräse oder auch chemisch (Glyphosat) durchgeführt werden. Die mechanische Methode bewirkt eine Verbesserung der Durchlüftung, regt aber auch den Abbau organischer Substanz an.

Der vermehrte Einsatz von Holzerntemaschinen erhöht die Gefahr der Ölkontamination im Wald. Durch die Verlustschmierung bei den Kettensägen ist eine direkte Gefährdung des Bodens und des Grundwassers durch Ölabscheidung und -versickerung gegeben. Die inzwischen weitgehend erfolgte Umstellung auf biologisch abbaubares Kettenschmieröl auf der Basis von Pflanzenölen entlastet den Boden- und Wasserhaushalt.

Auswirkungen auf das Klima

Das Mikroklima der unmittelbaren Umgebung wird durch eine Aufforstung verändert. Gerade in dichtbesiedelten Ballungsräumen sind die günstigen Wirkungen der Waldflächen auf das lokale Klima von besonderer Bedeutung. Ein Waldbestand kann Temperaturextreme abpuffern und den Luftaustausch fördern.

Mit der Aufforstung von langsam wachsenden Baumarten wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen und der Kohlenstoff in der Biomasse fixiert. Durch die Neuaufforstung wird während des Bestandesaufbaus bis zum Altersgleichgewicht eine dauerhafte CO_2-Bindung erzielt. Nach Angaben von LOETS (1992) werden in einem Durchschnittswald mit 540 fm/ha Holz rund 100 t Kohlenstoff fixiert. Dazu kommen nochmals rund 30 t Kohlenstoff in Gestalt von Ästen, Rinde und Wurzeln. Im Falle der Verwendung des geernteten Holzes in langlebigen Gütern wird die CO_2-Bindung zeitlich entsprechend länger ausgedehnt.

Die CO_2-Bindung muß mit der Freisetzung von Distickstoffoxid (N_2O) aus dem Waldboden verrechnet werden. Saure Waldböden scheinen eine nicht unbedeutende Quelle für natürliches N_2O zu sein. Der niedrige pH-Wert und der relativ hohe Gehalt an organischer Substanz scheint die N_2O-Bildung im Nadelwald besonders stark zu stimulieren (vgl. Kap. III.2.3.4). Die N_2O-Werte im Laubwald sind im Durchschnitt geringer (s. Tab. V.1.2.3-1) als im Nadelwald und im Mischwald. Nach einem Kahlschlag steigen die N_2O-Emissionen in den darauffolgenden Jahren deutlich an und können zwischen 10 und 40 kg/ha und Jahr ausmachen (DUTCH und INESON 1988).

Tabelle V.1.2.3-1: **N_2O-Emission von bewaldeten Flächen**

Bodenart/-typ	Humusschicht (cm)	Waldform	N_2O-Emission (kg N/ha·a)	Quelle
Sand	1 – 3	Laubwald	0,4 – 0,9	SCHMIDT et al. 1988
Löß	–	Mischwald	0,1 – 0,3	SEILER und CONRAD 1981
Löß	–	Laubwald	0,4 – 1,3	GOODROAD und KEENEY 1984
Löß	–	Nadelwald	2,5 – 3,2	"
Podsol	1 – 5	Laubwald	0,3 – 0,8	SCHMIDT et al. 1988
Podsol	1 – 2	Laubwald	0,5 – 0,7	"
Pseudogley	1 – 3	Laubwald	0,5 – 6,6	"

Quelle: BOUWMAN 1990

1.2.3.2 Umweltaspekte von Schnellwuchsplantagen

Schnellwuchsplantagen sind allein darauf ausgerichtet, möglichst schnell und profitabel ein Maximum an nutzbarer Biomasse zu produzieren. Diese Vorgabe wird in Deutschland besonders gut durch spezielle schnellwachsende Pappel- und Weidenklone erfüllt. Zur Erreichung höchster Erträge werden die Plantagen gedüngt, mit Unkrautbekämpfungsmitteln behandelt und im Turnus von drei bis fünf Jahren abgeerntet. Aus ökologischer Sicht sind sie deshalb von geringerem Wert als der konventionelle Wald, der außerdem noch eine größere genetische Vielfalt aufweist.

Eine Pappel- oder Weidenmonokultur bietet nur für eine begrenzte Zahl an Tieren und Pflanzen geeignete Lebensbedingungen. Der großflächige Anbau einer

Baumart oder eines genetisch einheitlichen Klons schränkt nicht nur die Artenvielfalt ein, sondern schafft auch günstige Verhältnisse für die Massenvermehrung eines spezialisierten Schädlings oder Krankheitserregers.

Auswirkungen auf den Boden

In Plantagen mit schnellwachsenden Baumarten steigt die Gefahr der Bodenerosion während der im mehrjährigen Turnus stattfindenden Ernte. Auch die häufiger stattfindende mechanische Unkrautbekämpfung kann unter bestimmten Voraussetzungen (Hangneigung und Witterung) eine Verschärfung des Erosionsrisikos mit sich bringen.

Hohe Biomasseerträge mit schnellwachsenden Pappeln oder Weiden lassen sich nur an solchen Standorten realisieren, die frisch bis wechselfeucht sind. Diese besonders ertragfähigen Flächen reagieren aber empfindlich auf Drucklasten.

Auswirkungen auf Grundwasser und Oberflächengewässer

Die erwünschten hohen Biomasseerträge im Schnellwuchsbereich lassen sich langfristig nur erreichen, wenn die bei der Ernte vorgenommenen Nährstoffentzüge durch Düngungsmaßnahmen ausgeglichen werden. Der vergleichsweise hohe Nährstoffentzug von schnellwachsenden Baumarten resultiert aus dem verhältnismäßig hohen Rindenanteil junger Bäume. Es ist damit zu rechnen, daß die Kompensationsdüngungen, die im Schnellwuchsbereich notwendig werden, zu Veränderungen der Zusammensetzung der Mikrofauna und -flora führen, ähnlich wie dies bei Kalkgaben der Fall ist.

Die Schnellwuchsplantage hat im Vergleich zum konventionellen Wald keine herausragende Schutzfunktion gegenüber dem Grundwasser. Es ist im Gegenteil möglich, daß eine intensiv gepflegte Pappel- bzw. Weidenmonokultur negative Auswirkungen auf das Grundwasser hat. Sofern die Schnellwuchsplantage zur Verrieselung von Abwasser oder zur Entsorgung von Klärschlamm und Müllkompost herangezogen wird, muß, ähnlich wie auf landwirtschaftlich genutzten Böden, mit einer Verschlechterung der Qualität des Grundwassers gerechnet werden.

1.3 Stand und Zukunftsperspektiven für die wichtigsten Holz-Verwendungsbereiche [2)]

1.3.1 Überblick über Aufkommen und Verwendung

1.3.1.1 Marktaufteilung

Der Markt für Holz und holzbasierende Produkte kann in drei Hauptstufen unterteilt werden (vgl. Abb. V.1.3-1):

1. Stufe: Die Gewinnung von Waldholz mit den Gruppen Stammholz, Industrieholz, Brennholz, Waldrestholz sowie dem zugehörigen Import/Export. Dazu gehört als Ausgangsmaterial noch das Industrierestholz aus verschiedenen Quellen, für welches ebenfalls ein Import- und Exportmarkt existiert.

2. Stufe: 1. Be- und Verarbeitungsstufe: Die Erzeugung von Halbwaren als Eingangsprodukte in die dritte Stufe. Hierzu gehören: Säge- und Hobelware, Schwellen- und Rundverwendung, plattenförmige Holzwerkstoffe, Holzstoff und Zellstoff. Für die Berechnung der Verfügbarkeit werden auch hier die Import- und Exportdaten von Halbwaren berücksichtigt.

3. Stufe: 2. Be- und Verarbeitungsstufe: Der Absatz von Fertigprodukten aus der Endbearbeitungsstufe wird durch eine Reihe von branchenspezifischen Marktentwicklungen bestimmt. Durch seine Rückwirkung auf die inländische Rohstoffverarbeitung ist er der am höchsten zu wertende Einflußfaktor. Import und Export von Halb- und Fertigwaren dienen dem Ausgleich von Angebot und Nachfrage.

An die in der Abbildung schematisch dargestellte Nutzung von Waldholz schließen sich nach der ersten Bearbeitungsstufe die Verwendungen und Verarbeitungen im Fertigproduktbereich an, die durch die Pfeilrichtung angedeutet sind.

Es ist außerordentlich schwierig, ein in sich abgeschlossenes Mengen- und Wertbild der Forst- und Holzwirtschaft im weitesten Sinne zu erarbeiten. Dieses hat seinen Grund darin, daß die offizielle Statistik (Produktions-, Import-, Export-Statistik) nicht alle Mengen und Werte erfaßt bzw. ihre Gruppenzuordnung eine nachträgliche Auffächerung nicht mehr zuläßt.

2) Ausführungen zu V.1.3 sind im wesentlichen dem Bericht SCHLIEPHAKE und HACKER (1992) entnommen, siehe Materialbände 32 bis 36 zu dieser Studie.

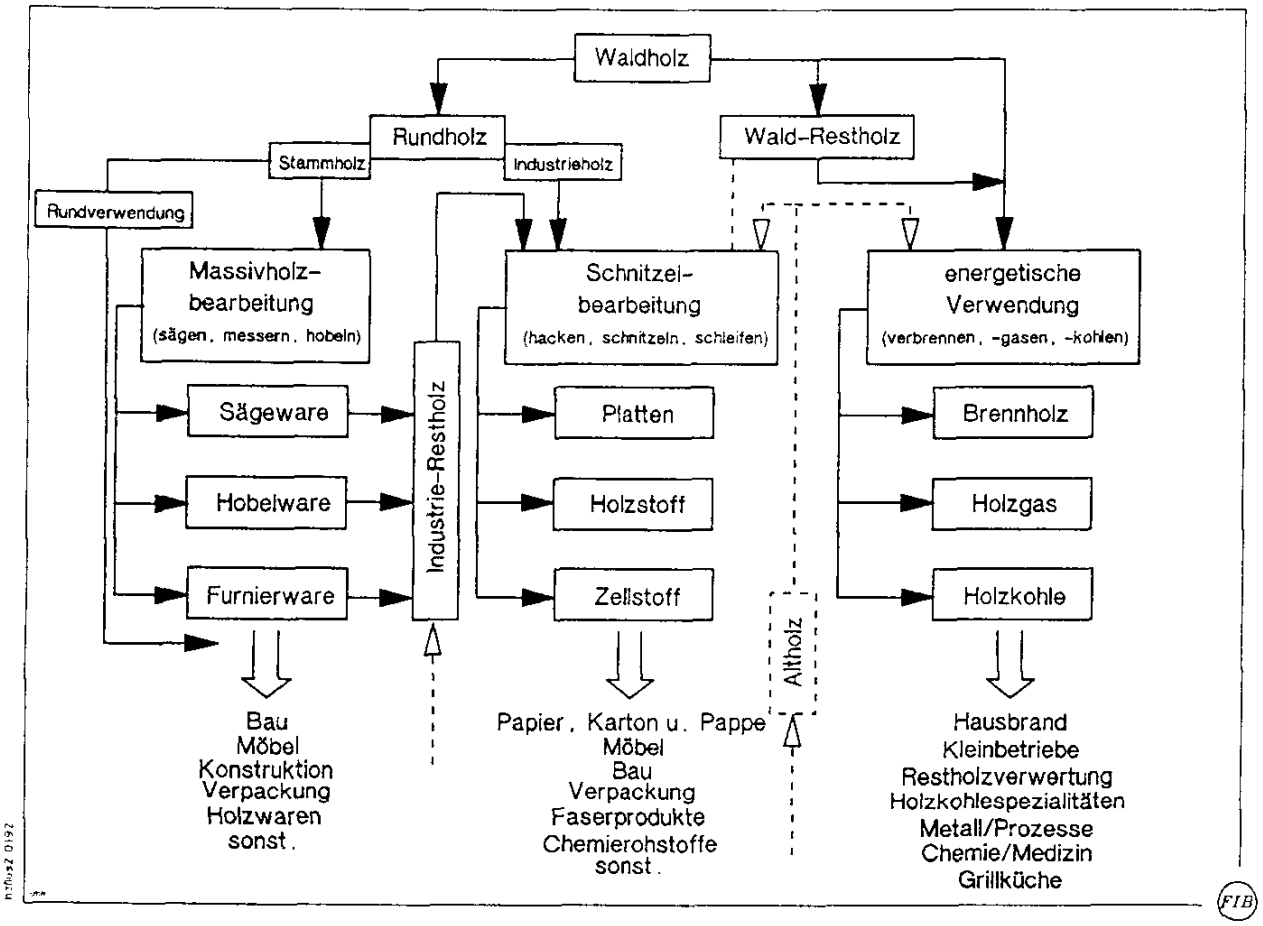


Abbildung V.1.3-1: **Nutzungsfelder für Holz**

Eine weitere Erschwernis liegt in der breitgestreuten Größenstruktur der Betriebe und ihrem extrem unterschiedlichen Integrationsgrad. Trotzdem wurde versucht, dem Gesamtbild soweit wie möglich nahezukommen.

1.3.1.2 Das Mengenbild der 1. und 2. Marktstufe

Die Holzverfügbarkeit und die Verbrauchsmengen der 1. Be- und Verarbeitungsstufe zur Erzeugung von Halbwaren werden für das Jahr 1988 in Abbildung V.1.3-2 dargestellt. Besondere Anmerkungen zu einzelnen Positionen sind getrennt aufgeführt.

Für die rechnerische Kontrolle von Verbrauch und Produktion in den einzelnen Rubriken wurden in der Holzwirtschaft gängige Umrechnungsfaktoren benutzt. Gewisse Unterschiede im Zahlenmaterial der einzelnen Quellen sind auf verschiedene Erhebungszeiträume (Forstwirtschaftsjahr, Kalenderjahr) sowie Korrekturen in späteren Jahren und nicht immer kongruente Abgrenzungen zurückzuführ-

ren. Die Mehrzahl der benutzten Daten stimmen mit den Angaben in den AID-Blättern "Holzwirtschaft" überein.

Als Datenurquellen dienten die Außenhandels- und Produktionsstatistik (STATISTISCHES BUNDESAMT, div. Jahrgänge), die BML-Statistik (BML, div. Jahrgänge), die ZMP-Bilanzen (ZMP, Jahrgänge), die AID-Blätter sowie mehrere Jahresberichte je von VDP und VDS.

Bezüge bzw. Lieferungen im Handelsverkehr mit der ehemaligen DDR wurden als Importe bzw. Exporte behandelt.

Die Verbräuche für energetische und sonstige Zwecke wurden nicht explizit berechnet, sondern als offene Bilanzposten belassen. Ein Teil der Rohholz- und Restholzmengen für energetische Verwendung dürfte sich überhaupt der statistischen Erfassung entziehen. Das gleiche gilt auch für die Entnahme von Industrieholz für die Rundverwendung.

Die letzten Zeilen in der Abbildung V.1.3-2 stellen die rechnerische Verfügbarkeit bzw. das Angebot der 1. Verarbeitungsstufe dar.

Das Waldrestholz als Biomasse-Reserve aus Ernte und Durchforstung ist nur abzuschätzen. WIPPERMANN (1990a,b) gibt hierfür 5 bis 6 Mio m^3/a an (ca. 3 Mt/a, absolut trocken (atro)).

Die Angaben zum Industrierestholz beruhen ebenfalls auf Schätzungen. Es fällt in den Verarbeitungsbetrieben der ersten und zweiten Stufe an und kann grob aus der Materialausbeute ermittelt werden.

Sofern in den Bearbeitungsbetrieben unentrindetes Rohholz angeliefert wird, gehört die Rinde mit zu den industriellen Reststoffen. Industrieholz wird in den meisten Fällen mit Rinde verkauft, so daß bei den Hauptabnehmern (Zellstoff- und Spanplattenindustrie) die Rinde mit ~10 % des Stammholzvolumens anfällt. Beim Stammholz wird zunehmend die aufwendige Handentrindung durch Maschinenentrindung ersetzt, wobei dann der Reststoff an zentralen Plätzen in großen Mengen anfällt, während er bei einer Handentrindung im Wald über ein größeres Areal verteilt liegen bleibt. In den erstgenannten Fällen kann Rinde ein Problemstoff werden, sofern sie nicht einer geeigneten Verwendung zugeführt werden kann, z.B. als Rindenmulch, als Füllstoff bei Erdarbeiten oder als betriebliches Brennmaterial.

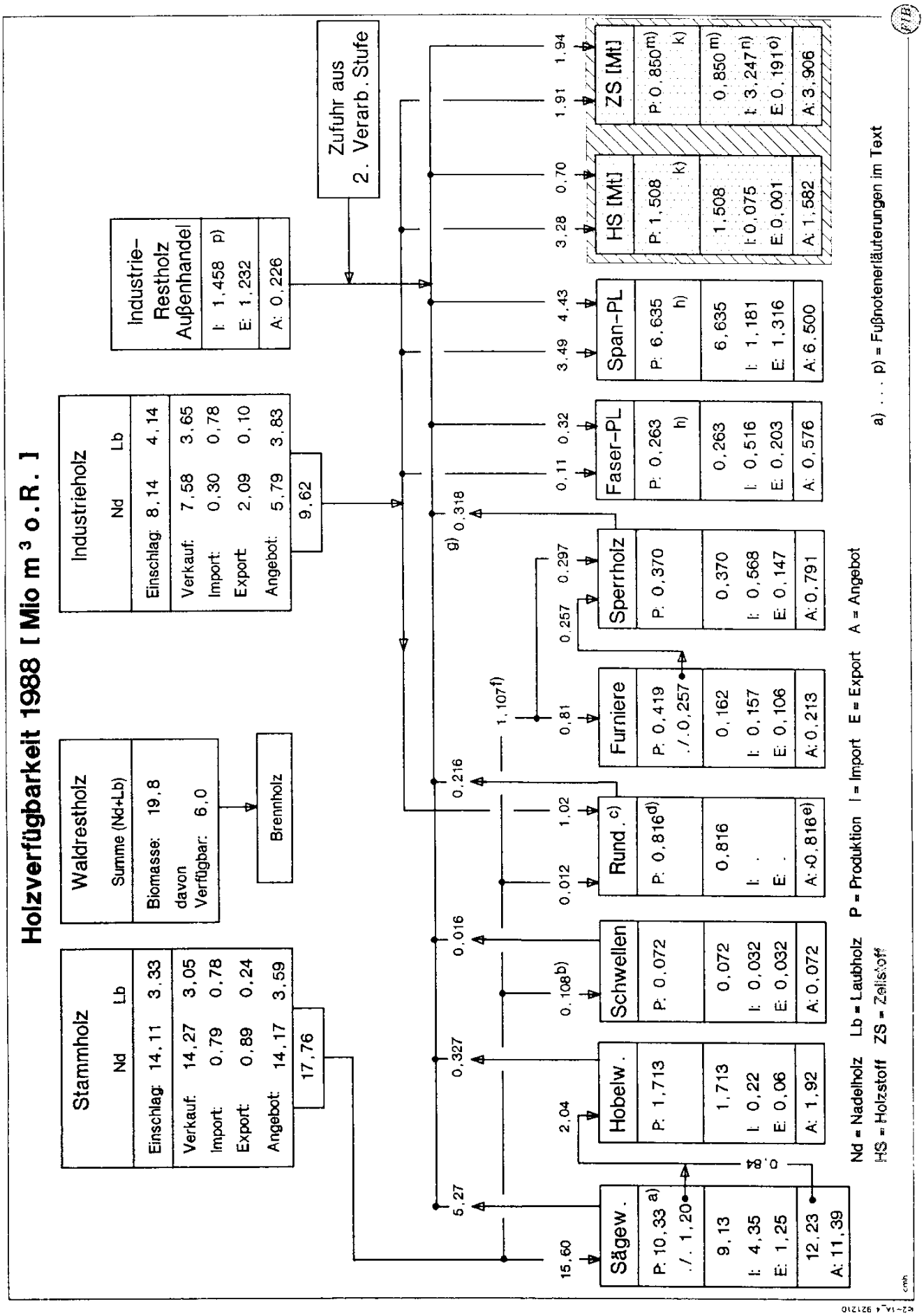


Abbildung V.1.3-2: **Holzverfügbarkeit in der 1. und 2. Marktstufe für 1988**

Erläuterungen zu den Fußnoten der Abbildung V.1.3-2:

a) Es wurde mit einer Ausbeute von f=0,662 gerechnet, wobei ein Anteil spanender Verarbeitung mit f=0,70 angenommen wurde.

b) BML (Jahrgänge), hier: 1990

c) Pfähle, Palisaden, Stützen und Grubenholz sowie Masten

d) Angenommene Ausbeute f=0,80

e) Komplette Unterlagen über Importe und Exporte konnten nicht gefunden werden; sie wurden daher fortgelassen. Es ist anzunehmen, daß das Angebot an Rundverwendungen deutlich größer ist, als es die statistischen Meldungen ausweisen.

f) Der angegebene Wert ergibt sich aus der Verwendung der Einzelausbeuten von Furnier- und Sperrholzkomponenten; setzt man für Furnier und Sperrholz den gleichen Ausbeutefaktor von 0,435 an, ergäbe sich ein Stammholzeinsatz von 1,22 statt 1,107 Mio m^3 ohne Rinde (o.R.).

g) Die Restholzerzeugung, die für alle anderen Restholzerzeugungen als Differenz zwischen Rohstoffeingang und Produktausgang (verlustlos) gerechnet wurde, wurde bei Sperrholz für die Produktion von Furnieren und Sperrholz gemeinsam angegeben.

h) Für Faser- und Spanplatten wurden sowohl die Rohstoffeinsätze als auch Produkt- und Außenhandel direkt den Statistiken entnommen (STATISTISCHES BUNDESAMT (Jahrgänge); ZMP; VDP).

i) j) (ohne Text)

k) Die Angaben für Holzstoff (HS) und Zellstoff (ZS) sind abweichend von den anderen Angaben in Megatonnen (Mt) erfolgt.

m) ...darin 0,14 Mt Chemiezellstoff

n) ...darin 0,17 Mt Chemiezellstoff

o) ...darin 0,06 Mt Chemiezellstoff

p) Umrechnung der Restholzkomponenten aus Dezitonnen (dt) in Kubikmeter (m^3) mit dem Faktor 0,16; Einzeldaten wurden ZMP (Jahrgänge), hier: 1989, entnommen.

Der Einsatz des Industrierestholzes erfolgt entsprechend der Qualität in der Holzwerkstoffproduktion oder in der Zellstoffherstellung. Wegen der teilweise stattfindenden innerbetrieblichen energetischen Verwendung, die am Markt nicht auftaucht, ist es schwierig, exakte Bilanzen aufzustellen. Nach Angaben von RESSEL (1986) decken allein Säge- und Spanplattenindustrie gut 65 bis 70 % ihres thermischen Energiebedarfs durch Holzreststoffe (RESSEL und FRÜHWALD 1986).

Für Altholz hat sich ein Teilmarkt gebildet, der in seiner weiteren Entwicklung sehr stark von der Möglichkeit der Sammlung und Sortierung bestimmt wird. 1983 wurde sein Volumen auf 120 bis 140 Kilotonnen, lufttrocken (lutro), geschätzt.

1.3.1.3 Das Mengenbild der 3. Marktstufe

Die Abbildung V.1.3-3 veranschaulicht die weitere Verwendung des Holzes als Halbware in der 3. Marktstufe (Fertigprodukte), wobei hier die Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten des Holzes auf sieben Hauptgruppen zusammengefaßt wurde:

1. Außenverwendung und Bergbau
2. Bau- und Bauhauptgewerbe
3. Ein- und Ausbau
4. Möbel und Holzwaren
5. Holzverpackungen
6. Papier, Karton und Pappe
7. Chemiezellstoff

Die Mengenangaben sind jeweils in Kubikmetern bzw. Tonnen Ware angegeben, mit der Folge, daß die Gruppen nicht oder nur unter Vorbehalt miteinander vergleichbar sind. Die Gruppierung erlaubt aber, unter dem Gesichtspunkt der technologischen Entwicklung für eine Verwendung von lignocellulosehaltigen Rohstoffen, Hauptströmungen der derzeitigen Verwendungsmöglichkeiten unter Marktbedingungen erkennen zu können. Eine Gegenüberstellung auf der Basis von Rohholzäquivalenten ($m^3(r)$) zeigen die Abbildungen V.1.3-4 und V.1.3-5.

Drei Schwerpunkte des Holzeinsatzes in der 3. Marktstufe sind von Bedeutung:

- Bauwesen (Bauhaupt- und Nebengewerbe, Ein- und Ausbau)
- Möbel- und Holzwarenindustrie
- Papier- und Zellstoffindustrie.

Holzverwendung 1984

in Mio. m³ bzw. t (Ware)

	1. Verarbeitungsstufe									
	Schnitt Hobel		Rundver- a) wendung	Furnier Sperr		Faser Span		Holzstoff b) Zellstoff	
	11,13	1,76	0,836	0,25	0,77	0,42	5,92	1,46	3,40
	2. Verarbeitungsstufe								
Summe	10,25	2,52	1,128	0,225	0,358	0,267	5,789	1,41	3,18
Außenverwndg. + Bergbau	0,535		1,128					c)	
Baugewerbe	4,536				0,050		0,075		
Ein- und Ausbau	1,868	2,24		0,147	0,101	0,177	2,346		
Möbel + Holzwaren	1,031	0,28		0,078	0,167	0,090	3,242		
Holz-Verpackungen	2,278				0,040		0,126		
Papier, Karton + Pappe	–	–						1,41	2,94
Chemie-(Edel-)Zellstoff	–	–							0,24

Erläuterungen:

a) Die Rubrik Rundverwendung enthält hier auch Schwellen und Grubenholz.

b) Die Abschätzungen der Rubriken, bis auf Holzstoff und Zellstoff, beruhen auf den Angaben von MÜLLER und BECKER (1987).

c) Angaben in Mio t

Abbildung V.1.3-3: Holzverwendung in der 3. Marktstufe für 1984

In der Abbildung V.1.3-4 werden die Verwendungen der sechs wichtigsten Holzhalbwaren miteinander verglichen. Wie sich zeigt, sind im breiten Spektrum des Angebots der dritten Marktstufe wiederum zwei Warengruppen aggregierbar:

- Schnitt- und Hobelholz (Säge- und Hobelware)
- Span-, Faser- und andere Platten (Holzwerkstoffe).

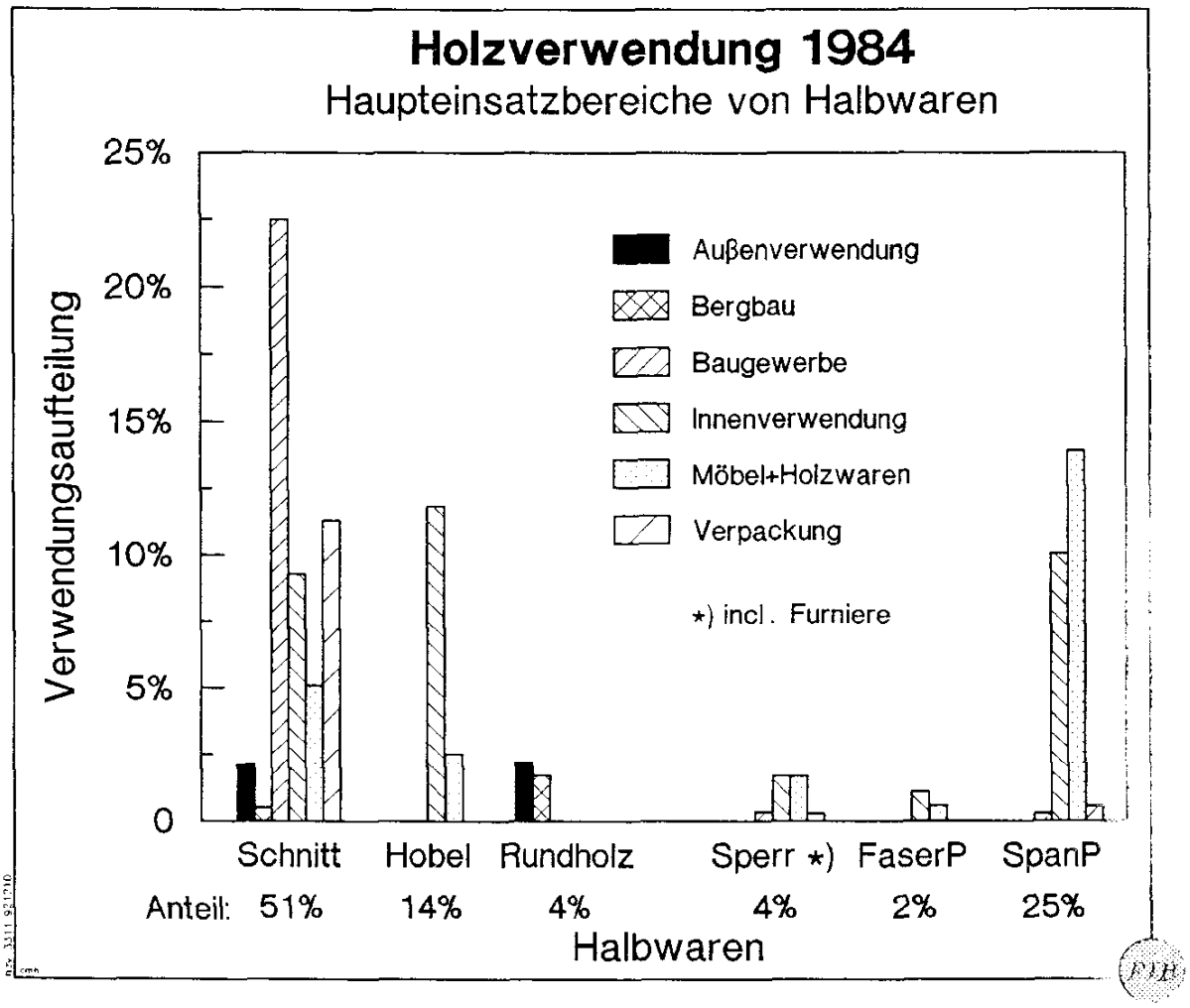


Abbildung V.1.3-4: **Holzverwendung 1984 - relative Aufteilung der Halbwaren in sechs Verwendungsbereichen (auf der Basis von Rohholz-äquivalenten)**

Angaben über die prozentuale Aufteilung der Halbwaren auf die einzelnen Verwendungsbereiche (3. Marktstufe "Nachfrage") zeigt die Abbildung V.1.3-5. Darin sind die Anteile der Holzhalbwaren einzelner Verwendungsbereiche sowie deren Gesamtvolumen einander gegenübergestellt.

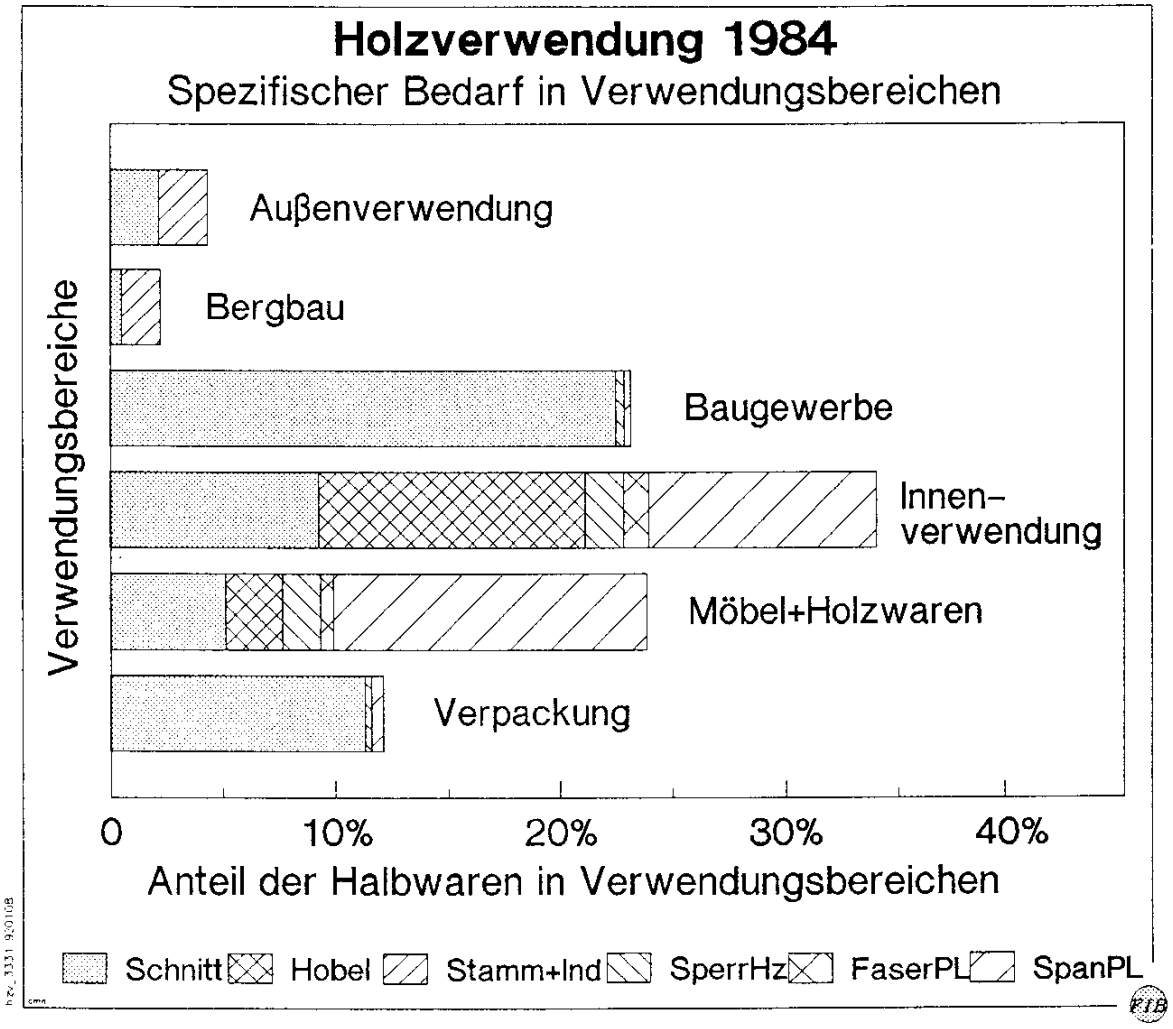


Abbildung V.1.3-5: **Holzverwendung 1984 - spezifischer Einsatz von Halbwaren in sechs Verwendungsbereichen (auf der Basis von Rohholzäquivalenten)**

1.3.2 Säge- und Hobelholz

1.3.2.1 Sägeindustrie

Die Sägeindustrie einschließlich der mit ihr verbundenen Hobelwerke ist in der Bundesrepublik Deutschland mit Abstand der wichtigste Abnehmer für inländisches Rundholz. Etwa 85 % des verfügbaren Rundholzes werden von ihr verarbeitet. Beim inländisch verfügbaren Nadelholz beträgt der Anteil sogar 98 %.

Die Säge- und Hobelindustrie stellt Produkte für die gewerbliche und industrielle Weiterverwendung her. Das im Sägewerk aus Rundholz produzierte Schnittholz besteht nach DIN 68252 aus Balken, Kant- und Kreuzhölzern, Bohlen, Brettern, Latten. Die natürlich und/oder künstlich getrocknete Sägeware wird durch Hobeln, Schleifen und Imprägnieren weiterveredelt. Aber auch der private Bereich, also der Verbraucher selber, verarbeitet die Produkte der Holzverarbeitungsindustrie, welches an der Angebotspalette der Bauverbrauchermärkte deutlich sichtbar ist.

In der Holzbe- und -verarbeitungsbranche stehen der Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit durch ständige Weiterentwicklung, Neuentwicklung von Produkten und Pflege bestehender bzw. Erschließung neuer Märkte beispielsweise folgende Hemmnisse entgegen (GREFERMANN 1988, NEUSER 1986, MOOG 1988, OLLMANN 1988):

- Die hohe Anzahl der kleinen und kleinsten, d.h. der auf handwerklicher Ebene operierenden Betriebe.
- Die eng begrenzten, zum Teil auf lokale Gegebenheiten aufbauenden Märkte.
- Die nur beschränkt variierbar angebotene Produktpalette (Schnittholz), die von der Abnehmerstruktur her kaum Produktionsvariationen zuläßt.
- Die Abhängigkeit der Rohstoffversorgung, die wegen der Transportkosten eine Festlegung auf die im Einzugsgebiet vorherrschenden Baum-/Holzarten bewirkt.
- Die Abhängigkeit von einzelnen Rohstoffanbietern mit monopolistischen Zügen (öffentliche Forstverwaltungen), deren Einschlagsprogramme sich zudem nur bedingt am Marktgeschehen ausrichten.
- Der Einfluß von Naturereignissen, zum Beispiel Windwurf, Kalamitäten, Waldsterben, die das Marktgeschehen unvorhersehbar beeinflussen.
- Die mangelnde Transparenz des Marktes.
- Der Einfluß internationaler Wettbewerbsverhältnisse, sowohl bei Massenprodukten (Ostblock) als auch bei Spezialitäten, u.a. durch Wechselkursschwankungen.

Diese Hemmnisse gelten nicht nur für die Bundesrepublik Deutschland, sondern auch, unter Berücksichtigung der regionalen und nationalstaatlichen Besonderheiten, für den europäischen Wirtschaftsraum (SMITH 1990). So haben die innovativen Entwicklungen, die den Holzmarkt beeinflussen, vorwiegend in den Ländern Skandinaviens und Nordamerikas ("Northscan") stattgefunden. Die Holzwirtschaft hat hier einen hohen Stellenwert. Für eine deutsche wie auch für eine europäische Betrachtungsweise hat daher der in absehbarer Zeit geplante Beitritt der EFTA-Länder zur EG eine besondere Bedeutung.

Für die Erfolgsrechnung im Sägewerk wirkt sich der Rundholzkaufpreis am stärksten aus. Er macht etwa die Hälfte aller Kosten aus. Die Säge- und Hobelindustrie kauft aber nicht nur rohes Rundholz, sondern in nicht unerheblichem Maße Schnittholz, welches sie zu höherwertigen Produkten weiterverarbeitet. Im Zusammenhang mit einer Ausdehnung des Sortiments werden auch Holzwerkstoffe zugekauft.

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Säge- und Hobelindustrie wird darüber hinaus auch noch durch Lohnverarbeitung verdeckt, da diese zu verarbeitenden Mengen, weil nicht zum Absatz bestimmt, unzureichend, manchmal doppelt, in der Statistik erscheinen. Hinzu kommt noch, daß als Folge der Strukturveränderungen die exakte Trennung von Säge- und Hobelwerken zunehmend schwindet.

Im internationalen Vergleich sind die Kosten für Holzwerbung und Transport in der Bundesrepublik Deutschland vergleichbar teuer. Sie werden über die Rundholzpreise weitergegeben. Das hohe Kostenniveau hat Gründe, die nicht nur auf mangelnde Rationalität zurückzuführen sind, sondern auch auf die vielfältigen Ansprüche, welche die deutsche Waldwirtschaft und deren Organisationsform zu erfüllen haben (EKLUND et al. 1979):

- geringe Kooperation zwischen Waldbesitz und Holzwirtschaft bzw. gewollte Auftrennung in diese beiden Bereiche,
- kleinstrukturierte Holzabnehmer,
- Landschafts- und Umweltschutzauflagen,
- Funktionen für den Tourismus,
- Hochlohnniveau und das forstwirtschaftliche Tarifsystem.

Die Sägeindustrie ist weitgehend klein- und mittelbetrieblich strukturiert.

Der seit Ende des 2. Weltkrieges zu beobachtende Strukturwandel hat dazu geführt, daß sich die Anzahl der Betriebe stark vermindert hat, während das Pro-

duktionsniveau nahezu konstant geblieben ist, d.h., es pendelte jeweils absatzbedingt um den Wert von 8 bis 11 Mio m^3/a Schnittware (SCHREIBER et al. 1988).

Die Unterteilung in Sägewerke und Hobelwerke ist historisch und spiegelt die technische Entwicklung wider. Der Hobelvorgang dient nicht allein der Oberflächenveredlung und Profilausbildung, sondern gleicht auch die Querschnittsveränderungen des Holzes aus, welche durch das trocknungsbedingte Schwinden entstehen.

Die Struktur der Sägeindustrie weist zwischen den Bundesländer große Unterschiede auf, wie es die regionale Verteilung des Holzangebots auch erwarten läßt. In den waldarmen, aber verkehrsgünstigen Küstenländern überwiegt die Verarbeitung von Importholz, vorwiegend tropischen Laubholzes, und auch von Import-Schnittholz (Hobelwerke).

1.3.2.2 Rundholznachfrage und technische Entwicklung

Die Abhängigkeit des Angebots von der Rundholznachfrage ist gering. Die jährlich angebotene Rundholzmenge weist nur geringe Schwankungen auf. Die Waldbesitzer reagieren nicht spontan auf Marktbewegungen (STEINLIN 1984). Die "Vorräte auf Stock" sind keine marktstrategische Manövriermasse, sondern Ergebnis anderer, in der Regel langfristiger waldbaulicher Prozesse. Es ist wiederholt die Beobachtung gemacht worden, daß besonders die Kleinwaldbesitzer die Sparkassenfunktion des Waldes in den Vordergrund ihrer "Einschlagpolitik" stellen (LAMMEL 1976).

Auch bei den großen Privat-, Staats- und Kommunalforsten ist die langfristige Orientierung besonders ausgeprägt (MOOG 1988).

In dem Maße, wie die Forstwirtschaft dem Prinzip der Nachhaltigkeit verpflichtet ist, kann die nachgelagerte Sägeholzindustrie das Rohholzangebot, d.h. ihre Rohstoffversorgung, selbst nicht durch höhere Preise beeinflussen. Eine verstärkte Nachfrage führt nur zu höheren Preisen, da die Mitwettbewerber um den Rohstoff konkurrieren.

In dieser Tatsache wird die Ursache für den beobachteten Trend in der Schwachholzverarbeitung mit Hilfe der Spanertechnologie gesehen. Schwachholz, in den Stärkensortierungen B und C, wird als Industrieholz angeboten und bietet sowohl preislich als auch mengenmäßig eine Alternative (FABER 1985). Die neue Technik der Schwachholz-Sägewerke kann das Rohholzangebot für die Sägeindustrie durch Ausnutzung der geringeren Durchmesser verbessern. Sie gerät allerdings

in Konkurrenz zu den klassischen Industrieholzverbrauchern, den Zellstoff- und Spanplattenwerken.

Als Auswirkung dieses Prozesses ist schon seit längerer Zeit ein Nachlassen der Nachfrage für Starkholz zu beobachten. Geringere Abmessungen werden nachgefragt, da diese universeller einsetzbar sind. Größere Querschnitte werden durch Ausnutzung der konstruktiven Möglichkeiten des Werkstoffes Holz zusammengebaut.

Die aus dieser Entwicklung entstehenden Probleme für das Starkholz sind nach den anfänglich ersten Hinweisen nun nicht mehr zu übersehen (NEUSER 1986, BECKER 1986, SCHULZ et al. 1988, BARTELHEIMER 1986, DEPPE 1987b). Der Begriff des sogenannten "Wertholzes" in der Holznutzung war lange Zeit geprägt von den Erfordernissen eines Marktes, der starkes Stammholz mit Abstand gut bezahlte, da die starken Abmessungen besondere Vorteile bei der Verarbeitung in der Gattersäge haben. Die Wertsteigerung nahm mit dem Stammdurchmesser überproportional zu. Diese Wertstellung trifft heute uneingeschränkt nur noch für Furnierholz zu, strenggenommen aber nur für dekorative Verwendungszwecke, da auch hier technische Entwicklungen die Verwendung schwächerer Ausgangsstämme mit anschließender Nutzung der Spindel ermöglichen.

Das Nachlassen der Starkholznachfrage hat zu dem sogenannten "Starkholzproblem" geführt, was etwa soviel bedeutet, daß die hiebreife Stammware zur Zeit nicht mehr die Abnehmerpreise findet, die bei der Betriebsplanung vorgesehen waren. Da entweder die Gefahr besteht, daß die Holzqualität mit der Zeit auch im Bestand verlorengeht oder aber der weitere Massenzuwachs unwirtschaftlich wird, bleibt nur die Konsequenz: Es muß "unter Wert" veräußert werden.

Die Einkaufspreise müssen also weiter in dem Maße sinken, wie aus Schwach- und Restholz Produkte erzeugbar sind, die mit dem "Stark"-Schnittholz nicht nur hinsichtlich der Kosten, sondern auch der Qualität konkurrieren können (FABER 1985).

Die Schwachholznachfrage und der weitere Ausbau von Recyclingprozessen kann ein Überdenken der Wertvorstellungen und waldbaulichen Zielsetzungen auslösen.

1.3.2.3 Schnittholzproduktion

Trotz der hohen inländischen Nachfrage ist 1989 die Ausfuhr von Nadelstammholz auf über 1 Mio Festmeter (fm) angestiegen, obwohl 1989 keine Kalamitäten Anlaß für dieses hohe Exportergebnis gegeben haben. Der Trend hat sich bis 1992 fortgesetzt. Die Menge hat sich gegenüber 1991 fast verdoppelt und nunmehr die Grenze von 4 Mio fm/a überschritten (AGRA-EUROPE 1992).

Das Nadelschnittholz stellt als Massenware das Hauptkontingent der Sägewerksprodukte dar. Nach Daten von MÜLLER betrug die Verteilung des Schnittholzes für 1984: 44 % Baugewerbe, 22 % Verpackung, 18 % Innenverwendung und knapp 10 % Möbel und andere Holzwaren; der Rest verteilte sich auf Bergbau und Außenverwendung.

Trotz hoher Inlandsproduktion führt die Bundesrepublik Deutschland zur Dekkung ihres Schnittholzbedarfs traditionell einen Teil des benötigten Schnittholzes ein.

Bei den Einfuhren liegt mit Abstand das Nadelschnittholz vorn. Die Einfuhr dieses Segments stieg im Jahr 1989 um 13,9 % auf etwa 3,8 Millionen Kubikmeter. Die Importquote für Laubschnittholz liegt seit den 70er Jahren mit rund 35 bis 40 % bei einem Volumen von 800 000 Kubikmetern pro Jahr.

Die Ausfuhr von Schnittholz konnte in der Vergangenheit stetig ausgebaut werden, wobei dieser Warenstrom teilweise mit zur Entlastung des Inlandsmarkts beitrug, auch wenn sein Anteil an der Schnittholzproduktion nie mehr als 13 % betrug. Außer acht sollte dabei aber nicht gelassen werden, daß das Holz, als Fertigprodukt oder in anderer Form veredelt, mit einer Zeitverschiebung wieder auf der Einfuhrseite steht.

Zusammenfassend läßt sich zur gegenwärtigen Außenhandelssituation bei Schnittholz sagen:

- Der Markt für Schnittholz ist stark internationalisiert.
- Mengenmäßig ist der europäische Markt ausgeglichen. Den Importländern Großbritannien, Bundesrepublik Deutschland, Italien, Frankreich, Niederlande, Dänemark, Belgien und Spanien stehen die starken Exporteure Skandinaviens, Österreichs und Portugals gegenüber.
- Der Handel mit Nordamerika und Kanada beschränkt sich auf solche Holzarten und Sortimente, die innerhalb Europas nicht zur Verfügung stehen.

Der mengen- und wertmäßig wichtige Nadelschnittholzmarkt läßt sich in drei wesentliche Teilmärkte gliedern (BRICKENSTEIN 1982):

- Den Markt für zentraleuropäische Hölzer, der im wesentlichen einheimische und südosteuropäische Provenienzen umfaßt. Das Geschehen auf diesem Markt bestimmt vor allem die Preisbildung für die Sortimente, die für Bauholz und Verpackungszwecke benötigt werden. Die Einfuhren haben etwa einen Anteil von 25 %.

- Den Markt für nordische Hölzer aus Skandinavien und der ehemaligen UdSSR, der vor allem den Innenausbaubedarf berührt. Eine Bewertung der Liefermöglichkeiten aus den GUS-Ländern hat weitgehend historischen Charakter, kennzeichnet aber das Rohstoffpotential. Die Lieferung aus diesen europäischen Ländern mit etwa 33 % aller Importe sind vor allem für den deutschen Nadelschnittholzmarkt von Bedeutung.

- Den Markt für überseeische Schnitthölzer. Vor allem aus Nordamerika stehen die in Europa vergleichsweise seltenen astreinen Sortimente im Vordergrund. Die Einfuhren haben etwa einen Anteil von 5 % am gesamten Nadelschnittholzimport.

1.3.3 Holzwerkstoffe

In diesem Abschnitt wird das Marktgeschehen der plattenförmigen Holzwerkstoffe behandelt, die unter Berücksichtigung der Rohstoffsituation grundsätzlich von Bedeutung sind. Es sind hier (in der Reihenfolge ihrer Marktbedeutung) zu nennen:

- Spanplatten
- Furnierplatten, Sperrholz
- Faserplatten

Gemeinsames Kennzeichen aller dieser Holzwerkstoffe ist, daß sie aus mechanisch bearbeiteten Holzelementen aufgebaut sind. Die physikalischen Eigenschaften und die daraus resultierenden Verwendungsmöglichkeiten sind in starkem Maße von den natürlichen Struktureigenschaften der verwendeten Holzteile, den Bindemitteln (Leime) und der Holzwerkstoff-Elementeform abhängig. Der Grad der Auflösung der natürlichen Holzstruktur reicht von gesägten/geschnittenen Teilen (Sperrholz) über Späne unterschiedlichster Größe und deren Ausrichtung im Produkt (Spanplatten), bis hin zur völligen Desintegration zu Fasern (Faserplatten, Mitteldichte Faserplatten (MDF)).

Spanplatten werden, im Gegensatz zu Faserplatten und Sperrholz, in der Bundesrepublik Deutschland in nennenswertem Umfang hergestellt. Die beiden letztgenannten Holzwerkstoffe besetzen dagegen innerhalb der Einfuhren ein nicht unbeträchtliches Marktsegment.

1.3.3.1 Spanplatten

Die Spanplatte ist ein "plattenförmiger Holzwerkstoff, im wesentlichen hergestellt durch Verpressen von kleinen Teilen aus Holz und/oder anderen holzartigen Faserstoffen (z.B. Flachsschäben, Hanfschäben) mit Bindemitteln" (DIN 68761). Die Oberfläche kann roh ("Spanstruktur"), geschliffen oder mit geeigneten Beschichtungsstoffen behandelt sein.

In den meisten Fällen werden Spanplatten hauptsächlich aus den beiden Komponenten Holz und Kunstharzbindemittel hergestellt. Die Spanplattenindustrie hat sich in den letzten 20 Jahren praktisch zum größten Schwachholzverbraucher in Europa entwickelt (DEPPE & ERNST 1990).

Das Produkt Spanplatte wird als industrielles Massenprodukt in weitgehend automatischen Fertigungsstraßen erstellt, bei dem eine Vielzahl von Einflüssen aufeinander abgestimmt werden müssen, die letztendlich die Preiswürdigkeit des Produktes am Markt bestimmen.

Grundsätzlich lassen sich bei der Spanplattenherstellung zwei Verfahrenslinien unterscheiden, die beide voraussetzen, daß das Holzmaterial zuvor in definierte Spanformen zerlegt und mit dem Bindemittel vermischt worden ist:

- Im Flachpreßverfahren werden mehr als 95 % aller Spanplatten (weltweit) erzeugt.
- Beim Strangpreßverfahren werden in einem beheizten Formling die beleimten Späne mit einem Kolben zusammengepreßt und kontinuierlich ausgetrieben.

Eine Sonderrolle nehmen Platten ein, die entweder mit ausgerichteten Spänen arbeiten, sog. OSB (engl. "Orientated Structure Boards") oder eine Kombination von Sperrholz und Spanplatte darstellen (Comply-Platten).

Bei den OSB-Platten werden "Riesen-Späne" verwendet, die im Idealfall ein Längen-Breitenverhältnis von etwa 10 : 1 aufweisen und die gezielt innerhalb der Plattenmatrix ausgerichtet werden. Die Spanorientierung rechtfertigt teilweise die Charakterisierung der Platte als "synthetisches Sperrholz".

Das Comply-Verfahren erzeugt aus etwa 20 bis 30 % des Holzes Schälfurnier. Der verbleibende Rest des Schälblocks wird zerspant und zur Mittellage verarbeitet,

auf die dann beidseitig in einem Arbeitsgang Furnierdecks aufgepreßt werden. Die Platte hat vorwiegend die Eigenschaften einer Spanplatte und ähnelt äußerlich einer Sperrholzplatte.

Die Zahl der Hersteller von Spanplatten ist in der Bundesrepublik Deutschland stark geschrumpft. Im Jahre 1969 waren noch 78 Werke tätig, 1988 sind hiervon nur noch 36 übriggeblieben. Trotz der Reduzierung der Anzahl von Produktionsstätten ist die Produktionskapazität der Branche weiter gestiegen. Dabei hat sich die durchschnittliche Werkskapazität in einem Zeitraum von 15 Jahren etwa vervierfacht.

Da die Spanplattenwerke nahezu ausnahmslos in ländlichen Räumen, das heißt in strukturschwachen Gebieten liegen, haben sie dort eine wichtige arbeitsmarktpolitische Funktion. In dem Maße, wie die öffentliche Hand dazu beigetragen hat, daß sich die Arbeitslosigkeit gerade in diesen Regionen nicht besonders ausbreitete, sind mit Hilfe öffentlicher Stützungsmaßnahmen Betriebsschließungen verhindert worden (GREFERMANN 1988).

Der Holzpreis stellt den wichtigsten einzelnen Kostenfaktor bei der Spanplattenherstellung dar. Da Holzkosten und Spanplattenpreise nahezu parallel verlaufen, ist man bemüht, den Anteil des teuren Waldholzes durch Restholz zu ersetzen. In dem Umfang, wie die Hartholzarten Eiche und Buche in den Verdacht geraten sind, daß ihre Stäube karzinogen wirken, sind diese Sortimente beinahe völlig als Rohstoffe ausgeschieden.

Die deutsche Span- und Faserplattenindustrie hat einen technischen Stand erreicht, der im Hinblick auf die Verwendung von Industrieresthölzern keine Probleme erwarten läßt. Dies gilt auch für andere holzwerkstofferzeugende Länder, so daß die Bedeutung des Waldholzes als Rohstoffquelle abnimmt, dagegen das Koppelprodukt aus der Verarbeitung von Waldholz in anderen Bereichen, das Restholz, an Bedeutung gewinnt.

Die Auseinandersetzung um das Formaldehyd hat die Spanplattenindustrie Marktanteile und Image gekostet. Mittlerweile sind die Auflagen in praktisches Handeln umgesetzt, die notwendigen Prüfmethoden standardisiert.

Die deutschen Spanplattenhersteller haben dieser Entwicklung relativ rasch Rechnung getragen. Der Anteil von Platten der Emissionsklasse 3 (E3), der Klasse mit den höchsten noch zulässigen Emissionswerten, ging von knapp 70 % im Jahre 1978 auf Null im Jahre 1985 zurück. Gleichzeitig stieg der Anteil der Klas-

se E1 auf fast 70 %, während die Bedeutung der Klasse E2 seit 1980 eine fallende Tendenz aufweist (DEPPE 1989a, b).

Tabelle V.1.3-1: **Emissionsklassen für Formaldehyd**

Emissionsklasse	Emissionswerte (ppm)
E1	≤ 0,1
E2	> 0,1 ... 1,0
E3	> 1,0 ... 2,3

Unterdessen werden emissionsfreie, das heißt, isocyanatgebundene Spanplatten produziert, die allerdings wegen der höheren Leimkosten eine (noch) nicht so weite Verbreitung erfahren haben. Inzwischen steht aber der bei der Verarbeitung der Platten entstehende Staub im Verdacht, Krebs auszulösen.

1.3.3.2 Andere plattenförmige Holzwerkstoffe

In der Bundesrepublik Deutschland werden MDF-Platten (noch) nicht hergestellt, obwohl diese Platten in einer Reihe von Einsatzgebieten den Spanplatten weit überlegen sind.

Als Gründe für den mangelnden Einsatz der MDF-Platten in deutschsprachigen Ländern und generell in Westeuropa werden angeführt (GREFERMANN 1988):

- Die Spanplatte hat in Europa eine starke Position auf einem hohen technischen Niveau bei Fertigung und Verarbeitung.
- Die Vorteile der MDF-Platte im Hinblick auf ihre Profilierbarkeit der Kanten wird von den Möbeldesignern noch nicht voll ausgenutzt.
- Die Investitions- und Produktionskosten bewirken einen doppelt so hohen Preis wie den für Spanplatten.
- Die Formaldehydemissionen sind wegen des höheren Leimanteils höher und bedingen damit einen höheren Aufwand zur Verminderung, welcher über den Preis weitergegeben wird.

Die Gipsspanplatte ist eine deutsche Entwicklung, die zu 75 bis 80 % aus Gips besteht. Seit 1985 ist in Finnland eine Produktionsanlage in Betrieb. Über den Marktanteil gibt es noch keine ausreichenden Angaben.

Von den anderen plattenförmigen Holzwerkstoffen neben der Spanplatte haben unter Marktgesichtspunkten nur noch Sperrholz und Faserplatte eine Bedeutung. Der Furnierholzmarkt läßt im Hinblick auf die Verwendung von Holz nur geringe Auswirkungen erwarten.

Sperrholz ist der älteste Holzwerkstoff, welcher die natürlichen Qualitätsmerkmale von gewachsenem Holz zu erreichen, gleichzeitig aber dessen Nachteile, wie Schwinden und Reißen, zu vermeiden sucht. Darüber hinaus erlaubt dieser Holzwerkstoff eine optimale Ausnutzung des Rohholzes und den Einsatz von minderwertigem Material.

Die Holzfaserplatte ist ein Holzwerkstoff, der die verholzten Fasern mit oder ohne Bindemittel verarbeitet. Die Beschaffenheit und die Eigenschaften der Holzfaserplatten werden im wesentlichen durch die Art des Herstellungsprozesses dieses Werkstoffes beeinflußt. Das Rohmaterial, welches aus schwachem Rundholz oder Resthölzern besteht, wird zerkleinert, bei Temperaturen bis zu 200 °C gedämpft und anschließend mechanisch zerfasert. Der gesamte Rohstoffaufschluß ist mit dem der Zellstoffindustrie vergleichbar.

1.3.3.3 Entwicklungstendenzen für Holzwerkstoffe

1991 wurden in den alten Bundeländern etwa 7,7 Mio m^3 Spanplatten verbraucht. Umgerechnet sind dies 0,125 m^3 je Einwohner. Die Verlängerung der tendenziell steigenden Entwicklung von 1975 an bis 2005 führt - je nach Art der Trenderfassung - zu einer Spanne von 0,135 bis 0,165 m^3 je Einwohner und Jahr. In den neuen Bundesländern betrug der Verbrauch je Einwohner 1986 etwa zwei Drittel des Verbrauchs in den alten Bundesländern. Zu vermuten ist, daß der Pro-Kopf-Verbrauch in Ostdeutschland bis 2005 dem in Westdeutschland nahekommen wird. Wird dies unterstellt, läßt sich für Gesamtdeutschland von 1991 bis 2005 ein Verbrauchszuwachs von Spanplatten in der Spanne von 1,4 bis 3,7 Mio m^3/a abschätzen. Dementsprechend würde der jährliche Verbrauch von etwa 9,0 Mio m^3 (1991) auf 10,4 bis 12,7 Mio m^3 (2005) ansteigen. Dabei sind jedoch steigende Einfuhranteile wahrscheinlich.

Weil in der Kostenstruktur neben den Personalkosten die Rohstoffkosten eine entscheidende Rolle spielen, hat sich die Branche in vermehrtem Umfang auf preisgünstige Rohstoffe in Form von schwachem Waldholz und Produktionsabfällen umgestellt. Auswirkungen der sogenannten neuartigen Walderkrankungen

sind hier noch nicht zu verzeichnen (Waldschadensproblematik). Eine Vielzahl von Untersuchungen hat ergeben, daß Schadholz ohne erkennbare Qualitätseinbußen im Vergleich zu gesundem Holz verarbeitet werden kann (STEINLIN 1984).

Die Verschärfung der Umweltschutzgesetzgebung betrifft die holzverarbeitende Industrie im Bereich Luft und Wasser, aber auch beim Arbeitsschutz.

Im Vordergrund stehen die Anforderungen hinsichtlich der Emissionen von Holzstaub bzw. der von dampf- oder gasförmigen Bindemittelbestandteilen. Mit der Umgruppierung des Holzstaubes von Eiche und Buche in der MAK-Werteliste von der Klasse "krebsverdächtige" in die Klasse "krebserzeugende Arbeitsstoffe" ist eine Reihe schwerwiegender Probleme bei der Produktion entstanden (NIMZ 1988). Bisher ist noch nicht geklärt, in welchem Umfang der Staub auch anderer Holzarten oder der von z.B. Isocyanat-Leimen in diese gesundheitsgefährdende Kategorie eingestuft werden müssen. Abgesehen von den wirtschaftlichen Konsequenzen könnte dies das Ende der einheimischen Faser- und Spanplattenerzeugung bedeuten (DEPPE 1987a).

Auch werden Standortnachteile für die einheimische Industrie befürchtet, da die ausländische Konkurrenz überwiegend in Schwellenländern angesiedelt ist, deren Umweltschutzgesetzgebung nicht unser Niveau hat.

Mit dem weiteren Ansteigen der weltweiten Erzeugungskapazitäten für Holzwerkstoffe muß, auch aus transporttechnischen Gründen, mit einem Zustrom von Holzwerkstoffen in den EG-Wirtschaftsraum gerechnet werden. Hierfür sind ausschlaggebend (DEPPE 1990):

- Die niedrigen Holzpreise (nur 50 % der europäischen) und die ebenfalls niedrigen Energiekosten (rund 20 bis 30 % niedriger). Hierdurch liegen die Produktionskosten z.B. in den USA weit unter dem europäischen Niveau.
- Der US-Dollar-Kurs, da auch außerhalb der USA Holz weltweit überwiegend in dieser Währung abgerechnet wird.
- Die günstigen Frachtkosten durch den Einsatz leerer Rücklaufcontainer nach Europa.

Im asiatischen Raum sind in den letzten Jahren große Kapazitäten aufgebaut worden. So finden hier etwa 33 % der Weltsperrholzerzeugung statt, aber nur 3 % der Weltspanplattenproduktion. Dennoch spricht einiges dafür, daß wegen des geringen Lohnniveaus mit einer Verlagerung der Möbelproduktion in diese Länder zu rechnen ist, wenn auch in diesem Zusammenhang die asiatischen Länder in

den nächsten Jahren noch zu großen Teilen auf Zulieferungen aus der EG angewiesen sind (DEPPE 1989c).

Für die weltweite Konkurrenzsituation der Holzwerkstoffindustrie wird in Zukunft die Lösung folgender Probleme anstehen (DEPPE 1990):

- Eine Intensivierung bei der Entwicklung und Herstellung hochwertiger Holzwerkstofferzeugnisse, um bei internationalem Importdruck weiterhin wettbewerbsfähig bleiben zu können.
- Die langfristige Rohstoffsicherung in Konkurrenz
  - zur Zellstoff- und Papierindustrie,
  - zur schwachholzverarbeitenden Sägeindustrie und
  - zur Energieversorgung.
- Eine Verbesserung des Angebots für die Möbelindustrie, für die die Plattenbeschichtungen verbessert werden müßten.

Im Innovationsbereich sind gegenwärtig keine Anzeichen dafür erkennbar, daß mittelfristig ein größerer Verbrauchszuwachs beim Rohholz in der Holzwerkstofferzeugung zu erwarten ist (HÄBER 1987, DEPPE 1988). Die sich aus der technischen Entwicklung abzeichnenden Trends werden wohl zu Verlagerungen bei der Rohstoffbedarfsdeckung in der deutschen Holzwerkstoffindustrie führen. Es ist zu erwarten, daß nicht nur der Industrieholzanteil, sondern auch der Rest- und Altholzanteil weiter steigen, während der Rundholzverbrauch sich dagegen rückläufig entwickeln wird. Für diese Entwicklung zeichnen mehrere Gründe verantwortlich:

- Im Restholzpotential steht den Spanplattenwerken, unabhängig von der Jahreszeit, ein großes Angebot zur Verfügung.
- Die "Fremdspantechnologie", d.h. das Transportieren, Entladen und Bunkern ist in so kostengünstige Dimensionen gerückt, daß selbst der Ferntransport rentabel geworden ist.
- Das Angebot an importierten Resthölzern weist eine steigende Tendenz auf.

Das Altholzrecycling läßt sich zahlenmäßig schwer abschätzen. In jedem Fall weist es ebenfalls eine steigende Tendenz auf, wobei der Anteil an Fremdspanmaterial für 1988 auf etwa 10 % geschätzt wird. Beim gesamten Holzrecycling, insbesondere des Altholzes, darf allerdings nicht vergessen werden, daß hierin unter Umständen erhebliche Fremdstoffe enthalten sein können, die nicht ohne Konsequenzen für die Verarbeitung sind (DEPPE 1987a). Auch die vor längerer Zeit verwendeten persistenten Mittel auf der Basis von Arsen, Bichromaten, Fluor oder Pentachlorphenol würden so in die Plattenprodukte gelangen, die damit bei den heutigen Anforderungen unverkäuflich sein würden.

1.3.3.4 Zusammenfassung

Für die Holzwerkstoffindustrie läßt sich feststellen, daß auch der künftige Rohstoffbedarf dieser Industrie voll aus dem einheimischen Aufkommen gedeckt werden kann. Spektakuläre Wachstumsraten beim Rohstoffbedarf sind mittelfristig nicht zu erwarten. Als Gründe lassen sich dafür anführen:

- Ein steigender Anteil des Verbrauchs, insbesondere bei den Furnier- und Hartfaserplatten, kann durch kostengünstige Importe aus Drittländern gedeckt werden.
- Die sich abzeichnende Entwicklung führt in erster Linie zu einem Substitutionswettbewerb innerhalb der Holzindustrie, bei dem klassische Produktlinien durch innovative (MDF, CDX-Sperrholz, Comply, OSB) ersetzt werden.
- Durch das Industrierestholzrecycling einschließlich des Altholzrecyclings, steht eine noch nicht voll erschlossene Rohstoffquelle ganzjährig zur Verfügung.
- In den außereuropäischen Ländern stehen Holzplantagen mit enormen Wuchsleistungen zur Verfügung, deren Holz als Rohstoff oder in Form von Verarbeitungsprodukten auf den Markt drängt.

Für die Bundesrepublik Deutschland, einschließlich der neuen Bundesländer, erscheint zwar ein Verbrauchszuwachs von 1,4 bis 3,7 Mio m^3/a an Spanplatten von 1991 bis 2005 als wahrscheinlich, jedoch ist mit steigenden Einfuhranteilen zu rechnen. Wenn man angesichts der Konkurrenzprobleme der inländischen Spanplattenproduktion gegenüber dem Ausland veranschlagt, daß nur etwa zwei Drittel des Verbrauchszuwachses bei Spanplatten durch inländisches Holz versorgt werden, gelangt man bis 2005 zu einer zusätzlichen Nachfrage von etwa 0,5 bis 1,5 Mio t/a nach (billigem) Holz. Dabei ist ein durchschnittlicher spezifischer Holzbedarf von 0,6 t je m^3 Spanplatte angesetzt. Dem preisgünstigen Industrierestholz wird eine weiter wachsende Bedeutung zukommen.

Für die inländische Spanplattenherstellung und für die der EG werden umweltrelevante Entwicklungen von großer Bedeutung sein, die in den Bereichen

- Staubgefahr für die menschliche Gesundheit bei Herstellung und Verarbeitung von Spanplatten und

- dampf- oder gasförmige Emissionen von gesundheitsschädlichen Lösungs- bzw. Bindemitteln, von der Herstellung bis zur Entsorgung,

bereits eingeleitet wurden oder ergänzt werden können.

1.3.4 Zellstoff, Holzstoff und Pappe

1.3.4.1 Inländische Produktion, Importe

Der Bedarf der Papier-, Karton- und Pappe (PKP)-Industrie bestimmt die Nachfrage nach Zellstoff. Der Chemiezellstoffanteil ist unbedeutend. Die überwiegenden Rohstoffe sind Laub- und Nadelholz, begleitet von einem nur geringen Einsatzanteil von Bagasse, Getreide- oder Reisstroh.

Hinsichtlich der Prozeßtechnik ist es sinnvoll, die Herstellung in Sulfat-, Sulfit- und sonstige Zellstoffe zu unterteilen, da sich deren Produkteigenschaften unterscheiden und diese für die Herstellung der Papiere, Pappen und Kartonagen von Bedeutung sind.

Die Erzeugung von Sulfitzellstoff weist, auch weltweit, seit 1980 praktisch keinen nennenswerten Zuwachs auf. Die Tatsache, daß in der Bundesrepublik Deutschland nach dem zweiten Weltkrieg keine Sulfatzellstoffproduktion mehr aufgebaut wurde, ist darauf zurückzuführen, daß aus Umweltschutzgründen hier keine Betriebsgenehmigung für eine Zellstoffherstellung nach dem Sulfatverfahren zu erlangen war.

Die Bedeutung des Sulfatverfahrens für den Aufschluß von lignocellulosehaltiger Biomasse, insbesondere von Holz als dem wichtigsten Rohstoff, ergibt sich aus seiner Flexibilität hinsichtlich der Rohstoffsorten und der sehr guten physikalischen Eigenschaften der daraus hergestellten Zellstoffe. Die Nachteile des Verfahrens sind im wesentlichen in Umweltproblemen zu suchen.

Der in der Bundesrepublik Deutschland angewandte Sulfitprozeß ist, insbesondere unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen, inzwischen so weit angepaßt und verbessert, daß er unter den hier bestehenden Auflagen grundsätzlich genehmigungsfähig ist. Allerdings ist der Einsatz einiger Holzarten, wie z.B. Kiefer, nicht möglich und die Qualität der Zellstoffe ist der des Sulfatverfahrens deutlich unterlegen. Aus den Qualitätsforderungen des Marktes bzw. der PKP-Industrie ergibt sich jedoch, daß sich der steigende Bedarf auf "Sulfatzellstoff"-Qualität ausrichten wird.

Die deutsche PKP-Industrie hat das Fehlen einer hinreichenden inländischen Sulfatzellstoffproduktion durch Importe aus Skandinavien und USA/Kanada kompensiert, wobei auch firmen- bzw. kapitalmäßige Verflechtungen entstanden, die sich durch Aufkäufe bis in die jüngste Zeit fortgesetzt haben. Hierbei sei an die Übernahme von Feldmühle durch den schwedischen Konzern Stora (1990) sowie die Übernahme von J.W. Zander KG durch International Paper (1989) erinnert.

Die deutsche Papierindustrie hat, nicht zuletzt auch wegen der Importabhängigkeit, ihren Faserrohstoffmix durch die Verwendung von Holzstoff und Altpapier unter Einsatz von sehr viel technischem Know-how ergänzt und Einsatzquoten von ca. 45 % Altpapierfaser am Gesamtfasereinsatz erreicht.

Tabelle V.1.3-2: **Inländische Erzeugung von Papier, Karton und Pappe und Faseranteil**

Jahr	PKP	Faseranteil (bei f=0,84)	SI	SA	HS	AP	FS-Summe (effektiv)
	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
1988	10,58	8,88	0,84	2,55	1,58	3,81	8,78
1984	9,15	7,69	0,79	2,13	1,41	3,35	7,68
1980	7,58	6,37	0,79	1,78	1,21	2,66	6,44
1976	6,39	5,37	0,73	1,33	1,03	2,45	5,54
1972	5,83	4,89	0,70	1,20	1,03	2,19	5,12
1968	4,74	3,98	0,71	0,92	0,79	1,82	4,20
1964	-	-	-	-	-	-	-
1960	3,43	2,88	0,73	0,42	0,70	1,11	2,96

Legende:

PKP = Papier, Karton und Pappe
SI = Sulfitzellstoff
SA = Sulfatzellstoff
HS = Holzstoff
AP = Altpapier
FS = Faserstoff

Die Differenz zwischen "PKP"-Erzeugung und "FS-Summe" in Tabelle V.1.3-2 stellt den jeweiligen Nichtfaseranteil in Form von Füllstoffen, Pigmenten, Bindemitteln usw. dar. Er liegt im Mittel bei 16 % entsprechend f=0,84.

Zu dem Anteil an importiertem Zellstoff muß noch der Nettobedarf an Fertigerzeugnissen des PKP-Marktes addiert werden, der 1988 ca. 2 Mt betrug. Das darin enthaltene Rohholz-Äquivalent von mehr als 6 Mio m^3 ist ebenfalls importiert.

Insgesamt ergeben sich ca. 18 Mio m^3 Rundholz als Rohstoffäquivalent für die 1988 importierten Zellstoff- und Papiermengen.

Es erhebt sich die Frage, inwieweit in der Entwicklung befindliche neue und umweltverträgliche Verfahren der Zellstoffproduktion höhere inländische Anteile an der Rohstoffversorgung für Zellstoff ermöglichen können und welche Anteile angestrebt werden sollten. Dabei ist auch ein Blick auf die Verhältnisse in der EG und auf deren erwartbare Erweiterungen um EFTA-Länder sinnvoll.

Unter diesem Aspekt ist in der Tabelle V.1.3-3 der Selbstversorgungsgrad (= Produktion zu Verbrauch) für das Jahr 1988 in der Bundesrepublik Deutschland, der EG und Europas (EG plus EFTA) dargestellt. Er bezieht sich auf die Herstellung von Zellstoff und PKP. Falls die Annahme eines erweiterten Wirtschaftsraums Europa (z.B. EG und EFTA) realistisch ist, liegt in diesem Bilanzgebiet keine Unterversorgung mit Zellstoff vor. Es besteht sogar ein Nettoexportbedarf von PKP-Produkten, wenn man die Zahlen von 1988 zugrundelegt.

Tabelle V.1.3-3: **Selbstversorgungsgrad mit Zellstoff sowie Papier, Karton und Pappe (PKP) für 1988 in Europa (in Prozent)**

Produkt	Deutschland	EG	EG + EFTA
Zellstoff	20,6	45,1	84,6
PKP	85,8	74,3	106,3

Auch vor dem Hintergrund des europäischen Nettoexportbedarfs ist die Bundesrepublik Deutschland somit für eine künftige Zellstoffherstellung jedoch nur ein möglicher Standort unter mehreren (z.B. Portugal, Spanien, Frankreich).

In diesem Zusammenhang ist auf die Aufforstung in Plantagenwirtschaft in Brasilien zu verweisen, wo eine neue Zellstoffabrik in gigantischer Größe mit einer Produktion von 1 Mt Zellstoff pro Jahr errichtet wurde. Sie findet ihre Kunden weltweit. Selbst amerikanische Produzenten denken daran, ihren Rohstoff bzw. das Zwischenprodukt Zellstoff ebenfalls aus Brasilien zu beziehen, statt auf die ständig teurer werdenden Ressourcen des eigenen Landes für ihre Produktion zurückzugreifen.

Ob derartige Entwicklungen auch ökologisch positiv zu bewerten sind, ist eine andere Frage. Der ökonomische Druck, zu dem solche Entwicklungen führen, ist jedoch auch für Europa erkennbar.

1.3.4.2 Stand und Perspektiven der technischen Entwicklung

Vier neuartige Verfahren zur Zellstoffherstellung wurden näher betrachtet. Ihr -allerdings noch sehr unterschiedlicher - Entwicklungsstand läßt eine Chance zur großtechnischen Anwendung erwarten. Der Acetosolv- und der Alcell-Prozeß stellen, ebenso wie das Organocell-Verfahren, schwefelfreie Prozesse dar, während das ASAM-Verfahren (Alkali/Sulfit/Anthrachinon/Methanol) Natriumsulfit als Aufschlußkomponente benutzt. Der Acetosolv-Prozeß in seiner ursprünglichen Form sollte bei ca. 100 °C und drucklos arbeiten. Allerdings erfordert die Arbeit bei derartig niedrigen Temperaturen die Zugabe einer starken Säure (z.B. HCl) als Katalysator. Die dadurch entstehenden Korrosions-Probleme konnten in der Pilotanlage nicht gelöst werden. Man mußte auf höhere Temperaturen und Arbeit unter Überdruck umstellen. Die Entwicklungschancen der neuen Prozeßversion sind als "offen" zu bezeichnen. Da z.Zt. keine beurteilungsfähigen Daten vorliegen, muß dieser Prozeß aus der Endbeurteilung in diesem Abschnitt ausscheiden. Das Alcell-Verfahren, für das nur wenige Unterlagen beschaffbar waren, kann leider auch nicht abschließend beurteilt werden.

Unter Berücksichtigung des vorliegenden Datenmaterials ist eine Analyse des technischen Entwicklungsstandes der Produktionstechnologie nur durch einen Vergleich der "klassischen" Verfahren, wie des "Sulfat"- und des "Sulfit"-Prozesses mit den neuen Prozessen nach Organocell und ASAM möglich. Die Tabelle V.1.3-4 zeigt die technischen Vergleichsdaten der betrachteten Verfahren.

Da für den Vergleich für alle Verfahren jeweils eine Kapazität von 300 000 t/a zugrundegelegt wurde, lassen sich einige prozeßbedingte Besonderheiten erkennen, die auch in der Praxis zu erwarten sind:

- hoher Aufwand für die chlorarme Bleiche, mit geringerer Ausbeute beim Sulfat-Prozeß
- die leichtere Bleichbarkeit von Sulfitzellstoff
- der ebenfalls etwas höhere Aufwand für die Bleiche des Organocell-Zellstoffs
- die bessere Ausbeute beim ASAM-Verfahren und die Energie-Autarkie bei gleichzeitig höherem Investitionsaufwand

In Tabelle V.1.3-5 ist für alle Verfahren zu erkennen, daß die Rohstoffkosten mit 43 bis 47 % der größte Faktor sind, gefolgt von den Kapital- und Chemikalienkosten. Auch die Abwasserreinigungskosten schlagen hoch zu Buche, über die jedoch wegen ihrer Abhängigkeit von den speziellen Verhältnissen jeder Anlage nur schwer Durchschnittszahlen angegeben werden können.

Tabelle V.1.3-4: **Technische Vergleichsdaten von Holzaufschlußprozessen (bezogen auf 1 Tonne (atro) Zellstoff, gebleicht), Produktionskapazität: 300 000 t/a Zellstoff**

Vergleichsgröße		Sulfat	Sulfit (Magnefit)	Organocell	ASAM
Holzeinsatz [1]	(t/t)	2,50	2,17	2,22	2,17
Kosten [2]	(DM/t)	500	434	444	434
Chemikalien					
A) Aufschluß					
Na_2SO_4	(kg/t)	16,25	-	-	18,26
NaOH	(kg/t)	14,75	-	14,00	22,83
SO_2	(kg/t)	-	13,48	-	-
$CaCO_3$	(kg/t)	10,00	-	10,00	2,60
MgO	(kg/t)	-	913	-	-
MeOH [3]	(kg/t)	-	-	36,00	46,74
Anthrachinon	(kg/t)	3,75	-	3,33	3,30
B) Bleiche		ODEPD	ODEPD	ODEPD	OZEP
NaOH	(kg/t)	42,00	16,09	16,44	29,57
H_2O_2	(kg/t)	17,00	42,61	16,22	8,04
O_2	(kg/t)	57,50	27,83	31,11	28,26
ClO_2	(kg/t)	27,00	18,26	26,22	-
Cl_2	(kg/t)	- [4]	- [4]	- [4]	-
O_3	(kg/t)	-	-	-	-

1) Die Ausbeute beruht auf Angaben von Mengenbilanzen. Sie können aufgrund von Anlagenunterschieden deutlich abweichen. Für Werte aus der Literatur gilt das gleiche. Die geringe Massenausbeute beim Sulfatverfahren resultiert aus der Anwendung einer chlorarmen Bleiche mit entsprechend höherem Masseverlust.

2) Die Holzkosten beruhen auf der Annahme von 200 DM/t (atro).

3) Der Aufwand für Methanol geht von einem Preis von 200 DM pro Tonne aus. Für die übrigen Chemikalienkosten der neuen Verfahren stehen noch keine "Betriebs"zahlen zur Verfügung.

4) Der Verzicht auf elementares Chlor führt zu geringeren Weißgraden, besonders beim Sulfatverfahren.

Bleichsequenz: O = Sauerstoff (gasf.); D = Chlordioxid; E = Extraktionsstufe mit NaOH; P = Wasserstoffperoxid; Z = Ozon

Tabelle V.1.3-5: **Vergleich einiger wesentlicher Kostengruppen von Holzaufschlußverfahren (Angaben in DM/t (atro) Zellstoff, gebleicht)**

Verfahren	Sulfat	Sulfit	Organocell	ASAM
Rohstoff	500	434	444	434
Kapitaldienst	350	300	330	380
Chemikalien	140	86	115	121
Personal	50	50	50	50
Fremd-Energie	-	-	-	-
Summe	**1 040**	**870**	**939**	**985**

Die Standortabhängigkeit der Frachtkosten, sowie die Berücksichtigung von Infrastrukturvorteilen können natürlich die Relation zwischen den Kosten noch verschieben. Ganz wesentlich für die Entscheidung über eine neu zu errichtende Großanlage in der Bundesrepublik Deutschland bleiben der hohe Kapitalbedarf und die Rohstoffpreise neben der Belieferungssicherheit.

In den Tabellen V.1.3-6 und V.1.3-7 werden einige Eigenschaften der ungebleichten und der gebleichten Zellstoffe einander gegenübergestellt. Die Ausbeutezahlen für die angegebenen Verfahren stammen aus Versuchskochungen in kleinem Maßstab und müssen mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden. Sicher dürfte sein, daß die Ausbeute beim ASAM-Verfahren höher liegt als beim Sulfat-Prozess, wobei die Bleiche (chlorfrei) zu einer noch größeren Differenz führen kann. Die Festigkeitswerte des ASAM-Zellstoffs liegen in der Reißlänge über den Werten des Sulfat-Zellstoffs. Die Kennwerte für den Zellstoff aus dem Organocell-Verfahren liegen, nach den vorliegenden Werten zu urteilen, zwischen denen von Sulfat- und Sulfit-Zellstoff.

Veröffentlichungen über Versuchskochungen beim Organocell-Verfahren liegen nicht in der gleichen Häufigkeit vor wie für den ASAM-Prozeß. Nach Angaben von EDEL (1990) läßt sich an dem mit Organocell-Zellstoff hergestellten Papier kein Unterschied zu dem aus Sulfat-Zellstoff feststellen.

Tabelle V.1.3-6: **Vergleich der Eigenschaften von Fichtenzellstoffen (Versuchskochungen)**

Verfahren		Sulfat	Sulfit	Organocell	ASAM
ungebleicht:					
Ausbeute	(%)	47	51	49	51
Kappa-Zahl	(-)	34	37,5	30	23,3
DP		3 600	3 000	3 800	5 100
Weißgrad	(% ISO)	24	45,9	25	49,5
Reißlänge	(km)	10,1	7,5	8,2	12,0
Durchreißfestigkeit	(cN)	108	60	-	108
gebleicht:					
Ausbeute	(%)	43	48	45	48
Kappa-Zahl	(-)	34	37,5	30	23,3
DP		-	-	-	-
Weißgrad	(% ISO)	86	89	85/88	88,5
Reißlänge	(km)	10	7	8,1	13
Durchreißfestigkeit	(cN)	110	60	-	110

Tabelle V.1.3-7: **Vergleichsdaten für die Abwasserbelastung pro Tonne Zellstoff (gebleicht) durch Holzaufschlußprozesse**

Verfahren		Sulfat	Sulfit	Organocell	ASAM
Abwassermenge	(m^3/t)	40-50	70-50	50-70	50 (6)*
BSB	(kg/t)	k. A.	60	k .A.	k. A.
CSB	(kg/t)	100-165	~ 85	75	5 (8)*
AOX	(kg/t)	~ 5	0,5-1,5	0,5	0

*) Klammerwerte: Angaben von Patt (Priv. Mitt.)

Ebenso wie für die prozeßtechnischen und wirtschaftlichen Daten, liegen für die Beurteilung der Umweltbelastungen nur Schätz- oder Projektierungswerte vor. Die Zahlen der Tabelle V.1.3-7 sind verschiedenen Quellen entnommen worden. Die wesentlichen Quellen für die Abwasserbelastungen sind in den folgenden Betriebspunkten der Zellstofferzeugung zu sehen:

- nicht erfaßbare Trockensubstanzverluste aus der Zellstoffwäsche und sonstige Kochereiabwässer,
- Brüdenkondensate der Laugeeindampfung und
- Bleichereiabwässer.

Die Zellstoffbleiche ist eines der kritischen abwasserliefernden Anlagenteile. Die hinsichtlich Bleicheffekt und Festigkeitserhalt des Zellstoffs gute Bleiche mit elementarem Chlor dürfte sich in Zukunft wegen der Forderung nach niedrigen AOX-Werten nicht mehr aufrechterhalten lassen. Hier liegt ein bedeutender Vorteil des ASAM-Verfahrens, dessen Zellstoff mit chlorfreier Bleiche zu hinreichend guten Weißgraden führt.

Die technische Analyse läßt erwarten, daß die neuen Prozesse, ebenso wie das Magnefitverfahren, die Auflagen der wasserrechtlichen Genehmigung erfüllen können. Dieses bedeutet aber auch, daß mit dem ASAM-Verfahren erstmals ein Prozeß zur Verfügung steht, der nicht an Umweltproblemen scheitert und trotzdem ein Produkt geforderter Qualität aus einer breiten Palette von Einsatzstoffen erzeugen kann. Die Probleme bei diesem Verfahren liegen im Regenerations- und Verbrennungsprozeß. Dieser Verfahrensschritt, der auch großtechnisch im Prinzip Bestandteil anderer Verfahren ist, konnte in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht demonstriert werden. Falls eine Demonstrationsanlage gebaut werden sollte, wird sich herausstellen, ob der Verbrennungsmeiler den Sicherheitsanforderungen in der Bundesrepublik Deutschland entspricht.

1.3.4.3 Marktperspektiven im Zellstoffsektor

Das Wachstum des westdeutschen PKP-Verbrauchs betrug in dem Zeitraum 1960 bis 1988 durchschnittlich ca. 3,4 % pro Jahr und war von jeweils mehrjährigen Konjunkturrückgängen unterbrochen. Unter Berücksichtigung verschiedener Abschätzungen könnte ein Zuwachs von 3,5 % pro Jahr über eine längere Frist anhalten. Für die neuen Bundesländer sind aufgrund des bisher geringen Pro-Kopf-Verbrauchs höhere Wachstumsraten als in den alten Bundesländern zu erwarten. Gegenläufige Tendenzen zu einem entsprechenden Anstieg können aus Änderungen der Verpackungsstrategien bei den Abnehmern resultieren, vor allen Dingen für Verpackungen, deren Rücknahme Probleme bereiten könnte.

Es ist anzunehmen, daß die Rücknahme- und Entsorgungspflicht der Verpackungen von der Industrie eine vielseitige, auch technisch und rationell begründete Antwort finden dürfte, deren Auswirkung auf die verwendeten Mengen von Papier, Karton und Pappe als Verpackungsmaterial jedoch noch nicht zu überschauen ist. Auch wenn man solche denkbaren Minderungseffekte auf den Absatz der PKP-Industrie berücksichtigt, so ist diese trotzdem als eine Wachstumsindustrie für die nächsten Jahre zu bezeichnen. Sie bietet damit ein steigendes Auffangpotential für Faserstoffe und somit die Möglichkeit für eine erweiterte Zellstoff- oder Holzstoffproduktion aus deutschem Rohstoffaufkommen.

Das Wachstum des Bedarfs an Fertigprodukten muß dabei heute mehr denn je unter dem Gesichtspunkt des europäischen Marktes und dessen Verflechtung mit dem Weltmarkt gesehen werden. Die gleichen Beurteilungskriterien gelten auch für die "Halbware" Zellstoff und dessen Rohstoff Holz. Die Beurteilung der technischen Zukunftsperspektiven erlaubt zwar die Aussage, daß sich die neuen Verfahren, und darunter besonders das ASAM-Verfahren, in der Bundesrepublik Deutschland aufbauen lassen, sie unterliegen aber dem Druck zur Größe und mindestens teilweise zur Produktionsintegration.

Deshalb wird die Frage nach der Perspektive von deutschen Standorten für die Zellstoffproduktion mit neuen und umweltverträglicheren Verfahren nicht nur von technischen, sondern auch von branchenwirtschaftlichen Gegebenheiten und Entwicklungen bestimmt. Gleichzeitig werden Gesichtspunkte der Umweltverträglichkeit alter und neuer Technologien der Zellstoffproduktion in Deutschland und in Europa eine zunehmende Bedeutung für die weitere Entwicklung des Technologiespektrums zur Herstellung von Zellstoff und für Standortfragen erlangen.

Die Ausweitung der inländischen Zellstoffproduktion und die Erhöhung des Selbstversorgungsgrades werden durch die erfolgreiche Entwicklung eines der neuen Verfahren wohl begünstigt, aber nicht zwangsläufig eingeleitet.

Je nach der Entwicklung der Inlandspreise für Industrieholz und Industrierestholz in Relation zur internationalen Preisentwicklung für Zellstoff sind sowohl eine Stagnation als auch eine deutliche Ausweitung bis 2005 vorstellbar. Die Grenzen der Ausweitung bis 2005 sind dabei weniger in Grenzen der inländischen Verfügbarkeit von Industrieholz und von Industrierestholz zu sehen, sondern eher im vermutbaren Zeitbedarf für eine erhebliche Ausweitung der Produktionskapazität und der Zahl der Zellstoff-Fabriken.

Wenn sich der westdeutsche Verbrauch an Sulfit- und Sulfatzellstoff gemäß seinem linearen Trend der letzten 15 Jahre weiter entwickelt, und wenn sich der Pro-Kopf-Verbrauch in Ostdeutschland dem in Westdeutschland annähert, ergibt sich für 2005 zusammen ein Verbrauch von etwa 6 Mio t/a an Zellstoff. Dies entspricht einem Zuwachs von etwa 1,8 Mio t/a für den Zeitraum von 1991 bis 2005. Der für diesen Zuwachs erforderliche Mehreinsatz von Holz gegenüber 1991 beträgt etwa 4 Mio t/a.

Angesichts einer vermutbaren Dämpfung der Trendentwicklung rechnen wir mit einer Spanne von 2 bis 4 Mio t/a für den Zuwachs im Holzbedarf für die Zellstoffproduktion, von denen wohl höchstens 2 bis 3 Mio t/a in zusätzlichen inländischen Kapazitäten zur Zellstoffherstellung eingesetzt werden.

Der für die Papierindustrie benötigte Holzstoff dürfte weiterhin überwiegend im Inland produziert werden. Abschätzungen zum Zuwachs der Holzstoffproduktion in den alten und in den neuen Bundesländern bis 2005 führen auf eine Spanne von zusätzlich 0,5 bis 1,0 Mio t/a Holz.

Tabelle V.1.3-8 vermittelt eine Übersicht über die veranschlagten Spannen für den potentiellen Mehrbedarf an billigem Industriewaldholz und Industrierestholz, für den in einigen Posten teilweise auch andere billige Lignocellulose in Frage kommt. Auf nähere Erläuterungen zu den mengenmäßig wenig bedeutsamen drei letzten Posten der Tabelle wird hier verzichtet.

Tabelle V.1.3-8: **Potentieller Mehrbedarf an Industriewaldholz und Industrierestholz von 1991 bis 2005**

Verwendungsbereich	Potentieller Bedarfszuwachs für Holz bis 2005 (Mio t/a)
Produktion von Spanplatten	0,5 bis 1,5
Produktion von Zellstoff	0 bis 3,0
Produktion von Holzstoff	0,5 bis 1,0
Verpackungsmaterial und Füllstoff	0 bis 0,5
Zuschlagstoff in Bau- und Isoliermaterialien	0 bis 0,5
Kunststoffersatz für gepreßte und geleimte Formteile	0 bis 0,5
Zusammen	**1,0 bis 7,0**

1.4 Holzverfügbarkeit und Aufforstung

Holzverfügbarkeit

Die potentielle Holzverfügbarkeit ist in erster Linie bestimmt durch den stehenden Holzvorrat auf der Waldfläche und durch den jährlichen Zuwachs des Holzvorrates.

In welchem Umfang dieser Holzvorrat genutzt werden kann (Höhe des Einschlages), ohne die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung zu gefährden, wird vor allem von den Vermarktungsmöglichkeiten und den daraus resultierenden Holzpreisen bestimmt.

Derzeit gibt es sowohl bei Schwach- als auch bei Starkholz Vermarktungsprobleme (begrenzte Absatzmöglichkeiten), die stark auf die erzielbaren Holzpreise drücken. Diese Schwierigkeiten sind sicherlich auch mit bedingt durch die großen Sturmholzmengen (rd. 60 Mio fm) von 1990, die derzeit noch nicht vollständig vermarktet sind. Die Häufigkeit solcher Sturmschäden könnte sich als Folge von Klimaänderungen künftig erhöhen.

Nach den 1987 durchgeführten Erhebungen der Bundeswaldinventur hat sich der Holzvorrat in den alten Bundesländern in den letzten 30 Jahren (seit der Erhebung in 1961) um rd. 60 % auf derzeit rd. 300 Vorratsfestmeter pro Hektar erhöht (BML 1990a). Somit kann bei einem Flächenumfang des Wirtschaftswaldes von rd. 7,4 Mio ha von einem stehenden Holzvorrat von rd. 2,2 Mrd fm in den alten Bundesländern gesprochen werden. Diesem Holzvorrat steht ein durchschnittlicher jährlicher Einschlag von rd. 30 Mio fm gegenüber, dies entspricht rd. 1,4 % des Holzvorrates.

In den neuen Bundesländern wird der stehende Holzvorrat auf rd. 200 fm pro Hektar Waldfläche geschätzt, bzw. der entsprechende Holzvorrat auf rd. 0,6 Mrd fm.

Insgesamt kann somit für die Bundesrepublik Deutschland von einem Holzvorrat von rd. 2,8 Mrd fm ausgegangen werden. Der relativ hohe Anteil junger Altersklassen (z.B. 21 bis 40 Jahre) am Waldbestand der alten Bundesländer läßt vermuten, daß der bisherige jährliche Zuwachs des Holzvorrates von ca. 45 Mio fm mittelfristig in dieser Größenordnung bestehen bleibt. Bei einem Vergleich mit dem derzeitigen durchschnittlichen Einschlag von rd. 30 Mio fm/a in den alten Bundesländern wird ersichtlich, daß somit zusätzlich rd. 15 Mio fm/a Holz bzw. rd. 7 bis 8 Mio t/a Holz (TM) genutzt werden könnten, ohne die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung des Waldes zu beeinträchtigen.

Aufforstung

Die Analyse der Entwicklung der Waldfläche in den alten Bundesländern zeigt, daß diese von 1951 bis 1987 von rd. 6,92 Mio ha (28,3 % der Gesamtfläche) auf rd. 7,75 Mio ha (31,1 % der Gesamtfläche) zugenommen hat.

Aus den Daten der letzten 10 Jahre läßt sich für Westdeutschland eine jährliche Zunahme der Waldfläche von rd. 9 000 bis 10 000 ha ableiten.

Die Beweggründe für die Zunahme der Waldfläche liegen jedoch weniger in der Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren der konventionellen Forstwirtschaft (vgl. Kap. V.1.2.1) als vielmehr in der fehlenden Wettbewerbskraft dieser Flächen für die landwirtschaftliche Produktion.

Die aktuell beschlossenen, deutlich verbesserten Förderkonditionen der Aufforstung, die für maximal 20 Jahre eine nach Bodengüte gestaffelte jährliche Aufforstungsprämie von 600 bis 1 400 DM pro Hektar vorsehen, dürften das Interesse an der Aufforstung deutlich erhöhen.

Vor diesem Hintergrund scheint die im Zusammenhang mit dieser Studie abgeschätzte Zunahme der Waldfläche der Bundesrepublik Deutschland um rund **150 000 bis 300 000 ha** bis 2005 plausibel.

In diesem Zusammenhang ist jedoch zu befürchten, daß vor allem Grenzertrags- und Ödlandflächen, mit einer teilweise ökologisch wertvollen Artenzusammensetzung, aufgeforstet werden könnten, weil diese aus landwirtschaftlicher Sicht nicht mehr wettbewerbsfähig sind. Die Aufforstung sollte, insbesondere auch aus diesem Grunde, weiterhin genehmigungspflichtig bleiben.

Aufgrund der langen Umtriebszeiten in der konventionellen Forstwirtschaft sind die neu aufgeforsteten Flächen mittelfristig, bis auf das anfallende Durchforstungsholz, von sehr geringer marktrelevanter Bedeutung.

Die Hauptnutzung der Holzbestände, die in den nächsten Jahren begründet werden, erfolgt erst in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts oder noch später. Welche Preise dann für Holz erzielbar sind, kann gegenwärtig niemand sagen. Langfristige, globale und europäische Verknappungserscheinungen bei Holz sind möglich, aber nicht klar erkennbar.

Neben dem kaum einschätzbaren, späteren ökonomischen Nutzen der Aufforstung sind vor allem Umweltvorteile bei der Bewertung der Ausrichtung von verbesserten Aufforstungskonditionen einzubeziehen. Diese Vorteile erstrecken sich auf die Schutzfunktion für die Qualität des Grundwassers, auf die Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, auf die Erholungsfunktion für Menschen, auf kleinräumig ausgleichend wirkende Klimaeffekte sowie auf die Funktion als Kohlenstoffspeicher. Im Zusammenhang mit der letztgenannten Funktion ist darauf hinzuweisen, daß während der Aufbauphase von neuen Beständen im Rahmen der Aufforstung mit konventionellen Umtriebszeiten nach BURSCHEL und WEBER (1992) im Durchschnitt etwa 7 t CO_2/ha·a in die ober- und unterirdischen Teile des wachsenden Bestandes eingebunden werden. Dies ist pro Hektar mehr als netto von den meisten flüssigen Energieträgern aus Pflanzen an CO_2-Entlastung geleistet werden kann.

2. Pflanzliche Öle

Pflanzliche Öle im chemischen Bereich

Die chemische Industrie braucht zur Herstellung von Seifen, trocknenden Ölen, Fettsäuren, Fettsäuremethylestern, Fettaminen, Fettalkoholen oder Glycerin pflanzliche und tierische Öle und Fette; die Produktion von Waschrohstoffen steht hierbei im Vordergrund.

In der EG werden jährlich rd. 2,7 Mio t pflanzliche und tierische Öle und Fette für Nichtnahrungsmittel verbraucht. Davon dienen rund 80 % zur Gewinnung langkettiger Fettsäuren. 800 000 t der rund 1,3 Mio t pflanzlichen Öle gehören zu der Gruppe der Öle mit langkettigen Fettsäuren ($\geq C_{16}$). Lediglich 300 000 t davon stammen aus EG-Anbau (Raps und Sonnenblumen). Den größten Teil ihres Bedarfs an langkettigen Fettsäuren deckt die chemische Industrie derzeit mit billigen tierischen Fetten, wie z.B. Rindertalg oder Schweineschmalz. Die Versorgung mit mittelkettigen Fettsäuren (C_{12} und C_{14}) in Höhe von 500 000 t/a erfolgt über den Import von Kokos- und Palmkernöl (BML 1990).

In den alten Bundesländern werden derzeit rd. 600 000 t/a Öle und Fette im Nichtnahrungsmittelbereich verbraucht, davon sind rd. 440 000 t/a pflanzliche Öle und Fette. Hiervon werden 80 bis 90 % aufgrund der spezifischen Anforderungen an die Kettenlänge der Fettsäuren und der bestehenden Preisvorteile aus Drittländern importiert. Die wichtigsten Vertreter hierfür sind das Palmöl, das Palmkernöl und das Kokosöl. Der Anteil des Rapsöls liegt bei rund 10 % des Bedarfs an pflanzlichen Ölen.

Mittelfristig kann unterstellt werden, daß aufgrund einer moderat (ca. 1 %/a) wachsenden Nachfrage nach Ölen und Fetten im chemischen Bereich (vgl. KNAUT und RICHTLER 1986), bei gleichbleibendem Anteil der tierischen Öle und Fette (Anteil in der EG 1985: ca. 50 %), rd. 600 000 t/a pflanzliche Öle und Fette in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) benötigt werden. Geht man vom derzeitigen Selbstversorgungsgrad (SVG) der EG bei pflanzlichen Ölen und Fetten von ca. 25 % aus, so könnten in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt **150 000 t/a** pflanzliche Öle und Fette durch inländischen Anbau bereitgestellt werden; bei einer Verdopplung des SVG entsprechend **300 000 t/a**.

Die Realisierung der genannten Mengen hängt davon ab, inwieweit rechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen eine Substitution importierter Öle zulas-

sen. Weitere Impulse könnten sich durch die inländische Bereitstellung mittelkettiger Fettsäuren ergeben, die derzeit ausschließlich importiert werden. Dies könnte entweder durch die chemische (biotechnologische) Modifizierung langkettiger Fettsäuren oder durch die Züchtung von heimischen Ölpflanzen (z.B. Raps) mit mittelkettigem Fettsäurespektrum erfolgen.

In diesem Zusammenhang ist nicht ausgeschlossen, daß die Umgestaltung pflanzlicher Fettsäuren durch chemische oder biochemische Verfahren zu neuen oleochemischen Zwischenprodukten führt. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, zu neuartigen Feinchemikalien oder Produkten zu gelangen. Hier handelt es sich weitgehend um Neuland, und die möglichen Märkte für diese neuen Produkte sind noch nicht überschaubar. Es lassen sich deshalb kaum Aussagen über deren möglichen Umfang und Bedeutung machen.

Im Bereich der gentechnologischen bzw. züchterischen Forschung und Entwicklung scheint besonders die Züchtung von Pflanzen, die eine bestimmte Fettsäure in hohen Konzentrationen anreichern, interessant. Diese züchterische Anreicherung einzelner Fettsäuren in den Pflanzen könnte in Verbindung mit der anschließenden chemischen Veränderung neue Marktpotentiale erschließen.

In den Züchtungseinrichtungen und Labors werden Anstrengungen unternommen, die Importe an mittelkettigen Fettsäuren teilweise durch eine heimische Produktion zu substituieren. Unklar ist, ob und wann diese Bemühungen von Erfolg gekrönt sein werden. Angesichts jüngerer Forschungsergebnisse sind die Erfolgsaussichten günstiger einzuschätzen als noch vor wenigen Jahren. Den angestrebten bzw. erkennbaren Vorteilen einer geringeren Abhängigkeit der Versorgung von wenigen Exportländern für die laurischen Öle, einer Dämpfung von Preisspitzen für Kokosöl und Palmkernöl oder mehr inländischer Wertschöpfung auf verfügbaren Agrarflächen stehen vermutbare ökonomische Nachteile im Inland gegenüber. Außerdem würden Entwicklungsländern wie Malaysia, Indonesien und den Philippinen Export- und damit Einkommensmöglichkeiten verlorengehen. Bei der Abwägung dieser Vor- und Nachteile kann man streiten.

Aufgrund der Preisvorteile (Angaben von 1991) von Palmöl (rd. 540 DM/t) und Talg (rd. 560 DM/t) gegenüber Rapsöl (rd. 660 DM/t) und Sonnenblumenöl (rd. 760 DM/t) dürfte mittelfristig ein deutlich über 50 % liegender SVG bei pflanzlichen Ölen und Fetten für den chemisch-technischen Bereich eher unwahrscheinlich sein. Außerdem ist damit zu rechnen, daß die Abfallstoffe Rindertalg und Schweineschmalz auch mittelfristig zu sehr günstigen Preisen als Rohstoffe zur Verfü-

gung stehen. Durch die inländische Bereitstellung von 150 000 bzw. 300 000 t/a pflanzlicher Öle und Fette könnten über den Anbau von Raps mittelfristig **90 000 bzw. 180 000 ha** landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) gebunden werden.

Der derzeitige Bedarf an **erucasäurereichem Öl** in der Oleochemie wird für die EG mit 30 000 bis 40 000 t/a angegeben; entsprechende Angaben für die Bundesrepublik Deutschland liegen zwischen 12 000 und 15 000 Jahrestonnen (LISTL et al. 1990). Dieser Bedarf wird nur zu einem kleinen Teil durch inländischen Anbau gedeckt. Mittelfristig könnten, ausgehend von einer unterstellten Nachfrage von **15 000 bis 20 000 t/a** an erucasäurereichem Öl, rd. **10 000 ha** Erucasäure-Raps inländisch angebaut werden.

Pflanzliche Öle im technischen Bereich

Neben Kettenölen für Motorsägen haben sich inzwischen die ersten Korrosionsschutzöle, Schienen- und Weichenschmierstoffe, Betonschalöle und Hydrauliköle auf der Basis pflanzlicher Öle im technischen Verwendungsbereich etabliert.

Gegenwärtig werden jährlich bereits zwischen 7 000 und 10 000 t pflanzliche Öle als Schmierstoffe abgesetzt. Der Bedarf an Schmierstoffen in Gesamtdeutschland lag 1990 bei rd. 1,4 Mio t (MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND 1992). Davon sind rund 200 000 t Hydrauliköl (MANG 1990). Allein die mobilen Hydraulikanlagen verbrauchen Jahr für Jahr rund 100 000 t Öl. Gerade in diesem Bereich wäre eine Substitution aus Umweltschutzgründen (schnellere biologische Abbaubarkeit) wichtig, weil durch Leckagen u.U. größere Mengen an Mineralöl das Erdreich verunreinigen können.

Abschätzungen von Experten weisen darauf hin, daß der Bedarf an Ölen im Schmierstoffsektor in Gesamtdeutschland von derzeit 1,4 auf 1,75 Mio t im Jahr 2005 anwächst (in Anlehnung an MANG 1990). Es wird davon ausgegangen, daß mittelfristig 10 bis 15 % dieses Bedarfs durch pflanzliche Öle gedeckt werden könnten. Das würde bedeuten, daß sich, nach Abzug der Additive (10 %), mittelfristig zwischen 160 000 und 240 000 t/a pflanzliche Öle im Schmierstoffsektor unterbringen ließen.

Das derzeit technisch mögliche Einsatzpotential pflanzlicher Öle im Schmierstoffsektor in Höhe von 40 000 bis 50 000 Jahrestonnen wird nur zu knapp 20 % ausgeschöpft. In Abhängigkeit davon, welche weiteren Forschungsanstrengungen unternommen werden und welche ökonomischen Rahmenbedingungen und Umwelt-

schutzauflagen gelten, könnte mittelfristig ein Realisierungsgrad von 50 bis 100 % unterstellt werden. Übertragen auf das technisch mögliche Marktpotential, würde dies einem Bedarf an pflanzlichen Ölen von **80 000 bis 240 000 t/a** entsprechen. Bei einem inländischen Anbau von Raps wäre dafür eine Fläche von **50 000 bis 150 000 ha** notwendig.

Der Einsatz pflanzlicher Öle und Schmierfette im technischen Sektor hat gegenüber Produkten fossilen Ursprungs den Vorteil, daß sie wegen des höheren Sauerstoffanteils besser biologisch abbaubar sind. Die gute biologische Abbaubarkeit ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Boden und Wasser durch den Verlust von Öl verunreinigt werden können, wie dies z.B. bei den Schalölen oder bei den mit Verlustschmierung arbeitenden Sägeketten der Fall ist. Aber auch bei geschlossenen Systemen, wie z.B. Hydraulikanlagen, ist der Einsatz biologisch gut abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten ökologisch vorteilhaft, da insbesondere bei den schon erwähnten mobilen Hydraulikanlagen durch das Platzen von Schläuchen oder Leckagen die Gefahr einer Kontamination der Umwelt eine Rolle spielt.

Die Verwendung pflanzlicher Öle und Fette im technischen Bereich hat außer der besseren biologischen Abbaubarkeit noch einen weiteren Umweltvorteil: Mit der Substitution von Produkten fossilen Ursprungs kann die durch thermische Entsorgung des Altöls freigesetzte Menge an CO_2 verringert werden.

Die Recyclierung pflanzlicher Öle und Fette aus der technischen Verwendung findet zur Zeit nicht statt, da diese derzeit vorwiegend als Verlustschmiermittel eingesetzt werden. Dagegen werden Schmieröle und Hydraulikflüssigkeiten auf der Basis von Mineralöl weitgehend wiederverwertet oder thermisch entsorgt, sofern sie nicht beim Gebrauch oder durch einen Unfall verloren gehen. Das Recycling von mineralölstämmigem Öl über den Prozeß der Zweitraffination kann als echte Wertstoffrückgewinnung angesehen werden. Aus sauberen Altölen werden z.B. recyclierte Motorenöle in Markenqualität hergestellt. Für pflanzliche Öle und Fette gibt es noch kein funktionierendes Recyclingsystem, das im technischen Maßstab durchgeführt wird. Eine getrennte Rücknahme und Aufarbeitung kleiner Mengen pflanzlicher Öle und Fette bedingt u.a. hohe logistische Kosten und ist deshalb noch nicht im Markt etabliert, obwohl für diese Sorten eine eigene Abfallschlüsselnummer existiert. Das gemeinsame Recyclieren von Ölen und Fetten pflanzlichen und fossilen Ursprungs kommt nicht in Betracht, weil dies zu einer Verunreinigung und damit zu einer Wertminderung der Mineralölprodukte führen würde. Daraus folgt, daß zunächst dort die ökologischen Vorteile von pflanzlichen Ölen und Fetten gegenüber solchen fossilen Ursprungs eingeschränkt sind,

wo letztere wiederverwertet werden können oder wo pflanzliche Produkte recyclierte mineralölstämmige Produkte substituieren. Dies würde sich aber durch die Einführung spezieller Recyclingstrukturen und -techniken für pflanzliche Öle und Fette ändern.Die Problematik des Recyclings von pflanzlichen Ölen und Fetten liegt in ihren stofflichen Eigenschaften, die sich bei langandauerndem Gebrauch oder bei mehrmaliger Wiederverwendung verschlechtern. Ihre Wiederverwertung setzt deshalb in besonderem Maße eine sortenreine Erfassung voraus.

Die Vorteile der biologischen Abbaubarkeit und der allerdings geringen CO_2-Einsparung und die Problematik der Wiederverwertung bei der Substitution fossiler Produkte durch solche pflanzlichen Ursprungs sind nicht nur im technischen, sondern auch im chemischen Verwendungsbereich von Bedeutung.

Diesen Umweltvorteilen der pflanzlichen Öle und Fette steht jedoch ein deutlicher Wettbewerbsvorteil der Mineralölprodukte gegenüber. Eine CO_2-Steuer auf fossile Rohstoffe und/oder eine finanzielle Honorierung der Umweltvorteile pflanzlicher Rohstoffe könnten einen Teil der Kostennachteile ausgleichen und damit ein interessantes Substitutionspotential für pflanzliche Öle und Fette erschließen, unabhängig davon, ob diese importiert oder inländisch bereitgestellt werden. Auch das Aussprechen von Verwendungsempfehlungen, -geboten und -verboten könnte in bestimmten Verwendungsbereichen den Einsatz pflanzlicher Öle fördern bzw. erzwingen.

Leinöl

Zu den Spezialölen, die von der Industrie nachgefragt werden, gehört das Leinöl. Das Leinöl wird traditionell zur Herstellung von umweltverträglichen Farben, Lacken und Linoleum herangezogen. Das Linoleum kann beispielsweise PVC als Bodenbelag teilweise ersetzen. Wichtigste Voraussetzung für diese Verwendungsbereiche ist der hohe Gehalt des Leinöls an den mehrfach ungesättigten Fettsäuren Linol- und Linolensäure (Polyenfettsäuren). Die Fußbodenindustrie ist mit ca. 60 % der größte Abnehmer von Leinöl. Die restlichen 40 % gehen in die Lack- und Farbenindustrie.

Der Bedarf an Leinöl liegt gegenwärtig in der EG bei rd. 90 000 bis 100 000 t/a, in der Bundesrepublik Deutschland bei rd. 30 000 Jahrestonnen (AGRA-EUROPE 1991b). In der Bundesrepublik Deutschland stehen dieser Nachfrage ein Anbau von 8 000 ha (1991) bzw. rd. 20 000 ha (Schätzung für 1992) gegenüber. Mittelfristig (2005) könnte der Bedarf in der Bundesrepublik Deutschland auf **30 000 bis**

50 000 t/a anwachsen. Unter optimistischen Annahmen kann man davon ausgehen, daß dieser Bedarf in voller Höhe durch inländischen Anbau gedeckt wird. Dies entspricht einem Anbauumfang von **ca. 40 000 bis 70 000 ha** Öllein.

3. Stärke

Gemessen am derzeitigen Umfang im chemisch-technischen Verwendungsbereich in der Bundesrepublik Deutschland hat die Stärke eine größere Bedeutung als die pflanzlichen Öle und Fette. Mittelfristig dürften diese Verwendungsmöglichkeiten noch deutlich zunehmen (s. Kap. V.3.2).

Im Gegensatz zu den pflanzlichen Ölen und Fetten kann der inländische Bedarf an Stärke nahezu vollständig durch den inländischen Anbau von Stärkekartoffeln, Körnermais und Weizen abgedeckt werden.

3.1 Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Stärkebereitstellung

Technische und ökonomische Kenndaten der Stärkebereitstellung

Die inländische Stärkeproduktion erfolgte 1991 zu jeweils rd. 40 % über Stärkekartoffeln und Körnermais und zu 20 % über Weizen (vgl. Tab. V.3-1).

Aus dem Vergleich der Jahre 1991 und 1990 wird eine deutliche Zunahme des Anteils der Stärkekartoffeln an der Stärkeproduktion ersichtlich, obgleich dies aus ökonomischer Sicht zunächst nicht zwingend erscheint, wie die späteren Ausführungen zeigen. Dies hängt in erster Linie mit der Berücksichtigung der neuen Bundesländer (NBL) zusammen, in denen die Stärkegewinnung über Stärkekartoffeln eine dominante Rolle spielte bzw. spielt, erwachsen aus dem Autarkiebestreben in der Vergangenheit.

Die Bereitstellung von Körnermais für die Stärkegewinnung kann heute zunehmend mit dem inländischen Anbau dieser Kultur abgedeckt werden, so daß die zusätzlichen Importe aus der EG an Bedeutung verlieren. Der inländische Anbau von Körnermais betrug 1991 rd. 180 000 ha, mit zunehmender Tendenz. Bei einem durchschnittlichen Stärkeertrag von rd. 4 t/ha könnte die Produktion von Stärke aus Körnermais theoretisch zu rd. 140 % durch die inländische Rohstoffbereitstellung abgedeckt werden. Derzeit wird der größte Teil des inländischen Körnermais (rd. 60 %) als Futtermittel verbraucht.

In der EG erfolgt die Stärkeproduktion gegenwärtig (1990) zu rd. 60 % über Körnermais und nur zu rd. 20 % über Stärkekartoffeln.

Mit Stärkekartoffeln können mit mehr als 6 Tonnen pro Hektar die höchsten Stärkeerträge erzielt werden (vgl. Tab. V.3-2), bei gleichzeitig geringstem Energieaufwand für die Rohstoffbereitstellung (Anbau). Mit Körnermais und Weizen lassen

Tabelle V.3-1: **Rohstoffeinsatz und Stärkeproduktion in der Stärkeindustrie der Bundesrepublik Deutschland und in der EG (Mio t)**

	Kartoffeln	Körnermais	Weizen	Summe
Bundesrepublik Deutschland				
Rohstoff:				
1990	1,7	0,8	0,5	3,0
1991 (inkl. NBL)	2,22	0,79	0,46	3,47
1992 (")	2,4	k.A.	k.A.	
Stärkeprodukte: (in Stärkeäquivalenten)				
1990	0,35	0,48	0,25	1,08
1991 (inkl. NBL) [1]	0,45	0,5	0,2	1,15
1992 (")	0,5	k.A.	k.A.	
EG				
Rohstoff:				
1990	5,5	5,0	2,0	12,5
Stärkeprodukte: (in Stärkeäquivalenten)				
1990	1,05	3,11	1,04	5,2

[1] Eigene Abschätzungen, k.A.: keine Angabe

Quellen: BUNDESVERBAND DER STÄRKEKARTOFFELERZEUGER 1993, DEUTSCHES MAISKOMITEE e.V.1991, FACHVERBAND DER STÄRKE-INDUSTRIE e.V. 1992, WOELK 1992

sich dagegen nur rd. 4,5 bzw. 3 t Stärke pro Hektar Anbaufläche gewinnen. Die Rohstoffkosten je Tonne Stärke sind jedoch im Falle von Körnermais geringer als bei Kartoffeln.

Ökonomisch nachteilig für die Stärkeproduktion über Kartoffeln ist, daß dieser schlecht lagerbare Rohstoff eine Stärkeproduktion im Kampagnenbetrieb (ca. 100 Tage) erfordert, bei dem kaum vermarktbare Nebenprodukte anfallen und der außerdem mit hohen Abwasserfrachten belastet ist, die kosten- und energieaufwendig zu entsorgen sind (WOELK 1992).

Aus einer Vielzahl möglicher Technologien zur Stärkegewinnung ist in Tabelle V.3-2 exemplarisch jeweils ein Verfahren der Stärkegewinnung über Stärkekartoffeln, Körnermais und Weizen dargestellt.

Tabelle V.3-2: **Technische und ökonomische Kennwerte zur Stärkeproduktion über Stärkekartoffeln, Körnermais und Weizen, unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen (1986-1992)**

	Stärkekartoffeln		Körnermais		Weizen	
ROHSTOFFBEREITSTELLUNG: [1]						
(Angaben pro t Rohstoff)						
Ertrag (Ø 1986-88) (t/ha)	35,97		7,05		6,43	
Stärkeertrag (90 % Ausbeute) (t/ha)	6,5		4,4		3,1	
Gestehungskosten frei Stärkefabrik (DM/t)	128		438		410	
Großhandelspreis (Ø 1989-92) (DM/t)	136		420		390	
Energieaufwand frei Stärkefabrik (GJ/t)	0,74		3,71 [2]		2,35	
STÄRKEGEWINNUNG: [4]	Menge	DM	Menge	DM	Menge	DM
(Angaben pro t Stärke)						
Rohstoffbedarf bzw. -kosten (t bzw. DM)	5,5	748	1,6	672	2,08 [3]	811
Anfallende Nebenprodukte bzw. Nebenprodukterlöse (t bzw. DM)						
- Maiskeimöl			0,050	- 50		
- Maiskeimextraktionsschrot			0,067	- 27		
- Kleber/Eiweiß	0,077	- 92	0,105	- 68	0,173	- 240
- Maiskleberfutter			0,378	- 106		
- Weizenkleie					0,489	- 137
- Presspülpe	0,74	- 13				
- B-Stärke					0,206	- 124
Kosten der Stärkegewinnung (inkl. Nebenprodukte) (DM)						
- Fixkosten (AfA, Zins, Vertrieb)		280		170		180
- Variable Kosten (Energie, Personal, Mahllohn)		140		150		350
Prämie gem. Kartoffelstärkeregelung (DM)		- 45				
Kosten der Stärkebereitstellung insges. (abzügl. Nebenprodukterlöse) (DM/t)		1 018		741		840
Energiegutschr. für Nebenprod. (GJ/t) [5]	- 1,2		- 2,3		- 2,6	
ENERGIEAUFWAND DER STÄRKEBEREITSTELLUNG						
(Angaben pro t Stärke)						
Insgesamt (abzügl. Energiegutschr.)(GJ/t)	12,88		10,08		9,87	
davon - Rohstoffbereitstellung (Anbau) [1]	4,07		5,94		4,89	
- Stärkegewinnung [6]	4,40		3,50		3,30	
- Nebenproduktgewinnung [6]	4,41		0,64		1,68	

1) Durchschnittliche Ertragsverhältnisse bei hoher Produktionsintensität einschließlich Transport, Erfassung und Trocknung. Nähere Ausführungen zu den getroffenen Annahmen und eine detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Produktionsverfahren sind Kapitel III.1 und entsprechenden Tabellen des Anhangs zu entnehmen.

2) 1,62 GJ/t sind für die Trocknung von 65 % auf 86 % TS nötig.

3) Bezogen auf Prima-Stärkegewinnung (A-Stärke).

4) Ableitung der Kosten in Anlehnung an BUNNIES (1990); aktualisierte Preise für Nebenprodukte 1991; Rohstoffkosten wurden anhand der Großhandels- bzw. Mindestpreise frei Fabrik abgeleitet.

5) Abgeschätzt unter der Annahme, daß die Nebenprodukte herkömmliche Futtermittel (Weizen, Sojaextraktionsschrot, Gerste) aus dem Futtertrog verdrängen und hierdurch die Energie für deren Bereitstellung gespart werden kann.

6) In Anlehnung an AUSTMEYER und RÖVER (1988), MEUSER und ALTHOFF (1990), MEUSER et al. (1981), WOELK (1992).

Die Abschätzungen zu den Kosten der Stärkebereitstellung fußen auf durchschnittlichen Großhandelspreisen (1989 bis 1992) frei Stärkefabrik bzw. auf den zu garantierenden Mindestpreisen für Stärkekartoffeln. Zum Vergleich sind jeweils auch die kalkulierten Rohstoffgestehungskosten frei Stärkefabrik angeführt, die aus eigenen Abschätzungen (vgl. Kap. III.1) für den betrachteten Referenzzeitraum resultieren. Die Abweichungen zwischen beiden Kostenansätzen liegen nur bei 4 bis 6 %.

Aus der Gegenüberstellung der Rohstoffträger wird deutlich, daß nach diesen Kalkulationen die Stärkegewinnung über Körnermais am wettbewerbsfähigsten ist und zu Stärkekosten von rd. 740 DM/t Stärke führt. Die Stärkegewinnung über Weizen ist rd. 100 DM pro Tonne Stärke teurer. Die Gewinnung von Stärke über Stärkekartoffeln ist mit Abstand am ungünstigsten und führt nach diesen Kalkulationen zu Kosten von rd. 1 000 DM/t Stärke.

Zugunsten der Produktion von Stärke aus Stärkekartoffeln muß jedoch angeführt werden, daß es sich bei diesen Anlagen in der Regel um ältere Anlagen mit geringerer Fixkostenbelastung handelt als bei den angeführten Abschätzungen veranschlagt wurde (BUNNIES 1990). Außerdem sind die deutschen Kartoffelstärkefabriken genossenschaftlich organisiert und die Rohstofflieferanten (Landwirte) gleichzeitig auch Anteilseigner, die zugunsten ihrer Lieferrechte und des garantierten Mindestauszahlungspreises für Kartoffeln auf eine Verzinsung ihres angelegten Kapitals verzichten. Allein dieser Effekt und die Verlängerung des Auszahlungszeitpunkts der Vergütung für die gelieferten Stärkekartoffeln verkürzen den Wettbewerbsnachteil um rd. 70 bis 100 DM/t Stärke.

Nach Auskunft des Bundesverbands der Stärkekartoffelerzeuger e.V. (1993) und aufgrund von Abschätzungen zu Neuanlagen von Kartoffelstärkefabriken (SINGLER 1992) wird teilweise von Preisen für Kartoffelstärke von unter 700 DM/t ausgegangen. Die Außenhandelsstatistik (STATISTISCHES BUNDESAMT 1992) weist für Kartoffelstärke im Jahre 1991 einen durchschnittlichen Exportpreis von rd. 650 DM/t aus. Als Preise für Stärke aus Weizen und Körnermais (vermutlich überwiegend B-Stärke) werden 615 DM/t bzw. rd. 780 DM/t angeführt. Auf die großen Unsicherheiten bei der Findung des aktuellen Stärkepreises wurde bereits von BUNNIES (1990) hingewiesen.

Die großen Wettbewerbsvorteile für die Gewinnung von Stärke aus Körnermais und Weizen lassen sich neben der ganzjährigen Produktion vor allem auch aus den hohen Nebenprodukterlösen ableiten, die bei Körnermais und Weizen rd. 80 bzw. 95 % der Kosten der Stärkegewinnung abdecken. In diesem Zusammenhang ist jedoch anzumerken, daß die in den letzten Jahren zugenommene Stärkeproduktion aus Körnermais und Weizen auch zu einem zunehmenden Preisdruck auf die Nebenprodukte geführt hat. Dies wird insbesondere an der Preisentwicklung für Weizen-Vitalkleber deutlich. Während 1970 noch rd. 4 000 DM pro Tonne Vitalkleber bezahlt wurden, liegt heute der entsprechende Preis bei rd. 1 500 DM/t (vgl. WOELK 1992, STATISTISCHES BUNDESAMT 1992).

Dieser Effekt dürfte sich verstärken, wenn mittelfristig (2005) die Stärkeproduktion und -verwendung noch weiter ausgedehnt wird.

Gegenläufig hierzu ist, daß sich mittelfristig die Rohstoffbereitstellungskosten (Anbau) aufgrund weiterer Ertragsfortschritte und effizienterer Produktionstechniken (vgl. Kap. III.1) um rd. 30 % verringern lassen. In die gleiche Richtung zielen die aktuellen EG-Beschlüsse aus der Reform der Agrarpolitik, die auf eine Annäherung der inländischen Erzeugerpreise an das Weltmarktpreisniveau hinsteuern. Die damit verbundenen Einkommenseinbußen sollen über entsprechende Flächenprämien ausgeglichen bzw. gemildert werden.

Unter diesen mittelfristigen Rahmenbedingungen könnte Stärke über Körnermais und Weizen zu rd. 500 bis 600 DM/t angeboten werden. Das würde einen zunehmenden Wettbewerbsdruck auf die Stärkeproduktion aus Kartoffeln zur Folge haben.

Die derzeit zum Ausgleich von Wettbewerbsnachteilen gezahlte Prämie nach der Kartoffelstärkeregelung von rd. 45 DM pro t Stärke müßte unter diesen Rahmenbedingungen deutlich erhöht werden. Inwieweit dies bei der Abwägung der einerseits zunehmenden Wettbewerbsnachteile und der Umweltnachteile bei der Stärkegewinnung gegenüber den andererseits bestehenden agrarstrukturellen Vorteilen der Erhaltung des Stärkekartoffelanbaus noch berechtigt ist, müßte geprüft werden.

Die Bereitstellung von Körnermais und Weizen zu Weltmarktbedingungen dürfte mittelfristig dazu führen, daß die aufgrund der Industrie-Stärkeregelung seit 1986 gezahlte Rückerstattung von 200 bis 400 DM pro Tonne Stärke entfällt bzw. deutlich reduziert wird. Diese Rückerstattung soll Wettbewerbsnachteile der Stärkeverwendung ausgleichen, die aus dem höheren EG-Preisniveau für die Stärketräger gegenüber den aktuellen Weltmarktpreisen für Körnermais und Weizen resultieren. Derzeit werden rd. 250 bis 300 DM pro Tonne Stärke gezahlt,

sofern die Stärke für definierte chemisch-technische Verwendungsbereiche eingesetzt wird. Die ursprünglich in diese Regelung gesetzte Hoffnung einer zunehmenden Verwendung einheimischer Stärke hat sich jedoch offensichtlich nicht in dem erwarteten Umfang erfüllt.

Hinsichtlich des Energieaufwands für die Stärkebereitstellung, nach Berücksichtigung von Energiegutschriften für Nebenprodukte, unterscheiden sich die angeführten Verfahren für Körnermais und Weizen kaum; rund 10 GJ pro Tonne Stärke müssen hierfür angesetzt werden (vgl. Tab. V.3-2). Dies entspricht rd. 60 % des Heizwertes (H_u) von Stärke. Anbau, Trocknung und Transport bedingen bei Körnermais und Weizen rd. 55 % bzw. 50 % des genannten Energieaufwands der Stärkebereitsstellung. Nähere Einzelheiten zur Aufschlüsselung finden sich in Kapitel III.1. Bei Stärkekartoffeln liegt der Energieaufwand pro Tonne Stärke bei rd. 13 GJ pro Tonne Stärke, wobei rd. 70 % dieses Energieaufwands für die Stärke- und Nebenproduktgewinnung anzusetzen sind. Dieser Energieaufwand entspricht rd. 80 % des Heizwertes von Stärke.

Die in Tabelle V.3-2 dargestellten Verfahren der Stärkegewinnung beziehen sich auf native Stärke und beinhalten noch keine weitere Modifizierung der Stärke durch physikalische, chemische oder biologische Verfahren. Die Modifizierung der Stärke zielt, differenziert nach Verwendungszweck, auf eine spezifische Anpassung der anwendungstechnischen Eigenschaften der Stärke, zu denen unter anderem

- die Unlöslichkeit in kaltem Wasser,
- der Wärmebedarf für die Ausbildung kolloidaler Lösungen,
- die Verdickung (durch Wasseraufnahme),
- die Gel- und Filmbildung oder
- die Klebewirkung wässriger Lösungen (Kleister)

gehören (WOELK 1992).

Bei der Weiterverarbeitung zu Stärkefolgeprodukten gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Richtungen:

- Modifizierung bzw. Derivatisierung, unter weitgehendem Erhalt der vorgegebenen Polymerstrukturen,
- gezielter, vollständiger Abbau der Polymerstrukturen zur Gewinnung von Mono-, Di- und Oligosacchariden bzw. definierten Mischungen.

Die chemische Modifizierung bzw. Derivatisierung der Stärke wird in der Regel chargenweise in beheizbaren Reaktionsbehältern durchgeführt, die mit Rührern

ausgestattet sind. Die anschließenden Trennprozesse (Zentrifugieren, Auswaschen) der nach Beendigung der Reaktion vorliegenden Suspension sind die maßgeblichen Prozeßschritte, die die Kosten und die Umweltbelastung der chemischen Stärkemodifizierung bestimmen (WOELK 1992).

In der Regel wird die Modifizierung der Stärke nicht beim Stärkehersteller, sondern beim Verwender vorgenommen, angepaßt an die spezifischen Erfordernisse der Verwendung. Dies trifft auch auf den vollständigen Abbau der Stärke und deren Verwendung als Fermentationsrohstoff für biotechnologische Prozesse zu.

Als Orientierung für die mit der Stärkemodifizierung verbundenen Mehrkosten gegenüber der Bereitstellung nativer Stärke können die Preise für modifizierte Stärke dienen, die rd. 20 bis 90 % über den Preisen für native Stärke liegen.

Umweltrelevante Kennwerte der Stärkebereitstellung

Anbau

In der EG wird Stärke fast ausschließlich aus Stärkekartoffeln, Körnermais und Winterweizen hergestellt. Die Umweltbetrachtungen konzentrieren sich deshalb auf diese Stärkelinien. Die wichtigsten umweltrelevanten Kenngrößen des Anbaus dieser Stärketräger sind in Tabelle V.3-3 zusammengefaßt.

Vergleicht man die in Deutschland zur Stärkeproduktion angebauten Pflanzenarten Körnermais, Winterweizen und Stärkekartoffeln, so sind die Stärkekartoffeln hinsichtlich der Umweltbelastung am ungünstigsten einzustufen. Dies hängt v.a. mit dem Erosionsrisiko, dem hohen Transportaufwand und der Entsorgung des Abwassers und des Restfruchtwassers zusammen. Der Transportnachteil begünstigt eine Konzentration des Kartoffelanbaus in der Nähe der Stärkefabrik. Die eingeschränkte Lagerfähigkeit der Kartoffelknolle zwingt zur Verarbeitung der Stärkekartoffeln innerhalb eines relativ kurzen Kampagnenzeitraums (100 bis 120 Tage). Diese zeitliche Einengung führt zu einer Verschärfung der Umweltbelastungen während der Verarbeitung bzw. durch die zu entsorgenden Abfallprodukte.

Diese erwähnten ökologischen Nachteile - insbesondere auch bei der Stärkegewinnung - stehen einer derzeit agrarstrukturell begründeten finanziellen Unterstützung des Anbaus der Stärkekartoffeln gegenüber. Eine Beibehaltung oder gar Ausdehnung der Anbauförderung setzt voraus, daß die negativen ökologischen Auswirkungen zugunsten agrarsozialer und agrarstruktureller Vorteile toleriert werden.

Tabelle V.3-3: **Umweltrelevante Merkmale des Anbaus verschiedener stärkehaltiger Rohstoffe**

	Körnermais	Winterweizen	Stärkekartoffeln
Monokulturanbau	möglich	nicht möglich	nicht möglich
Anbaukonzentration (um die Verarbeitungsanlage)	nein	nein	ja
Hektarstärkeertrag (t Stärke/ha)	4,4	3,1	6,5
Flächenbedarf (ha/t Stärke)	0,23	0,32	0,15
Energieaufwand der Rohstoffbereitstellung (MJ/t Stärke)	6 000	4 900	4 100
Vegetationsdauer	April - Okt.	Okt. - Juli	Mai - Sept.
Bodenbedeckungsdauer	kurz	lang	kurz
Erosionsrisiko	sehr groß	gering	sehr groß
Düngungsaufwand Gegenwart (kg N/ha)	170	180	170
Nitrat-Verlagerungsrisiko	groß	groß	groß
Pflanzenschutzaufwand	mittel	hoch	hoch
Bodenverdichtungsgefahr	mittel	gering	groß
Trocknungsbedarf	hoch	niedrig	keine Trocknung
Lagerfähigkeit	unbegrenzt	unbegrenzt	begrenzt
Transportbedingte Umweltbelastungen	gering	gering	im Einzugsgebiet von Bedeutung

Transport

Zur Gewinnung einer bestimmten Menge an Stärke müssen aufgrund der unterschiedlichen Stärkeausbeute im Vergleich zu Körnermais gewichtsmäßig fast dreimal soviel Stärkekartoffeln transportiert und verarbeitet werden. Im Vergleich zu Weizen ist dies die zweieinhalbfache Menge an Kartoffeln. Durch den Kampagnenbetrieb werden bei der Verwendung von Stärkekartoffeln nicht nur die Infrastruktur, sondern auch die Umgebung im Einzugsgebiet der Stärkefabrik während einer Zeitspanne von rund drei Monaten verstärkt durch Lärm und Abgase belastet.

Die Stärkegewinnung aus Weizen und Körnermais findet in großen, meist an Wasserstraßen gelegenen Stärkefabriken statt. Der Transport dieser Stärkeroh-

stoffe wird im Gegensatz zu Stärkekartoffeln nicht mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen, sondern mit LKWs und Schiffen durchgeführt. Die Emissionen beim Weizen- und Körnermaistransport sind im Vergleich zum Kartoffeltransport pro Tonne Rohstoff geringer, die Transportentfernungen sind allerdings in der Regel wesentlich größer.

Stärkegewinnung

Das Ziel der Stärkegewinnung ist die möglichst effektive Abtrennung der Stärke von verschiedenen anderen Komponenten mit möglichst hoher Ausbeute. In modernen Mais- und Weizenstärkeanlagen können Trockenmasseausbeuten von über 99 % erzielt werden. In Kartoffelstärkeanlagen ist die Ausbeute deutlich kleiner (< 96 %), mit der unangenehmen Folge, daß rd. 2 % der Trockenmasse ins Abwassser gelangen (MEUSER und ALTHOFF 1990).

Die bedenklichen Umweltmerkmale der Stärkegewinnung sind die organische Belastung des Abwassers sowie der Verbrauch von Energie und Frischwasser. Es wird - insbesondere bei Winterweizen - viel Wasser verbraucht und die CSB- und BSB-Werte im Abwasser sind wegen der verbleibenden organischen Reststoffe - insbesondere bei Stärkekartoffeln - erhöht (s. Tab. V.3-4). In den letzten Jahren wurden durch strengere gesetzgeberische Auflagen Fortschritte im sparsameren Einsatz von Wasser und Energie sowie in der Beseitigung der Abwässer erzielt.

Die Abwasserbelastung (BSB_5) bei der Verarbeitung von Stärkekartoffeln liegt zwischen rd. 130 bis 220 kg BSB_5/t Stärke und ist um ein Vielfaches höher als beim Körnermais (25 bis 45 kg BSB_5/t Stärke). Im Vergleich dazu verursachen 1 000 Einwohner eine tägliche Belastung des Abwassers von durchschnittlich 50 kg BSB_5. Betrachtet man die Abwassermenge und -qualität (CSB, BSB und BSB_5), die bei der Verarbeitung der Rohstoffe anfallen, so erzeugt Körnermais als Stärkerohstoff die geringsten, während Stärkekartoffeln die größten Umweltbelastungen verursachen.

Von umweltrelevanter Bedeutung sind die bei der Verarbeitung anfallenden Nebenprodukte und Reststoffe. Dem Vorteil des hohen Stärkeertrags pro Hektar Kartoffeln steht gegenüber, daß bei der Stärkegewinnung mit der Kartoffelpülpe und dem Kartoffelfruchtwasser schwer verwertbare Nebenprodukte bzw. Abfallstoffe anfallen. Aus Mais und Weizen hingegen lassen sich gut verkaufbare Nebenprodukte, wie z.B. Maiskleber und Maiskeime sowie Weizenkleber und Weizenkleie, herstellen.

Durchschnittlich kann man davon ausgehen, daß in Kartoffelstärkefabriken etwa gleich viel Fruchtwasser anfällt wie Prozeßwasser in Weizenstärkegewinnungsanlagen, aber rund viermal so viel Abwasser wie in Maisstärkefabriken. Aus dem

Tabelle V.3-4: **Umweltrelevante Merkmale der Verarbeitung verschiedener stärkehaltiger Rohstoffe**

		Mais	Weizen	Kartoffeln
Stärkegewinnung		ganzjährig	ganzjährig	Kampagnenbetrieb
Rohstoffbedarf	(t/t Stärke)	1,5 - 1,65	2,2	5,5 - 6,0
Energiebedarf	(MJ/t Stärke)	3 500 - 4 400	3 000 - 3 500	3 300
Wasserverbrauch	(m^3/t Stärke)	2,0 - 4,5	3 - 10	2 - 4 (abh. vom Verschmutzungsgrad)
Hilfsstoffe		SO_2, H_2O_2	H_2O_2	SO_2, H_2O_2
TS-Ausbeute	(%)	99,8	99,5	95,5
Nebenprodukte		Maiskleber Maiskeimextraktionsschrot Maiskeimöl	Weizenkleber Weizenkleie B-Stärke	Kartoffelkleber Kartoffelpülpe
Rest-/Abfallstoffe		--	--	Restfruchtwasser
Prozeßwasservolumen	(m^3/t Stärke)	1,5	3,5 [1] - 9 [2]	1,5 [1] - 5
Abwasser	Menge (m^3/t Stärke)	1,5	3,0	4,0 - 15,0 [3]
	CSB (kg/t Stärke)	70	125	150
	BSB (kg/t Stärke)	10	30	45
	BSB_5 (kg/t Stärke)	25 - 45	?	130 - 220
Geruchsemissionen		leicht	leicht	stark

1) neue Verfahren
2) konv. "Martin-Verfahren" ohne Kreislaufführung
3) mit Restfruchtwasser und Überschußwasser

Quelle: WOELK 1992

Fruchtwasser der Kartoffeln kann mit entsprechenden Maßnahmen ein Teil der darin enthaltenen stickstoffhaltigen Substanzen als Protein ausgefällt und als Futtermittel verkauft werden. Das verbleibende Restfruchtwasser wird zum Teil auf den Feldern entsorgt, mit der Folge einer erhöhten Gefahr der Nitratverlagerung ins Grundwasser. Sofern die Abwässer nicht als Düngemittel auf die Felder verregnet werden, können sie einer anaeroben Reinigung zugeführt werden, bei der nutzbares Biogas erzeugt wird oder sie können nach einer biologischen Vorklärung an die kommunalen Kläranlagen abgegeben werden. Die zeitlich begrenzte Verarbeitung der Kartoffeln führt zu einem konzentrierten Anfall von Abwasser während der Kampagnenzeit von September bis Dezember.

Zur Aufarbeitung der Abwässer aus den Kartoffelstärkefabriken werden thermische Verfahren, wie z.B. die Koagulation oder das Eindampfen, sowie mechanische Techniken, wie z.B. das Membranfiltrationsverfahren, eingesetzt. Die Gewinnung des Proteins der Pülpe (Cellulose, Hemicellulose, Pektine, Stärke, usw.) sowie des Fruchtwassers (als Fruchtwasserkonzentrat) erfordern einen Mehraufwand an Investitionen, Betriebskosten und Energie (vgl. Tab. V.3-2). Die Proteinausfällung führt aber zu einer erheblichen Entlastung der Abwasserfracht. Aus Umweltschutzgründen ist die Eliminierung der organischen Substanzen aus dem Abwasser von Bedeutung und wird deshalb in zunehmendem Maße durchgeführt.

Stärkemodifizierung

Die Verwendung von Stärke setzt in vielen Fällen eine Modifizierung der Stärke voraus. Die Weiterverarbeitung von Stärke durch physikalische, chemische oder biochemische Verfahren führt zu einem breiten Spektrum unterschiedlicher Produkte. Während dieser Modifizierung geht ein Teil der Stärke in das Abwasser. Die CSB-Werte können bis zu rd. 160 kg CSB/t Stärke ansteigen (s. Tab. V.3-5). Damit steht die CSB-Belastung der Stärkemodifizierung auf einem ähnlich hohen Niveau wie die der Kartoffelstärkegewinnung.

Tabelle V.3-5: **Umweltrelevante Kennwerte der Stärkemodifizierung**

Ausbeute	(%)	90 - 97
Energiebedarf	(kWh/t Stärke)	2,5 - 5,5
Abwasserbelastung	(kg CSB/m^3) (kg CSB/t Stärke)	7,5 - 28 20 - 155
Eingesetzte Reagenzien		HCl

Quelle: WOELK 1992

3.2 Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Stärkeverwendung

Stärke besitzt traditionell ein breites Verwendungsspektrum aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften. Dieses Spektrum reicht von der Papierherstellung und -verarbeitung, der Verwendung als Rohstoff für biotechnologische Prozesse, Hilfsstoff für die Herstellung von Wasch-, Reinigungs-, Kosmetik- und Hygieneartikeln, Rohstoff für die Herstellung von Kunststoffen bis zur Verwendung als Bindemittel in Granulier-, Tablettier- und Brikettierprozessen.

Der Anteil der zur Herstellung dieser Produkte verwendeten Stärkeprodukte bzw. ihr Gehalt im Endprodukt ist in vielen Verwendungsbereichen relativ gering

(vgl. Tab. V.3-6). Deshalb werden die Kosten oder die Umwelteigenschaften des Endprodukts oft nicht entscheidend durch den Stärkeeinsatz geprägt, sondern nur mitbeeinflußt. Dies betrifft insbesondere die Verwendungsbereiche der Papierherstellung und -verarbeitung und den Einsatz der Stärke als Bindemittel in Granulier-, Tablettier- und Brikettierprozessen.

In Gesamtdeutschland wurden 1990 insgesamt 1,18 Mio t Stärke (Stärkeäquivalent) bzw. Folgeprodukte eingesetzt, davon für technische oder chemische Verwendungszwecke insgesamt 530 000 t native Stärke und Folgeprodukte (WOELK 1992).

Der größte Anteil des Stärkeeinsatzes im chemisch-technischen Bereich ging in die Herstellung und Verarbeitung von Papier und Pappe (350 000 t/a), in biotechnologische Prozesse (120 000 t/a) und in die Herstellung von Waschmitteln, Briketts und sonstigem (60 000 t/a).

Verwendungsbereich: Papierherstellung und -verarbeitung

Bei der Papierherstellung wird Stärke eingesetzt, um Fasern, Pigmente und Füllstoffe im Papierblatt zu binden, dem Papier die nötige Festigkeit zu verleihen und die Bedruckbarkeit seiner Oberfläche zu verbessern (WOELK 1990). Die Stärke kann in bestimmten Papiererzeugnissen bis zu einem gewissen Grad den Celluloseanteil im Papier substituieren.

Der Einsatzumfang von Stärke in der Papierherstellung kann sich je nach Papierart sehr unterscheiden, beispielsweise beträgt der Stärkeanteil in Packpapier 3 % bis 5 %, bei Zeitungspapier dagegen 1,5 % bis 2,5% (WOELK 1990 und 1992).

Seit 1974 konnte der spezifische Stärkeeinsatz pro Tonne Papier von weniger als 12 kg/t auf annähernd 21 kg/t im Jahr 1990 gesteigert werden. 1990 wurden in diesem Verwendungsbereich rd. 350 000 t Stärke eingesetzt (WOELK 1992).

Der zunehmende Einsatz von Stärke in der Papierherstellung und -verarbeitung wird maßgeblich von der Preisdifferenz zwischen Zellstoff und Stärke bestimmt. 1991 wurde beispielsweise nach Angaben der Außenhandelsstatistik (STATISTISCHES BUNDESAMT 1992) für Sulfatzellstoff (Nadel-, Laubholz, gebleicht) ein Importpreis von rd. 900 bis 1 000 DM pro Tonne Zellstoff bezahlt. Wie die Abschätzungen zu den Kosten der Stärkeherstellung gezeigt haben, scheinen derzeit - besonders seit der Industriestärke-Regelung 1986 - Wettbewerbsvorteile für die Verwendung von Stärke bei der Papierherstellung und -verarbeitung zu bestehen, die für eine Zunahme des Stärkeanteils im Papier sprechen. Die technischen Min-

destanforderungen an die Papierqualität dürfen hierbei jedoch nicht verletzt werden.

Die bessere Eignung von kationischer Stärke (ionische Stärkeether), Fasern, Füllstoffe und Pigmente in der Papierbahn zu binden, führt im Vergleich zum Einsatz oxidierter Stärken zu einer Verringerung der BSB-Werte um mehr als 60 % (WOELK 1990). Wenn man die Umweltbelastungen betrachtet, die bei der Gewinnnung von Stärke bzw. Zellstoff (Sulfataufschluß) entstehen, scheint der Einsatz von Stärke Vorteile gegenüber dem Zellstoff zu haben. Beim Recycling von Altpapier liegen die Umweltvorteile dagegen eindeutig bei der Cellulosefaser, weil diese bis zu sechsmal wiederverwertet werden kann, während die Stärke bei diesem Prozeß gelöst wird und die CSB-Fracht des Abwassers erhöht. Ein verstärkter Einsatz von Stärke zu Lasten des Celluloseanteils ist demnach nicht mit klar erkennbaren Umweltvorteilen versehen. Die ökologische Gesamtbewertung der Erhöhung des Stärkeanteils in geeigneten Papiersorten hängt auch davon ab, ob künftig in größerem Umfange die neuen, umweltfreundlicheren Zellstoffaufschlußverfahren zum Einsatz kommen.

Hinsichtlich der Mengenperspektiven scheint es plausibel und nicht unwahrscheinlich, für diesen Verwendungsbereich mittelfristig (2005) - vor allem in Anlehnung an die unterstellte Zunahme der Nachfrage nach Papier - von einem Bedarf von 500 000 bis 700 000 t Stärke pro Jahr auszugehen. Dies entspricht nahezu einer Verdopplung des derzeitigen Einsatzumfangs (WOELK 1992).

Verwendungsbereich: Biotechnologischer Rohstoff

Die Verwendung von Stärke als Rohstoff für biotechnologische Prozesse, wie z.B. zur Produktion von organischen Säuren, Enzymen, Vitaminen oder Antibiotika, ist mit rd. 116 000 t Stärke pro Jahr der zweitwichtigste Einsatzbereich (WOELK 1992).

Für eine Zunahme von Stärke in diesem Verwendungsbereich ist einerseits entscheidend, in welchem Umfang die Produktion von hochwertigen Endprodukten, wie z.B. pharmazeutischen Wirkstoffen, Diagnostika oder Enzymen, mittelfristig ausgedehnt wird und hierfür ausschließlich die relativ reinen Fermentationsrohstoffe Stärke oder Zucker in Frage kommen. Die Vorteile dieser Rohstoffe gegenüber der billigeren Melasse liegen vor allem in der besseren Steuerbarkeit der in den Bioreaktoren ablaufenden mikrobiologischen bzw. enzymatischen Produktionsprozesse und in der Verringerung des Aufwands bei den daran anschließenden aufwendigen Trennungs- und Reinigungsprozessen.

Für diesen Verwendungsbereich der Stärke ist mitbestimmend, in welchem Umfang der billigere Fermentationsrohstoff Melasse verdrängt werden kann. Melas-

se ist derzeit der wichtigste Rohstoff bei der Produktion organischer Säuren und Hefen. Die derzeitigen (1991) Preisrelationen zwischen Stärke, in Teilmengen angeboten zu 650 bis 700 DM/t, und Melasse (ca. 40 % Zucker), mit einem Preis von rd. 150 DM/t (STATISTISCHES BUNDESAMT 1992), zeigen jedoch, daß Stärke, bezogen auf die fermentierbare Substanz, annähernd doppelt so teuer ist wie Melasse.

Die Verwendung von Melasse zur Herstellung von Zitronensäure führt im Vergleich zum Einsatz von Stärke zu einer höheren Belastung des Abwassers. Außer den hohen CSB-Frachten sind insbesondere die hohen Salzanteile (Kalium) von Nachteil. Mit der Substitution der Melasse durch Stärke könnte die Abwasserbelastung verringert werden.

Sofern dieser Nachteil der Melasse künftig nicht an Bedeutung gewinnt, dürfte die Stärke mittelfristig aus ökonomischen Gründen die Melasse kaum in nennenswertem Umfang aus den angestammten Verwendungsbereichen verdrängen können. Obgleich die Bundesrepublik Deutschland ein Netto-Importland für Melasse ist, (1989 wurden beispielsweise rd. 400 000 t Melasse netto importiert (BARTENS und MOSOLFF 1990)), dürfte es mittelfristig kaum zu Versorgungsengpässen bei der Rohstoffbereitstellung kommen, auch wenn die Produktion von Zitronensäure und Hefe deutlich ausgedehnt würde.

Für 2005 erscheint es unter diesen Bedingungen möglich, daß rd. 200 000 bis 350 000 t Stärke pro Jahr als biotechnologischer Rohstoff Verwendung finden könnten (WOELK 1992).

Verwendungsbereich: Biologisch abbaubare Kunst- und Verpackungsstoffe

Die Diskussion über die zunehmende Abfallproblematik könnte der Verwendung von Stärke zur Herstellung von biologisch abbaubaren Kunst- und Verpackungsstoffen zusätzliche Marktchancen eröffnen. Der Vorteil der biologischen Abbaubarkeit (s. Tab. V.3-6) ist jedoch nur dann überzeugend, wenn eine Erfassung und Recyclierung oder thermische Nutzung dieser Produkte nicht oder nur unter hohem finanziellen Aufwand möglich sind. Für den mehrmaligen Gebrauch oder die Recyclierung sind biologisch abbaubare Kunst- und Verpackungsstoffe (auch in Mischung mit herkömmlichen Verpackungsstoffen) aufgrund der fehlenden Beständigkeit eher von Nachteil.

Tabelle V.3-6: **Bedeutung der biologischen Abbaubarkeit und anderer Umweltaspekte beim Einsatz verschiedener Stärkeprodukte**

Produkt	Stärkeanteil	Biologische Abbaubarkeit	Andere Umweltaspekte
Papier, Pappe	1,5 - 5 %	nicht wichtig	Abwasserbelastung beim Recycling
Braunkohlenbriketts	2 - 5 %	"	SO_2-Minderung (Bitumenersatz)
Baustoffe	2 - 7 %	"	Behandlung notwendig
Kosmetik- und Hygieneartikel	?	wichtig	
Pharmazeut. Artikel	0,3 - 3,5 %	"	keine Nebenwirkungen
Waschpulver	3 - 5 %	"	
C-Quelle für biotechnolog. Prozesse	100 %	"	

Quelle: WOELK 1990

Unter den derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen sind bioabbaubare Stärkeverpackungen nur im Nicht-Lebensmittelsektor einsetzbar, da hierfür keine definierten Materialeigenschaften zu erfüllen sind.

Da gemäß der Verpackungsverordnung möglichst wiederverwendbare bzw. stofflich verwertbare Verpackungsmaterialien zu verwenden sind, dürften biologisch abbaubare Materialien in diesem Bereich kaum zum Einsatz kommen. Mögliche Einsatzbereiche für biologisch abbaubare Verpackungen und Kunststoffe könnten dagegen z.B. im Hygienebereich oder im landwirtschaftlich-gärtnerischen Sektor liegen, wo teilweise Sammeln und Trennen in recyclierbare und kompostierbare Komponenten nicht oder nur unter hohem Kostenaufwand durchführbar und kontrollierbar sind. Der Zusatz von Stärke, z.B. zu Mulchfolien, führt allerdings nicht immer zu einer besseren Verrottbarkeit des Nicht-Stärkeanteils.

Ein anderer Einsatzbereich könnte die Substitution geschäumter Polystyrol-Chips (Polsterstoff/Transportschutz) durch extrudierte und ggf. hydroxypropylierte Stärke sein (WESTERHAUSEN et al. 1990).

Dem Nachteil der Nicht-Wiederverwendbarkeit und dem Problem der schwierigen Überführbarkeit in neue stoffliche Verwendungen von biologisch abbaubaren Produkten steht nur dann ein Umweltvorteil gegenüber, wenn sie getrennt gesammelt und anschließend kompostiert werden. In einer Müllverbrennungsanlage fällt der Vorteil der biologischen Abbaubarkeit unter den Tisch, mit der Folge,

daß den Umweltbelastungen aus dem Anbau und der Bereitstellung keine klaren positiven umweltrelevanten Verwendungsvorteile mehr gegenüberstehen. Bei der Deponierung von stärkehaltigen Produkten führt die bessere biologische Abbaubarkeit gegenüber Produkten auf fossiler Rohstoffbasis zu einer etwas rascheren Volumenreduzierung. Diesem Vorteil dürfte aber in der Regel eine erhöhte Gefahr der Methanbildung gegenüberstehen. Wenn das Methan nicht genutzt oder abgefackelt wird, sondern in die Atmosphäre entweicht, ist dies angesichts der starken Klimawirksamkeit von Methan negativ zu bewerten.

Unter Beachtung der Umweltrisiken, die mit dem Anbau und der Verarbeitung der Stärkerohstoffe verknüpft sind, erscheint es ökologisch nicht sinnvoll, Massenkunststoffe bzw. Massenverpackungen durch biologisch abbaubare Stärkematerialien zu substituieren.

In die gleiche Richtung weisen die deutlichen Wettbewerbsnachteile gegenüber herkömmlichen Kunst- und Verpackungsstoffen - die Kosten liegen je nach Rohstoff um den Faktor 2 bis 10 über den entsprechenden Kosten herkömmlicher Massenkunststoffe (1,50 DM bis 2,0 DM/kg). Angesichts dieser Sachverhalte ist zu erwarten, daß nur kleine Teilbereiche des technisch möglichen Substitutionspotentials von 240 000 bis 500 000 t (WESTERHAUSEN et al. 1990) mittelfristig zur Realisierung kommen.

Nach vorsichtigen Schätzungen kann davon ausgegangen werden, daß im Bereich biologisch abbaubarer Kunst- und Verpackungsstoffe im Jahr 2005 rd. 40 000 t/a Stärke Verwendung finden könnten (WOELK 1992).

Verwendungsbereich: Brikettierung von Braunkohle

Traditionsreich ist der Einsatz von Stärke als umweltfreundliches Bindemittel. Die Klebeeigenschaften der Stärke sind nicht nur bei der Papierherstellung von Bedeutung. Auch bei der Brikett- und Pelletherstellung kann Stärke eingesetzt werden. Unter Umweltaspekten stellt die Verwendung von Stärke als Brikettierhilfsstoff für Braunkohlenbriketts eine interessante Alternative zur Verwendung von Bitumen dar. Mittelfristig (2005) könnten bis zu 300 000 t Stärke in diesem Bereich Verwendung finden. Bei der Verbrennung dieser Briketts könnte der Anteil des Bitumens an der Freisetzung von Staub und Teer, Kohlenmonoxid, Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen sowie Benzpyrenen reduziert werden (s. Tab. V.3-7). Zusätzlich wäre damit auch eine gewisse Verringerung der SO_2-Emissionen verbunden.

Der derzeit pro Energieeinheit fünffache Preis von Stärke gegenüber Bitumen - der Preis für Bitumen lag 1991 bei rd. 200 DM/t (STATISTISCHES BUNDESAMT 1992) - bedingt jedoch, daß Subventionen zur Realisierung der angeführten Mengen erforderlich sind. Außerdem gilt es zu prüfen, ob mit der alternativen Verwendung des durch die Stärke verdrängten Bitumens nicht ähnlich hohe Umweltbelastungen verbunden sind, so daß unterm Strich wenig Entlastungseffekte für die Umwelt resultieren.

Tabelle V.3-7: **Einfluß des Bindemittels auf die Emissionen beim Verbrennen von Briketts**

Emission von		Briketts	
		Bitumen	Stärkeprodukte
Staub und Teer	(g/kg)	4,8	1,0
Kohlenmonoxid	(g/kg)	43,0	20,0
Stickoxiden	(g/kg)	2,0	< 0,2
Schwefeldioxid	(g/kg)	18,1	13,4
Kohlenwasserstoffen	(g/kg)	4,8	1,1
Benzpyrenen	(mg/kg)	5,9	0,2
Ruß-/Teerzahl		160	20

Quelle: WOELK 1990

Stärkebereitstellung und Flächenbindung

Insgesamt kann bis 2005 auf der Basis der für die verschiedenen Nachfrageschätzungen angeführten aktuellen Bedarfsschätzungen von einem Gesamtbedarf an Stärke und Stärkefolgeprodukten im chemischen und technischen Bereich zwischen **0,9 und 1,7 Mio t/a** ausgegangen werden. Wird unterstellt, daß die Bereitstellung dieser Stärkemengen nahezu vollständig durch den inländischen Anbau gedeckt werden kann (derzeitiger Selbstversorgungsgrad: rd. 90 %), dann wäre damit eine Flächenbindung von **rd. 180 000 ha bis 340 000 ha** Ackerfläche verbunden. Hierbei wurde davon ausgegangen, daß es, abgesehen von kleinen Spezialmärkten, für die Verwendung von Stärke nicht von Bedeutung ist, ob sie aus Körnermais, Weizen oder Kartoffeln gewonnen wird. Den Kartoffeln wurde für 2005 ein Anteil von 20 % (derzeitiger EG-Durchschnitt) zugerechnet (vgl. Tab. V.3-1).

4. Zucker

Der aktuell und wohl auch künftig wichtigste Einsatzbereich von Zucker als Rohstoff liegt im Fermentationsbereich. Dort dient der Zucker als Substrat bei der Herstellung pharmazeutischer Produkte (z.B. Antibiotika) und organischer Säuren (z.B. Zitronensäure). In welchem Umfange Zucker die preisgünstige Melasse als Rohstoffquelle in Teilbereichen verdrängen kann, ist nicht nur von der Preisdifferenz der Rohstoffe abhängig, sondern auch von den Kostenunterschieden bei der Prozeßführung und der Umsetzung von Umweltauflagen (z.B. Abwasseraufbereitung).

In der EG wurden 1989/90 rd. 180 000 t/a Industriezucker eingesetzt (AGRA-EUROPE 1991a). In den alten und neuen Bundesländern verbrauchte die chemische Industrie 1989/90 rd. 42 000 t Zucker (BARTENS und MOSOLFF 1990). In den alten Bundesländern verteilte sich die Verwendung des Zuckers in Höhe von 32 000 t/a auf folgende Bereiche: Produktion von organischen und chemischen Erzeugnissen: 4 800 t/a, Herstellung pharmazeutischer Erzeugnissse: 8 800 t/a, Erzeugung von Kunststoffen und Celluloseäther: 7 900 t/a, Produktion von Albuminen, Klebstoffen und Enzymen: 600 t/a, Produktion verschiedener chemischer Erzeugnisse: 9 900 t/a (BML 1990).

Mittelfristig kann davon ausgegangen werden, daß der inländische Zuckerbedarf für den Nicht-Nahrungsmittelbereich auf **60 000 bis 100 000 t/a** ansteigt. Wird dieser Bedarf über den Anbau von Zuckerrüben gedeckt, ist damit eine Flächenbindung von **rd. 7000 bis 12 000 ha LF** verbunden.

5. Flachsfasern

Gemessen am derzeitigen Verwendungsumfang in Deutschland von ca. 10 000 t pro Jahr spielt die Flachsfaser als Nachwachsender Rohstoff mengenmäßig eine eher untergeordnete Rolle. Hierbei ist jedoch nicht zu vergessen, daß mit den daraus hergestellten Endprodukten - insbesondere im Textilbereich - eine hohe Wertschöpfung erreicht werden kann. Der Marktanteil der Leinfaser am Textilmarkt der EG liegt jedoch unter einem Prozent (vgl. WIEDEMANN und TSCHMARKE 1991).

5.1 Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Flachsbereitstellung

Anbau

Der Anbau von Flachs in der Bundesrepublik Deutschland ist Mitte der 80er Jahre in nennenswertem Umfang wiederaufgenommen worden, insbesondere im Zusammenhang mit den dazu initiierten Pilotprojekten auf Länderebene. Er erreichte 1988 und 1989 mit etwas über 2 000 ha den größten Anbauumfang (BML 1991). Mit dem Auslaufen der angeführten Pilotprojekte, und der damit verbundenen finanziellen Förderung, hat sich dieser Anbauumfang aktuell mehr als halbiert. Die Gründe hierfür liegen in den teilweise fehlenden technischen Voraussetzungen (z.B. Erntemaschinen, Schwinge), in der fehlenden Erfahrung, vor allem aber jedoch in der starken europäischen Konkurrenz, auch aus Osteuropa (z.B. Polen).

In der EG werden derzeit durchschnittlich rd. 70 000 bis 80 000 ha Flachs angebaut, wobei die traditionellen Anbaugebiete in Nordfrankreich und in Belgien rd. 75 % bzw. rd. 15 % zu diesem Anbauumfang beitragen (vgl. BML 1991). Aus diesem Anbau resultiert ein Angebot an Flachsfasern von ca. 100 000 bis 120 000 t pro Jahr.

Abschätzungen zur Wettbewerbsfähigkeit des Flachsanbaus in Deutschland zeigen, daß auch an einem günstigen Standort, mit einem Faserertrag von rd. 1,7 t pro Hektar (davon rd. 1,0 t Langfasern), der erzielbare Deckungsbeitrag pro Hektar gegenwärtig noch geringer ist als die von der EG für den Anbau gezahlte Flachs- und Leinsamenbeihilfe (ZEDDIES und DOLUSCHITZ 1991). Diese Beihilfe betrug beispielsweise im Wirtschaftsjahr 1988/89 rd. 1 300 DM/ha. An einem ungünstigen Standort, mit einem Faserertrag von rd. 1,2 t/ha (0,6 t Langfasern) liegt der entsprechende Deckungsbeitrag dagegen nahe bei Null.

Hinsichtlich der Produktionsintensität ist der Anbau von Flachs eher als extensiv einzustufen. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (PSM) ist ähnlich wie im Ölleinanbau im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen relativ gering (vgl. Kap. III.2). Die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln ist nur in einem vernachlässigbaren Umfange erforderlich, nicht zuletzt deshalb, weil der Faserleinanbau bislang nur in bescheidenen Flächenarealen praktiziert wird. Das Risiko der Verlagerung von Nitrat und PSM-Rückständen in tiefergelegene Bodenschichten, in das Grundwasser oder aber in angrenzende Oberflächengewässer ist demnach gering. Eine hohe Anbaukonzentration im Umkreis einer Verarbeitungsanlage (Schwinge) ist nur beschränkt möglich, weil der Faserlein eine mit sich selbst nicht verträgliche Kulturart ist und eine Anbaupause von sechs bis sieben Jahren aus pflanzenbaulicher Sicht zwingend erforderlich ist.

Mit einer Wiedereinführung bzw. Ausdehnung des Faserleinanbaus könnte sich eine spezifische Begleitflora einstellen, die mit dem Rückgang der Flachs- und Ölleinproduktion beinahe vollständig aus der Landschaft verschwunden ist. Der Leindotter (Camelina alyssum) und das Flachsleimkraut (Silene linicola) sind an die Leinpflanze adaptierte Pflanzenarten, die nur mit dem Erhalt des Leins vor dem Aussterben bewahrt werden können, weil sie außerhalb von Leinfeldern auf Dauer nicht gedeihen. Ähnliches gilt für den Leinlolch (Lolium remotum) und die Flachsseide (Cuscuta epilinum), obwohl diese Schmarotzerpflanzen auch auf anderen Leinarten wachsen können. Angesichts der verbesserten Reinigungsverfahren für das ausgesäte Flachs- bzw. Ölleinsaatgut muß eine Renaissance des Flachsanbaus allerdings nicht zwangsläufig eine Weiterverbreitung der genannten, auf den Lein spezialisierten Pflanzenarten mit sich bringen.

Fasergewinnung

Aus den angeführten Abschätzungen von ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1991) wird ebenfalls deutlich, daß es neben dem Hektarertrag an Langfasern vor allem die Aufwendungen für den Transport zur Schwinge und die Kosten in der Schwinge sind, die die Wettbewerbsfähigkeit des Flachsanbaus entscheidend bestimmen.

Die Transportaufwendungen zur Schwinge lassen sich dadurch minimieren, daß sie beispielsweise in den traditionellen Anbaugebieten relativ zentral plaziert ist. Die trotz guter Auslastung dieser Anlagen noch hohen Kosten des Schwingens, bei dem mechanisch das Röststroh des Leins von seinem Holzteil getrennt wird, haben zu Überlegungen geführt, diesen kostenaufwendigen Schritt teilweise zu umgehen (z.B. Dampfdruck-Aufschluß).

Zuvor ist jedoch entscheidend, daß das geraufte Flachsstroh erfolgreich (gleichmäßig) auf dem Feld geröstet wird. Dieser risikoreiche Prozeß, der je nach Witterung 3 bis 6 Wochen dauert und aufgrund seiner Witterungsabhängigkeit schwer zu steuern ist, könnte beispielsweise durch das Tensidverfahren ersetzt werden.

Beim Tensidverfahren wird der Faserlein ca. 10 bis 14 Tage später gerauft, in Parallellage abgelegt und auf dem Feld getrocknet. Der Prozeß der Trocknung verläuft i.a. wesentlich rascher als der Prozeß der Feldröste. Nach der Trocknung wird die Entholzung der Fasern traditionell mit der Schwinge durchgeführt. Der Schwingvorgang ist eine nicht zu unterschätzende Quelle für Lärm und Staubemissionen. Die nicht gerösteten gröberen Faserbündel müssen, um eine ähnlich feine Verspinnung wie beim Röstflachs zu garantieren, während der Vorspinnerei mechanisch konditioniert werden. Das nicht geröstete, inhomogene Material führt beim Vorspinnen noch zu 20 bis 30 % höheren Fadenbruchwerten. Der eigentliche Tensidaufschluß findet während der Vorgarnbleiche statt. Mit der Zugabe von Tensiden in das Bleichwasser werden die Fasern getrennt und die unerwünschten Begleitsubstanzen herausgelöst. Das Tensidverfahren unterscheidet sich vom konventionellen Verfahren im wesentlichen dadurch, daß Aufschlußchemikalien eingesetzt werden. Bei den verwendeten Substanzen handelt es sich u. a. um lineare Fettsäuren und Methylammoniumchlorid. Das Abwasser aus dem Tensidaufschluß weist mit 0,37 mg AOX/l Abwasser (Laborwerte) rund doppelt so hohe AOX-Werte auf wie das Abwasser aus dem Röstflachsaufschluß. Jedoch soll der gesetzliche Einleitungsgrenzwert für AOX (0,5 mg/l) immer eingehalten werden können. Das Tensidabwasser weist einen sehr hohen Gehalt an organischem Chlorid auf. Nach den vorliegenden Kenntnissen scheint das Abwasser aus dem Tensidverfahren problemlos abbaubar zu sein. Im Vergleich zum traditionellen Verfahren ist mit keiner zusätzlichen Umweltbelastung zu rechnen (WURSTER 1992). Die mit dem Tensidaufschluß verknüpfte frühere Feldräumung hat im Vergleich zur Feldröste den Vorteil, daß durch den früheren Nachbau anderer Kulturen eine vielfältigere Fruchtfolgegestaltung möglich ist. Als weiterer Pluspunkt gilt, daß eine Vermehrung von Schadorganismen im Boden im Gegensatz zur Tauröste nicht gefördert wird.

Ziel des bereits erwähnten Dampfdruck-Aufschlußverfahrens ist es, kostengünstig Kurzfasern bereitzustellen. Der Faserlein wird ca. zwei Wochen später als zum traditionellen Erntetermin gerauft oder geschnitten, auf dem Feld getrocknet und gedroschen. Für den Dreschvorgang wurde eine spezielle Maschine entwickelt, um eine möglichst vollständige Entholzung auf dem Feld zu erreichen. Das entholzte Material wird anschließend einer alkalischen Dampfdruckbehand-

lung unterworfen. Nach dieser Behandlung wird das aufgeschlossene Material (Kurzfasern) gewaschen, getrocknet und später z.B. in Baumwollspinnereien weiterverarbeitet. Während der Aufschlußphase wird die alkalische Lösung nahezu neutralisiert. Der CSB-Wert des Abwassers ist, bedingt durch organische Bestandteile, die während der Abkoch- oder Röstprozedur anfallen, vergleichsweise hoch (WURSTER 1991). Unklar ist noch, ob die Abwässer landwirtschaftlich genutzt werden können, oder ob sie einer mehrstufigen Klärung unterzogen werden müssen.

Das Tensid- und das Dampfdruck-Aufschlußverfahren befinden sich noch in der Erprobungsphase. Die genauere Analyse möglicher bzw. relevanter Umweltfolgen kann erst zu einem späteren Zeitpunkt auf der Basis eines fortgeschrittenen Erkenntnisstandes erfolgen. Die Umweltverträglichkeit der verschiedenen Verfahren sollte aus diesem Grund in weiteren Versuchen in größerem Maßstab näher untersucht werden.

Erste Kostenabschätzungen zum Dampfdruck-Aufschluß (HENRICHSMEYER und TSCHMARKE 1991) weisen darauf hin, daß den daraus resultierenden Kosten von rd. 1 500 DM/t Kurzfasern ein erzielbarer Preis für Kurzfasern von derzeit rd. 500 DM/t gegenübersteht. Die nach dem konventionellen Verfahren (Feldröste, Schwinge) gewonnenen Langfasern können dagegen zu einem Preis von 2 500 bis 3 500 DM/t verkauft werden. Wenn man bedenkt, daß der Erlös aus dem Verkauf der Langfasern rd. 75 % bis 85 % des gesamten Markterlöses aus den Fasern insgesamt ausmacht, scheint die alleinige Ausrichtung der Fasergewinnung auf Kurzfasern gegenwärtig nicht plausibel. Eine Änderung dieser Situation setzt erhebliche Preissteigerungen für Kurzfasern voraus. Eine Voraussetzung dafür ist z.B. die werterhöhende Erschließung neuer Einsatzbereiche.

Nebenprodukte

Bei der traditionellen Flachsfasergewinnung fallen als Nebenprodukte Schäben (= Holzbestandteile, 45 %), Leinsamen (11 %) und Wachs (1 %) an. Nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus ökologischen Gründen sollte man bestrebt sein, diese Rohstoffe zu verwenden.

Die stoffliche Verwendung der Schäben, z. B. als Rohstoff für die Herstellung von Spanplatten, scheitert oft an der fehlenden Transportwürdigkeit. Um die Schäben nicht zu einem Entsorgungsproblem werden zu lassen, werden sie gegenwärtig in der Regel innerbetrieblich als billiger, minderwertiger Brennstoff eingesetzt.

Die Leinsamen werden an die Ölmühlen abgegeben. Das daraus gewonnene Öl findet in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie aber auch in der chemischen Industrie Verwendung (vgl. Kap. V.2).

Das verunreinigte Flachswachs kann, nachdem es mit einem relativ aufwendigen Verfahren gereinigt wurde, als Rohstoff an die pharmazeutische Industrie abgegeben werden. Das Flachswachs enthält bestimmte pflegende und heilende Wirkstoffe und ist von daher ein in kleinen Mengen anfallender, aber interessanter Rohstoff. Die hohen Kosten und die teilweise fehlenden technischen Voraussetzungen für die Aufarbeitung verhindern jedoch im Regelfall eine Nutzung dieses Nebenproduktes.

5.2 Technische, ökonomische und umweltrelevante Kennwerte der Flachsverwendung

Für die Bundesrepublik Deutschland wird in erster Linie die Verwendung der Flachsfasern im Textilbereich und im technischen Bereich diskutiert. Die reine, nicht weiter behandelte oder mit anderen Materialien vermischte Flachsfaser ist toxikologisch und ökologisch unbedenklich sowie biologisch abbaubar. Diese Eigenschaften sind insbesondere für die Verwendung in der Landwirtschaft sowie im Garten- und Landschaftsbau interessant. Der Einsatz von Flachs in neuen Verwendungsbereichen setzt in der Regel jedoch eine Bearbeitung der Faser und damit eine Veränderung der genannten Eigenschaften voraus. Es gilt deshalb in jedem Einzelfall zu prüfen, ob und wenn ja, in welchem Umfang die positiven umweltrelevanten Kenndaten der Flachsfaser noch zutreffen bzw. von Bedeutung sind.

Textilbereich

Der klassische und auf den Absatz bezogen nach wie vor wichtigste Verwendungsbereich für Flachs ist die Textilindustrie. Der Flachs wird zur Herstellung von Reinleinen- oder Halbleinenartikeln, aber auch von Mischgeweben mit Baumwolle, Polyester, Viskose und anderen Fasern verwendet. Während der Flachsanteil in der Bekleidungsindustrie zugenommen hat, ist der Einsatz von Flachs im traditionellen Bereich der Haus- und Heimtextilien (z.B. Tischdecken, Bettwäsche, Dekostoffe) eher zurückgegangen. Im Textilbereich wurden in der Bundesrepublik Deutschland 1988 rd. 6 400 t Langfasern in Leinengarnen und rd. 2 000 bis 4 000 t Kurzfasern in Mischgarnen (30 000 bis 40 000 t) eingesetzt (WIEDEMANN und TSCHMARKE 1991).

Der modebedingte Anstieg des Flachsverbrauchs im Bekleidungssektor hat seine technischen Grenzen, die insbesondere in den speziellen bekleidungsphysiologischen Eigenschaften der Flachsfasern und in der starken Knitterneigung des Materials liegen. Der Flachs dürfte aber sicher vom Trend profitieren, Synthetikfasern durch natürliche Fasern zu substituieren, wenn auch nicht im gleichen Umfange wie die Baumwolle, die bei den Naturfasern mit Abstand die größte Bedeutung als Textilfaser hat.

Unter günstigen Voraussetzungen kann unterstellt werden, daß sich die Einsatzmenge an Langfasern um rd. 4 000 bis 6 000 t/a und an Kurzfasern (Mischgarn) ebenfalls um ca. 4 000 bis 6 000 t/a erhöht, so daß für 2005 von einem Mehrbedarf von rd. 10 000 t Flachsfasern pro Jahr ausgegangen werden kann.

Technischer Bereich

Die Verwendung von Flachsfasern wird im Vergleich zu anderen Naturfasern (z.B. Sisal, Jute, Baumwolle) oder synthetischen Fasern (z.B. Glasfasern, Aramidfasern, Carbonfasern) in erster Linie dadurch bestimmt, wieweit Preisvorteile und Vorteile im Eigenschaftsmuster für diese Fasern sprechen. Im Vergleich zu den synthetischen Fasern dürfte vor allem die biologische Abbaubarkeit der Naturfasern von gewissem Vorteil sein, eine Eigenschaft, die allerdings nicht nur der Flachsfaser zuzurechnen ist. In Verwendungsbereichen, in denen dieser Vorteil honoriert wird, könnten sich folglich neue Märkte für Flachsfasern auftun. Dies trifft insbesondere für die Bereiche Landwirtschaft, Gartenbau und Landschaftsbau zu, in denen beispielsweise verrottbare Pflanzbecher, Vliese, Geotextilien oder Bindegarne und Seile benötigt werden. Bindegarne und Seilereierzeugnisse werden in diesem Bereich derzeit in erster Linie, soweit sie aus Naturfasern sind, aus Sisal und Jute hergestellt. Die Chancen für Flachs, Sisal zu ersetzen, sind gering, weil die traditionelle Sisalfaser einerseits preiswerter ist und andererseits auch eine bessere Zugfestigkeit aufweist.

Inwieweit die feuchteregulierende Fähigkeit eines Vlieses aus Flachsfasern tatsächlich einen Markt finden kann, ist derzeit nur schwer abschätzbar.

Die hohe Festigkeit der Flachsfaser legt ihren Einsatz als Verstärkungsfaser in Verbundwerkstoffen nahe. Glasfaserverstärke Kunststoffe sind zur Zeit für viele Verwendungsbereiche die günstigsten Verbundmaterialien. Die Entsorgung der glasfaserverstärkten Materialien ist problematisch, weil diese nicht voll verbrennbar sind. Der Einsatz von Flachsfasern in Verbundmaterialien wird derzeit geprüft. Die technisch wichtigen Kenngrößen "Zugfestigkeit" und "Bruchdeh-

nung" der Flachsfasern liegen allerdings unter den entsprechenden Werten von anderen Fasern (z.B. Glasfasern), und außerdem ist der Preis meist höher. Der Preis für Glasfasern liegt derzeit bei rd. 3 bis 4 DM/kg. Kurzfasern von Flachs (Werg) sind dagegen wesentlich günstiger und werden derzeit zu Preisen von rd. 0,5 DM/kg gehandelt.

Entsprechend der Höhe des Faseranteils wird die Abbaubarkeit bzw. Recyclierbarkeit der Verbundstoffe nur in geringem Maße von der Flachsfaser bestimmt. Da Verbundmaterialien nach ihrem Gebrauch im allgemeinen nur mit technisch aufwendigen Verfahren stofflich verwertbar sind, sind die eingesetzten Substanzen nur von geringerem Wert ("downcycling") und aus dieser Sicht eher unerwünscht.

Die Substitution chemisch-synthetischer Fasern durch Flachsfasern könnte andererseits dazu beitragen, gesundheitliche und ökologische Risiken zu verringern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Fasern mit hohem Risikopotential, wie z.B. Asbest in Reibbelägen, durch pflanzliche Fasern verdrängt werden. Gegenwärtig werden allerdings bereits andere Fasern, wie z. B. Glas- und Aramidfasern oder Metall- und Mineralwollen als Asbestsubstitute in Reibbelägen eingesetzt. Nach Auskunft des Verbandes der Reibbelagindustrie (VOSKETER 1991) ist Asbest in diesem Verwendungsbereich derzeit schon zu rd. 99 % durch synthetische Fasern ersetzt, so daß die angeführten Vorteile nicht mehr zum Zuge kommen.

Potentiell könnte jedoch Flachs (oder andere Pflanzenfasern) unter günstigen Rahmenbedingungen bei der Produktion von Reibbelägen für den inländischen Verbrauch eine Größenordnung von rd. 4 000 t/a einnehmen.

Verwendungsumfang und Flächenbindung

Für den technischen Bereich gehen ältere Abschätzungen (CMA 1987) von einem mittelfristigen Verwendungspotential von ca. 100 000 t Kurzfasern pro Jahr aus. Diese Abschätzungen bauen darauf, daß 30 000 bis 70 000 t/a für die Produktion von Spezialpapieren benötigt werden und ca. 20 000 t/a Verwendung als Bindegarn (v.a. in der Landwirtschaft) finden (WIEDEMANN und TSCHMARKE 1991). Zusätzlich wurde bei dieser Abschätzung unterstellt, daß die Verwendung bei der Produktion von Baustoffen, Bedeckungsmaterialien oder Reibbelägen insgesamt nochmals jährlich 10 000 bis 20 000 t Kurzfasern binden könnten. Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der bereits angeführten Realisierungs-

hemmnisse muß jedoch unterstellt werden, daß sich mittelfristig (bis 2005) diese Verwendungsbereiche nicht in vollem Umfange erschließen lassen.

Für den technischen Bereich erscheinen deshalb nicht mehr als 30 % bis 50 % des genannten technischen Potentials (ca. 100 000 t/a) bis 2005 als realisierbar. Rechnet man dem Textilbereich einen zusätzlichen Bedarf von rd. 10 000 t Flachsfasern pro Jahr zu, so könnten mittelfristig **ca. 40 000 bis 60 000 t/a** Flachsfasern in den genannten Bereichen zusätzlich Verwendung finden. Bei einem Flachsfasserertrag von rd. 2 t/ha entspricht dies im Jahr 2005 einer Flachsanbaufläche von **ca. 20 000 bis 30 000 ha**. Hierbei ist es sehr fraglich, ob diese zusätzliche Nachfrage auch tatsächlich durch inländischen Anbau gedeckt wird, oder ob nicht vielmehr die großen Anbaugebiete in Nordfrankreich und Belgien entsprechend ausgedehnt würden. 1991 wurden in der Bundesrepublik Deutschland (incl. NBL) rd. 1 200 ha Flachs angebaut (AID 1992).

6. Arznei- und Gewürzpflanzen [3)]

6.1. Einführung und Definition

Unter dem Oberbegriff Arznei- und Gewürzpflanzen wird eine Vielzahl von Pflanzenarten zusammengefaßt. Arzneipflanzen sind Pflanzen, deren sekundäre Inhaltsstoffe eine bestimmte pharmakologische Reaktion auslösen und eine lindernde oder heilende Wirkung hervorrufen können. Gewürzpflanzen sind Pflanzen oder Teile davon, die aufgrund ihres charakteristischen Geschmacks oder Geruchs den Genuß von Speisen und Getränken verbessern können und/oder ihrer Verdaulichkeit förderlich sind. Die wertbestimmenden Inhaltsstoffe von Arznei- und Gewürzpflanzen sind meistens Produkte des Sekundärstoffwechsels. Zu den Sekundärstoffen gehören u.a. ätherische Öle, Senföle, Alkaloide, Bitterstoffe, herzwirksame Glycoside und Saponine. Es handelt sich hierbei um Substanzen, die in ihrer Biosynthese vom Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren abgeleitet und für die Pflanze nicht unbedingt lebensnotwendig sind, obwohl sie durchaus physiologische Funktionen erfüllen bzw. ökologische Bedeutung haben können.

Das Statistische Bundesamt weist für das Jahr 1988 eine Arznei- und Gewürzpflanzenanbaufläche von 1 320 ha aus. 1992 sind in den alten Bundesländern bereits 1 500 ha registriert worden. Die größten Anbauflächen finden sich in Bayern (800 ha) und Niedersachsen (650 ha). Die tatsächliche Anbaufläche ist schätzungsweise doppelt so hoch (BOMME 1990). In den neuen Bundesländern wurden vor der Vereinigung rund 7 000 ha Arznei- und Gewürzpflanzen angebaut. Inzwischen ist der Anbauumfang mit dem Wegfall der staatlichen Förderung stark eingeschränkt worden.

Aus pflanzenbaulicher Sicht könnten unter unseren Standort- und Klimabedingungen zwischen 50 und 60 verschiedene Arznei- und Gewürzpflanzen angebaut werden. In Tabelle V.6-1 sind diejenigen Pflanzenarten aufgelistet, die aufgrund ihrer Bedeutung in dieser TA-Studie näher betrachtet werden. Nachfolgend werden für verschiedene Arznei- und Gewürzpflanzen anbautechnische, ökonomische und umweltrelevante Angaben gemacht. Da bei einigen Pflanzenarten diese Informationen nicht vorhanden bzw. nicht verfügbar waren, beschränken sich die Aussagen z.T. auf einige wenige, aber hinsichtlich der Menge oder Wertschöpfung wichtige Pflanzenarten.

3) Ausführungen zu V.6 sind im wesentlichen den Berichten von Frau Prof. Vömel (1992) entnommen, Materialbände Nr. 20 und 21 zu dieser Studie

Tabelle V.6-1: **Ausgewählte Arznei- und Gewürzpflanzen**

Alant	(Inula helenium)	Kamille	(Chamomilla recutita)
Arnika	(Arnica montana)	Koriander	(Coriandrum sativum)
Baldrian	(Valeriana officinalis)	Kümmel	(Carum carvi)
Beinwell	(Symphytum officinale)	Liebstöckel	(Levisticum officinale)
Boretsch	(Borago officinale)	Majoran	(Majorana hortensis)
Brennessel	(Urtica dioica)	Malve, Blaue	(Malva silvestris)
Buchweizen	(Fagopyrum esculentum)	Mariendistel	(Silybum marianum)
Dill	(Anethum graveo lens)	Muskatellersalbei	(Salvia sclarea)
Eibisch	(Altheae officinalis)	Petersilie	(Petroselinum crispum)
Engelwurz	(Angelica archangelica)	Pfefferminze	(Mentha piperita)
Enzian, Gelber	(Gentiana lutea)	Ringelblume	(Calendula officinalis)
Fenchel	(Foeniculum vulgare)	Schnittlauch	(Allium schoeno prasum)
Fingerhut, Wolliger	(Digitalis lanata)	Sonnenhut, Roter	(Echinacea purpurea)
Flohsamen	(Plantago ovata)	Spitzwegerich	(Plantago lanceolata)
Johanniskraut	(Hypericum perforatum)	Zitronenmelisse	(Melissa officinalis)

6.2 Anbautechnische und ökonomische Merkmale

Die erwähnten Arznei- und Gewürzpflanzen wachsen optimal auf guten landwirtschaftlichen Böden, die tiefgründig und humusreich sind. Minderwertige Grenzertragsböden sind im allgemeinen für die Erzeugung von Arznei- und Gewürzpflanzen weniger gut geeignet. Einige wenige Arznei- und Gewürzpflanzen, wie z.B. Boretsch, Fenchel, Kamille und Mariendistel sind anspruchsloser und kom-

men auch mit schlechteren Bodenqualitäten zurecht (s. Tab. V.6-2). Wurzelfrüchte, wie z.B. Baldrian und Alant, wollen einen siebfähigen Boden, der nicht staunaß sowie stein- und unkrautfrei ist. Die Mehrzahl der in Tabelle V.6-1 aufgelisteten Pflanzenarten mit Ausnahme von Arnika und Spitzwegerich gedeihen auf leicht alkalischen Böden besser als auf sauren Böden.

Tabelle V.6-2: **Ansprüche der Arznei- und Gewürzpflanzen an die Bodenart**

Tiefgründige, siebfähige Böden	Humusreiche, tiefgründige Böden	Lockere, sandig-lehmige Böden	Keine besonderen Ansprüche
Alant	Arnika	Buchweizen	Boretsch
Baldrian	Brennessel, Große	Dill	Fenchel
Beinwell	Eibisch	Enzian, Gelber	Kamille
Engelwurz	Majoran	Fingerhut, Wolliger	Mariendistel
Liebstöckel	Malve, Blaue	Johanniskraut	Muskatellersalbei
Sonnenhut, Roter	Petersilie	Koriander	Schnittlauch
	Pfefferminze	Kümmel	
		Ringelblume	
		Spitzwegerich	
		Zitronenmelisse	

Der Wasserbedarf der Arznei- und Gewürzpflanzen liegt zwischen 500 und 1 000 mm/a (s. Tab. V.6-3). Insbesondere Pflanzenarten mit hoher Blattmasseproduktion, wie z.B. Zitronenmelisse, Brennessel oder Pfefferminze, fallen durch einen großen Wasserbedarf auf. Mit zusätzlichen Wassergaben können die Blatt-, Kraut- und Wurzelerträge gesteigert werden.

Die meisten Arznei- und Gewürzpflanzen sind im Vergleich zu den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen züchterisch noch sehr wenig bearbeitet (Gruppensorten). Einige Arten wie z.B. Arnika und Enzian besitzen noch ihren Wildpflanzencharakter und werfen anbautechnische Probleme auf. Eine Ausnahme stellen die Gewürzpflanzen Dill und Petersilie dar, von denen es im Handel erhältliche Sorten gibt. Außerdem gibt es firmeneigene Züchtungen, die aber nur den Vertragspartnern zur Verfügung stehen (z.B. Kamille und Fingerhut). In vielen kleineren landwirtschaftlichen Betrieben wird wegen der hohen Kosten das Saatgut selbst vermehrt bzw. die Jungpflanzenanzucht im eigenen Betrieb durchgeführt.

Tabelle V.6-3: **Wasserbedarf der Arznei- und Gewürzpflanzen in mm/a**

500 – 600	600 – 700	700 – 800	800 – 900	900 – 1000
Buchweizen	Dill	Arnika	Alant	Beinwell
Fenchel	Eibisch	Engelwurz	Baldrian	Boretsch
Koriander	Malve, Blaue	Enzian, Gelber	Johanniskraut	Brennessel, Große
Mariendistel	Muskatellersalbei	Fingerhut, Wolliger		Pfefferminze
	Petersilie	Kamille		Zitronenmelisse
	Ringelblume	Kümmel		
	Schnittlauch	Liebstöckel		
	Sonnenhut, Roter	Majoran		
	Spitzwegerich			

Die Erntetechnik wird durch die zu erntenden Pflanzenteile bestimmt. Man unterscheidet zwischen einer Blüten-, Blatt- oder Wurzelernte.

Auf kleineren Anbauflächen wird die Ernte von Blattgut in althergebrachter Manier mit einer Sichel oder Sense eingebracht. Danach werden mit der Hand die einzelnen Blätter und die Triebspitzen vom Stengel getrennt. Zum Teil wird die Blatternte an der stehenden Pflanze vorgenommen. Die Blütenernte wird nicht selten in zeitaufwendiger Handarbeit betrieben. Die Ernte von Blütenfrüchten wie z.B. Kamille oder Arnika wird mechanisch durchgeführt, sofern keine besonderen Anforderungen an die Qualität der Ware gestellt werden. Handgezupfte Ware ist wegen des geringen Verunreinigungsgrads hochwertiger und wird besser bezahlt als maschinell geerntete Massenware. Angesichts der niedrigeren Arbeitslöhne in den südlichen EG-Ländern und den ehemaligen Ostblockstaaten ist wohl weiterhin damit zu rechnen, daß handgelesene Ware aus dem Ausland importiert wird. Wegen der schlechten Konkurrenzfähigkeit der manuell geernteten Blattware mit den billigen Importen wird die Blattware in der Bundesrepublik Deutschland zunehmend maschinell geerntet. Der Bestand wird mit Schneidegeräten zerkleinert und zu Blattsortieranlagen gebracht. Die von den Stengeln getrennte Blattware wird auch als Krüllware bezeichnet. Das anschließende Trocknen des Ernteguts ist wichtig, weil es sonst zu einer unerwünschten mikrobiellen Vermehrung und zu einem Abbau der Inhaltsstoffe kommen würde.

Als "Droge" bezeichnen wir im folgenden nicht Rausch- oder Suchtmittel, wie im allgemeinen Sprachgebrauch üblich, sondern im engeren Sinne pflanzliche Arz-

neimittel, wie z.B. Blüten, Blätter und Wurzeln, die als getrocknete und mechanisch zerkleinerte Ware auf dem Markt angeboten werden.

Der optimale Erntezeitpunkt für Wurzeldrogen liegt zwischen Oktober und November, da die Wurzeln und Rhizome bis in den Spätherbst hinein wachsen und sekundäre Inhaltsstoffe produzieren. Der richtige Erntezeitpunkt ist nicht selten ausschlaggebend für den Gehalt an wertbestimmenden sekundären Inhaltsstoffen und damit für den Verdienst. Im großflächigen Anbau werden vor der eigentlichen Ernte von Alant, Baldrian, Eibisch, Bibernelle und Engelwurz erst die Blatt- und Stengelteile mit dem Schlegelfeldhäcksler abgeschlagen. Andere Arznei- und Gewürzpflanzen wie z.B. Arnika und Enzian bauen durch Rückverlagerungsprozesse die oberirdische Vegetationsmasse ab. Die eigentliche Wurzelernte ist vollmechanisiert und kann mit Schwingsieb- bzw. Siebkettenroder oder aber mit normalen Kartoffel- oder Zuckerrübenrodern durchgeführt werden. Blattfrüchte wie die Pfefferminze, die Petersilie und die Zitronenmelisse werden mit speziellen Grünguterntemaschinen geerntet, Fenchel, Koriander und Kümmel können im Mähdruschverfahren gewonnen werden.

Die Form des Anbaus von Arznei- und Gewürzpflanzen richtet sich neben pflanzenbaulichen Gesichtspunkten maßgeblich nach der Betriebsgröße, dem Arbeitskräfte- und Maschinenbesatz. In kleinen flächenarmen Betrieben werden bevorzugt Kulturen mit einem höheren Arbeitszeitbedarf, ausgedrückt in Arbeitskraftstunden (AKh) pro Hektar und Jahr, angebaut. Größere Betriebe bevorzugen dagegen Kulturen, deren Anbau mechanisierbar ist. Beim Anbau von Blütendrogen reicht je nach Produktionsverfahren der notwendige Arbeitszeitbedarf von 30 bis 110 AKh/ha·a, bei Blatt- und Krautdrogen von 43 bis 261 AKh/ha·a. Der Anbau von Wurzeldrogen beansprucht rd. 230 AKh/ha·a, während der Anbau von Pflanzenarten, die Samen oder Früchte liefern, mit 19 bis 24 AKh/ha·a am arbeitsextensivsten ist (s. Tab. V.6-4).

Die Deckungsbeitragsrechnung zeigt, daß bei bestimmten Arznei- und Gewürzpflanzen gegenwärtig zum Teil sehr hohe Deckungsbeiträge pro Hektar erzielt werden können (s. Tab. V.6-4). Diese Angaben sind aus zwei Gründen nicht verallgemeinerbar: Erstens ist der Markt für Arznei- und Gewürzpflanzen sehr klein und eine Ausdehnung der Produktion und des Angebots können sehr rasch zu Preisänderungen und damit zu einer drastischen Verringerung der Deckungsbeiträge pro Hektar führen. Zweitens wird der Arznei- und Gewürzpflanzenanbau überwiegend im Vertragsanbau durchgeführt. Meist ist neben der abzuliefernden Drogenmenge auch die Qualität der Drogen im Vertrag festgelegt.

Die teilweise recht große Spanne bei den Deckungsbeiträgen pro Hektar ist eine Folge unterschiedlicher, abnehmerbestimmter Qualitätsanforderungen. Die Pro-

Tabelle V.6-4: **Deckungsbeiträge und Arbeitszeitbedarf im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau**

Pflanzenart	Deckungsbeitrag (DM/ha·a)	Arbeitszeitbedarf (AKh/ha·a)	Deckungsbeitrag (DM/AKh)
Baldrian	4 270 – 5 210	230	19 – 23
Fenchel	2 350 – 4 220	67	35 – 62
Kamille	1 060 – 6 750	27	39 – 249
Koriander	780 – 1 680	24	32 – 69
Kümmel	1 770 – 3 780	19	91 – 195
Mariendistel	1 850 – 3 420	25	73 – 135
Petersilie	11 520 – 14 900	175	66 – 85
Pfefferminze	5 730 – 8 560	261	22 – 33
Schnittlauch	26 900 – 35 920	43	621 – 830
Sonnenhut, Roter	62 020 – 104 000	232	267 – 448
Zitronenmelisse	5 650 – 12 250	172	33 – 71

duktion einer vertraglich festgelegten Drogenmenge mit definierter hoher Qualität kann auf Dauer nur mit der Anschaffung spezieller Anbau- und Erntegeräte sowie schonender Wasch- und Trocknungsanlagen erreicht werden. Unter der Voraussetzung, daß der Absatz der Drogen gesichert ist, können Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden, die ein Mehrfaches vom Getreidedeckungsbeitrag ausmachen und bei bestimmten Pflanzenarten und Verträgen sogar bis zu sechsstellige Beträge einbringen können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß trotz der geringen Produktionsmengen der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen eine interessante Alternative für landwirtschaftliche Betriebe mit geringer Flächenausstattung und hohem Arbeitskräftebesatz darstellt. Pro Hektar kann gegenwärtig eine unvergleichbar hohe Wertschöpfung ohne den Einsatz kosten- oder energieintensiver Technologien erzielt werden.

6.3 Umweltrelevante Merkmale

Eine Integration der selten angebauten Arznei- und Gewürzpflanzen führt zu einer Auflockerung der durch einige wenige Hauptkulturen bestimmten landwirtschaftlichen Fruchtfolgen. Die mehrjährigen Kulturen fördern durch ihre

lange Beschattungszeit die Bodengare und die Humusbildung. Wurzeldrogen oder andere Arznei- und Gewürzpflanzen, die eine intensive Hackpflege benötigen, sind dagegen humuszehrend und erosionsfördernd.

Die Produktion von Arznei- und Gewürzpflanzen kommt in der Regel mit einem geringen Stickstoffaufwand und ohne den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln aus und kann als überwiegend umweltfreundlich bezeichnet werden. Blütenpflanzen, wie z.B. der Rote Sonnenhut, der Arnika, das Johanniskraut und die Blaue Malve dienen darüber hinaus als Nahrungsquellen für verschiedene Bienen- und Schmetterlingsarten.

Der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen besitzt einen besonderen ökologischen Wert, wenn es sich bei den betreffenden Pflanzenarten um geschützte Kulturen handelt, und wenn wild gesammelte Pflückware substituiert wird. Durch den gezielten Anbau dieser Arznei- und Gewürzpflanzen können vom Wildsammeln bedrohte Pflanzenarten vor dem Aussterben bewahrt werden.

Auch aus landschaftsästhetischen Aspekten ist der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen positiv zu beurteilen. Das Landschaftsbild wird abwechslungsreicher und interessanter. In manchen Gegenden werden Arznei- und Gewürzpflanzen mit dem Nebenziel angebaut, den Fremdenverkehr zu fördern.

Auswirkungen der Düngung

Die Nährstoffansprüche und -entzüge der einzelnen Kulturen sind unterschiedlich (VÖMEL 1992a,b). Bei der überwiegenden Zahl der Arznei- und Gewürzpflanzen handelt es sich um Pflanzen, die noch ihren Wildpflanzencharakter besitzen und noch nicht züchterisch bearbeitet wurden. Diese Kulturen reagieren sehr empfindlich auf ein zu hohes Stickstoffangebot. Es gibt aber auch Arznei- und Gewürzpflanzen, deren Ertragsniveau durch Düngergaben positiv beeinflußt wird.

Der Nährstoffbedarf der Blattfrüchte unterscheidet sich von den Ansprüchen der Wurzelfrüchte, die im Durchschnitt mit einem niedrigeren Düngungsniveau zurechtkommen. Zu den Pflanzenarten, die beachtliche Mengen an Stickstoff aufnehmen, gehören die als Stickstoffanzeiger bekannte Große Brennessel, die Blaue Malve, die Ringelblume, der Rote Sonnenhut und die mehrschnittigen Blattdrogen Pfefferminze und Zitronenmelisse. Hervorzuheben im Hinblick auf die Stickstoffgenügsamkeit sind Fenchel, Arnika und Baldrian (s. Tab. V.6-5).

Tabelle V.6-5: **Stickstoffentzug der Arznei- und Gewürzpflanzen**

Niedrig (50 - 80 kg N/ha)	**Mittel** (100 - 160 kg N/ha)	**Hoch** (180 - 260 kg N/ha)
Arnika	Alant	Brennessel, Große
Baldrian	Boretsch	Malve, Blaue
Buchweizen	Johanniskraut	Petersilie
Dill	Liebstöckel	Pfefferminze
Eibisch	Majoran	Ringelblume
Engelwurz	Schnittlauch	Sonnenhut, Roter
Fenchel	Spitzwegerich	Zitronenmelisse
Kamille		
Koriander		
Kümmel		
Mariendistel		

Auswirkungen des Pflanzenschutzes

Das Risiko eines Eintrags von Pflanzenschutzmittelrückständen in Grund- und Oberflächengewässer ist sehr gering, weil im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau offiziell keine Pflanzenschutzmittel zugelassen sind. Die Unkrautbekämpfung stellt deshalb auch eines der größten Probleme des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus dar. Viele der diskutierten Pflanzen wachsen sehr langsam und besitzen nur eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. In Ausnahmefällen werden deshalb zur Unkrautbekämpfung Herbizide eingesetzt, die entweder in anderen Ländern zugelassen oder für eine Anwendung in landwirtschaftlichen Kulturen registriert sind. Ein Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden macht eine arbeitsintensive maschinelle und manuelle Unkrautbekämpfung notwendig. Eine mögliche Alternative stellt die thermische Unkrautbehandlung mit Gas dar, die allerdings Kohlendioxid freisetzt.

6.4 Konditionierung

Nur ein kleiner Teil der Arznei- und Gewürzpflanzen wird frisch abgesetzt. In der Regel werden sie in getrocknetem und lagerfähigem Zustand vermarktet. Die Wurzelfrüchte müssen vor der Trocknung durch einen Waschvorgang von ihrer

Schmutzfracht befreit werden. Waschanlagen werden insbesondere für Wurzeldrogen, in speziellen Fällen auch für Blattdrogen benötigt.

Eine rasche und effektive Trocknung ist notwendig, um aus dem Erntegut ein lagerfähiges und wirkstoffreiches Material zu gewinnen. Samen und Früchte können in Getreidetrocknungsanlagen getrocknet werden. Wurzeln, Blätter, Kraut und Blüten müssen dagegen in einem schonenderen Verfahren mit speziellen Bandtrocknern behandelt werden. Die Investitionen für einen Bandtrockner sind hoch, so daß eine Anschaffung nur dann rentabel wird, wenn eine entsprechend große Anbaufläche vorhanden ist. Die Trocknungstemperaturen und die Dauer des Trocknungsvorgangs sind abhängig vom zu trocknenden Gut und von seinen Inhaltsstoffen. Hieraus ergeben sich dann auch unterschiedliche Trocknungskosten.

Die althergebrachte Methode der natürlichen Trocknung auf Horden kann nur für sehr geringe Erntemengen angewendet werden, da die Trocknung möglichst schnell abgeschlossen sein muß, um Qualitätseinbußen zu vermeiden. Die Lufterwärmung wird hauptsächlich mit fossilen Brennstoffen betrieben. Die technische Nutzung der Solarkollektoren steckt noch in den Anfängen, scheint aber hoffnungsvoll.

6.5 Verarbeitung

Die angestrebte Wirkung der Arznei- und Gewürzpflanzen geht auf deren sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe zurück. Art und Menge dieser Wirkstoffe sind genetisch festgelegt, können aber auch durch Umwelteinflüsse modifiziert werden. Die wichtigste Gruppe der sekundären Inhaltsstoffe sind die ätherischen Öle. Die Gewinnung dieser ätherischen Öle erfordert einen Destillationsvorgang mit Wasserdampf. Die Anschaffungskosten einer Destillationsanlage sind vergleichbar mit denen einer Trocknungsanlage. Eine Verarbeitung spezieller Arznei- und Gewürzpflanzen zu ätherischen Ölextrakten auf dem landwirtschaftlichen Betrieb könnte den Absatzmarkt erweitern und den anbauenden Landwirten zusätzliche Einkommensquellen erschließen. In vielen Verwendungsbereichen, wie z.B. in der Nahrungsmittelindustrie, werden nur Ätherisch-Öl-Extrakte verwendet.

6.6 Marktperspektiven und Mengenpotentiale

In den letzten Jahren haben der private Verbrauch an Gewürzen und die Selbstmedikation mit homöopathischen Mitteln zugenommen. Derzeit befinden sich zwischen 65 000 und 70 000 Präparate, die pflanzlichen Ursprungs sind, auf dem Markt. Auch im Bereich der Wasch- und Pflegemittel ist eine zunehmende Nach-

frage nach Produkten mit Drogenzusätzen zu beobachten. Es ist also in verschiedenen Bereichen mit einem steigenden Verbrauch an Arznei- und Gewürzpflanzen zu rechnen. Trotz der zunehmenden Nachfrage wird nach wie vor der überwiegende Teil des inländischen Verbrauchs importiert. Gegenwärtig werden etwa 170 000 t/a getrocknete Arznei- und Gewürzpflanzen mit einem Wert von rund 500 Mio DM aus dem Ausland bezogen. Der hohe Importanteil von 90 % am Gesamtverbrauch hat zwei Gründe. Erstens handelt es sich bei den Importen überwiegend um tropische Gewächse, die angesichts ihrer klimatischen Ansprüche nicht bei uns angebaut werden können. Allein der Import von Pfeffer aus Indonesien und von Paprika aus Ungarn und Spanien machen sowohl mengen- als auch wertmäßig rund 50 % der Gewürzimporte aus. Zweitens werden in vielen Billiglohnländern die Pflanzenarten weit günstiger bereitgestellt als in der Bundesrepublik Deutschland. Das Preisniveau der ausländischen Ware liegt zum Teil deutlich unter dem der einheimischen Ware.

Es ist damit zu rechnen, daß als Folge des Trends zu Naturheilmitteln und der weiter wachsenden Sensibilität gegenüber der Rückstandsproblematik die Qualitäts- und Kontrollanforderungen ansteigen werden. Die aus dem Ausland stammenden Waren sind häufiger mikrobiologisch kontaminiert oder weisen erhöhte Konzentrationen an Pflanzenschutzmittelrückständen auf. Außerdem wird wegen der geforderten Homogenität und Qualität der Ware sowie einer strengeren Naturschutzgesetzgebung der Anteil billiger Sammelware aus dem Ausland zurückgehen. Dies sind günstige Rahmenbedingungen für den inländischen Anbauer, seine vergleichsweise teure, aber qualitativ hochwertige Ware abzusetzen. Trotz dieser hoffnungsträchtigen Perspektiven scheint es eher unwahrscheinlich, daß der Anteil der Eigenproduktion in den nächsten Jahren mehr als 10 bis 15 % des inländischen Gesamtbedarfs ausmachen wird. In der Vergangenheit kamen größere Mengen an Arznei- und Gewürzpflanzen aus den ehemaligen Ostblockstaaten Ungarn, Polen und der Sowjetunion. Angesichts der ökonomischen Lage in diesen Staaten ist damit zu rechnen, daß weiterhin preisgünstige Ware aus diesen Ländern nach Deutschland fließt.

Der inländische Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen erfolgt überwiegend auf Vertragsbasis. Sowohl Inhalt als auch Dauer der Verträge sind sehr verschieden. In den Verträgen werden meist die Abnahmemengen, aber nicht immer die Preise festgeschrieben. Trotz eines Interesses am einheimischen Anbau scheuen viele Abnehmer angesichts der sehr stark schwankenden Weltmarktpreise davor zurück, langfristige Verträge mit festen Preisen abzuschließen. Ein gemeinschaftlicher Anbau und die Vermarktung größerer Chargen einheitlicher Qualität könnte die Position der Anbauer stärken. Die Preise für die erzeugten Waren schwanken sehr stark, weil sie dem Angebot und der Nachfrage des Weltmarkts unter-

worfen sind. Schwankungen von 200 bis 300 %/a sind keine Seltenheit. Schutzzölle oder Subventionen, die den Anbauern von Arznei- und Gewürzpflanzen kalkulierbare Mindestpreise und -einkommen garantieren würden, existieren nicht.

Der Bedarf an Arznei- und Gewürzpflanzen könnte mittelfristig zunehmen, wenn man unterstellt, daß der Trend nach Wasch- und Pflegemitteln sowie nach Arzneimitteln auf rein pflanzlicher Basis sich auch in der Zukunft fortsetzt.

Der Umfang der Anbaufläche von Arznei- und Gewürzpflanzen ist abhängig von der Bereitschaft der chemischen und pharmazeutischen Industrie, mit einheimischen Anbauern langjährige Verträge abzuschließen. Bestehende Handelsbeziehungen und billige Lieferungen aus dem Ausland machen es für viele Firmen unattraktiv, inländische Produktionsverträge zu fixen Preisen einzugehen. Ein Bedarfsanstieg bei Arznei- und Gewürzpflanzen ist folglich nicht identisch mit einer Ausdehnung des inländischen Anbaus. Wenn man davon ausgeht, daß aus Qualitätsgründen dem inländischen Anbau höhere Preise zugestanden werden als bisher, könnten mittelfristig zwischen **10 000 und 15 000 ha** inländisch angebaut werden.

6.7 FuE-Empfehlungen

Die gegenwärtig verfügbaren Sorten im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau sind sogenannte Gruppensorten oder einfache Wildherkünfte. Lediglich bei den Gewürzpflanzen Dill, Petersilie und Schnittlauch gibt es eingetragene Sorten, die im Handel erhältlich sind. Durch eine züchterische Bearbeitung könnten die Ertragsleistung und die Anbaufähigkeit sehr schnell verbessert werden. Die Züchtung von Krankheitsresistenzen (z.B. bei Koriander gegen die Welkekrankheit) könnte dazu beitragen, daß verschiedene Pflanzenarten verstärkt angebaut werden. Kommerzielle Züchter und die öffentliche Forschung zeigen wegen der mengenmäßig begrenzten Marktperspektiven nur geringes Interesse, Züchtungsanstrengungen im Bereich des Arznei- und Gewürzpflanzensektors zu unternehmen.

Die physiologischen und biochemischen Grundlagen des Sekundärstoffwechsels sind bislang noch viel weniger erforscht als die Primärstoffproduktion. Meist herrscht Unklarheit über den Einfluß endogener und exogener Faktoren auf die Bildung und Konzentration der therapeutisch wirksamen Substanzen.

Ein besonderes Gewicht kommt der Entwicklung rationeller Technologien für die Ernte der Arznei- und Gewürzpflanzen sowie der Erforschung wirkstoffbewahrender Nachbehandlungsmethoden zu. Die schnelle Trocknung der Drogen ist für den Erhalt der wirksamen Substanzen von entscheidender Bedeutung. Die Weiterent-

wicklung von mit umweltfreundlicher Energie arbeitenden Warm- oder Heißlufttrocknern könnte dazu einen sinnvollen Beitrag leisten.

Literaturverzeichnis zu Kapitel V

AGRA-EUROPE, 1991a: Neue Impulse für Nachwachsende Rohstoffe durch die Agrarreform? Agra-Europe 41, Europa-Nachrichten, 6-7

– –, 1991b: Großes Interesse am Anbau von Öllein. Agra-Europe 50, Länderberichte, 40-41

– –, 1992: Nr. 16 v. 13.4.92, "Länderbericht 17" unter Berufung auf ZMP

AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V., Hrsg.) (Jahrgänge): Holz-/Forst- ... Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Faltblatt Nr. 2026, Bonn

– –, 1992: Nachwachsende Rohstoffe und ihre Verwendung. Heft 1219

AUSTMEYER, K. E., und H. RÖVER, 1988: Energiebedarf für die Bereitstellung von Lebensmitteln - vom Rohstoff bis zum Verbraucher. VDI Berichte 675, 13-34

BARTELHEIMER, P., 1986: Konjunktur und Holzmarkt. Allg. Forstzeitschrift, 1026-1031

BARTENS, A., und H. MOSOLFF, 1990: Zuckerwirtschaft 1990/91. Zuckerwirtschaftliches Taschenbuch (37. Jg.), Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin

BECKER, G., 1986: Auswirkungen der technologischen Entwicklung in der Holzindustrie auf die Forstwirtschaft. Allg. Forstzeitschrift, 1154-1159

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg.) (Jahrgänge): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag , Münster-Hiltrup

– –, 1990: Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe (2. überarbeitete Aufl.)

– –, 1990a: Der deutsche Wald bietet ein zufriedenstellendes Bild. Agra-Europe 25, Länderberichte 10-12

– –, 1991: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1991. Landwirtschaftsverlag , Münster-Hiltrup

BOMME, U., 1990: Marktnische Heil- und Gewürzpflanzen. VDL-Journal 7, 25

BOUWMAN, A.F., 1990: Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley, New York, 1-21

BRABÄNDER, H.D., W. HABER, M. KÖHNE, H.J. STURIES und C. THOROE, 1992: Konzeption zur verstärkten Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen. Chancen zur nachhaltigen Erhöhung des Waldanteils als natürliche Vegetationsform. Agra-Europe 51, Markt + Meinung, 1-7

BRICKENSTEIN, R., 1982: Der europäische Nadelschnittholzmarkt in Gegenwart und Zukunft - nationale und internationale Einflußfaktoren - Sägeindustrie heute und morgen, Leinfelden

BUNDESVERBAND DER STÄRKEKARTOFFELERZEUGER 1993: Persönliche Mitteilung

BUNNIES, H., 1990: Zur Wettbewerbslage der Kartoffelstärke. Schriftenreihe des BML (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 380, 248-256

BURSCHEL, P., und M. WEBER, 1992: Der Wald als CO_2-Senke. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 42 (9), 582-588

CMA (Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft), 1987: Marktuntersuchung Faserlein (Flachs), Bonn

DEPPE, H.-J., 1987a: Konsequenzen aus der Umweltschutzgesetzgebung für die deutsche Holzwerkstoffindustrie. Teil 1: Allgemeines - Produktionsbezogene Konsequenzen. Holz-Zentralblatt 113 (123), 1810 + 1812

– –, 1987b: Probleme und Aussichten bei Holzwerkstoffen in Europa. HRuW 45, 417-420, Springer-Verlag, Hamburg

– –, 1988: Entwicklungstendenzen bei der Herstellung und Verbrauch von Holzwerkstoffen für den Innenraumbereich. Forstarchiv 59, 28-31

– –, 1989a: Zum Substitutionswettbewerb zwischen MDF und anderen Holzprodukten (Teil 1). Holz-Zentralblatt 115 (93), 1428-1430

– –, 1989b: Zum Substitutionswettbewerb zwischen MDF und anderen Holzprodukten (Teil 2). Holz-Zentralblatt 115 (99), 1482-1484

– –, 1989c: Holzwerkstoffe und Möbelbau. Versuche zur Anpassung der Vorprodukte an erkennbare Marktveränderungen. Holz-Zentralblatt 115 (6), 45-48

– –, 1990: Stand und Entwicklung der Holzwerkstofferzeugung in der Europäischen Gemeinschaft im Vergleich zu konkurrierenden Wirtschaftsblöcken. Autorenmanuskript für Holz-Zentralblatt 1990

DEPPE, H.-J., und J. ERNST, 1990: Taschenbuch der Spanplattentechnik (2. Aufl.). DRW-Verlag, Stuttgart

DEUTSCHES MAISKOMITEE e.V. (Hrsg.), 1991: Mais - ein Rohstoff für die Industrie. Broschüre

DUTCH, J., und P. INESON, 1988: Denitrification of an upland forest site. Forestry (Eynsham) 63 (4), 363-378

EDEL, E., 1990: Vergleich von Holzaufschlußverfahren. Interne Studie der FIB im Unterauftrag für KfK/AFAS, Juni 1990

EKLUND, R., et al., 1979: zitiert in GREFERMANN (1988), S. 79

ENGLERT, H., 1991: Regionale Produktionsbedingungen der Forstwirtschaft (konventioneller Umtrieb). Materialband Nr. 22 zu dieser Studie

FABER, G., 1985: Schwachholz und seine Bearbeitung (1): Aufkommen und Eigenschaften von Schwachrundholz. Holz-Zentralblatt 111 (48), 702-720 (1. Teil)

FACHVERBAND DER STÄRKE-INDUSTRIE e.V., 1992: Daten zur Stärke-Industrie. Broschüre, Bonn

GOODROAD, L. L., und D. R. KEENEY, 1984: Nitrous oxide emission from marshland prairie ecosystems. J. Environ. Qual. 13 (3), 448-452

GREFERMANN, K., 1988: Holzbearbeitung - Strukturwandel und Entwicklungsperspektiven. Struktur und Wachstum, Heft 43

HÄBER, J., 1987: Die Produktion nachwachsender Rohstoffe auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen aus Sicht der Holzwerkstoff-Industrie. Forstarchiv 58 (3), 96-101

HENRICHSMEYER, W., und A. TSCHMARKE, 1991: Forschungsförderung Nachwachsende Rohstoffe. Prioritäre Forschungsziele und -aufgaben - diskutiert an dem Produktkomplex Flachs. Forschungsberichte des Dachverbandes Agrarforschung, Band 6a, DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

KNAUT, J., und H.J. RICHTLER, 1986: Sichere Rohstoffe bis in die neunziger Jahre. Chemische Industrie 12, 1143-1149

LAMMEL, R., 1976: Untersuchungen über die Struktur bäuerlicher Betriebe mit Wald und die Einstellungen und Ziele bäuerlicher Waldbesitzer - Ergebnisse einer Befragung im Landkreis Rosenheim. Forstl. Forschungsanstalt München

LISTL, J., W. FRIEDT und H. BÖHM, 1990: Erucasäurehaltiger und glucosinolatfreier Winterraps als Industrierohstoff. Schriftenreihe des BML (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 391, 202-216

LOETS, P., 1992: Die CO_2-Absorption als Umweltleistung der europäischen Land- und Forstwirtschaft. Ber. Ldw. 70, 280-287

LOHNER, P., 1990: Erste Ergebnisse der Bundeswaldinventur. AFZ 35, 898-900

MANG, T., 1990: Schmierstoffe und Funktionsflüssigkeiten auf Pflanzenölbasis, Erfahrungen eines Herstellers. Schriftenreihe des BML (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 391, 100-112

MEUSER, F., und F. ALTHOFF, 1990: Vergleichende Betrachtung der Herstellung von Stärke aus Mais, Weizen und Kartoffeln unter Berücksichtigung der Nebenprodukte und der im Stärkegewinnungsprozeß anfallenden Abwässer. Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 380, 41-54

MEUSER, F., H. GERMAN und G. KNOBLOCH, 1981: Energiefluß in einer Kartoffelstärkefabrik. Starch/Stärke 33 (10), 332-337

MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND e.V. (Hrsg.), 1992: Mineralöl-Zahlen 1991, Hamburg

MOOG, M., 1988: Untersuchungen zum Angebotsverhalten der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg auf dem Kiefernstammholzmarkt. Forstarchiv Hannover 59 (1), 24-28

MÜLLER, H., und M. BECKER, 1987: Distribution des Holzes in der Bundesrepublik Deutschland 1984. Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft (CMA), Bonn

NEUSER, F., 1986: Gegenwärtige Lage und zukünftige Entwicklung der deutschen Sägeindustrie. Holz-Zentralblatt 112 (133), 1913-1914

NIMZ, H.H., 1988: Probleme, Kenntnisse und Hoffnungen zum Thema "Holzstaub". Holz als Roh- und Werkstoff 46, 117-121

OLLMANN, H., 1988: Der Holzmarkt - ein bisher oberflächlich bearbeitetes Forschungsobjekt. Forstarchiv 59 (4), 123-127

RESSEL, J., 1986: Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland. BMFT Forschungsbericht T 86-184, Hamburg

RESSEL, J., und A. FRÜHWALD, 1986: Die Energiesituation in der Holzindustrie. Zusammenfassung einer im Auftrag des BMFT durchgeführten Analyse des Energieverbrauchs in der Holzbe- und -verarbeitung in der BR-Deutschland. Holz-Zentralblatt 112 (149), 2162, 2166 und 112 (151), 2214 und 2215

SCHLIEPHAKE, D., und C.-M. HACKER, 1992: Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff. Materialbände Nr. 32 bis 36 zu dieser Studie

SCHREIBER, A., et al., 1988: Strukturwandel in der Sägeindustrie. Schriftenreihe des BML (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 351

SCHULZ, H., P. GLOS und K.J. HÜTTEMANN, 1988: Denkbare Entwicklungstendenzen unter Berücksichtigung der technischen, politischen, ökonomischen sowie umweltrelevanten Rahmenbedingungen - Innovationen in der Massivholzverwendung. agrarspectrum Bd. 14: Holz als nachwachsender Rohstoff. Schriftenreihe des Dachverbandes Agrarforschung (DAF)

SINGLER, D., 1992: Stärkefabrik in Lauingen geplant. Genossenschaft will 250 000 Tonnen pro Jahr verarbeiten. LWBW 13, 60

SMITH, J., 1990: Die Holz- und holzverarbeitende Industrie im Binnenmarkt. Hrsg. Club de Bruxelles, Bruxelles (B)

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (verschiedene Jahrgänge): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Metzler-Pöschel, Stuttgart

– – 1982: Material- und Wareneingang im Baugewerbe 1978 und 1982. Fachserie 4, Reihe S6

– – 1988a: Produktion im produzierenden Gewerbe. Fachserie 4, Reihe 3.1

– – 1988b: Außenhandel nach Waren und Ländern. Außenhandel Dezember und Jahr 1987, Fachserie 7, Reihe 2

– – 1992: Außenhandel nach Waren und Ländern. Außenhandel Dezember und Jahr 1991, Fachserie 7, Reihe 2

STEINLIN, H., 1984: Das Waldsterben und die Holzversorgung Europas. Holz-Zentralblatt 110 (33), 497

VDP (verschiedene Jahrgänge): Leistungsbericht des Verbandes Deutscher Papierfabriken, Bonn

VDS (verschiedene Jahrgänge): Jahresbericht - Vereinigung Deutscher Sägewerksverbände, Wiesbaden

VÖMEL, A., 1992a: Aufnahme der produktions- und verarbeitungstechnischen Kenndaten von 16 bedeutenden und 15 weiteren potentiell wichtigen Arznei- und Gewürzpflanzenarten. Materialband Nr. 20 zu dieser Studie

VÖMEL, A., 1992b: Erfassen der produktions- und verarbeitungstechnischen Kenndaten von acht nachwachsenden Rohstoffpflanzen mit speziellen Fettsäuremustern: Krambe, Leindotter, Mohn, Saflor, Senf, Wolfsmilch, Koriander, Ringelblume. Materialband Nr. 21 zu dieser Studie

VOSKETER, 1991: Durchführbarkeitsstudie zum Einsatz von Flachsprodukten in Reibbelägen. Verband der Reibbelagindustrie e.V.

WESTERHAUSEN, J., H. UTZ und D. BRUNE, 1990: Untersuchung zum Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe im Verpackungsbereich. BMFT-Forschungsbericht Nr. 01-ZV 8904

WIEDEMANN, A., und A. TSCHMARKE, 1991: Forschungsförderung Nachwachsende Rohstoffe, Bereich Flachs. Dachverband Agrarforschung (Hrsg.), Forschungsberichte Band 6, DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

WIPPERMANN, H.-J., 1990a: Pers. Mitteilung

– –, 1990b: Waldrestholz, andere forstliche Biomasse und Methoden ihrer Nutzung. WKI-Nr. 22, Wilh.-Klauditz-Inst. "Verwertung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft", Braunschweig

WOELK, H.U., 1990: Die industrielle Verwendung von Stärke. Stärke im Nichtnahrungsbereich. Schriftenreihe des BML (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 380, 5-19

– –, 1992: Herstellung und Anwendung von Stärke. Materialband Nr. 30 zu dieser Studie

WURSTER, J., 1991: Technikfolgenabschätzung Nachwachsende Rohstoffe am Beispiel Flachs. Materialband Nr. 28 zu dieser Studie

– –, 1992: Ergänzungen zur Technikfolgenabschätzung Nachwachsende Rohstoffe am Beispiel Flachs. Materialband Nr. 29 zu dieser Studie

ZEDDIES, J., und R. DOLUSCHITZ, 1991: Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Öl- und Faserleinanbaus bei derzeitig und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland. Materialband Nr. 13 zu dieser Studie

ZMP (Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Hrsg.) (verschiedene Jahrgänge): ZMP - Bilanz - Forst und Holzprodukte, Bonn

Kapitel VI

Mengenszenarien für 2005

VI Mengenszenarien für 2005

1. Auswahl der Mengenszenarien

Mit der Diskussion von Mengenszenarien werden die folgenden Ziele verfolgt:

(a) Sortierung der Mengenperspektiven für die mittelfristige Zukunft nach unterschiedlichen Bewertungen und Rahmenbedingungen;

(b) Ergänzung der insbesondere in Kapitel IV gemachten Aussagen je Mengeneinheit, je Flächeneinheit und je Energieeinheit durch Abschätzung der Größenordnung der Gesamteffekte;

(c) Erfassung solcher Auswirkungen der diskutierten Mengen, die erst dann qualitativ bedeutend werden, wenn man z.B. an die Umwidmung größerer Anteile an der landwirtschaftlichen Nutzfläche denkt.

Die größten Unterschiede bei Mengenvorstellungen für die mittelfristige Zukunft ergeben sich aus unterschiedlichen Bewertungen der Dringlichkeit von Maßnahmen gegen den wachsenden Treibhauseffekt.

Wenn sich eine Politik sehr zaghafter faktischer Maßnahmen durchsetzt, wird es im Jahr 2005 keine nennenswert höheren Beiträge der Pflanzen zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland geben als gegenwärtig. Der Zuwachs an Flächenbindung für NR wird in diesem Falle weitgehend nur durch die Zuwächse bei der nichtenergetischen Verwendung bestimmt werden. Eine solche Entwicklung liegt dem Mengenszenario I zugrunde. Dafür werden die in Kapitel IV und V abgeleiteten Mengen für die energetische und chemisch-technische Nutzung, die in Spannen angegeben sind, herangezogen.

Das Mengenszenario II entspricht einem Zukunftsbild, in dem das CO_2-Minderungsziel der Bundesregierung - der Abbau der CO_2-Emissionen um 25 bis 30 % bis zum Jahr 2005 - konsequent verfolgt wird, in dem aber zugleich Gesichtspunkte der Effizienz des Einsatzes volkswirtschaftlicher Ressourcen bei der Art der Maßnahmen zur Verfolgung des CO_2-Minderungsziels eine wichtige Rolle spielen. In diesem Falle wird man zu Mengenvorstellungen für 2005 geführt, die den in Kapitel IV beschriebenen potentiellen Einsatzmengen von 15 bis 36 Mio t/a für feste Brennstoffe entsprechen. Beiträge von inländisch erzeugtem Ethanol und von pflanzlichen Ölen (z.B. Rapsöl) zur energetischen Verwendung werden wegen zu teuer erkaufter Klimavorteile unwesentlich bleiben. Sie werden sich im Mengenszenario II auf den energetischen Einsatz in ökologisch besonders empfindlichen Regionen (z.B. Binnenseen, aus denen Trinkwasser entnommen wird) beschrän-

ken und somit das Mengenbild nicht wesentlich beeinflussen. Mengenszenario II schließt die Mengenansätze von Szenario I mit ein.

In Kapitel IV wurde deutlich, daß der Bereich der Festbrennstoffe zwar aus volkswirtschaftlicher Sicht attraktiver ist als der Bereich der flüssigen Energieträger aus Pflanzen, daß bei letzteren jedoch die erforderliche Subventionierung politisch leichter einzuführen ist, weil sie z.T. indirekt über eine weitgehende Steuerbefreiung erfolgen kann. Zudem eröffnen die flüssigen Energieträger aus Pflanzen die Möglichkeit, innerhalb weniger Jahre größere Flächenanteile zum Anbau der entsprechenden Energiepflanzen zu nutzen, ohne an Vermarktungsgrenzen zu stoßen. Wenn man diese beiden Vorteile hoch bewertet, wird man zu einem Mengenszenario III geführt, in dem 1,5 bis 3 Mio t/a Pflanzenöle aus dem inländischen Anbau energetisch genutzt werden. Die energetische Nutzung von Festbrennstoffen und die Verwendung von NR im chemisch-technischen Bereich entspricht den Mengenansätzen von Szenario II.

Die Voraussetzung zur Realisierung von Mengenszenario III ist, daß der GATT-Kompromiß vom November 1992 hinsichtlich der Ölsaaten modifiziert wird. Nach diesem Kompromiß wird der EG ein Ölsaatenanbau für Nachwachsende Rohstoffe zugestanden, der einer Million Tonnen Sojaschrot pro Jahr entspricht. Umgerechnet sind das ca. 1,7 Mio t/a Ölsaaten. Da diese GATT-Regelung auf eine Offenhaltung des EG-Marktes für Sojaschrot ausgerichtet ist, dürfte die energetische Verwendung von Rapsschrot und Rapssaat als Festbrennstoff nicht unter die angeführte Mengenbegrenzung fallen. Bei dieser Interpretation könnten somit deutlich größere Mengen an Ölsaaten als angeführt im Nonfood-Bereich eingesetzt werden, ohne hierdurch GATT-Konflikte zu provozieren. Die energetische Verwendung des Rapsschrots würde jedoch die Nebenprodukterlöse bei der Rapsölgewinnung (s.a. RME) deutlich schmälern und somit zusätzliche Subventionen für die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit von Rapsöl erfordern.

Eine Voraussetzung für die Mengenszenarien II und III ist die konsequente Verfolgung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung. Unter solchen Voraussetzungen ist die politisch realisierbare Handlungsalternative zu den Mengenszenarien II und III eine Verstärkung der Maßnahmen zur CO_2-Minderung durch andere Handlungsoptionen, die auf eine CO_2-Einsparung von 25 bis 30 % ausgerichtet sind, z.B. durch extreme Wärmedämmung. Für Mengenszenario II könnten volkswirtschaftlich orientierte Vergleiche positiv, für Mengenszenario III negativ ausfallen.

2. Analyse der Mengenszenarien

2.1 Flächenbindung der Rohstoffbereitstellung und Flächenverfügbarkeit

Flächenbindung

Die Flächenbindung, die mit der Bereitstellung Nachwachsender Rohstoffe für die chemisch-technische und für die energetische Verwendung verbunden ist, hängt in erster Linie davon ab, in welchem Umfang das abgeschätzte Marktpotential tatsächlich realisiert wird (vgl. Kap. IV.5 und V) und durch eine inländische Rohstoffbereitstellung abgedeckt werden kann.

Wie aus Tabelle VI.2.1-1 ersichtlich ist, bindet die inländische Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen für den chemisch-technischen Verwendungsbereich mittelfristig, bei herkömmlicher Produktionsintensität (Hohe Intensität), rund 0,4 Mio bis 0,8 Mio ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß derzeit schon rd. 0,2 Mio ha dem Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen für chemisch-technische Zwecke dienen. Der bis 2005 zusätzliche Flächenbedarf beträgt somit nur rd. 0,2 bis 0,6 Mio ha LF. Wird eine extensive landwirtschaftliche Produktion unterstellt, abgeleitet als Durchschnitt aus den Intensitäten "WSG-Intensität" und der "N-Abgabe", so ist ein um rd. 15 % höherer Flächenbedarf anzusetzen. Die Bereitstellung von Stärke und pflanzlichen Ölen und Fetten tragen rd. 90 % zu dieser Flächenbelegung bei.

Der zusätzliche Bedarf an Lignocelluloseträgern für die Zellstoffproduktion und Gewinnung von Holzstoff und Holzwerkstoffen ist möglicherweise nicht mit einem zusätzlichen Flächenbedarf verbunden, da der Wald noch ausreichende Holzvorräte bietet, die genutzt werden könnten, ohne die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung zu beeinträchtigen (vgl. Kap. V.1.4).

Wie bereits in Kapitel IV.4 erörtert wurde, ist der mit der Bereitstellung von Festbrennstoffen mittelfristig verbundene zusätzliche Flächenbedarf stark davon abhängig, wie sich Heu als Festbrennstoff technisch bewährt, welchen technischen Aufwand man treiben muß, um insbesondere mit dem niedrigen Ascheerweichungspunkt von Heu fertig zu werden. Wenn sich dieser Aufwand als unvertretbar hoch erweisen sollte, könnte ein Flächeneinsatz von bis zu etwa 1 Mio ha für gezielt angebaute Energiepflanzen für Festbrennstoffe in Szenario II bis 2005 erforderlich werden. Dies gilt für den oberen Bereich der genannten Spanne von 15 bis 36 Mio t/a Festbrennstoffe in diesem Szenario. Im unteren Bereich würden Stroh und etwas Restholz zur Versorgung ausreichen. Für den mittleren Bereich

Tabelle VI.2.1-1: **Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung bei der chemisch-technischen Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen in der Bundesrepublik Deutschland**

	Verwendungspotential 2005 (1 000 t)		Flächenbindung 2005 (1 000 ha)
	insgesamt	davon inländisch bereitgestellt	
Stärke	900 - 1 700	900 - 1 700	180 - 340
Pflanzliche Öle	725 - 910	275 - 610	190 - 420
- techn. Verwendung	80 - 240	80 - 240	50 - 150
- Oleochemie	615 - 620	165 - 320	100 - 200
(erucasäurereiches Öl)	(15 - 20)	(15 - 20)	(10)
- Leinöl	30 - 50	30 - 50	40 - 70
Zucker	60 - 100	60 - 100	7 - 12
Pflanzenfasern (Flachs)	85 - 120	40 - 60	20 - 30
Arznei- /Gewürzpflanzen			10 - 15
Lignocelluloseträger (zusätzlicher Bedarf)		1 000 - 7 000 [1]	[1]
Summe Flächenbedarf [2]			
- bei intensiver Produktion			410 - 820
- bei extensiver Produktion [3]			480 - 960

[1] Kann vermutlich überwiegend über die zusätzliche Nutzung von Industrierestholz und Waldrestholz und/oder durch intensivere Nutzung der netto zuwachsenden Holzvorräte des Waldes gedeckt werden.

[2] Derzeit werden in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) bereits rd. 210 000 ha LF für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt.

[3] Ausgehend von eigenen Abschätzungen (Durchschnitt der Intensitäten "WSG-Intensität" und "N-Abgabe") wurden ein durchschnittlicher Ertragsrückgang von rd. 15 % und somit ein entsprechend höherer Flächenbedarf unterstellt.

der Spanne (etwa 25 Mio t/a Festbrennstoffe) dürfte der erforderliche zusätzliche Flächeneinsatz unter 0,5 Mio ha liegen.

Die für Szenario III zusätzlich erforderlichen Flächen für die Produktion von Raps liegen in der Spanne von 1 bis 2 Mio ha, die sich mit den für die Mengenszenarien I und II erforderlichen Rapsflächen (einschließlich von Raps für den Nahrungsbereich) zu etwa 2 bis 3 Mio ha in 2005 summieren würden. Angesichts der Frucht-

folgerestriktionen (vgl. Kap. VI.2.4) sowie angesichts der negativen volkswirtschaftlichen und außenwirtschaftlichen Implikationen ist die Obergrenze des Mengenszenarios III als sehr schwer erreichbar einzuschätzen.

Eine zusätzliche Flächenbindung - neben dem zusätzlichen Bedarf von Fläche für die Infrastruktur - geht von der konventionellen Aufforstung aus, die für 2005 auf rd. 150 000 bis 300 000 ha abgeschätzt wurde (vgl. Kap. V.1.4). Mittelfristig (bis 2005) ist diese Flächenbindung jedoch noch nicht mit einer nennenswerten Rohstoffbereitstellung verbunden und somit für die Abdeckung des Bedarfs an Lignocellulose ohne Relevanz.

Flächenverfügbarkeit

Der Umfang des für NR unter gegenwärtigen und zukünftigen Rahmenbedingungen verfügbaren Flächenpotentials wird maßgeblich dadurch geprägt, inwieweit

- bestehende Agrarüberschüsse abgebaut,
- Futtermittelimporte substituiert,
- die landwirtschaftliche Produktion extensiviert und
- zusätzliche Flächen für Infrastruktur und Umweltbelange benötigt

werden.

Für die Gegenwart (1990) läßt sich abschätzen, daß durch den Abbau der bestehenden Agrarüberschüsse, unter Berücksichtigung der bereits realisierten Flächenstillegung, in der EG rd. 21 Mio ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) aus der Produktion genommen werden könnten (s. Tab. VI.2.1-2). Übertragen auf die Bundesrepublik Deutschland (inkl. neue Bundesländer) entspricht dies einer Flächenfreisetzung von mehr als 3 Mio ha LF.

Bei Grünland dürfte sich die in der Vergangenheit bereits zu beobachtende Überführung in Ackerfläche noch weiter verstärken, mit all den damit verbundenen möglichen Umweltauswirkungen (Nitrataustrag, Bodenerosion). Schon unter derzeitigen Rahmenbedingungen sind die landwirtschaftlichen Betriebe gezwungen, aufgrund der sukzessiven Kürzung der Milchkontingente und der steigenden Milchleistung pro Kuh, zunehmend Grünland aus der Grundfutterbereitstellung herauszunehmen und eine anderweitige Verwendung dieser Grünlandflächen zu suchen. Dies könnte extensive Tierhaltungsverfahren für die Fleischproduktion (Rindvieh, Schafe) interessant erscheinen lassen, vor allem aber den Umbruch oder die Aufforstung dieser Flächen nahelegen, soweit dies die gesetzlichen Rahmenbedingungen zulassen.

Tabelle VI.2.1-2: **Flächennutzung, landwirtschaftliche Produktion, Futtermittelimporte und verfügbares Flächenpotential in der EG und der Bundesrepublik Deutschland (Basis: 1990)**

	EG 12 (Mio ha)	BRD (inkl. NBL) (Mio ha)
Landwirtschaftl. genutzte Fläche	133,7	18,0
- Ackerfläche (AF)	72,1	12,0
- stillgelegte Fläche	1,3	0,3
- Dauergrünland (DGF)	49,9	5,6
LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTION:		
Selbstversorgungsgrad (SVG)		
pflanzliche Produkte:		
- Getreide	120 %	*)
- Zucker	137 %	
- Rapsöl	180 %	
tierische Produkte:		
- Rind-/Kalbfleisch	110 %	
- Milch	113 %	
Flächenfreisetzung		
durch Überschuß-Abbau (SVG = 100 %):		
- Ackerfläche	14,4	2,4 (20 % d. AF)
- Dauergrünland	5,0	0,6 (10 % d. DGF)
Futtermittelimport (netto):	44 Mio t GE	10 Mio t GE
Flächenäquivalent	9,3	1,8
(Durchschnittsertrag 1985-90)	(4,75 t GE/ha)	(5,47 t GE/ha)
VERFÜGBARES FLÄCHENPOTENTIAL:		
Gegenwart (1990), inkl. bereits stillgelegte Fläche:		
- Abbau der Überschüsse	20,7	3,3
- Teilabbau der Überschüsse und Futtermittelimporte (50 % / 50 %)	6,2	0,9

GE = Getreideeinheiten

*) Die Netto-Nahrungsmittelproduktion (nach Gegenrechnung der Futtermittelimporte) betrug 1989/90 87 % bzw. 1990/91 (ohne NBL) 88 %.

Eigene Berechnungen in Anlehnung an BML (1991, 1992).

Die Freisetzung dieses Flächenpotentials wird in erster Linie dadurch bestimmt, in welchem Umfang in der EG die Agrarüberschüsse und die Netto-Futtermittelimporte abgebaut werden. Die aktuellen GATT-Regelungen verpflichten die EG, über den Teilabbau von agrarischen Exportüberschüssen in diese Richtung zu gehen.

Ein nur teilweiser Abbau der Überschüsse und der Netto-Futtermittelimporte jeweils um 50 % (s. Tab. VI.2.1-2) würde das freiwerdende Flächenpotential auf rund ein Drittel reduzieren (EG: rd. 6 Mio ha LF; Bundesrepublik Deutschland: rd. 1 Mio ha LF). Zum Vergleich: Der Selbstversorgungsgrad der Bundesrepublik Deutschland bei der Nahrungsmittelproduktion - nach Gegenrechnung der Netto-Futtermittelimporte - lag 1990/91 nach Abschätzungen des BML (1992) in den alten Bundesländern bei 88 %.

Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen kann somit ein Flächenpotential für NR, je nach Umfang des Abbaus der Überschüsse und der Netto-Futtermittelimporte, in der EG von rd. 6 bis 21 Mio ha LF und in der Bundesrepublik Deutschland von rd. 1 bis 3 Mio ha LF diskutiert werden.

Die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion, z.B. durch Beschränkung bzw. Verteuerung der N-Düngung bzw. des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, würde unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen bei Grünland dazu führen, daß über den Abbau der Überschüsse in der Rindviehhaltung keine Grünlandflächen aus der Produktion genommen werden müßten (s. Tab. VI.2.1-3). Der mit der Extensivierung verbundene Ertragsrückgang wäre ausreichend.

Hierdurch könnte der Überhang an Ackerfläche (AF) auf rd. 50 % abgebaut werden; in der EG stünden somit nur noch rd. 8 Mio ha AF und in der Bundesrepublik Deutschland rd. 1,3 Mio ha AF für die Produktion von NR zur Verfügung.

Mittelfristig (2005) würde sich das Flächenpotential für NR bei intensiver Bewirtschaftungsweise, unter Abzug des Flächenbedarfs für Infrastruktur, nahezu verdoppeln. In der EG stünden unter diesen Bedingungen rd. 38 Mio ha LF (28 % der LF von 1990) und in der Bundesrepublik Deutschland rd. 6 Mio ha LF (33 % der LF von 1990) zur Verfügung. Bei extensiver Produktion (Durchschnitt aus "WSG-Intensität" und "N-Abgabe") würde sich dieses Flächenpotential im Jahr 2005 auf rund ein Drittel reduzieren. In der EG stünden unter diesen Rahmenbedingungen mittelfristig rd. 11 Mio ha LF und in der Bundesrepublik Deutschland rund 2 Mio ha LF für eine anderweitige Nutzung zur Verfügung.

Tabelle VI.2.1-3: **Verfügbares Flächenpotential (Mio ha) 1990 und 2005 in der EG und der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL), bei unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsintensität**

	EG Bewirtschaftungsintensität		BRD Bewirtschaftungsintensität	
	intensiv	extensiv *)	intensiv	extensiv *)
Gegenwart:				
Abbau der Überschüsse (inkl. Flächenstillegung)				
- Ackerfläche (AF)	15,7	8	2,7	1,3
- Dauergrünland (DGF)	5,0	± 0	0,6	± 0
2005:				
Flächenbedarf für Infrastruktur (3 % d. LF 1990)	– 4	– 4	– 0,5	– 0,5
Freisetzung durch Ertragssteigerung:				
- Ackerfläche	17	7	2,8	1,2
(in % d. AF 1990)	(rd. 24)	(rd. 10)	(rd. 24)	(rd. 10)
- Dauergrünland	4	± 0	0,4	± 0
(in % d. DGF 1990)	(rd. 8)		(rd. 8)	
VERFÜGBARES FLÄCHENPOTENTIAL (inkl. gegenwärtige Überschußfläche)				
- Ackerfläche	30	12	5,1	2,1
- Dauergrünland	8	– 1	0,9	– 0,1
Summe LF	**38**	**11**	**6,0**	**2,0**
(in % LF (1990))	(28)	(8)	(33)	(11)

*) Durchschnitt der "WSG-Intensität" und "N-Abgabe"

Die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion würde somit die Flächenverfügbarkeit für den Anbau von NR deutlich schmälern, andererseits aber zu einer Entlastung bei den Überschüssen und aufgrund des verringerten Stickstoff- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes auch zu einer umweltverträglicheren Landwirtschaft führen.

Gegenüberstellung von Flächenbindung und Flächenverfügbarkeit

Ein Engpaß bei der inländischen Bereitstellung von NR für die chemisch-technische Verwendung scheint mittelfristig aufgrund der bestehenden Überschußverhältnisse in der EG, auch unter extensiven Produktionsverhältnissen, nicht erkennbar (s. Tab. VI.2.1-4).

Die zusätzliche Verwendung von NR als Festbrennstoffe zur energetischen Nutzung würde ebenfalls zunächst nicht zu Engpässen bei der Bereitstellung dieser Rohstoffe führen, da zuerst Neben- und Abfallprodukte (Stroh, Resthölzer, Pflegegut) aus der Land-/Forstwirtschaft und nachgelagerten Sektoren in die energetische Verwendung genommen würden.

Die Bereitstellung von flüssigen nachwachsenden Energieträgern (Rapsöl, RME, Ethanol) würde dagegen sehr schnell die verfügbare Fläche aufbrauchen, ohne an Vermarktungsgrenzen zu stoßen. Volkswirtschaftliche Abwägungen (hoher Subventionsbedarf) dürften diesen Flächenbedarf jedoch kaum über 1 Mio ha LF anwachsen lassen.

Werden zusätzlich 1 Mio ha nachwachsende Energieträger (z.B. Raps) angebaut, stünde unter intensiver Bewirtschaftung immer noch ein Flächenpotential von rd. 4 Mio ha LF zur Verfügung, welches für Naturschutzzwecke, zusätzlichen Anbau von NR und Aufforstung genutzt werden könnte oder stillgelegt werden müßte.

Engpässe seitens der NR-Bereitstellung werden dann relevant, wenn unter extensiven landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen ein hoher zusätzlicher Flächenbedarf (z.B. 10 % der LF) zu Naturschutzzwecken verlangt (SRU 1985) und außerdem versucht werden soll, einen ernsthaften Beitrag der Landwirtschaft zur CO_2-Minderung (NR als Energieträger) zu erreichen.

Wie aus Tabelle VI.2.1-4 ersichtlich, ist das unter extensiven Produktionsverhältnissen mittelfristig verfügbare Flächenpotential von 2 Mio ha nahezu vollständig für die Bereitstellung der jeweils oberen Spannenwerte der NR-Mengen für den chemisch-technischen Bereich und den zusätzlichen Anbau von 1 Mio ha nachwachsender Energieträger aufgebraucht. Um dem Naturschutz Flächen zur Verfügung stellen zu können, kann somit nur ein Teil der unterstellten Verwendungspotentiale realisiert werden. Diese Effekte können regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, insbesondere wenn man bedenkt, daß der Ort der Rohstoffproduktion und der Ort der Verwendung sehr weit voneinander entfernt sein können.

Tabelle VI.2.1-4: **Flächenverfügbarkeit und mittelfristige (2005) Flächenbindung durch die chemisch-technische und die energetische Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen (NR) in der Bundesrepublik Deutschland**

	Verwendungspotential 2005 (Mio t)		Flächenbindung 2005 (Mio ha)
	insgesamt	inländisch bereitgestellt	
Flächenbedarf für:			
chem.-techn. Verwendg. 1)	1,8 - 2,8	1,3 - 2,5	
- bei intens. Produktion			0,41 - 0,82
- bei extens. Produktion 2)			0,48 - 0,96
energetische Verwendg. 3)			
- Festbrennstoffe		0 - 36	
davon gezielt angebaut		0 - 12	0 - 1 4)
- Rapsöl		0 - 3,2	0 - 2 4)
konvent. Aufforstung 5)			0,15 - 0,30
			Verfügbare Fläche 2005 (Mio ha)
- bei intens. Bewirtschaftg.			6
- bei extens. Bewirtschaftg.			2

1) Derzeit werden in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. NBL) bereits rd. 210 000 ha LF für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt.

2) Ausgehend von eigenen Abschätzungen (Durchschnitt der "WSG-Intensität" und "N-Abgabe") wurde ein durchschnittlicher Ertragsrückgang von rd. 15 % unterstellt.

3) Hierbei ergeben sich je nach Honorierung des CO_2-Vorteils sehr große Spannen für die Verwendungspotentiale und die Flächenbindung. Die Zahlen sind als Zuwächse gegenüber 1990 zu verstehen.

4) Die Obergrenze der angegebenen Spanne stellt mögliche, aber unwahrscheinliche Entwicklungen dar, bei deren Realisierung verschiedene günstige Faktoren zusammenwirken müssen.

5) Abgeschätzt aus der bisherigen Zunahme der Waldfläche bzw. dem deutlich verbesserten Förderkonzept der EG zur Aufforstung, das eine bessere finanzielle Honorierung der Erstaufforstung vorsieht.

2.2 Beschäftigungseffekte

Die Auswirkungen der inländischen Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen auf die Beschäftigung wurden nur unter Berücksichtigung der direkt resultierenden Beschäftigungseffekte (Bedarf an Vollarbeitskräften) in den Bereichen Anbau und Ernte, Transport und Gewinnung bzw. Konditionierung der Rohstoffe abgeschätzt (s. Tab. VI.2.2-1). Indirekte Effekte auf die Beschäftigung in den vor- und nachgelagerten Bereichen, wie z.B. Bereitstellung der Produktionsmittel oder die negative indirekte Wirkung von Subventionen für Nachwachsende Rohstoffe auf die Beschäftigung in anderen Wirtschaftsbereichen, wurden hierbei nicht berücksichtigt.Die Ergebnisse der Berücksichtigung der indirekten Wirkungen von Subventionen hängen auch in ihrem Vorzeichen stark davon ab, ob man über eine ernsthafte Verfolgung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung redet oder nicht.

Mittelfristig könnte mit der zusätzlichen Bereitstellung von vor allem Stärke, pflanzlichen Ölen und Lignocellulosen für die chemisch-technische Verwendung eine zusätzliche Bindung von rd. 4 000 bis 22 000 Vollarbeitskräften verbunden sein. Hierbei wurden der derzeitige Umfang inländisch bereitgestellter NR und alternative Beschäftigungseffekte, die z.B. mit der Pflege von stillgelegten Flächen verbunden sind, gegengerechnet. Nur rd. 50 % dieser positiven Beschäftigungseffekte sind dem landwirtschaftlichen Bereich zuzuordnen. Die Konditionierung und die Verarbeitung der Rohstoffe binden in etwa den gleichen Anteil an Arbeitskräften.

Mit dem Anbau und der Verarbeitung von Energieraps von 1 bzw. 2 Mio ha könnte eine zusätzliche Beschäftigung für rd. 5 000 bzw. 9 000 Vollarbeitskräfte verbunden sein, wobei die Beschäftigungseffekte im landwirtschaftlichen Bereich (Anbau und Ernte) überwiegen.

Wenn im Jahre 2005 zusätzlich 15 bzw. 36 Mio t Biomasse als Festbrennstoffe Verwendung finden würden, könnten nochmals bis zu 30 000 Arbeitskräfte Beschäftigung finden.

Tabelle VI.2.2-1: **Abschätzung zu den Beschäftigungseffekten in der Bundesrepublik Deutschland für 2005, die mit der Bereitstellung Nachwachsender Rohstoffe (NR) verbunden sind**

MENGENSZENARIEN: I bzw. II	Inländisch bereitgestellte Verwendungsmengen (1 000 t)		BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE (Vollarbeitskräfte = AK) [3]									
			Anbau, Ernte Zwischenlagerung		Transport zur Verarbeitung		Verarbeitung bzw. Konditionierung		Transport zur Verwendung		INSGESAMT	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
A CHEMISCH-TECHNISCHER VERWENDUNGSBEREICH:												
SUMME: Stärke, pflanzliche Öle und Fette, Zucker, Pflanzenfasern, Arznei- und Gewürzpflanzen												
BRUTTO	1 280	2 470							–	–	4 580	8 600
NETTO [1] [2]	500	1 690	(48 %)	(39 %)	(12 %)	(13 %)	(40 %)	(48 %)	–	–	2 000	5 780
											(100 %)	(100 %)
LIGNOCELLULOSE für ZELLSTOFF/ HOLZWERKSTOFF: BRUTTO	1 000	7 000							–	–	2 470	16 440
NETTO [1]	1 000	7 000	(30 %)	(25 %)	(7 %)	(11 %)	(63 %)	(64 %)	–	–	2 470	16 290
											(100 %)	(100 %)
B ENERGET. VERWENDUNGSBEREICH:												
RAPSÖL (RME): BRUTTO	1 600	3 200							–	–	5 350	10 700
NETTO [2]	1 600	3 200	(56 %)	(56 %)	(25 %)	(25 %)	(19 %)	(19 %)	–	–	4 700	9 400
											(100 %)	(100 %)
FESTE ENERGIETRÄGER (Lignocellulose):												
BRUTTO	15 000	36 000									12 040	34 390
NETTO [2]	15 000	36 000	(16 %)	(33 %)	(24 %)	(24 %)	(46 %)	(32 %)	(14 %)	(11 %)	10 870	31 460
											(100 %)	(100 %)
SUMME A + B (gerundete Werte):												
BRUTTO	18 900	48 700									24 440	70 130
NETTO [2]	18 100	47 900	(30 %)	(35 %)	(21 %)	(20 %)	(41 %)	(40 %)	(8 %)	(5 %)	**20 040**	**62 930**
											(100 %)	(100 %)
Zusätzliche FLÄCHENBINDUNG (1 000 ha)	1 200	3 900										

[1] Derzeit werden unter Berücksichtigung der NBL durch Anbau von NR rd. 210 000 ha Ackerfläche gebunden.

[2] Es wurde berücksichtigt, daß die Pflege stillgelegter Flächen bzw. Einarbeitung von Stroh ebenfalls mit einem Beschäftigungseffekt verbunden ist (1,5 AKh/ha·a).

[3] Vollarbeitskraft (AK): Arbeitsleistung: 2300 AKh/AK·a (Landwirtschaft); 1 800 AKh/AK·a (gewerblicher Bereich).

Die Bereitstellung von Festbrennstoffen bietet den Landwirten neben dem Bereich Anbau und Ernte vor allem auch bei der Konditionierung (z.B. Pelletierung) und beim Transport dieser Rohstoffe Beschäftigungsmöglichkeiten, die sie als Haupterwerbs- (Ausstieg aus der Landwirtschaft) oder Nebenerwerbsmöglichkeit nutzen könnten.Insgesamt liegt der zusätzliche Bedarf an Vollarbeitskräften, der mit der Bereitstellung von Nachwachsenden Rohstoffen für die chemisch-technische Verwendung, vor allem aber mit der energetischen Verwendung verbunden ist, zwischen rd. 20 000 und 60 000 Arbeitskräften. Dies entspricht etwa der doppelten Abwanderungsrate landwirtschaftlicher Arbeitskräfte in Westdeutschland, die derzeit zwischen rd. 20 000 und 30 000 pro Jahr liegt.

Diese Zahlen verdeutlichen, daß die Nachwachsenden Rohstoffe in Deutschland auf absehbare Zeit nur bescheidene Beiträge dazu leisten können, den Abbau der Beschäftigungsmöglichkeiten im landwirtschaftlichen Sektor zu dämpfen.

2.3 Einkommenseffekte

Zu den erhofften Vorteilen der Nachwachsenden Rohstoffe gehört eine Verbesserung der Einkommenssituation in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum, zumindest gegenüber der Alternative der Flächenstillegung. Bei Abschätzungen dazu muß man zwischen direkten und indirekten Effekten unterscheiden. Direkte Effekte sind solche, die sich beispielsweise aus Deckungsbeiträgen und aus Einkommen bei der Konditionierung oder bei Transporten von pflanzlichen Rohstoffen im ländlichen Raum abschätzen lassen.

Die umfangreichen wirtschaftlichen Aktivitäten, die im ländlichen Raum durch NR gegenüber dem Fall der Flächenstillegung entstehen, bedeuten zugleich eine Verringerung der wirtschaftlichen Aktivitäten, die mit den substituierten Produktlinien verknüpft sind. Der Erhöhung der Wertschöpfung und der Einkommen im ländlichen Raum steht also eine Verringerung der Wertschöpfung und der Einkommen gegenüber, die häufig in städtischen Gebieten stattfindet, teilweise im Ausland.

Für einige Produktlinien der energetischen Nutzung wurden für die gegenwärtige Situation Abschätzungen gemacht zu der Frage, welcher Anteil der erforderlichen Subventionen (vgl. Kap. IV.3) bei den Landwirten einkommenswirksam wird, und welche Gruppen bzw. Produktionsbereiche hinsichtlich erhöhter oder verringerter Wertschöpfung "Gewinner" oder "Verlierer" sind (s. Tab. VI.2.3-1 bis VI.2.3-3).

Da es sich hier um einzelwirtschaftliche Gesichtspunkte handelt, wurden bei den Berechnungen nicht die Vollkosten der Rapsproduktion, sondern die gegenwärti-

Tabelle VI.2.3-1: **Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger. Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei kleinen Mengen (< 0,1 Mio t/a), gegenwärtige Verhältnisse**

	Änderung in DM je 100 DM Subventionen [1]	
• "Staatskasse" [2] (entfallende Mineralölsteuer)	– 100 [2]	
• Wertschöpfung von Raffinerien		– 17
• Exporte von Mineralöllieferländern		– 31
• Exporte von Sojaschrotlieferländern [3]		– 52
Summe der "Verlierer"	– 100	– 100
• Landwirte		+ 28
• Vorlieferanten für Landwirte		+ 92
davon		
- in ländlichen Gebieten		+ 45
- in städtischen Gebieten sowie Importe		+ 47
• Wertschöpfung bei Ölextraktion und Umesterung		+ 72
• Sonstige		+ 8
Summe der "Gewinner"		+ 200

[1] Die Abschätzungen gelten für Veredlungsbetriebe mit hohem Viehbesatz, die Gülleentsorgungsprobleme haben und nur wenig Düngemittel zukaufen müssen und für die der Anbau von Energie- und Industrieraps auf stillgelegten Flächen interessant ist. Je Liter RME müßten dabei 0,58 DM an Subventionen aufgebracht werden (entfallende Mineralölsteuer). Die ohnehin erhältliche Stillegungsprämie wurde nicht als zusätzliche Subvention angerechnet. Bei größeren Mengen an Industrie- oder Energieraps müßten die Subventionen deutlich erhöht werden. Für Rapssaat wurde ein Erzeugerpreis von 300 DM/t angesetzt. 1 l RME ersetzt 0,91 l Dieselkraftstoff aus Mineralöl.

[2] Unterstellt wurde, daß die Mineralölsteuer für Dieselkraftstoff aus Mineralöl von 0,54 DM/l auf 0,64 DM/l steigt und für RME entfällt. Die Verluste der Staatskasse sind ökonomisch als Nachfrageverluste zu sehen, die nicht einfach mit den Wertschöpfungsänderungen der rechten Spalte saldiert werden dürfen.

[3] Weil importiertes Sojaschrot durch inländisches Rapsschrot als Futtermittel ersetzt wird.

gen Marktpreise unterstellt. Deren Extrapolation nach 2005 ist sehr schwierig und ungewiß, deshalb wurde darauf verzichtet.

Die Tabellen VI.2.3-1 und VI.2.3-2 zeigen Ergebnisse für das Beispiel Rapsölmethylester (RME). Sie beziehen sich auf kleine (< 0,1 Mio t/a) und große (1 Mio t/a) Mengen RME. Danach werden nur 28 % bzw. 39 % der durch die entfallende Mineralölsteuer bewirkten indirekten Subventionierung bei den Landwirten einkommenswirksam. Die Ursache dafür ist, daß auch in günstigen Fällen die nach der Neuordnung der Marktordnung für Ölsaaten geringen Erzeugerpreise zu nur bescheidenen Deckungsbeiträgen führen. Die Gewinner sind hauptsächlich die Vor-

Tabelle VI.2.3-2: **Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Rapsöl als Energieträger. Beispiel: Rapsölmethylester (RME) bei größeren Mengen (1 Mio t/a), gegenwärtige Verhältnisse**

	Änderung in DM je 100 DM Subventionen		
• "Staatskasse" [1]	− 100		
davon			
- durch entfallende Mineralölsteuer [2]		− 43	
- durch Ausweitung der Flächenprämie [3]		− 37	
- durch Erhöhung der Flächenprämie [4]		− 20	
• Wertschöpfung von Raffinerien			− 7
• Exporte von Mineralöllieferländern			− 14
• Exporte von Sojaschrotlieferländern [5]			− 22
Summe der "Verlierer"	− 100	− 43	
• Landwirte [6]			+ 39
• Vorlieferanten für Landwirte			+ 69
davon			
- in ländlichen Gebieten			+ 34
- in städtischen Gebieten sowie Importe			+ 35
• Wertschöpfung bei Ölextraktion und Umesterung			+ 32
• Sonstige			+ 3
Summe der "Gewinner"			+ 143

1) Den Zahlenangaben liegen Abschätzungen für die Bereitstellung von 1 Mio t/a Rapsöl (für RME) zugrunde. Dabei müßten je Liter RME 1,34 DM an Subventionen aufgebracht werden.
1 Liter RME ersetzt 0,91 Liter Gasöl.

2) Unterstellt wurde, daß die Mineralölsteuer für Gasöl von 0,54 DM/l auf 0,64 DM/l steigt und für RME entfällt.

3) Für zusätzlich 1 Mio t/a Rapsöl müßte die Rapsfläche um ca. 0,9 Mio ha auf 1,9 Mio ha ausgeweitet werden. Für diese Zusatzfläche sind Flächenprämien von 1190 DM/ha aufzubringen. Gegengerechnet wurden 590 DM/ha für die Alternative "Flächenstillegung".

4) Die Flächenprämie für Raps muß erhöht werden, um den Anbau auf zusätzlich 0,9 Mio ha betriebswirtschaftlich hinreichend attraktiv zu machen. Geschätzt wurde, daß eine Erhöhung von 1190 DM/ha auf 1340 DM/ha für durchschnittliche Standorte erforderlich ist. Die Prämienerhöhung würde auch für den Nahrungsraps wirksam werden. Die Kosten der Flächenprämienerhöhung wurden als 'zusätzliche' Subventionen anteilig der verursachenden Energierapsproduktion zugerechnet.

5) Weil importiertes Sojaschrot durch Rapsschrot als Futtermittel ersetzt wird.

6) Einschließlich der erhöhten Einkommen für Nahrungsraps, welche anteilig der verursachenden Energierapsproduktion zugerechnet wurde. Ohne diesen Beitrag würden nur 29 DM je 100 DM Subventionen bei den Landwirten einkommenswirksam.

Tabelle VI.2.3-3: **Gewinner und Verlierer bei der Subventionierung von Briketts aus Stroh als Ersatz von Braunkohlenbriketts**
Beispiel: Einsatz in vorhandenen Kleinfeuerungsanlagen, gegenwärtige Verhältnisse

	Änderung in DM je 100 DM Subventionen [1]	
• "Staatskasse" [1]	− 100	
• Förderung und Brikettierung von Braunkohle		− 84
• Sonstige		− 8
Summe der "Verlierer"	− 100	− 92
• Landwirte [2] [3]		+ 23 − 51
• Andere Wertschöpfung im ländlichen Raum [2] [3]		+ 64 − 36
• Wertschöpfung in städtischen Gebieten und Importe [2]		+ 88
• Strohbrikett-Verbraucher [4]		+ 17
Summe der "Gewinner"		+ 192

[1] Je Tonne Strohpellets oder Strohbriketts müßten ca. 120 DM an Subventionen aufgebracht werden.
[2] Einzelbeiträge hierzu stammen aus Einkommen bzw. Wertschöpfung aus folgenden Aktivitäten: Zusätzlicher Düngereinsatz, ggf. Zwischenfruchtanbau zum Ausgleich der Humusbilanz, Ballenherstellung, Transporte, Pelletierung, Bau von Lagerschuppen.
[3] Die Spannen sind so zu verstehen, daß verschiedene Arbeiten (z. B. Ballenherstellung, LKW-Fahrdienst, kleinere Reparaturen) entweder vom Landwirt oder von einem ländlichen Lohnunternehmen durchgeführt werden können.
[4] Ca. 5 DM /MWh (dies entspricht 20 DM/t Strohbriketts) sind für Strohbriketts als Preisvorteil gegenüber dem Energiepreis für Braunkohlenbriketts veranschlagt, um einen Anreiz zu geben, Hantierungsnachteile in Kauf zu nehmen.

lieferanten für die Landwirte und die Bereiche der Ölextraktion und Umesterung. In der Summe der Einkommensbeiträge für die Landwirte und der sonstigen durch die Vorleistungen in ländlichen Gebieten entstehenden Wertschöpfung (45 %) und entsprechende Einkommen verbleiben im ländlichen Raum immerhin 73 DM je 100 DM Subventionen.

Zu den Verlierern gehören Sojaschrotlieferländer wie die USA, weil importiertes Sojaschrot durch Rapsschrot als Futtermittel ersetzt wird. Dies deutet einen Interessenkonflikt an, der bei den GATT-Verhandlungen im November 1992 bereits eine Rolle gespielt hat. Als Kompromiß zwischen den USA und der EG einigte man sich auf die in Kapitel VI.1 genannten Mengenbegrenzungen für Sojaschrot substituierende Ölsaaten (bzw. deren Schrote). Eine mögliche Liberalisierung dieser Regelung durch im Gegenzug weitergehende Produktionseinschränkungen der EG (z.B. bei Getreide) würde die ohnehin bescheidene Einkommenswirksam-

keit der Subventionen beim Anbau von Energieraps für die Landwirte im Endeffekt weiter beeinträchtigen.

Sowohl die je Liter Rapsöl bzw. RME erforderlichen Subventionen als auch die dadurch bewirkten Änderungen der Einkommen und der Wertschöpfung hängen von der angebauten Rapsmenge ab. Wenn man deutlich über die in Tabelle VI.2.3-1 diskutieren kleinen Mengen (< 0,1 Mio t/a) bis auf etwa 1 Mio t/a Rapsöl hinausgehen will, wird man die Flächenprämien für den Rapsanbau nicht nur auf größere Flächen ausdehnen, sondern auch erhöhen müssen. Der Grund für die erforderliche Erhöhung besteht darin, daß die Grenzkosten der Rapsproduktion mit den angebauten Mengen steigen. Je mehr angebaut wird, desto mehr muß der Anbau auch auf weniger wettbewerbsfähige Rapsstandorte ausgedehnt werden, oder auf Standorte, bei denen andere Flächennutzungen wirtschaftlich attraktiver sind.

Gemäß den in der Tabelle VI.2.3-2 aufgeführten Zahlen werden je 100 DM an Subventionen insgesamt geringere Umschichtungen der Wertschöpfung ausgelöst als nach Tabelle VI.2.3-1 für kleine Rapsölmengen, für welche je Liter weniger subventioniert werden muß.

Unter den "Gewinnern" bei den ausgelösten Verschiebungen der Wertschöpfung haben die Landwirte und deren Vorlieferanten in ländlichen Gebieten einen größeren Anteil. Je 100 DM an Subventionen ergeben sich jedoch in der Summe ganz ähnliche Wertschöpfungsgewinne für die Landwirte und für den ländlichen Raum wie im Falle kleiner Mengen von RME.

Nach Tabelle VI.2.3-3 können sich bei der energetischen Nutzung von Stroh ähnliche Einkommenswirkungen der Subventionen für Landwirte und für den ländlichen Raum ergeben wie bei der energetischen Nutzung von Rapsöl. Dieses Ergebnis ist zunächst überraschend, weil im Falle von Getreidestroh kein zusätzlicher Anbau von Energiepflanzen stattfindet. Die Einkommen bzw. Wertschöpfungen im ländlichen Raum entstehen hauptsächlich bei der Ernte, der Konditionierung, der Lagerung und bei Transporten von Stroh.

Zu vermerken ist, daß die Tabellen VI.2.3-1 bis VI.2.3-3 keine <u>indirekten</u> Rückwirkungen auf die Wertschöpfung enthalten, welche z.B. durch das geringere Steueraufkommen der Staatskasse verursacht werden. Solche indirekten Wirkungen hängen davon ab, inwieweit die erforderlichen Subventionen größer oder geringer sind als bei den politisch realisierbaren Handlungsalternativen. Sind sie größer, so ergeben sich in der Regel negative Rückwirkungen auf die gesamte Wertschöpfung und auf die Einkommen.

Nähere quantitative Abschätzungen zu den resultierenden indirekten Einkommenswirkungen in der mittelfristigen Zukunft (2005) sind gegenwärtig jedoch nicht möglich.

Entsprechendes gilt im übrigen auch für die indirekt bewirkten Beschäftigungseffekte (vgl. Kap. VI.2.2).

2.4 Umweltauswirkungen

MENGENSZENARIO I

Im Mengenszenario I kommt es lediglich zu einer Ausdehnung des nichtenergetischen Anbaus von NR. Der unterstellte Mix von Industrierohstoffpflanzen und die relativ bescheidene Flächenbindung führen nicht zu einer großflächigen Veränderung der landwirtschaftlich bedingten Umweltfolgen. Vielmehr bietet sich durch diesen mäßig zuwachsenden Anbau spezieller Pflanzenarten, wie z.B. des Ölleins, die Chance einer Auflockerung der Fruchtfolgen und damit gewisser Vorteile für die Umwelt. Die Bereitstellung der unterstellten chemisch-technischen Mengen an NR unter extensiven Produktionsbedingungen beansprucht wohl etwas mehr Fläche, führt aber wegen der verringerten Ausbringung ertragssteigernder Produktionsmittel zu einer günstigeren ökologischen Bewertung als die NR-Produktion unter intensiven landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen. Auch die Verwendung der Produkte, die aus NR hergestellt sind, würde in der Regel mit Entlastungen der Umwelt verknüpft sein. Umweltnachteile im Konversionsbereich sind nicht bei allen Produktlinien der chemisch-technischen Verwendung zu vernachlässigen.

MENGENSZENARIO II

Der in diesem Szenario angestrebte und entscheidende ökologische Vorteil liegt in den Beiträgen zur CO_2-Minderung, die in der Spanne von 13 bis 34 Mio t CO_2 jährlich liegen. Die anbauseitigen Umweltauswirkungen dieses stark von Festbrennstoffen geprägten Szenarios werden in einem vergleichsweise geringen Umfang von der Produktionsintensität beeinflußt. Der Grund dafür liegt in der relativ guten Umweltverträglichkeit der Festbrennstoffe, wie z.B. Miscanthus, schnellwachsende Baumarten oder Energiegras (Heu), die nicht nur mit einer durchschnittlich niedrigeren Düngermenge, sondern auch mit einem geringeren Aufwand an Pflanzenschutzmitteln produziert werden.

Die preisgünstigen, schnell verfügbaren Nebenprodukte Stroh bzw. Schwachholz stehen in bestimmten Gebieten als Energieträger zur Verfügung und können, je nachdem, welche Einsatzpotentiale für 2005 unterstellt werden, in größerem Um-

fang dazu beitragen, den Bedarf an nachwachsenden Energieträgern (NE) zu dekken. Die energetische Verwertung land- und forstwirtschaftlicher Neben- und Abfallprodukte ist aus ökologischer Sicht einem speziellen Anbau nachwachsender Energieträger vorzuziehen, solange noch genügend Biomasse auf der Fläche zurückbleibt, um den Erhalt des Humusvorrats zu garantieren. Der Einsatz größerer Mengen an Festbrennstoffen hat zur Folge, daß gezielt NE angebaut werden. Die ungefähre ökonomische Gleichrangigkeit von Holz, Heu und Miscanthus oder anderen C_4-Pflanzen kann dazu führen, daß nicht nur eine bestimmte Pflanzenart verstärkt angebaut wird.

Die zu transportierenden großen Miscanthus- oder Hackschnitzelmengen von Schnellwuchsplantagen lassen Produktionsstandorte in Einzugsgebieten mit Entfernungen von einigen 10 km zur Verwendungsanlage attraktiv erscheinen. Regional kann es deshalb zu einer Anbaukonzentration kommen, auch wenn dieser Anbau nur auf einem Anteil von wenigen Prozent der LF in der Bundesrepublik Deutschland erfolgt. In Schwerpunktgebieten können dann sowohl Miscanthus als auch Schnellwuchsplantagen das Landschaftsbild mitprägen. Betrachtet man den absehbar niedrigen Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, so wird der Anbau von Miscanthus wahrscheinlich regional zu einem besseren Grundwasserschutz vor Stoffeinträgen führen als der Anbau konventioneller Ackerfrüchte. Allerdings hat man mit anderen neuen Pflanzenarten die Erfahrung gemacht, daß sich durch einen verdichteten langjährigen Anbau Krankheiten und Schädlinge einstellen. Unklar ist noch, welche Maßnahmen notwendig sind, um die Miscanthusanbauflächen zu rekultivieren. Der möglicherweise notwendige Einsatz von Totalherbiziden wäre ein nicht zu unterschätzender Nachteil für diese Kultur.

Miscanthus hat als C_4-Pflanze, auf die Tonne Trockenmasse bezogen, einen relativ geringen Wasserverbrauch. Zur Realisierung hoher Erträge kann aber in Gebieten mit unzureichenden Niederschlägen und Böden mit geringer Wasserhaltekapazität eine Beregnung notwendig werden. Eine Beregnung von Miscanthus in größerem Umfang würde regional einen spürbaren Eingriff in die Grundwasserbilanz bedeuten.

Der Anbau von Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten kann als extensive Landnutzungsform mit dazu beitragen, eine strikte Trennung der Fläche in Gebiete, in denen intensive landwirtschaftliche Produktion betrieben wird, und in Gebiete, die ausschließlich Artenschutzinteressen oder der Verfolgung von Wasserschutzzielen dienen, zu verhindern.

MENGENSZENARIO III

Die Realisierung einer Ausweitung der Rapsanbaufläche bis zu rd. 3 Mio Hektar würde in bevorzugten Rapsanbauregionen nicht zu einer Entspannung der engen Fruchtfolgen, sondern zu einer weiteren Verschärfung führen. Dies hätte einen höheren Aufwand an Pflanzenschutzmitteln zur Folge, sofern keine Rahmenbedingungen für eine extensive Produktion vorliegen. Bei dem dünger- und pflanzenschutzintensiven Winterraps hängt das Gefährdungsrisiko für den Boden, das Wasser und die belebte Umwelt entscheidend von der Produktionsintensität ab. Diese wiederum ist ein Abbild der agrarpolitischen Rahmenbedingungen (Erzeugerpreise, Bewirtschaftungsauflagen usw.), die flächendeckend und deshalb für den Raps als Nachwachsenden Rohstoff bzw. als Futter-/Nahrungspflanze gleichermaßen gelten. Die Bereitstellung kleiner Mengen an Energieraps führt nicht zu einer umfangreichen Ausdehnung der Rapsanbaufläche und ist, im Gegensatz zu einer Energierapsproduktion, die einschließlich der Nahrungsrapsproduktion bis an die Fruchfolgegrenze (25 % d. AF) reicht, nicht mit signifikant höheren Umweltrisiken als gegenwärtig verbunden. Insbesondere dann, wenn bescheidene Mengen an Raps extensiv, d.h. mit geringem Aufwand an Stickstoff und umweltfreundlichen Pflanzenschutzmitteln (PSM) erzeugt werden, kann die Umweltbelastung im Vergleich zum Status quo reduziert werden. Gegenüber der Flächenstillegung sehen einige Umweltmerkmale, wie z.B. die potentielle Belastung von Boden und Grundwasser mit PSM, allerdings weniger günstig aus. Den Risiken im Anbau stehen außer den Vorteilen der biologischen Abbaubarkeit und der Verringerung von CO_2 und SO_2 keine weiteren nennenswerten Umweltvorteile in der Verwendung gegenüber.

In der Bundesrepublik Deutschland befindet sich mehr als die Hälfte aller in die Rote Liste aufgenommenen Pflanzen- und Tierarten in auf anthropogenen Eingriffen basierenden Ökosystemen. Beispiele dafür sind nicht nur Frischwiesen und Streuobstbestände, sondern auch zahlreiche Ackerflächen. Die Einführung neuer Kulturen bietet Etablierungschancen für neue Ökosysteme. Die massive Ausdehnung des Rapsanbaus dagegen geht weitgehend zu Lasten weniger bedeutsamer Kulturen.

Literaturverzeichnis zu Kapitel VI

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg.), 1991: Agrarbericht 1991. Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung. Verlag Dr. Heger, Bonn

– –, 1992: Agrarbericht 1992. Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung. Verlag Dr. Heger, Bonn

SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen), 1985:Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sondergutachten März 1985. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart/Mainz

Kapitel VII

Strategieentwurf für den Teilbereich der energetischen Nutzung Nachwachsender Rohstoffe

VII Strategieentwurf für den Teilbereich der energetischen Nutzung Nachwachsender Rohstoffe

1. Vorbemerkungen

Die Anlage und Gestaltung einer Strategie für die energetische Nutzung von NR kann nicht ohne bewußte oder unbewußte Vorstellungen über die Ziele erfolgen, deren Verfolgung die Strategie dienen soll. Das bedeutet, daß Werthaltungen in die Strategien eingehen, die unvermeidlich stärkere subjektive Elemente enthalten als andere Kapitel dieses Berichts. Der Strategieentwurf ist deshalb als ein Entwurf zu verstehen, in dem neben den in dieser Studie dargestellten Sachzusammenhängen die Werteinschätzungen der Autoren dieser Studie eine Rolle spielen.

Am Anfang dieses Berichts (Kap. I.1) sind die Fragen benannt, für deren Beantwortung die Ergebnisse der Studie nützlich sein sollen. Dieses letzte Kapitel VII gibt für den Bereich der energetischen Verwendung der NR Antworten auf diese Fragen - mit subjektiven Elementen.

2. Gegenwärtige Situation und Perspektiven

2.1 Gegenwärtige Situation und kurzfristige Perspektiven

Rapsöl und Chinaschilf (Miscanthus) sind gegenwärtig (in der Bundesrepublik Deutschland) die vorherrschenden Stichworte für Landwirte, Medien und im politischen Bereich, wenn es um die energetische Nutzung von Pflanzen geht. Hoffnungen und Erwartungen an weitergehende Förderungen sind mit diesen Stichworten verknüpft.

Aus der Sicht der Landwirte handelt es sich bei Raps (im Gegensatz zu Miscanthus) um eine Kultur, bei der man weiß, woran man ist, und die häufig gut in bestehende Fruchtfolgen eingefügt werden kann. Mit Raps wurden in den letzten Jahren vergleichsweise gute Deckungsbeiträge erzielt.

Die technischen Hürden zur Vermarktung von Rapsöl im Energiesektor sind für einige Rapsölproduktlinien vergleichsweise gering. Von daher erscheint es möglich, innerhalb weniger Jahre Rapsöl von einigen Hunderttausend Hektar Raps der energetischen Nutzung zuzuführen. Derartige Perspektiven für eine ins Gewicht fallende rasche Umwidmung von Ackerflächen bestehen nicht für den An-

bau von Pflanzen zur Herstellung fester Energieträger. Soweit feste Energieträger aus Pflanzen in den nächsten Jahren in größeren Mengen "verkaufbar" sein werden, dürfte dies in erster Linie die Verwendung von Stroh und Restholz betreffen.

Pflanzenöle und Methylester aus Pflanzenölen unterliegen keiner Mineralölsteuer, sofern sie nicht mit Mineralölprodukten vermischt sind. Für Dieselkraftstoff aus Mineralöl beträgt der Steuersatz inzwischen 0,54 DM/l. Dadurch sind Rapsöle und RME (Rapsölmethylester) als Dieselkraftstoffe an die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit gelangt - aus einzelwirtschaftlicher Sicht. Die EG-Kommission hat 1992 einen Richtlinienvorschlag für den Ministerrat ausgearbeitet, der in der gesamten EG eine weitgehende Befreiung pflanzenbürtiger Kraftstoffe von der Mineralölsteuer vorsieht. Im Europäischen Parlament ist dieser Vorschlag allerdings umstritten. Eine von der EG-Kommission diskutierte kombinierte CO_2-/Energiesteuer, von der die nachwachsenden Energieträger (NE) ausgenommen sind, könnte die einzelwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der pflanzenbürtigen NE bereits in naher Zukunft verbessern.

Pflanzenöle als Heizöl konkurrieren ebenfalls mit mineralölstämmigem leichtem Heizöl, das gegenwärtig allerdings nur mit 0,08 DM/l besteuert wird. Dadurch liegt die Schwelle zur Wettbewerbsfähigkeit von Pflanzenölen ohne Heizölsteuer für den Wärmemarkt in der Bundesrepublik Deutschland noch in weiter Ferne. Für feste Brennstoffe, die leichtes Heizöl ersetzen, sind die entfallenden Mineralölsteuern von 0,08 DM/l Heizöl von gewisser, aber nicht entscheidender Bedeutung. Für Pflanzenöle als (additive) Einsatzstoffe in Raffinerien bestehen gegenwärtig keine Vorteile hinsichtlich entfallender Mineralölsteuern.

Die bestehenden und gemäß Vorschlag der EG-Kommission möglicherweise bald ausgeweiteten Steuervorteile pflanzenbürtiger Dieselkraftstoffe bedeuten entsprechende Mindereinnahmen des Staates, die innerhalb weniger Jahre dreistellige Millionenbeträge pro Jahr erreichen können. Früher oder später ist eine offene politische Diskussion darüber zu erwarten, was den entfallenden Staatseinnahmen insbesondere an volkswirtschaftlichen, agrarpolitischen, umweltpolitischen und versorgungspolitischen Vorteilen gegenübersteht. Eine solche Diskussion könnte auch durch Bestrebungen zur Harmonisierung der ökonomischen Rahmenbedingungen innerhalb der EG ausgelöst werden. Als Folge könnten die Steuervorteile wieder reduziert werden.

Soweit es um die Minderung der Überschußprobleme der Landwirtschaft geht, gibt es billigere volkswirtschaftliche Alternativen als die Stützung des Anbaus nachwachsender Energieträger. Ausweitungen der Flächenstillegung, Anreize

zur Extensivierung der Produktion und zur Aufforstung sind Beispiele dafür. Deshalb werden Art und Umfang des Anbaus und der Verwendung nachwachsender Energieträger (NE) entscheidend von der Bewertung ihrer Umweltvorteile abhängen, wobei es in erster Linie um CO_2-Vorteile, in Teilbereichen aber auch um SO_2-Vorteile geht.

Vorteile der NE hinsichtlich der Beschäftigung und der Einkommen im ländlichen Raum, insbesondere bei den Landwirten, sind gegenüber der Option der Flächenstillegung zu erwarten, dürfen aber nicht überschätzt werden.

2.2 Mittel- und längerfristige Perspektiven

Aufkommenspotentiale

Bis 2005 könnten - je nach Agrarpolitik - in der Bundesrepublik Deutschland (inkl. neue Bundesländer) Anbauflächen von 2 bis 6 Mio ha (das sind rd. 11 % bis 33 % der LF) für NR und Naturschutzbelange "zur Verfügung" stehen, danach vielleicht noch mehr. Der zusätzliche Anbau (gegenwärtig etwa 0,8 Mio ha) von etwa 1 bis 2 Mio ha Raps dürfte regional an Fruchtfolgerestriktionen stoßen.

Im Falle des Anbaus von lignocellulosereichen Pflanzen (z.B. Gräser, Miscanthus, schnellwachsende Baumarten) und der Bereitstellung von Reststoffen aus Pflanzen sind die aufkommensseitigen Potentiale nicht unerheblich: Geht man für langfristige Abschätzungen (nach 2005) von einer Spanne von 15 % bis 25 % der LF (dies entspricht 2,7 bis 4,5 Mio ha) und von einem Durchschnittsertrag von 15 t TM/ha·a für einen Mix von C_3- und C_4-Pflanzen aus, so führt dies zu einer Menge von 40 bis 67 Mio t TM/ha·a Erntegut. Zusammen mit 20 bis 35 Mio t/a Stroh und Restholz (vgl. Kap. IV.5) ergeben sich rund 60 bis 100 Mio t/a TM, die energetisch einer Menge von 30 bis 50 Mio t/a Steinkohleeinheiten (SKE) entsprechen. Zum Vergleich: Der westdeutsche Braunkohleneinsatz beträgt gegenwärtig rund 40 Mio t SKE/a.

Die genannten potentiellen Mengen entsprechen einem langfristigen CO_2-Minderungspotential von etwa 60 bis 100 Mio t CO_2 jährlich. Gegenwärtig werden rund 1 000 Mio t CO_2/a in der Bundesrepublik Deutschland emittiert. Die Aufkommens- und CO_2-Minderungspotentiale bei Pflanzenölen oder Ethanol aus Pflanzen sind deutlich geringer als bei Festbrennstoffen.

Marktperspektiven

Im Hinblick auf mögliche Beiträge der NE zum CO_2-Minderungsziel der Bundesregierung interessieren die mittelfristigen Marktperspektiven (2005). Diese hängen bei festen NE nicht nur von ökonomischen Rahmenbedingungen wie Ölprei-

sen, CO_2-Abgaben oder -Steuern ab, sondern sehr stark auch von der Geschwindigkeit technischer Abklärungen und Entwicklungen bis zur kommerziellen Reife. Wegen der relativ großen möglichen Beiträge von Stroh und Restholz zum Aufkommenspotential werden die bis 2005 nutzbaren Mengen fester NE nicht durch aufkommensseitige Begrenzungen bestimmt. Sie werden vielmehr in erster Linie durch die Dynamik in den Bereichen der technischen Entwicklung und der erfolgreichen Demonstration bestimmt.

Wir schätzen, daß unter günstigen Bedingungen seitens der ökonomischen Rahmenbedingungen und seitens der technischen Entwicklung um 2005 etwa 15 bis 36 Mio t/a feste NE im Inland "verkaufbar" sein könnten (zusätzlich zu gegenwärtig rd. 3 Mio t/a).
Mittelgroße und kleinere Heizkraftwerke sowie industrielle Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stellen den größten Teil des mittelfristigen Marktpotentials dar, Dampferzeuger und Heizwerke sowie Zumischungen zu Kohlefeuerungen dagegen den kleineren Teil.

Bei 15 bis 36 Mio t/a fester NE können bis 2005 etwa 5 % bis 15 % des CO_2-Minderungsziels der Bundesregierung erreicht werden. Längerfristig sind keine gravierenden Grenzen für die sinnvolle Verwendung der oben genannten Aufkommenspotentiale im Energiemarkt zu erkennen, wobei dann auch Verwendungsmöglichkeiten wie Methanol- oder Wasserstofferzeugung durch Vergasung fester NE in Betracht kommen.

3. Ziele und Maßnahmen

3.1 Strategieziele

Das Hauptziel, auf das dieser Strategieentwurf ausgelegt ist, ist die möglichst rasche Schaffung der Voraussetzungen zur Nutzung mittelfristig erreichbarer Potentiale für CO_2-Minderungsbeiträge pflanzenbürtiger Energieträger - in erster Linie für solche Beiträge, bei denen die CO_2-Minderung ökonomisch vergleichsweise effizient erreicht wird und nicht durch Nachteile hinsichtlich anderer klimawirksamer Spurengase beeinträchtigt wird.

Bei einer hypothetischen "Entwarnung" in Sachen CO_2 wäre wegen der längerfristigen Ressourcensituation bei Erdöl und Erdgas nur die Dringlichkeit in Frage gestellt, nicht aber die Ausrichtung der angesprochenen Förderungsmaßnahmen.

Die Vorteile der NE hinsichtlich der Beschäftigungs- und Einkommenssituation im ländlichen Raum und speziell in der Landwirtschaft sind bei näherem Hinsehen nicht stark ausgeprägt. Sie können nur ein Nebenziel sein.

Ein zweites Nebenziel ist es, bereits in den nächsten Jahren die teilweise günstigen Voraussetzungen für die Bereitstellung und Verwendung von NE in den neuen Bundesländern zu nutzen und gleichzeitig dort dringend erforderliche Beiträge zur Erhöhung der Wertschöpfung zu schaffen.

Beispiele für günstige Gegebenheiten in den neuen Bundesländern (NBL) sind:

- Mögliche Zumischung zu oder Ersatz von Braunkohle und Braunkohlenbriketts in (noch) bestehenden Anlagen ohne Entschwefelung (mit SO_2-Emissionsvorteilen). In diesem Zusammenhang ist auf den hohen Anteil der Kohleöfen in den Haushalten und bei den Kleinverbrauchern in den NBL hinzuweisen, die aus finanziellen Gründen nicht alle innerhalb weniger Jahre durch moderne Heizanlagen ersetzt werden dürften. Pellets oder Briketts aus Stroh würden zu einer deutlichen Verringerung der SO_2-Emissionen aus solchen Heizanlagen führen, was bei geringen Schornsteinhöhen von besonderer Bedeutung für die Immissionen in der Nachbarschaft ist. Deshalb ist dringend die Überprüfung der verbrennungstechnischen Eignung und des Emissionsverhaltens der verbreitetsten Kohleeinzelöfen und kleinen Kohlesammelheizungen bei einem Betrieb mit Strohbriketts zu empfehlen. Bei einem positiven Ausgang dieser Überprüfung sollte eine Subventionierung wegen des Doppelvorteils der SO_2- und der CO_2-Minderung ernsthaft in Betracht gezogen werden. Je Tonne Strohbriketts könnten ca. 120 DM an Subventionen erforderlich sein.

- Ersatz braunkohlenbefeuerter industrieller Dampferzeuger durch Anlagen, die für feste NE geeignet sind. Viele Dampferzeuger müssen rasch ersetzt werden.
- Anstehender Ersatz von zahlreichen Braunkohlenheizwerken durch Heizkraftwerke, für die auch mit NE befeuerte HKW in Betracht kommen.

Das dritte Nebenziel ist es, auf nationaler Ebene oder auch auf EG-Ebene "Pionier-Renditen" bei der Entwicklung von zukunftsorientierten Technologien zu erreichen.

3.2 Folgerungen aus den Strategiezielen für Entwicklungsschwerpunkte

Aus den aufgeführten Zielen und den Ergebnissen dieses Berichtes bezüglich der Energie-Mengenpotentiale und der damit verbundenen mittel- und längerfristigen CO_2-Minderungspotentiale sowie der CO_2-Minderungskosten ergibt sich die Empfehlung, Forschung und Entwicklung, Demonstrationen, Pilotprojekte und Förderungsmaßnahmen verstärkt auf den Bereich der festen NE zu lenken. In

diesem Bereich ist sehr viel zu tun, wenn es nicht zu deutlichen Abstrichen bei den Möglichkeiten kommen soll, mittelfristig, d.h. bis 2005, mehr als nur marginale Beiträge zur Realisierung des CO_2-Minderungsziels der Bundesregierung zu leisten.

Die Vorteile der in diesem Bericht diskutierten Produktlinien flüssiger NE sind im Lichte der genannten Strategieziele deutlich schwächer ausgeprägt und erscheinen als zu teuer erkauft. Auch die in Abschnitt 2.1 dieses Kapitels aufgeführten Vorteile von Rapsöl als Energieträger erscheinen nicht als so ausgeprägt, daß sie die Bewertung für inländischen Energieraps ändern.

Für Länder mit anderen natürlichen Gegebenheiten und anderen ökonomischen Rahmenbedingungen (z.B. Osteuropa oder Malaysia) können die Bewertungsmerkmale für Pflanzenöle als Energieträger deutlich günstiger sein. In diesem Zusammenhang sei darauf verwiesen, daß die Herstellungskosten für und die Energiebilanz von Palmöl deutlich günstiger sind als bei inländisch hergestelltem Rapsöl. Auch dies könnte mit ein Grund für die weitere Entwicklung pflanzenölverträglicher Motoren sein.

Der Engpaß bei der Realisierung der mittelfristigen Potentiale für feste NE liegt, wie bereits erwähnt, auf der Verwendungsseite. Innerhalb der Verwendungspotentiale spielen Heizkraftwerke einer Größenklasse eine große Rolle, in denen jährlich 40 000 t bis 200 000 t an festen NE eingesetzt werden. Bei derartigen Einsatzmengen sind bisher die Kostenunterdeckungen selbst bei Stroh abschreckende Hindernisse für die Technologieentwicklung gewesen, sowohl für Projektinteressenten als auch für Projektförderer. Der im nächsten Abschnitt skizzierte Maßnahmenvorschlag würde diese Hindernisse mindern oder beseitigen.

Bei der eben angesprochenen Größenordnung von Anlagen liegt es nahe, zunächst auf feste NE zugeschnittene Modifikationen von solchen HKW-Technologien zu entwickeln, die sich für stückige Kohle bereits bewährt haben. Im Falle von Stroh und Miscanthus (ggf. auch Heu) könnte die Pelletierung oder Brikettierung Voraussetzung für die Verwendung in größeren Anlagen sein. Für welche Typen von Verwendungsanlagen die Pelletierung oder Brikettierung erforderlich ist, gilt es abzuklären.

Die Pelletierung oder Brikettierung von Chinaschilf, Heu oder Stroh ist ein kostenaufwendiger Schritt, der mit etwa 15 bis 20 DM je MWh (Heizwert der Energieträger) zu Buche schlägt. Das entspricht 0,15 bis 0,20 DM je Liter Heizöl bzw. etwa 70 bis 100 DM je Tonne der Lignocellulose-Biomasse (Trockensubstanz).

Auch der Energieaufwand für die Verdichtung ist nicht zu vernachlässigen, er liegt bei etwa 8 % des Heizwertes der verdichteten Biomasse.

Diese Sachverhalte machen es verständlich, daß bisher die meisten Fachleute dem Prozeßschritt der Pelletierung oder der Brikettierung ablehnend gegenüberstehen.

Den genannten Nachteilen stehen jedoch zwei große Vorteile gegenüber:

a) Pellets oder Briketts sind im Verwendungsbereich höherwertige Energieträger als Ballen oder Häckselgut, weil sie bei der Verbrennung oder Vergasung
   - weniger technische Schwierigkeiten verursachen,
   - bei gleichem technischem Aufwand zu geringeren Schadstoffemissionen führen,
   - in der Regel zu höheren Wirkungsgraden bei der energetischen Umsetzung führen sowie
   - weniger Raum für erforderliche Vorratslagerungen benötigen.

b) Pellets oder Briketts stoßen aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Schüttdichte auch bei größeren Transportentfernungen von über 50 km nicht auf entscheidende Transportkostenprobleme.

Im Verbund der Vorteile, die sich aus a) und b) ergeben, können Pelletierung oder Brikettierung den Zugang zu größeren Bereichen des Energiemarktes eröffnen, als es über Ballen- und Häckselgutlinien gegenwärtig möglich erscheint.

Andererseits muß betont werden, daß größere Strohverbrennungsanlagen in Dänemark demonstrieren, daß die Stroh-Ballenlinie verbrennungstechnisch beherrschbar und wahrscheinlich auch in der Bundesrepublik Deutschland genehmigungsfähig ist. Ob die Ballenlinie die erste Präferenz für effiziente Heizkraftwerke ist, bleibt eine andere offene Frage, deren Beantwortung mit mäßigem Aufwand gelingen könnte. Eine wichtige Teilfrage dabei ist, ob sich deutliche verbrennungs- bzw. vergasungstechnische, energetische oder umweltrelevante Vorteile aus der Verwendung von Stroh-Häckselgut (oder auch Miscanthus bzw. Heu) für Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht ergeben, und welche ökonomischen Nachteile diesen Vorteilen gegenüberstehen.

Als ebenfalls dringlich erscheint die Lösung der Frage, welcher technische Aufwand erforderlich ist, um bei der Verbrennung bzw. Vergasung von Heu mit seinem vergleichsweise hohen Kalium- und Stickstoffgehalt fertig werden zu können. Der hohe Kaliumgehalt ist unerwünscht, weil er einen niedrigen Ascheerweichungspunkt bedingt.

Zeitgerechte und verläßliche Anlieferungen pflanzlicher Brennstoffe sind für den Betrieb größerer Anlagen erforderlich. Voraussetzung dafür sind technisch und organisatorisch gut funktionierende Infrastrukturen für die Trocknung (soweit erforderlich), Konditionierung, Lagerung und für den Transport, deren Aufbau nicht trivial ist. Die vorherige Erprobung und Demonstration solcher Infrastrukturen dürfte eine Voraussetzung für künftige HKW-Investitionsentscheidungen sein.

Die Erprobung der angesprochenen Infrastrukturen kann im Rahmen einer begrenzten Zahl von Pilotprojekten mit Stroh und/oder anderen billigen Reststoffen erfolgen. Aus dem Einzugsgebiet für die Verwendungsanlage sollte eine Menge von 10 000 bis 50 000 t/a an Stroh oder anderen billigen Reststoffen geliefert werden können.

Aufgrund des hohen Entwicklungsstandes bei Verbrennungs- und Vergasungstechnologien ist die Bundesrepublik Deutschland neben Großbritannien innerhalb der EG in besonderem Maße prädestiniert, übertragbare Konzepte, Kenntnisse und Erfahrungen aus der Kohletechnologie für Technologien zur energetischen Umwandlung pflanzenbürtiger Festbrennstoffe fruchtbar zu nutzen, bis hin zu Anlagen mit Gas- und Dampfturbinenkreislauf.

In der amerikanischen Literatur wird auf die möglichen Vorteile eines "Cheng-Kreislaufes" zur Koppelproduktion von Strom und Wärme nach Vergasung der pflanzenbürtigen festen Energieträger hingewiesen, insbesondere in der Größenklasse von einigen 10 MW Gesamtleistung. Im KWK-Bereich erscheinen unter anderem Kombianlagen als interessant, in denen Erdgas und Biomasse gemeinsam und energetisch effektiv genutzt werden können.

Mit diesen und weiter oben genannten Hinweisen ist die Breite des Technologiebereichs skizziert, aus dem sich schrittweise die zukunftsträchtigsten Varianten entwickeln können und wohl auch irgendwann entwickeln werden.

3.3 Maßnahmen

Bezüglich der Breite und Geschwindigkeit der Technologieentwicklung für die energetische Nutzung fester nachwachsender Energieträger kann vermutlich dann viel gewonnen werden, wenn viele potentielle Anlagenbetreiber, Anlagenhersteller und Ingenieurbüros nicht erst 10 oder 15 Jahre auf ökonomisch interessante Rahmenbedingungen warten oder hoffen müssen, sondern sie schon möglichst bald sehen. Das dänische Beispiel der Entwicklung von Feuerungsanlagen für feste NE zeigt, wie die Technologieentwicklung beschleunigt wird, wenn die

ökonomischen Randbedingungen günstiger sind (in diesem Falle durch eine hohe Heizölsteuer).

Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, für größere, aber begrenzte Mengen (z.B. 5 Mio t/a) aus vergleichsweise billiger Biomasse (in erster Linie Stroh) einen langfristig erwartbaren Brennstoffkostenvorteil gegenüber fossilen Energieträgern durch umweltpolitisch motivierte Verwendungsbeihilfen bereits kurzfristig zu realisieren. Wichtig wäre dabei eine zeitliche Absicherung solcher Verwendungsbeihilfen für die pflanzenbürtigen Energieträger über Zeiträume hinweg, die für Entscheidungen über die Realisierung von Verwendungsprojekten (z.B. Lebensdauer eines HKWs) relevant sind.

Mit steigenden Energiepreisen und/oder CO_2-/Energiesteuern für fossile Energieträger könnten die erforderlichen Verwendungsbeihilfen je Tonne Biomasse zurückgenommen werden, ohne die Verwender in eine unzumutbare wirtschaftliche Situation zu bringen. Für Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) könnten diese Verwendungsbeihilfen dann zurückgenommen werden, wenn eine ohnehin sinnvolle und zielkonforme finanzielle Honorierung der energetischen Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt.

Die mögliche Finanzierungsquelle für eine derartige Verwendungsbeihilfe liegt nahe: Ein Anteil aus der ersten Stufe der vorgesehenen CO_2-/Energiesteuer könnte herangezogen werden. Zur Finanzierung einer Beihilfe für die Verwendung von 5 Mio t/a Stroh in Höhe von 100 bis 120 DM/t, entsprechend 500 bis 600 Mio DM/a, wären nur etwa 10 % der ersten Stufe (3 $/barrel Rohöl) des CO_2-/Energiesteueraufkommens in der Bundesrepublik Deutschland erforderlich.

Es sei darauf verwiesen, daß die vorgeschlagene Verwendungsbeihilfe je vermiedener Tonne CO_2 weniger als die Hälfte der Stützung ausmachen würde, die mit einem Verzicht auf die Mineralölsteuer bei Pflanzenöl als Dieselkraftstoff verknüpft wäre.

Falls in einigen Jahren - aus welchen Gründen auch immer - hohe Anstrengungen zur CO_2-Minderung nicht mehr für wichtig gehalten werden, kann man die Ausweitung der geförderten NE-Mengen stoppen und die Förderung nur für die bis dann angelaufenen Projekte zeitlich weiterführen.

Anhang

Tabelle A I.1-1: **Verzeichnis der Materialbände zur Studie: Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe"** [1)]

Band Nr.	Autor	Titel
1	Prof. Dr. W. Großkopf, Prof. Dr. A. Henze Institut für Agrarpolitik und Landwirtschaftliche Marktlehre, Universität Hohenheim	Szenarien und Modelleinsatz im Rahmen einer Folgenabschätzung für den verstärkten Anbau und die zunehmende Verwendung "Nachwachsender Rohstoffe"
2	Prof. Dr. W. Großkopf, Prof. Dr. K.-H. Kappelmann Institut für Agrarpolitik und Landwirtschaftliche Marktlehre, Universität Hohenheim	Wettbewerbssituation für den Anbau "Nachwachsender Rohstoffe" im gemeinsamen EG-Binnenmarkt
3	"	Entwicklung der Produktion in der EG differenziert nach den einzelnen Szenarien
4	Prof. Dr. J. Zeddies, Dr. R. Doluschitz Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim	Beschreibung und ökonomische Beurteilung des Rapsanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
5	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Maisanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
6	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren von NR-Pflanzen bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland - dargestellt am Beispiel der Kulturarten Winterweizen, Sommerweizen, Wintergerste und Sommergerste -
7	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren von NR-Pflanzen bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland - dargestellt am Beispiel der Kulturart Winterroggen -
8	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Haferanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
9	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung von Produktionsverfahren des Triticaleanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
10	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Zuckerrübenanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland

1) Die Materialbände enthalten die Ergebnisse der Unteraufträge, die von externen Experten und ihren Mitarbeitern im Rahmen dieser TA-Studie bearbeitet wurden.

Tabelle A I.1-1: **Verzeichnis der Materialbände zur Studie: Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe"** *- Fortsetzung -*

Band Nr.	Autor	Titel
11	Prof.Dr. J. Zeddies, Dr. R. Doluschitz Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Kartoffelanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
12	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Sonnenblumenanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
13	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Öl- und Faserleinanbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
14	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren für Ackerbohnen, Futtererbsen, Sojabohnen und Süßlupinen bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
15	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Ackerfutterbaus bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
16	"	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren des Grünlands bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland
17	"	Ergänzungen zur Beschreibung der Produktionsverfahren: AKh-Ansätze für 2005, Nährstoffbilanzen, Maschinenliste für 2005, Schlepperstunden und Treibstoffverbrauch pro ha, Bodendrucklasten
18	U. Schmidt, Grünstadt	Beschreibung und ökonomische Beurteilung der Produktionsverfahren von NR-Pflanzen bei derzeitigen und künftig erwartbaren Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland - dargestellt an der Kulturart Topinambur (Helianthus Tuberosus) -
19	M. Euskirchen, Altheim-Heiligkreuztal	Erfassung pflanzenbaulicher, ökonomischer und umweltrelevanter Kenndaten von Zuckerhirse als nachwachsender Rohstoff in der Bundesrepublik Deutschland
20	Prof. Dr. A. Vömel Justus-Liebig-Universität, Giessen	Aufnahme der produktions- und verarbeitungstechnischen Kenndaten von 16 bedeutenden und 15 weiteren potentiell wichtigen Arznei- und Gewürzpflanzenarten
21	Prof. Dr. A. Vömel, Dr. A. Weyel-Klein Justus-Liebig-Universität, Giessen	Erfassen der produktions- und verarbeitungstechnischen Kenndaten von acht nachwachsenden Rohstoffpflanzen mit speziellen Fettsäuremustern: Krambe,Leindotter, Mohn, Saflor, Senf, Wolfsmilch, Koriander, Ringelblume

Tabelle A I.1-1: **Verzeichnis der Materialbände zur Studie: Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe"** *- Fortsetzung -*

Band Nr.	Autor	Titel
22	H. Englert Institut für Ökonomie Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg	Regionale Produktionsbedingungen der Forstwirtschaft (konventioneller Umtrieb)
23	Prof. Dr. W. Henrichsmeyer, N. Zimmermann, B. Strotmann Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie, Universität Bonn	Regional und betriebsstrukturell differenzierte Analyse von Szenarien mit nachwachsenden Rohstoffen unter Anwendung des regionalen Agrar- und Umweltinformationssystems RAUMIS
24	Dr. H. Schröder	Wechselwirkungen ökonomischer und ökologischer Art zwischen verschiedenen Kulturpflanzenbeständen und angrenzenden Hecken
25	U. Voerkelius, G. Zilbauer, J. Schild Lehrstuhl für Landschafts-ökologie, TU München-Weihenstephan	Simulation ökologischer Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe am Beispiel zweier ausgewählter Testgebiete, Textband
26	"	Simulation ökologischer Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe am Beispiel zweier ausgewählter Testgebiete, Kartenband Gemeinde Buttenheim
27	"	Simulation ökologischer Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe am Beispiel zweier ausgewählter Testgebiete, Kartenband Gemeinde Straßkirchen
28	Prof. Dr. J. Wurster Transferzentrum für nachwachsende Rohstoffe, Reutlingen	Technologiefolgenabschätzung Nachwachsende Rohstoffe am Beispiel Flachs
29	"	Ergänzung zur Technologiefolgenabschätzung Nachwachsende Rohstoffe am Beispiel Flachs
30	Dr.-Ing. H. U. Woelk, Hamburg	Herstellung und Anwendung von Stärke
31	Dr. A.Strehler, B. Gessner Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, TU München	Zusammenstellung relevanter Verfahrensdaten bei Ernte, Aufbereitung und bei der energetischen Umsetzung von Biomasse

Tabelle A I.1-1: **Verzeichnis der Materialbände zur Studie: Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe"** *- Fortsetzung -*

Band Nr.	Autor	Titel
32	Prof. Dr. D. Schliephake, C.-M. Hacker Forschungs- und Industrie-Beratungsgesellschaft mbH, Bad Honnef	Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff Kapitel 1 und 2: Einleitung Markt für holzbasierende Produkte
33	„	Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff Kapitel 3: Andere lignocellulosehaltige Rohstoffe
34	„	Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff Kapitel 4: Zellstoff, Papier und Pappe
35	„	Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff Kapitel 5 und 6: Sägeholzmarkt Markt für Platten aus Spänen, Fasern und Sperrholz
36	„	Die Zukunft der Holz-(Lignocellulose)-Verarbeitungstechnologie und die Entwicklung des Marktes für lignocellulosehaltige Produkte unter Berücksichtigung der Lignocellulose als Nachwachsender Rohstoff Kapitel 7: Die Chancen lignocellulosehaltiger Biomasse unter dem Einfluß von Markt- und Technologie-Entwicklung

Tabelle A III.1-1: **Exemplarische Auflistung der unterstellten Maschinenausstattung für die Gegenwart (1987) und 2005**

MASCHINEN	Gegenwart (1987), 2,0 ha-Parzelle / 60 ha-Betrieb					2005, 5,0 ha-Parzelle / 150 ha-Betrieb				
	Größe	Fixkosten[1] (DM)	vMK (DM)	Treibstoff (l/h)	AKh-/Sh-Bedarf/ha	Größe	Fixkosten (DM)	vMK [2] (DM)	Treibstoff (l/h)	AKh-/Sh-Bedarf/ha
1. Schlepper (Zug-) 2. " " 3. Schlepper (Allrad) 4. " "	34 - 40 kW 40 - 60 kW 60 - 74 kW	5,3/Sh [4] 7,1/Sh 11,7/Sh	5,98/Sh 7,60/Sh 13,72/Sh	4,4 6,4 8,4		40 - 60 kW 50 - 67 kW 60 - 74 kW 75 - 95 kW	7,10/Sh 9,40/ Sh 11,70/Sh 14,10/Sh	8,00/Sh 11,00/Sh 14,00/Sh 18,00/Sh	5,9 6,3 8,4 9,4	
Schleuderdüngerstreuer Düngerstreuer, angehängt	600 l / 9 m -	1,30/ha	1,00/ha		0,4/0,4	600 l (12 m) 4 t	1,20/ha	1,00/ha 4,00/ha		0,3/0,3
Anbau-Pflanzenschutz-Spritze	9m/600l	3,00/ha	1,00/ha		0,6/0,6	12 m/1000 l	3,80/ha	1,00/ha		0,4/0,4
Anbaudrillmaschine	3,0m	8,30/ha	3,00/ha		0,8/0,8	4,0 m (pneumatisch)	14,30/ha	3,00/ha		0,6/0,6
Einzelkornsämaschine	4-reihig	21,90/ha	5,00/ha		1,5/1,5	6-reihig (pneumatisch)	24,60/ha	5,00/ha		1,0/1,0
Lege-/Pflanzmaschine (vollautomatisch, 1 AK)	4-reihig	31,00/ha	14,00/ha		5,0/5,0	4-reihig (vollautomatisch, 1AK)	31,00/ha	12,00/ha		5,0/5,0
Gerätekombination	3,0 m	4,40/ha	3,00/ha		0,8/0,8	4,0 m	5,50/ha	3,00/ha		0,6/0,6
Volldrehpflug	3-furchig 90 cm	13,50/ha	17,00/ha		3,0/3,0	4-furchig 120 cm	11,70/ha	17,00/ha		2,0/2,0
Selbstfahr-Mähdrescher " für Raps + Pflückvorsatz	66-81kW, 3 m " " 3 m, 4-reihig	125,00/ha 56,00/ha	49,00/ha 54,00/ha +41,0/ha	12,9 " "	1,5/- 1,4/-	110 - 130 kW, 4,4 m " +Pflückvorsatz, 6-reih.	139,00/ha 70,00/ha	55,00/ha 60,00/ha +41,0/ha	22 "	1,0/- 0,9/-

vMK = variable Maschinenkosten; AKh = Arbeitskraftstunden; Sh = Schlepperstunden; FM = Frischmasse

1) Fixkosten: jeweils ermittelt an der Auslastungsschwelle

2) Beim Kraftstoffeinsatz in 2005 wurde ein 10 % besserer Wirkungsgrad unterstellt; der Preis für Dieselkraftstoff wurde für 2005 real 20 % höher angesetzt (vgl. Energiepreisniveau); hierdurch ergibt sich insgesamt eine leichte Erhöhung der variablen Maschinenkosten (vMK) bei Selbstfahrern.

Tabelle A III.1-1: Exemplarische Auflistung der unterstellten Maschinenausstattung für die Gegenwart (1987) und 2005

- Fortsetzung -

MASCHINEN	Gegenwart (1987), 2,0 ha-Parzelle / 60 ha-Betrieb					2005, 5,0 ha-Parzelle / 150 ha-Betrieb				
	Größe	Fixkosten 1) (DM)	vMK (DM)	Treibstoff (l/h)	AKh-/Sh-Bedarf/ha	Größe	Fixkosten (DM)	vMK (DM)	Treibstoff (l/h)	AKh-/Sh-Bedarf/ha
Hackgerät : Rüben : Kartoffeln	6-reihig 4-reihig	7,20/ha 7,00/ha	3,00/ha 3,00/ha		2,4/1,2 1,1/1,1	12-reihig 4-reihig	6,40/ha 7,00/ha	3,00/ha 3,00/ha		1,2/0,6 1,0/1,0
Bunkerköpfroder	2-reihig, 5 t	231,99/ha	85,00/ha		5,0/5,0	2-reihig (50 dt)	231,00/ha	85,00/ha		4,0/4,0
Sammelroder (2 AK) (Kippbunker)	1-reihig (2 t)	243,00/ha	84,00/ha		16/9	2-reihig (2,5 t)	314,00/ha	84,00/ha		13/8
Exaktfeldhäcksler (Silomais)	1-reihig 35 t FM/h 2)	101,00/ha	53,00/ha		3,5/3,5	2-reihig, 50 t FM/h	165,00/ha	50,00/ha		1,8/1,8
Kreiselmähwerk	1,6 m	14,80/ha	9,00/ha		1,0/1,0	2,4 m Frontanbau	19,20/ha	9,00/ha		0,7/0,7
1. Kipper 2. Kipper Ladewagen mit Schneid-einrichtung	6,5 t 6,5 t 25 m³	1312,00/a " 3000,00/a	0,22/t km +0,08/km " " " 12,0/ha + 0,22/t km			8,0 t 8,0 t 30 m³	1696,00/a " 3750,00/a	0,22/t km +0,08/km " " " 12,0/ha + 0,22/t km		

Tabelle A III.1-2: **Maschinenring-Verrechnungssätze und Lohnmaschinensätze für ausgewählte Arbeitsgänge in der Pflanzenproduktion (incl. Schlepper + Fahrer, jeweils mit MWSt) (nach KTBL 1988 und 1989)**

Arbeitsgang		Maschinenring-Verrechnungssätze a)	Lohnmaschinen-Verrechnungssätze
Mähdrusch: Getreide		240 - 280 (ø 260) DM/ha	200 - 350 (ø 275) DM/ha
Raps		260 - 310 (ø 285) DM/ha	290 - 340 (ø 315) DM/ha
Großballenpressen:			
Heu (0,14 t/m³)	(220 kg/Ballen) (~ ø 1,3 m × 1,2 m)	9 - 13 DM/Ballen (ø 11,0) = 50,- DM/t Heu	8 - 16 DM (ø 12) = 55,- DM/t Heu (= + 10%) s. a)
	(420 kg/Ballen) (~ ø 1,6 m × 1,5 m)	12 - 18 DM/Ballen (ø 15,0) = 36,- DM/t Heu	+ 10% = 40,- DM/t Heu
Stroh (0,12 t/m³)	(~ 190 kg/Ballen) (~ ø 1,3 m × 1,2 m)	(s. bei Heu) = 58,- DM/t	+ 10% = 64,- DM/t
	(~ 360 kg/Ballen) (~ ø 1,6 m × 1,5 m)	(s. bei Heu) = 42,- DM/t	+ 10% = 46,- DM/t
Silomais häckseln		300 - 390 (ø 345) DM/ha	300 - 390 (ø 345) DM/ha
CCM [1] ernten + schroten		480 - 560 (ø 520) DM/ha	(480 - 660) (ø 570) DM/ha
Kartoffeln legen	(vollautomatisch, 2,4h)	42 - 62 (ø 52) DM/ha	35 - 45 (ø 40) DM/h = 96,- DM/ha
Kartoffelernte	(Sammelroder)	560 - 740 (ø 650) DM/ha	620 - 720 (ø 670,-) DM/ha
Zuckerrübenernte	(Köpfroder + Blatt streuen)	510 - 680 (ø 595) DM/ha	650 - 800 (ø 725,-) DM/ha

1) CCM = Corn Cob Mix

Tabelle A III.1-3: **Leistungsklassen nach KTBL, ermittelt als Durchschnitt von 1986 bis 1988 und jährlicher Ertragszuwachs bis 2005**

	Ø Ertrag 1) 1986 – 1988	Leistungsklassen (Ø 1986 – 1988) 2) (dt / ha)					Ertragszuwachs pro Jahr3) (in % vom Ø Ertrag 1986-88)
	(dt / ha)	1	2	3	4	5	
W-Weizen	64,3	50,7 (79 %)	56,9 (88 %)	63,1 (98 %)	71,9 (112 %)	79,8 (124 %)	1,9
S-Weizen	49,9	39,1 (78 %)	45,4 (91 %)	50,1 (100 %)	55,2 (111 %)	62,6 (125 %)	1,5
Roggen	41,1	34,5 (84 %)	37,6 (91 %)	40,8 (99 %)	44,2 (108 %)	48,4 (118 %)	2,0
W-Gerste	53,3	43,3 (81 %)	47,8 (90 %)	53,0 (99 %)	58,1 (109 %)	65,8 (123 %)	1,7
S-Gerste	41,4	34,0 (82 %)	38,0 (92 %)	41,3 (100 %)	44,8 (108 %)	48,9 (118 %)	1,5
Hafer	43,9	36,5 (83 %)	40,4 (92 %)	43,4 (99 %)	47,5 (108 %	52,0 (118 %)	1,0
W-Menggetreide	45,3	37,2 (82 %)	41,5 (92 %)	45,0 (99 %)	49,3 (109 %)	55,2 (122 %)	1,5
S-Menggetreide	40,9	34,4 (84 %)	37,7 (92 %)	40,9 (100 %)	43,7 (107 %)	47,5 (116 %)	1,3
Kö-Mais	70,5	58,8 (83 %)	64,8 (92 %)	71,2 (101 %)	76,1 (108 %)	80,8 (115 %)	2,0
Futtererbsen	32,8	25,9 (79 %)	29,7 (91 %)	33,2 (101 %)	36,2 (110 %)	38,8 (118 %)	1,9
Ackerbohnen	36,9	29,0 (79 %)	32,9 (89 %)	36,0 (98 %)	39,3 (107 %)	44,0 (119 %)	1,7
Frühkartoffeln	285,9	207,9 (73 %)	251,6 (88 %)	290,2 (102 %)	317,0 (111 %)	357,9 (125 %)	1,6
Spätkartoffeln	359,7	267,2 (74 %)	314,1 (87 %)	359,8 (100 %)	406,9 (113 %)	446,1 (124 %)	1,8
Zuckerrüben	505,6	406,0 (80 %)	454,4 (90 %)	494,4 (98 %)	542,1 (107 %)	582,2 (115 %)	1,5
W-Raps	31,1	26,9 (86 %)	29,3 (94 %)	31,1 (100 %)	33,7 (108 %)	36,1 (116 %)	2,2
Ø Leistungsklasse		(80 %)	(91 %)	(100 %)	(109 %)	(120 %)	

1) Ermittelt nach BML (Hrsg.), Statistisches Jahrbuch 1989

2) Ermittelt nach KTBL (Hrsg.), Standarddeckungsbeitrage, verschiedene Jahrgänge

3) Eigene Annahmen auf der Basis von Expertenbefragungen

Tabelle A III.1-4: Ertragsentwicklung ausgewählter Kulturarten nach den Ergebnissen der Wertprüfungen (WP, Bundessortenamt) und der besonderen Ernteermittlung (BE, BML)

	Durchschnittsertrag (dt/ha)	Jährliche Mehrleistung (dt/ha)	ø Ertrag 1986 – 1988 (t/ha)	Ertragszuwachs in % vom ø Ertrag 1986 – 1988
W-Weizen (BE):				
1952 – 1969	33,2	0,79		
1952 – 1975	35,9	0,87		
1952 – 1981	38,0	0,85		
1970 – 1981	46,1	0,89		1,38 % } 1,91
1981 – 1989 1)	60,3	1,56	6,43	2,43 %
W-Gerste (BE):				
1952 – 1969	34,5	0,69		
1952 – 1975	37,0	0,78		
1952 – 1981	38,8	0,76		
1970 – 1981	41,1	1,10		2,06 % } 2,52
1981 – 1989 1)	53,7	1,59	5,33	2,98 %
W-Roggen (BE):				
1952 – 1969	27,3	0,48		
1952 – 1975	29,1	0,55		
1952 – 1981	30,3	0,54		
1970 – 1981	36,4	0,71		1,73 % } 1,96
1981 – 1989 1)	41,0	0,90	4,11	2,19 %
Kö-Mais (msp-sp.) (BE): 2)				
1952 – 1969	53,5	2,01		
1952 – 1975	59,5	1,96		
1952 – 1981	63,9	1,73		
1970 – 1981	79,4	1,15		1,63 % } 2,08
1981 – 1989 (BE) 1)	66,6	1,78	7,05	2,52 %
S-Kartoffeln (BE):				
1952 – 1969	244,8	4,55		
1952 – 1975	255,8	4,00		
1952 – 1981	260,6	3,12		
1970 – 1981	273,1	1,32		0,37 % } 1,8
1981 – 1989 1)	337,3	11,61	35,97	3,23 %
Zuckerrüben (WP):				
1952 – 1969	495,0	11,65		
1952 – 1975	548,6	7,48		
1952 – 1981	534,6	7,12		
1970 – 1981	588,3	8,62		1,70 % } 0,89
1981 – 1989 1)	508,5	0,35	50,56	0,07 %
W-Raps (WP):				
1948 – 1958	21,0	0,70		
1948 – 1981	25,0	0,43		
1967 – 1981	29,6	0,55		1,77 % } 2,61
1981 – 1989 (BE) 1)	29,2	1,07	3,11	3,44 %
Dauerwiesen/ Mähweiden (BE):				
1981 – 1989 1)	79,8	0,83	8,18	1,01 %

1) Eigene Berechnungen, angelehnt an Durchschnittserträge 1981 bis 1989

2) CCM (60 % TS, 30 % Spindelanteil) = Kö-Mais (86 % TS) x 1,72

Quellen: Schuster et al. 1982; BML (Hrsg.), Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, verschiedene Jahrgänge

Tabelle A III.1-4: Ertragsentwicklung ausgewählter Kulturarten nach den Ergebnissen der Wertprüfungen (WP, Bundessortenamt) und der besonderen Ernteermittlung (BE, BML)

– Fortsetzung –

	Durchschnittsertrag (dt/ha)	Jährliche Mehrleistung (dt/ha)	ø Ertrag 1986 – 1988 (t/ha)	Ertragszuwachs in % vom ø Ertrag 1986 – 1988
S-Weizen (BE):				
1952 – 1969	30,7	0,64		
1952 – 1975	33,2	0,75		
1952 – 1981	34,4	0,64		
1970 – 1981	43,5	0,28		0,56 % } 0,83
1981 – 1989 1)	48,7	0,55	4,99	1,10 %
S-Gerste (BE):				
1952 – 1969	28,6	0,54		
1952 – 1975	30,2	0,54		
1952 – 1981	31,1	0,47		
1970 – 1981	36,0	0,19		0,46 % } 0,73
1981 – 1989 1)	40,2	0,41	4,14	0,99 %
Hafer (BE):				
1952 – 1969	28,2	0,61		
1952 – 1975	30,3	0,66		
1952 – 1981	31,4	0,59		
1970 – 1981	35,9	0,65		1,48 % } 0,89
1981 – 1989	42,0	0,13	4,39	0,30 %
Silomais (WP, 30 % TS):				
1952 – 1969	403,3	9,80		
1952 – 1975	425,3	8,20		
1952 – 1981	445,0	7,50		
1970 – 1981	507,7	7,27		1,55 % } 0,85
1981 – 1989 1)	466,8	0,65	46,8	0,14 %
F-Kartoffeln (WP):				
1952 – 1969	338,0	5,88		
1952 – 1975	353,0	5,22		
1952 – 1981	369,8	5,54		
1970 – 1981	417,7	7,70		2,69 % } 2,53
1981 – 1989 1)	269,5	6,79	28,59	2,37 %
Futterrüben (WP, 15 % TS):				
1952 – 1969	760,0	19,6		
1952 – 1975	796,0	11,6		
1952 – 1981	838,0	15,6		
1970 – 1981	956,7	32,8		3,12 % } 1,7
1981 – 1989 1)	1016,8	3,17	104,21	0,30 %
W-Menggetreide (BE):				
1981 – 1989	44,4	0,79	4,53	1,74 %
S-Menggetreide (BE):				
1981 – 1989	39,4	0,39	4,09	0,95 %

Tabelle A III.1-5: **Ölreiche Pflanzen: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte**

	Ölreiche Pflanzen		
	W-Raps	**Sonnenblumen**	**Öllein**
STANDORTANFORDERUNGEN			
Klima:			
- Temperatur	mittel	mittel-hoch	gering/mittel
- Wasser	mittel(hoch)	mittel	mittel
Boden:			
- Bodenart	mittel/schwer	mittel	gering-mittel
- pH	neutral "guter Weizenboden"	neutral	leicht sauer/neutral
BEWIRTSCHAFTUNGS-ANFORDERUNGEN			
Fruchtfolge:			
- Vorfrucht	WG, W-Roggen	WW	Hafer/Getreide
- Nachfrucht	WW	WW	~
- Zwischenfruchtbau möglich	ja		(ja)
- Restriktionen	≤ 33 % (25 %) siehe Kreuzblütler, Sonnenblume	≤ 25 % siehe Sclerotinia Botrytis	≤ 16 - 20 % siehe Fusarien, Sclerotinia
Saatzeitpunkt	Ende August/September	April	Ende März/Anfang April
Bodenbearbeitung/Pflege:			
Anzahl: zur Saat	2-(3)	2	2-(3)
Anzahl: zur Pflege	-	1-(2)	(1)
Konservierende Bodenbearbeitung (z.B. Mulch-/Fräsaat)	nein	(möglich?)	nein
Nährstoffbedarf/Düngung:			
Nährstoffbedarf: P, K:	mittel-hoch	mittel-hoch	(gering)-mittel
Nährstoffbedarf: N:	hoch	gering-mittel	gering (70-90 kg/ha)
Nährstoffentzug in % des Bedarfs: N:	40-60 %	50-70 %	50-70 %
Gülleeinsatz/Menge	möglich(hoch)	(möglich)	nein
Anzahl der Düngeeinsätze:	2-(3)	1-(2)	1-(2)
Pestizideinsatz:			
Herbizid	1-(2)	1	1-(2)
Fungizid	1	-	(Beizung)
Insektizid	1	(1)	-
Sonstige	-	-	-
Anzahl der Einsätze	3-(4)	1-(2)	1
Ernte:			
Zeitpunkt	Juli/(August)	September (Oktober)	August/September
Erntemenge (FM) (dt/ha)	25-45	25-40	15-30
Insgesamt:			
AKh-Bedarf/ha (2 ha-Parz.)	11-14	10-13	8-11
Extensive Bewirtschaftung möglich?	(ja)-nein	(ja)	ja
UMWELTKENNWERTE, abgeleitet			
Bodenbedeckung:			
- Zeitpunkt (Monat)	11	5/6	5/6
- Dauer (Monate)	8	3-4	2-3
Erosionsanfälligkeit	-	gering(-mittel)	gering
Bodendrucklasten	~	~	~
Gefahr des N-Austrages	hoch	mittel	gering
Humusbilanz	+	+	+
Neue/wenig angebaute Pflanzenart	nein	neu	wenig angebaut

FM = Frischmasse

Tabelle A III.1-6: **Stärke- und Zuckerreiche Pflanzen: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte**

	Stärke- und Zuckerreiche Pflanzen			
	W-Weizen	**Kö-Mais**	**S-Kartoffeln**	**Zuckerrüben**
STANDORTANFORDERUNGEN				
Klima:				
- Temperatur	mittel	hoch (> 10 °C)	gering	mittel
- Wasser	mittel (Kapazität gleichbleibend gut)	mittel/hoch (gute Verteilung)	geringer als bei ZR	hoch
Boden:				
- Bodenart	mittel/schwer	mittel-schwer	(lS-sL) leichte Böden	mittel/schwer
- pH	neutral	neutral	≤ 6,5, da Schorfproblem	tiefgründig neutral
BEWIRTSCHAFTUNGS-ANFORDERUNGEN				
Fruchtfolge:				
- Vorfrucht	Raps, ZR, S-Mais		Getreide	WW
- Nachfrucht	WG	WW	z.B. WW	WW
- Zwischenfruchtbau	(möglich)	nein	nein	nein
- Restriktionen	(≤ 33 %), Halmbruch (Schwarzbeinigkeit)	≤ 66 %	≤ 25 - 33 % Nematoden	≤ 25 % (Kreuzblütler) Nematoden
Saat-/Pflanzzeitpunkt	Oktober - (November)	April	(Februar)/März	Ende März/ Mitte April
Bodenbearbeitung/Pflege:				
Anzahl: zur Saat	2	2	2-(3)	2-3
Anzahl: zur Pflege	-	2-(3)	2	1-2
Konservierende Bodenbearbeitung (z.B. Mulch-/Frässaat)	ja	(ja)	nein	nein
Nährstoffbedarf/Düngung:				
Nährstoffbedarf: P, K:	mittel(hoch)	mittel(hoch)	hoch	hoch
Nährstoffbedarf: N:	hoch - 180-220	mittel-hoch	mittel-(hoch)	mittel-hoch
Nährstoffentzug in % des Bedarfs: N:	ca. 60-70 %	60-70 %	50-70 %	30-50 %
Gülleeinsatz/Menge	möglich(hoch)	hoch	niedrig	möglich (mittel)
Anzahl der Düngeeinsätze:	3-(4)	2-(3)	2	2-3
Pestizideinsatz:				
Herbizid	1-(2)	1-(2)	1	1-(2)
Fungizid	1	-	1-(2)	(1)
Insektizid	1	(1)	1-(2)	1-(2)
Sonstige	1-(2)	-	-	-
Anzahl der Einsätze	4-(6)	1-(3)	3-(5)	2-3(4)
Ernte:				
Zeitpunkt	Juli/August	Oktober/Nov.	(September)/Oktober	Oktober/November
Erntemenge (FM) (dt/ha)	45-90	50-95	300-600	400-800
Insgesamt:				
AKh-Bedarf/ha (2 ha-Parz.)	11-14	13-16	30-50	25-40
Extensive Bewirtschaftung möglich?	ja	nein	nein	nein
UMWELTKENNWERTE, abgeleitet				
Bodenbedeckung:				
- Zeitpunkt (Monat)	11	7	6	6/7
- Dauer (Monate)	8	3-(4)	(3)-4	4
Erosionsanfälligkeit	-	hoch	hoch	hoch
Bodendrucklasten	~	mittel-hoch	hoch	hoch
Gefahr des N-Austrages	mittel	hoch	hoch	mittel-hoch
Humusbilanz	+/(-)	+	negativ	negativ
Neue/wenig angebaute Pflanzenart	nein	nein	nein	nein

Tabelle A III.1-7: **Lignocellulose-Träger: Kennwerte zu den Standort- und Bewirtschaftungsanforderungen und daraus abgeleitete Umweltkennwerte**

	Lignocellulose-Träger		
	Eingesäte Ackerfläche (Heu)	Dauergrünland (Heu)	Miscanthus
STANDORTANFORDERUNGEN			
Klima:			
- Temperatur	gering/mittel	gering/mittel	mittel-hoch
- Wasser	mittel	gering-hoch	(mittel)-hoch
Boden:			
- Bodenart	mittel	gering-gut	mittel-schwer/ humos-anmoorig
- pH	neutral	-	~
BEWIRTSCHAFTUNGS-ANFORDERUNGEN			
Fruchtfolge:			
- Vorfrucht	-	-	-
- Nachfrucht	-	-	-
- Zwischenfruchtbau	-	-	-
- Restriktionen	-	-	?
Saatzeitpunkt	indifferent (März-Oktober)	-	-
Bodenbearbeitung/Pflege:			
Anzahl: zur Saat	1-2 (3)	-	2-(3)
Anzahl: zur Pflege		1	(1)
Konservierende Bodenbearbeitung möglich (z.B. Mulch-/Frässaat)	-	-	-
Nährstoffbedarf/Düngung:			
Nährstoffbedarf: P, K:	mittel-hoch	gering-hoch	mittel-hoch
Nährstoffbedarf: N:	hoch	mittel-hoch	mittel
Nährstoffentzug in % des Bedarfs: N:	60-(80) %	60-(80) %	60-80 %
Gülleeinsatz/Menge	hoch	hoch	möglich(hoch)
Anzahl der Düngeeinsätze:	2-3 (4)	2-3 (4)	1-(2)
Pestizideinsatz:			
Herbizid	(1)	-	(1)
Fungizid	-	-	-
Insektizid	-	-	-
Sonstige	-	-	-
Anzahl der Einsätze	(1)	-	(1)
Ernte:			
Zeitpunkt	Mai (Juni)/ September	Mai (Juni)/ September	Dezember-März
Erntemenge (FM) (dt/ha)	100-200	80-160	150-300
Insgesamt:			
AKh-Bedarf/ha (2 ha-Parz.)	17-23	15-20	8-13
Extensive Bewirtschaftung möglich?	ja	ja	(ja)
UMWELTKENNWERTE, abgeleitet			
Bodenbedeckung:			
- Zeitpunkt (Monat)	ganzjährig	ganzjährig	5/6
- Dauer (Monate)	ganzjährig	ganzjährig	6-8
Erosionsanfälligkeit	-	-	gering
Bodendrucklasten	-	-	mittel-hoch
Gefahr des N-Austrages	gering	gering	gering
Humusbilanz	+	+	+
Neue/wenig angebaute Pflanzenart	-	-	neu

FM = Frischmasse

Tabelle AIII.1-8a: Produktionsverfahren W-Raps zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 10-Jan-93

MERKMALE W-RAPS HOHE INTENSITÄT:	1987 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)
	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	980,00			450,00		
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	3,11					
Ertrag :KORN (")	3,11	3,61	2,67	4,25	4,95	3,65
	3047,80	3535,45	2621,11	1914,23	2225,50	1641,60
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	2,20					
Relat. Durchschn. : KTBL-L5		1,16	0,86		1,16	0,86
TS-Gehalt (% FM)	91,00					
Rohstoffgehalt (% TS)	44,50					
Ausbeute Öl (%-Punkte)	42,00					
Ölertrag (extr.) (t/ha)	1,19	1,38	1,02	1,63	1,89	1,39
Ölertrag (extr.) (l/ha)	1292,00	1498,72	1111,12	1767,19	2054,56	1515,50
Ho (GJ/t TS)	26,90					
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	3,50			3,10		
Ertrag :STROH (t FM/ha)	10,80	12,63	9,36	13,19	15,33	11,31
TS-Gehalt (% FM)	45,00					
Ho (GJ/t TS)	18,60					
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	7,73	8,96	6,65	9,81	11,40	8,41
AUFWAND						
Saatgut-Aufwand /ha	5,00	50,00				
Energie (GJ/ha)	0,03					
Düngeraufwand /ha						
N	180,00	196,57	165,50	194,70	216,22	175,60
P2O5	95,00	110,20	81,70	73,12	85,01	62,70
K2O	180,00	208,80	154,80	48,39	56,26	41,50
CaO	400,00					
Summe Düngerkosten		471,35	523,59	425,64	410,84	455,52	371,42
Energie (GJ/ha)	11,32	12,46	10,31	10,81	11,99	9,77
PSM-Aufwand /ha						
Herbizide	2,50	110,00				
Fungizide	1,20	60,00				
Insektizide	2,00	170,00				
Sonstiges						
Summe PSM-Kosten		340,00	394,40	292,40	408,00	473,28	350,88
Energie (GJ/ha)	0,66	0,76	0,56	0,66	0,76	0,56
Variable Masch.-Kosten		181,00	181,71	179,68	175,00	175,97	174,15
dv.Ernte (DM/ha)		54,00			57,00		
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,42			1,41		
Schlepper-h /ha Sh1	5,30	5,30	5,30	3,90	3,90	3,90
Sh2	4,30	4,33	4,24	2,40	2,44	2,37
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00			0,00		
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07			0,05		
Mähdrescher-h /ha	1,70			1,20		
Treibstoffverbrauch (l/ha)	81,37	81,65	80,84	73,53	73,86	73,24
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,63	1,63	1,62	1,47	1,48	1,46
Energie (GJ/ha)	2,92	2,93	2,90	2,64	2,65	2,63
Lohntrocknung						
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	86,00					
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00					
Trocknungskosten		115,07	133,48	98,96	166,96	194,11	143,18
Energie (GJ/ha)	0,90	1,05	0,78	1,24	1,44	1,06
Versicherung	20,00	60,96	70,71	52,42	38,28	44,51	32,83
Zinssatz f. Umlaufkap.		45,97	50,85	41,67	45,09	49,97	40,80
Bindungsdauer (Monate)	10,00					
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1164,35	1404,34	1140,77	1254,18	1443,36	1163,26
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1703,45	2130,71	1480,34	620,05	782,14	478,34
AKh-Bedarf pro ha	11,40	11,46	11,35	7,50	7,57	7,57
dv.Ernte (AKh/ha)	1,80			1,20		
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,12			0,10		
Lohnansatz für AKh		228,00	229,24	226,91	195,00	196,79	196,79
Pachtansatz		500,00	600,00	400,00	350,00	420,00	280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00	650,00	650,00	520,00	520,00	520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2642,35	2883,98	2417,68	2359,18	2580,15	2160,05
" / t Hauptprodukt		849,63	799,42	903,94	554,60	521,71	592,12
" / t Öl (extr.)		2223,00	2091,62	2365,10	1451,07	1365,02	1549,24
" / l Öl (extr.)		2,05	1,92	2,18	1,33	1,26	1,43
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	15,83	17,22	14,60	15,37	16,87	14,05
" / t Öl (extr.)	13,32	12,49	14,28	9,46	8,92	10,08
" / l Öl (extr.) (MJ/l)	12,25	11,49	13,14	8,70	8,21	9,27
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE						
N :	36,60					
P2O5:	17,00					
K2O :	10,00					
MgO :	5,00					
CaO :	4,00					
Düngervert (DM/t TS)		66,76			71,84	
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,95					
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Topt	0,58	0,61	0,54	0,73	0,76	0,69
N-Preis (DM/kg)	1,11			1,22		
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		196,07			174,27	
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		783,93			275,73	
Verhältnis Yo : Ymax (1988)	0,44					
N-ERTRAGSFUNKTION:						
Yo	1,37	1,59	1,18	1,37	1,59	1,18
b	0,01788	0,01908	0,01663	0,02516	0,02658	0,02367
c	-4,6E-05	-4,5E-05	-4,6E-05	-5,3E-05	-5,1E-05	-5,5E-05
Ymax	3,12	3,62	2,69	4,35	5,04	3,74
Nmax	195,48	212,33	180,90	236,28	259,44	216,01
N-Düngereffiz. Ymax	0,53	0,57	0,49	0,61	0,65	0,58
Yopt	3,11	3,61	2,67	4,25	4,95	3,65
Nopt	180,00	196,57	165,50	194,70	216,22	175,60
N-Düngereffiz. Topt	0,58	0,61	0,54	0,73	0,76	0,69
NEG-INTENSITÄT: FAKTOR:	0,80	Höhe der N-Düngung = 80 % des N-Entzuges				
Erzeugerpreis (DM/t)				545,00		
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		218,84			214,23	
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		761,16			330,77	
N (kg/ha)	82,87	96,12	71,26	113,34	131,77	97,20
Y (t/ha)	2,54	3,01	2,13	3,54	4,21	2,96
N-Düngereffiz.	1,02	1,04	1,00	1,04	1,06	1,02
N-ABGABE (300%):						
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00					
Erzeugerpreis (DM/t)				545,00		
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)					214,23	
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)					330,77	
Nopt (kg/ha)	133,56	149,31	119,30	97,63	115,33	81,26
Topt (t/ha)	2,95	3,44	2,51	3,32	3,98	2,74
N-Düngereffiz.	0,73	0,77	0,70	1,13	1,15	1,12

Tabelle AIII.1-8b: Produktionsverfahren W-Raps zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 10-Jan-93

MERKMALE W-RAPS N-ABGABE:	1987 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	980,00						545,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	3,11											
Ertrag :KORN (")	2,95	2886,71	3,44	3371,48	2,51	2460,86	3,32	1810,63	3,98	2167,65	2,74	1494,72
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	2,20											
Relat. Durchschn. : KTBL-L5												
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Rohstoffgehalt (% TS)	44,50											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	42,00											
Ölertrag (extr.) (t/ha)	1,13		1,31		0,96		1,27		1,52		1,05	
Ölertrag (extr.) (l/ha)	1223,71		1429,21		1043,19		1380,18		1652,32		1139,38	
Ho (GJ/t TS)	26,90											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	3,50						3,10					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	10,31		12,04		8,79		10,30		12,33		8,50	
TS-Gehalt (% FM)	45,00											
Ho (GJ/t TS)	18,60											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	7,32		8,55		6,24		7,66		9,17		6,32	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	5,00	50,00										
Energie (GJ/ha)	0,03											
Düngeraufwand /ha												
N	133,56		149,31		119,30		97,63		115,33		81,26	
P2O5	89,98		105,09		76,70		57,11		68,37		47,14	
K2O	170,49		199,12		145,34		37,79		45,24		31,20	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		853,39		956,94		760,52		625,16		729,04		529,81
Energie (GJ/ha)	9,06		10,16		8,08		6,10		7,09		5,19	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		322,03		376,11		274,52		446,11		534,07		368,27
Energie (GJ/ha)	0,62		0,73		0,53		0,70		0,84		0,58	
Variable Masch.-Kosten		180,77		181,47		180,15		173,69		174,61		172,87
dv.Ernte (DM/ha)		54,00						57,00				
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,42						1,41				
Schlepper-h /ha Sh1	5,30		5,30		5,30		3,90		3,90		3,90	
" Sh2	4,29		4,32		4,26		2,34		2,38		2,30	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07						0,05					
Mähdrescher-h /ha	1,70						1,20					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	81,28		81,56		81,03		72,94		73,35		72,57	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,63		1,63		1,62		1,46		1,47		1,45	
Energie (GJ/ha)	2,91		2,92		2,91		2,62		2,63		2,60	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	86,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		108,99		127,29		92,91		130,40		156,11		107,65
Energie (GJ/ha)	0,86		1,00		0,73		0,97		1,16		0,80	
Versicherung	20,00	57,73		67,43		49,22		36,21		43,35		29,89
Zinsansatz f. Umlaufkap.		61,00		68,00		54,77		55,47		63,79		47,95
Bindungsdauer (Monate)	10,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1633,91		1827,23		1462,08		1517,03		1750,98		1306,45
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1252,80		1544,25		998,77		293,60		416,66		188,28
AKh-Bedarf pro ha	11,38		11,44		11,33		7,41		7,47		7,35	
dv.Ernte (AKh/ha)	1,80						1,20					
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,12						0,10					
Lohnansatz für AKh		227,59		228,82		226,50		192,60		194,29		191,10
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (-abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2761,50		3056,06		2488,59		2279,63		2585,27		1997,55
" / t Hauptprodukt		937,49		888,32		991,04		686,17		650,00		728,34
" / t Öl (extr.)		2452,88		2324,22		2593,80		1795,31		1700,68		1905,65
" / l Öl (extr.)		2,26		2,14		2,39		1,65		1,56		1,75
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	13,48		14,84		12,28		10,41		11,74		9,20	
" / t Öl (extr.)	11,98		11,28		12,79		8,20		7,73		8,78	
" / l Öl (extr.) (MJ/l)	11,02		10,38		11,77		7,54		7,11		8,07	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	36,60											
P2O5:	17,00											
K2O :	10,00											
MgO :	5,00											
CaO :	4,00											
Düngerwert (DM/t TS)		188,63						205,90				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,95											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Topt	0,73		0,77		0,70		1,13		1,15		1,12	
STROH/KRAUT												
N :	8,00											
P2O5:	3,00											
K2O :	14,00											
MgO :	2,00											
CaO :	20,00											
Düngerwert (DM/t TS)		50,59						54,32				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,54											

Tabelle AIII.1-9a: Produktionsverfahren Sonnenblumen zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 10-Jan-93

MERKMALE SONNENBLUMEN HOHE INTENSITÄT:	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	1070,00						470,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	2,90											
Ertrag :ÖKÄM (")	2,90	3103,00	3,48	3723,60	2,32	2482,40	4,03	1896,11	4,84	2275,37	3,23	1516,86
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	2,20											
Relat. Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80				1,20		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Rohstoffgehalt (% TS)	44,00											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	42,00											
Ölertrag (extr.) (t/ha)	1,11		1,33		0,89		1,54		1,85		1,23	
Ölertrag (extr.) (l/ha)	1204,76		1445,71		963,81		1675,98		2011,21		1340,76	
Ho (GJ/t TS)												
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	3,40						2,50					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	9,86		11,83		7,89		10,09		12,10		8,07	
TS-Gehalt (% FM)	45,00											
Ho (GJ/t TS)												
Ertrag :INSGESAMT (t FM/ha)	7,08		8,49		5,66		8,21		9,85		6,57	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	6,00	240,00					6,00	102,00				
Energie (GJ/ha)	0,03											
Düngeraufwand /ha												
N	80,00		96,10		63,80		106,21		127,20		85,21	
P2O5	80,00		96,00		64,00		35,49		42,59		28,39	
K2O	180,00		216,00		144,00		107,84		129,41		86,27	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		344,00		401,03		286,97		295,20		341,94		248,45
Energie (GJ/ha)	6,56		7,74		5,38		6,77		7,96		5,57	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	2,00	120,00										
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		120,00		144,00		96,00		144,00		172,80		115,20
Energie (GJ/ha)	0,23		0,28		0,18		0,23		0,28		0,18	
Variable Masch.-Kosten		213,00		213,96		211,27		205,00		206,19		203,81
dv.Ernte (DM/ha)		54,00						57,00				
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,49						1,48				
Schlepper-h /ha Sh1	5,00		5,00		5,00		3,70		3,70		3,70	
" Sh2	4,50		4,54		4,42		3,40		3,44		3,36	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07						0,05					
Mähdrescher-h /ha	1,50						1,20					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	79,15		79,50		78,46		81,67		82,07		81,27	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,58		1,59		1,57		1,63		1,64		1,63	
Energie (GJ/ha)	2,84		2,85		2,81		2,93		2,94		2,91	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	82,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		142,10		170,52		113,68		214,02		256,83		171,21
Energie (GJ/ha)	1,59		1,91		1,27		2,21		2,66		1,77	
Versicherung	28,00	62,06		74,47		49,65		37,92		45,51		30,34
Zinssatz f. Umlaufkap.		32,64		35,78		29,46		26,14		28,95		23,33
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1153,80		1279,66		1027,04		1024,27		1154,21		894,34
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1949,20		2443,94		1455,36		871,84		1121,16		622,52
AKh-Bedarf pro ha	11,00		11,08		10,92		8,30		8,38		8,38	
dv.Ernte (AKh/ha)	1,50						1,20					
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,13						0,10					
Lohnansatz für AKh		220,00		221,52		218,48		215,80		217,98		217,98
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2523,80		2751,18		2295,52		2110,07		2312,20		1912,32
" / t Hauptprodukt		870,27		790,57		989,45		523,04		477,61		592,54
" / t Öl (extr.)		2277,01		2068,47		2588,82		1368,49		1249,62		1550,33
" / l Öl (extr.)		2,09		1,90		2,38		1,26		1,15		1,43
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	11,25		12,81		9,69		12,17		13,87		10,47	
" / t Öl (extr.)	10,15		9,63		10,93		7,89		7,50		8,49	
" / l Öl (extr.) (MJ/l)	9,34		8,86		10,05		7,26		6,90		7,81	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	30,70											
P2O5:	8,70											
K2O :	23,50	K-Gehalt ist noch identisch mit Rapssaat										
MgO :	4,00	Mg-Gehalt " "										
CaO :	3,90											
Düngerwert (DM/t TS)		59,05						62,97				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,68											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Topt	1,01		1,01		1,02		1,06		1,06		1,06	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		137,35						123,62				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		932,65						346,38				
Verhältnis Yo : Ymax (1987)	0,44											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	1,28		1,53		1,02		1,28		1,53		1,02	
b	0,03939		0,03931		0,03952		0,04840		0,04851		0,04825	
c	-0,00024		-0,0002		-0,0003		-2,1E-04		-1,8E-04		-2,6E-04	
Ymax	2,90		3,48		2,32		4,05		4,86		3,24	
Nmax	82,49		99,21		65,78		114,55		137,17		91,93	
N-Düngereffiz. Ymax	0,98		0,98		0,99		0,99		0,99		0,98	
Topt	2,90		3,48		2,32		4,03		4,84		3,23	
Nopt	80,00		96,20		63,80		106,21		127,20		85,21	
N-Düngereffiz. Topt	1,01		1,01		1,02		1,06		1,06		1,06	
WSG-INTENSITÄT: FAKTOR:	0,80	Höhe der N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							570,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		145,90						138,37				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		924,10						431,63				
N (kg/ha)	64,81		77,78		51,85		90,16		108,20		72,13	
Y (t/ha)	2,83		3,39		2,26		3,92		4,71		3,14	
N-Düngereffiz.	1,22		1,22		1,22		1,22		1,22		1,21	
N-ABGABE (300%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							570,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								138,37				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								431,63				
Nopt (kg/ha)	72,52		87,19		57,85		87,77		105,17		70,37	
Topt (t/ha)	2,88		3,45		2,30		3,90		4,68		3,12	
N-Düngereffiz.	1,11		1,11		1,11		1,24		1,24		1,24	

Tabelle AIII.1-9b: Produktionsverfahren Sonnenblumen zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 10-Jan-93

MERKMALE SONNENBLUMEN N-ABGABE:	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	1070,00						570,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	3,11											
Ertrag :KORN (")	2,88	3079,20	3,45	3694,91	2,30	2463,48	3,90	2221,57	4,68	2666,31	3,12	1776,82
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relat. Durchschn. : KTBL-L5												
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Rohstoffgehalt (% TS)	44,00											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	42,00											
Ölertrag (extr.) (t/ha)	1,10		1,32		0,88		1,49		1,79		1,19	
Ölertrag (extr.) (l/ha)	1195,52		1434,57		956,46		1619,15		1943,30		1295,01	
Ho (GJ/t TS)	26,90											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	3,40						2,50					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	9,78		11,74		7,83		9,74		11,69		7,79	
TS-Gehalt (% FM)	45,00											
Ho (GJ/t TS)												
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	7,02		8,43		5,62		7,93		9,52		6,34	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	6,00	240,00					6,00	102,00				
Energie (GJ/ha)	0,03											
Düngeraufwand /ha												
N	72,52		87,19		57,85		87,77		105,17		70,37	
P2O5	79,39		95,26		63,51		34,28		41,15		27,42	
K2O	178,62		214,34		142,90		104,18		125,04		83,33	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		575,71		679,57		471,84		590,62		696,01		485,22
Energie (GJ/ha)	6,20		7,30		5,10		5,88		6,90		4,85	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Pungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		119,08		142,89		95,27		194,76		233,75		155,77
Energie (GJ/ha)	0,23		0,27		0,18		0,31		0,37		0,25	
Variable Masch.-Kosten		212,97		213,82		212,11		204,80		205,95		203,65
dv.Ernte (DM/ha)		54,00						57,00				
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,49						1,48				
Schlepper-h /ha Sh1	5,00		5,00		5,00		3,70		3,70		3,70	
Sh2	4,50		4,54		4,46		3,39		3,45		3,33	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07						0,05					
Mähdrescher-h /ha	1,50						1,20					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	79,14		79,48		78,79		81,58		82,10		81,06	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,58		1,59		1,58		1,63		1,64		1,62	
Energie (GJ/ha)	2,84		2,85		2,83		2,93		2,94		2,91	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	82,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		141,01		169,21		112,81		206,76		248,15		165,37
Energie (GJ/ha)	1,58		1,90		1,26		2,14		2,57		1,71	
Versicherung	20,00	61,58		73,90		49,27		44,43		53,33		35,54
Zinsansatz f. Umlaufkap.		40,31		45,01		35,62		37,89		43,03		32,74
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1390,66		1564,39		1216,92		1381,26		1582,23		1180,28
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1688,54		2130,52		1246,56		840,31		1084,08		596,54
AKh-Bedarf pro ha	11,00		11,07		10,92		8,29		8,37		8,20	
dv.Ernte (AKh/ha)	1,50						1,20					
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,13						0,10					
Lohnansatz für AKh		219,94		221,45		218,43		215,43		217,54		213,32
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (-abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2510,60		2785,84		2235,36		2166,69		2439,78		1893,60
" / t Hauptprodukt		872,42		806,74		970,92		555,92		521,57		607,46
" / t Öl (extr.)		2282,62		2110,79		2540,33		1454,52		1364,65		1589,38
" / l Öl (extr.)		2,10		1,94		2,34		1,34		1,26		1,46
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	10,88		12,36		9,40		11,29		12,82		9,75	
" / t Öl (extr.)	9,89		9,36		10,69		7,58		7,17		8,19	
" / l Öl (extr.) (MJ/l)	9,10		8,61		9,83		6,97		6,60		7,53	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	30,70											
P2O5:	8,70											
K2O :	23,50	K-Gehalt ist noch identisch mit Rapssaat										
MgO :	4,00	Mg-Gehalt " "										
CaO :	3,90											
Düngerwert (DM/t TS)		161,28						175,43				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,68											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Yopt	1,11		1,11		1,11		1,24		1,24		1,24	
STROH/KRAUT												
N :	5,80											
P2O5:	2,50	mit Ausnahme von N sind alle Nährstoffgehalte an Raps angelehnt										
K2O :	28,00											
MgO :	5,00											
CaO :	19,00											
Düngerwert (DM/t TS)		49,13						51,85				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,53											

Tabelle AIII.1-10o: Produktionsverfahren ÖLLEIN zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 12-Jan-93

MERKMALE ÖLLEIN HOHE INTENSITÄT:	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
EG-Flächenbeihilfe (DM/t)	1045,00	1776,50					keim Ansatz					
Erzeugerpreis (DM/t)	600,00						500,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	1,70											
Ertrag :KORN (")	1,70	1020,00	2,04	1224,00	1,36	816,00	1,97	983,76	2,36	1180,29	1,57	787,22
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	0,90											
Relat. Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80				1,20		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Rohstoffgehalt (% TS)	40,00											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	38,00											
Ölertrag (extr.) (t/ha)	0,59		0,71		0,47		0,68		0,82		0,54	
Ölertrag (extr.) (l/ha)	638,98		766,77		511,18		739,53		887,27		591,79	
Ho (GJ/t TS)												
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,80						1,60					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	3,06		3,67		2,45		3,15		3,78		2,52	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)												
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	4,18		5,01		3,34		4,50		5,40		3,60	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	80,00	280,00					80,00	120,00				
Energie (GJ/ha)	0,46											
Düngeraufwand /ha												
N	50,00		62,28		37,72		58,01		70,96		45,05	
P2O5	55,00		66,00		44,00		24,27		29,12		19,42	
K2O	135,00		162,00		108,00		21,49		25,78		17,19	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		256,45		298,27		214,63		171,63		195,59		147,66
Energie " (GJ/ha)	4,59		5,46		3,71		3,81		4,48		3,13	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	3,00	83,00										
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		83,00		99,60		66,40		99,60		119,52		79,68
Energie (GJ/ha)	0,35		0,41		0,28		0,35		0,41		0,28	
Variable Masch.-Kosten		170,00		170,48		169,04		173,00		173,55		172,45
dv.Ernte (DM/ha)		64,00						68,00				
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,42						1,41				
Schlepper-h /ha Sh1	2,30		2,30		2,30		2,00		2,00		2,00	
" Sh2	4,50		4,52		4,45		3,30		3,32		3,28	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07						0,05					
Mähdrescher-h /ha	2,00						1,50					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	73,72		73,91		73,33		76,62		76,81		76,43	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,47		1,48		1,47		1,53		1,54		1,53	
Energie (GJ/ha)	2,64		2,65		2,63		2,75		2,75		2,74	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	86,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		62,90		75,48		50,32		77,23		92,65		61,80
Energie (GJ/ha)	0,49		0,59		0,40		0,57		0,69		0,46	
Versicherung	20,00	20,40		24,48		16,32		19,68		23,61		15,74
Zinsansatz f. Umlaufkap.		20,25		21,82		18,66		14,60		15,81		13,39
Bindungsdauer (Monate)	6,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		893,00		970,14		815,36		675,73		740,73		610,72
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1903,50		2030,36		1776,50		308,03		439,56		176,51
AKh-Bedarf pro ha	8,80		8,84		8,76		6,80		6,84		6,84	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,00						1,50					
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,12						0,10					
Lohnansatz für AKh		176,00		176,85		175,15		176,80		177,81		177,81
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2219,00		2396,99		2040,51		1722,53		1858,55		1588,53
" / t Hauptprodukt		1305,29		1174,99		1500,38		875,48		787,33		1008,95
" / t öl (extr.)		3774,70		3397,90		4338,86		2531,76		2276,82		2917,72
" / l öl (extr.)		3,47		3,13		3,99		2,33		2,09		2,68
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	8,53		9,58		7,47		7,93		8,80		7,06	
" / t öl (extr.)	14,50		13,58		15,88		11,65		10,78		12,96	
" / l öl (extr.) (MJ/l)	13,34		12,49		14,61		10,72		9,91		11,93	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	39,70											
P2O5:	12,20											
K2O :	9,60											
MgO :	9,30											
CaO :	3,90											
Düngerwert (DM/t TS)		65,57						70,71				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	2,03											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Topt	1,23		1,18		1,30		1,23		1,20		1,26	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		119,40						122,13				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		480,60						377,87				
Verhältnis Yo : Ymax (1987)	0,44											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	0,75		0,90		0,60		0,75		0,90		0,60	
b	0,03570		0,03431		0,03800		0,03875		0,03794		0,04003	
c	-0,00033		-0,00026		-0,00047		-1,1E-04		-2,4E-04		-4,1E-04	
Ymax	1,70		2,05		1,36		1,98		2,37		1,58	
Nmax	53,46		66,78		40,16		63,29		77,56		49,01	
N-Düngereffiz. Ymax	1,15		1,11		1,23		1,13		1,10		1,17	
Yopt	1,70		2,04		1,36		1,93		1,36		1,57	
Nopt	50,00		62,28		37,72		58,01		70,96		45,05	
N-Düngereffiz. Yopt	1,23		1,18		1,30		1,23		1,20		1,26	
WSG-INTENSITÄT: FAKTOR:	0,80	Höhe der N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							600,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		129,41						142,88				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		470,59						457,12				
N (kg/ha)	49,15		58,96		39,31		56,86		68,22		45,50	
Y (t/ha)	1,70		2,03		1,36		1,96		2,35		1,58	
N-Düngereffiz.	1,25		1,24		1,25		1,25		1,24		1,25	
N-ABGABE (100%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							600,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								142,88				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								457,12				
Nopt (kg/ha)	39,62		48,80		30,39		45,84		55,72		35,93	
Yopt (t/ha)	1,64		1,96		1,32		1,88		2,25		1,51	
N-Düngereffiz.	1,50		1,45		1,57		1,48		1,46		1,52	

Tabelle AIII.1-10b: Produktionsverfahren ÖLLEIN zur Ölgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 12-Jan-93

MERKMALE ÖLLEIN N-ABGABE:	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
EG-Flächenbeihilfe (DM/t)	1045,00	1713,90					kein Ansatz					
Erzeugerpreis (DM/t)	600,00						600,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	1,70											
Ertrag :KORN (")	1,64	984,05	1,96	1177,27	1,32	790,63	1,88	1129,70	2,25	1352,75	1,51	906,58
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relat. Durchschn. : KTBL-L5												
TS-Gehalt (% FM)	91,00											
Rohstoffgehalt (% TS)	40,00											
Ausbeute Öl (%-Punkte)	38,00											
Ölertrag (extr.) (t/ha)	0,57		0,68		0,46		0,65		0,78		0,52	
Ölertrag (extr.) (l/ha)	616,46		737,50		495,29		707,70		847,43		567,93	
Ho (GJ/t TS)												
Verhältnis Haupt*:Nebenprod.	1,80						1,60					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	2,95		3,53		2,37		3,01		3,61		2,42	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)												
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	4,03		4,82		3,24		4,30		5,15		3,45	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	80,00	280,00					80,00	120,00				
Energie (GJ/ha)	0,46											
Düngeraufwand /ha												
N	39,62		48,80		30,39		45,84		55,72		35,93	
P2O5	53,06		63,48		42,63		23,23		27,81		18,64	
K2O	130,24		155,82		104,64		20,56		24,62		16,50	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		371,92		439,34		304,21		322,92		378,91		266,82
Energie (GJ/ha)	4,05		4,77		3,33		3,23		3,76		2,69	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		80,08		95,80		64,34		133,44		159,78		107,08
Energie (GJ/ha)	0,33		0,40		0,27		0,38		0,46		0,31	
Variable Masch.-Kosten		169,92		170,37		169,46		172,88		173,40		172,36
dv.Ernte (DM/ha)		64,00						68,00				
dv.Transport (DM/tFM) 91%TS		1,42						1,41				
Schlepper-h /ha Sh1	2,30		2,30		2,30		2,00		2,00		2,00	
" Sh2	4,50		4,52		4,47		3,29		3,32		3,27	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM) 91%TS	0,07						0,05					
Mähdrescher-h /ha	2,00						1,50					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	73,69		73,67		73,50		76,57		76,80		76,33	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,47		1,48		1,47		1,53		1,54		1,53	
Energie (GJ/ha)	2,64		2,65		2,64		2,75		2,75		2,74	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	86,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	91,00											
Trocknungskosten		60,68		72,60		48,76		73,90		88,49		59,31
Energie (GJ/ha)	0,48		0,57		0,38		0,55		0,66		0,44	
Versicherung	20,00	19,68		23,55		15,81		22,59		27,05		18,13
Zinsansatz f. Umlaufkap.		23,04		25,23		20,85		19,30		21,48		17,11
Bindungsdauer (Monate)	6,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1005,31		1106,88		903,41		865,03		969,12		760,80
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		-21,26		70,40		-112,78		264,67		383,62		145,78
AKh-Bedarf pro ha	8,79		8,83		8,75		6,79		6,83		6,75	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,00						1,50					
dv.Transport (AKh/tFM) 91%TS	0,12						0,10					
Lohnansatz für AKh		175,85		176,65		175,05		176,58		177,54		175,62
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (-abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2081,16		2283,53		1878,46		1611,61		1786,66		1436,42
" / t Hauptprodukt		1268,93		1163,81		1425,54		855,95		792,46		950,67
" / t Öl (extr.)		3669,55		3365,55		4122,43		2475,28		2291,67		2749,18
" / l Öl (extr.)		3,38		3,10		3,79		2,28		2,11		2,53
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	7,96		8,85		7,08		7,36		8,09		6,63	
" / t Öl (extr.)	14,04		13,04		15,53		11,30		10,37		12,70	
" / l Öl (extr.) (MJ/l)	12,92		12,00		14,29		10,40		9,54		11,68	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	39,70											
P2O5:	12,20											
K2O :	9,60											
MgO :	9,30											
CaO :	3,90											
Düngerwert (DM/t TS)		197,77						216,13				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	2,03											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.): Topt	1,50		1,45		1,57		1,48		1,46		1,52	
STROH/KRAUT												
N :	0,50											
P2O5:	1,60											
K2O :	9,60											
MgO :	2,70											
CaO :	7,30											
Düngerwert (DM/t TS)		11,36						11,68				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,12											

Tabelle AIII.1-11a: Produktionsverfahren W-Weizen zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 12-Jan-93

MERKMALE W-WEIZEN Stärke- / Ethanolgewinnung HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	395,00						245,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	6,43											
Ertrag :KORN (")	6,43	2539,85	7,97	3149,41	5,08	2006,48	8,48	2077,34	10,54	2582,01	6,67	1635,35
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,90											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,24		0,79				1,24		0,79	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Stärkegehalt (% TS)	66,40											
Ausbeute (%-Punkte)	62,00											
Stärkeertrag (t/ha)	3,43		4,25		2,71		4,52		5,62		3,56	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.)(l/ha)	2364,26		2931,69		1867,77		3117,65		3875,04		2454,31	
" " (t/ha)	1,88		2,33		1,48		2,48		3,08		1,95	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.))(l/ha)	2101,36		2605,69		1660,08		2770,98		3444,15		2181,40	
(" ")(t/ha)	1,67		2,07		1,32		2,20		2,74		1,73	
Ho (GJ/t TS)	18,20											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,10						0,90					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	7,07		8,77		5,59		7,63		9,48		6,01	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,30											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	11,61		14,40		9,17		13,85		17,22		10,91	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	200,00	148,00						118,00				
Energie (GJ/ha)	0,70											
Düngeraufwand /ha												
N	180,00		209,33		154,34		201,77		237,48		170,09	
P2O5	65,00		80,60		51,35		70,49		87,61		55,49	
K2O	135,00		167,40		106,65		54,69		67,98		43,05	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		411,65		480,65		351,27		420,23		491,50		357,32
Energie (GJ/ha)	10,67		12,42		9,14		11,16		13,08		9,45	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	2,00	148,00										
Fungizide	1,50	114,00										
Insektizide	1,00	17,00										
Sonstiges	1,00	41,00										
Summe PSM-Kosten		320,00		396,80		252,80		384,00		476,16		303,36
Energie (GJ/ha)	0,63		0,79		0,50		0,63		0,79		0,50	
Variable Masch.-Kosten		162,00		164,10		160,16		167,00		169,78		164,56
dv.Ernte (DM/ha)		49,00						52,00				
dv.Transport: 4 km (DM/tFM)		1,34						1,33				
Schlepper-h /ha Sh1	5,50		5,50		5,50		3,50		3,50		3,50	
" Sh2	3,50		3,60		3,41		2,50		2,60		2,41	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,06						0,05					
Mähdrescher-h /ha	1,50						1,00					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	72,95		73,79		72,21		66,15		67,09		65,32	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,46		1,48		1,44		1,32		1,34		1,31	
Energie (GJ/ha)	2,62		2,65		2,59		2,37		2,41		2,34	
Lohntrocknung(1/3 v. 82 auf 86%)												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	84,67											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00											
Trocknungskosten		167,18		207,30		132,07		225,54		280,33		177,55
Energie (GJ/ha)	0,51		0,63		0,40		0,67		0,83		0,53	
Versicherung	10,70	27,18		33,70		21,47		22,23		27,63		17,50
Zinssatz f. Umlaufkap.		40,08		45,87		35,01		41,68		48,12		36,03
Bindungsdauer (Monate)	9,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1276,09		1476,42		1100,79		1378,68		1611,52		1174,33
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1263,76		1672,99		905,69		698,66		970,49		461,02
AKh-Bedarf pro ha	10,50		10,68		10,34		7,00		7,19		6,83	
dv.Ernte (AKh/ha)	1,50						1,00					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,12						0,09					
Lohnansatz für AKh		210,00		213,84		206,81		182,00		187,02		177,60
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2636,09		2940,07		2357,61		2430,68		2738,55		2151,93
" / t Hauptprodukt		409,97		368,74		464,12		286,67		259,85		322,39
" / t Stärke (extr.)		768,88		691,57		870,45		537,65		487,35		604,63
" / l Ethanol (DM/l)		1,11		1,00		1,26		0,78		0,71		0,88
" / t " (DM/t)		1403,80		1262,65		1589,25		981,62		889,79		1103,93
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	15,13		17,18		13,33		15,53		17,80		13,52	
" / t Stärke (GJ/t)	4,41		4,04		4,92		3,44		3,17		3,80	
" / l Ethanol (MJ/l)	6,40		5,86		7,14		4,98		4,59		5,51	
" / t " (GJ/t)	8,06		7,38		8,99		6,27		5,78		6,94	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	22,10											
P2O5:	8,70											
K2O :	6,00											
MgO :	2,20											
CaO :	1,00											
Düngerwert (DM/t TS)		38,20						41,18				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,16											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,68		0,72		0,63		0,74		0,78		0,69	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		94,22						88,97				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		300,78						156,03				
Verhältnis To : Tmax (1988)	0,48											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
To	3,11		3,85		2,45		3,11		3,85		2,45	
b	0,03324		0,03569		0,03034		0,04543		0,04849		0,04181	
c	-8,2E-05		-7,6E-05		-8,6E-05		-9,3E-05		-8,6E-05		-1,0E-04	
Tmax	6,47		8,02		5,12		8,64		10,72		6,83	
Nmax	202,48		233,47		175,71		243,76		283,18		209,26	
N-Düngereffiz. Tmax	0,61		0,65		0,55		0,67		0,72		0,62	
Topt	6,43		7,97		5,08		8,48		10,54		6,67	
Nopt	180,00		209,33		154,34		201,77		237,48		170,09	
N-Düngereffiz. Topt	0,68		0,72		0,63		0,80		0,84		0,75	
WSG-INTENSITÄT: 80 % des N-Entz.	0,80	N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							295,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		105,01						107,77				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		289,99						187,23				
N (kg/ha)	97,77		121,23		77,24		128,92		160,24		101,49	
T (t/ha)	5,57		7,05		4,28		7,41		9,42		5,67	
N-Düngereffiz.	1,08		1,11		1,05		1,09		1,12		1,06	
N-ABGABE (300%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							295,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								107,77				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								187,23				
Nopt (kg/ha)	112,56		136,90		90,21		103,80		138,85		78,69	
Topt (t/ha)	5,81		7,38		4,49		6,82		8,73		5,13	
N-Düngereffiz.	0,98		1,01		0,95		1,25		1,27		1,24	

Tabelle AIII.1-11b: Produktionsverfahren W-Weizen zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 12-Jan-93

MERKMALE	1987		1987		1987		2005		2005		2005	
	Durchschnitt		KTBL-L5		KTBL-L1		Durchschnitt		KTBL-L5		KTBL-L1	
W-WEIZEN	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.
Stärke- / Ethanolgewinnung	Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten	
	(kg/ha)	(DM/t)	(kg/ha)	(DM/t)	(kg/ha)	(DM/t)	(kg/ha)	(DM/t)	(kg/ha)	(DM/t)	(kg/ha)	(DM/t)
N-ABGABE	(t/ha)	(DM/ha)	(t/ha)	(DM/ha)	(t/ha)	(DM/ha)	(t/ha)	(DM/ha)	(t/ha)	(DM/ha)	(t/ha)	(DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	395,00						295,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	6,43											
Ertrag :KORN (")	5,81	2294,08	7,30	2885,46	4,49	1772,79	6,82	2011,25	8,73	2575,58	5,13	1511,94
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,90											
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Stärkegehalt (% TS)	66,40											
Ausbeute (%-Punkte)	62,00											
Stärkeertrag (t/ha)	3,10		3,90		2,39		3,64		4,66		2,73	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.)(l/ha)	2135,49		2685,98		1650,23		2506,85		3210,24		1884,51	
" " (t/ha)	1,70		2,13		1,31		1,99		2,55		1,50	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.))(l/ha)	1898,02		2387,30		1466,73		2228,10		2853,27		1674,96	
(" " ")(t/ha)	1,51		1,90		1,16		1,77		2,27		1,33	
Ho (GJ/t TS)	18,20											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,10						0,90					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	6,39		8,04		4,94		6,14		7,86		4,61	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,30											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	10,49		13,19		8,11		11,14		14,27		8,37	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	200,00	148,00						118,00				
Energie (GJ/ha)	0,70											
Düngeraufwand /ha												
N	112,56		136,90		90,21		103,80		130,85		78,69	
P2O5	58,71		73,84		45,37		56,68		72,58		42,61	
K2O	121,94		153,37		94,23		43,97		56,31		33,06	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		696,92		840,34		566,52		658,50		816,31		513,16
Energie (GJ/ha)	7,41		8,92		6,04		6,42		7,93		5,04	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		289,04		363,54		223,36		432,28		553,57		324,96
Energie (GJ/ha)	0,57		0,72		0,44		0,51		0,65		0,38	
Variable Masch.-Kosten		161,15		163,19		159,36		164,76		167,34		162,47
dv.Ernte (DM/ha)												
dv.Transport: 4 km (DM/tFM)												
Schlepper-h /ha Sh1	5,50		5,50		5,50		3,50		3,50		3,50	
" Sh2	3,46		3,56		3,37		2,42		2,51		2,34	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,06						0,05					
Mähdrescher-h /ha	1,50						1,00					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	72,61		73,43		71,89		65,39		66,27		64,61	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,45		1,47		1,44		1,31		1,33		1,29	
Energie (GJ/ha)	2,60		2,63		2,58		2,34		2,38		2,32	
Lohntrocknung(1/3 v. 82 auf 86%)												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	84,67											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00											
Trocknungskosten		151,00		189,93		116,69		181,35		232,24		136,33
Energie (GJ/ha)	0,46		0,58		0,35		0,54		0,69		0,40	
Versicherung	10,70	24,55		30,87		18,97		21,52		27,56		16,18
Zinsansatz f. Umlaufkap.		49,49		57,97		41,86		52,31		63,10		42,55
Bindungsdauer (Monate)	9,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1520,15		1793,85		1274,75		1628,72		1978,11		1313,65
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		773,93		1091,60		498,04		382,53		597,46		198,29
AKh-Bedarf pro ha	10,43		10,60		10,27		6,84		7,02		6,69	
dv.Ernte (AKh/ha)	1,50						1,00					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,12						0,09					
Lohnansatz für AKh		208,53		212,06		205,42		177,95		182,61		173,82
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2628,68		3005,92		2280,16		2376,67		2800,73		1987,48
" / t Hauptprodukt		452,61		411,49		508,05		348,60		320,79		387,78
" / t Stärke (extr.)		848,86		771,74		952,83		653,79		601,63		727,28
" / l Ethanol (DM/l)		1,23		1,12		1,38		0,95		0,87		1,05
" / t " (DM/t)		1549,83		1409,02		1739,66		1193,67		1098,44		1327,84
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	11,74		13,55		10,11		10,51		12,34		8,84	
" / t Stärke (GJ/t)	3,79		3,48		4,23		2,89		2,65		3,24	
" / l Ethanol (MJ/l)	5,50		5,04		6,13		4,19		3,85		4,69	
" / t " (GJ/t)	6,92		6,35		7,71		5,28		4,84		5,91	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	22,10											
P2O5:	8,70											
K2O :	6,00											
MgO :	2,20											
CaO :	1,00											
Düngerwert (DM/t TS)		111,80						122,13				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,16											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,98		1,01		0,95		1,25		1,27		1,24	
STROH/KRAUT												
N :	4,60											
P2O5:	2,20											
K2O :	11,00											
MgO :	1,10											
CaO :	3,40											
Düngerwert (DM/t TS)		30,15						32,33				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,32											

Tabelle AIII.1-12a: Produktionsverfahren KÖ-MAIS zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 12-Jan-93

MERKMALE KÖ-MAIS Stärke- / Ethanolgewinnung HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	410,00						250,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	7,05											
Ertrag :KORN (")	7,05	2890,50	8,11	3324,08	5,85	2399,12	9,46	2363,78	10,89	2722,21	7,83	1957,28
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	2,00											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,15		0,83				1,15		0,83	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Stärkegehalt (% TS)	69,50											
Ausbeute (%-Punkte)	66,00											
Stärkeertrag (t/ha)	4,00		4,60		3,32		5,37		6,18		4,44	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.)(l/ha)	2713,26		3120,24		2252,00		3638,88		4190,66		3013,10	
" " (t/ha)	2,16		2,48		1,79		2,89		3,33		2,39	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.))(l/ha)	2411,55		2773,28		2001,59		3234,25		3724,67		2678,05	
(" ")(t/ha)	1,92		2,20		1,59		2,57		2,96		2,13	
Ho (GJ/t TS)	18,50											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,60						1,40					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	11,28		12,97		9,36		13,24		15,24		10,96	
TS-Gehalt (% FM)	65,00											
Ho (GJ/t TS)	17,60											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	13,40		15,40		11,12		16,74		19,27		13,86	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	2,00	272,00						272,00				
Energie (GJ/ha)	0,48											
Düngeraufwand /ha												
N	170,00		185,46		152,48		189,53		209,20		166,98	
P2O5	100,00		115,00		83,00		68,67		79,08		56,86	
K2O	180,00		207,00		149,40		50,82		58,53		42,08	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		465,70		515,41		409,36		400,87		441,49		354,52
Energie " (GJ/ha)	10,92		11,98		9,71		10,55		11,62		9,32	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	1,00	70,00										
Fungizide												
Insektizide	0,50	50,00										
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		120,00		138,00		99,60		144,00		165,60		119,52
Energie (GJ/ha)	0,17		0,20		0,14		0,17		0,20		0,14	
Variable Masch.-Kosten		246,00		247,87		243,88		256,00		258,52		253,14
dv.Ernte (DM/ha)		97,00						93,00				
dv.Transport: 4 km (DM/tFM)		1,34						1,33				
Schlepper-h /ha Sh1	7,00		7,00		7,00		5,50		5,50		5,50	
" Sh2	4,00		4,09		3,90		3,00		3,09		2,90	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,06						0,05					
Mähdrescher-h /ha	2,00						1,50					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	90,20		90,95		89,35		93,65		94,51		92,68	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,80		1,82		1,79		1,87		1,89		1,85	
Energie (GJ/ha)	3,23		3,26		3,20		3,36		3,39		3,32	
Lohntrocknung:												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	65,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00											
Trocknungskosten		514,65		591,85		427,16		762,55		878,18		631,42
Energie (GJ/ha)	11,39		13,10		9,45		15,27		17,59		12,65	
Versicherung	10,70	30,93		35,57		25,67		25,29		29,13		20,94
Zinsansatz f. Umlaufkap.		28,37		30,22		26,26		27,45		29,17		25,50
Bindungsdauer (Monate)	6,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1677,64		1830,92		1503,93		1888,17		2074,09		1677,04
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1212,86		1493,15		895,19		475,61		648,12		280,24
AKh-Bedarf pro ha	13,00		13,12		12,86		10,00		10,13		9,85	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,00						1,50					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,12						0,09					
Lohnansatz für AKh		260,00		262,50		257,17		260,00		263,50		256,03
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		3087,64		3343,42		2811,10		3018,17		3277,58		2733,07
" / t Hauptprodukt		437,96		412,39		480,41		319,21		301,00		349,09
" / t Stärke (extr.)		771,61		726,54		846,38		562,39		530,31		615,03
" / l Ethanol (DM/l)		1,14		1,07		1,25		0,83		0,78		0,91
" / t " (DM/t)		1432,78		1349,10		1571,63		1044,28		984,72		1142,04
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	26,19		29,02		22,99		29,83		33,28		25,91	
" / t Stärke (GJ/t)	6,55		6,31		6,92		5,56		5,38		5,83	
" / l Ethanol (MJ/l)	9,65		9,30		10,21		8,20		7,94		8,60	
" / t " (GJ/t)	12,15		11,71		12,85		10,32		10,00		10,83	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	17,00											
P2O5:	7,60											
K2O :	5,00											
MgO :	2,30											
CaO :	0,40											
Düngerwert (DM/t TS)		30,67						33,02				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,90											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,61		0,64		0,56		0,67		0,70		0,63	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		105,35						109,81				
Erzeugpr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		304,65						140,19				
Verhältnis: Yo : Ymax	0,43											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	3,04		3,50		2,53		3,04		3,50		2,53	
b	0,04349		0,04604		0,03997		0,05895		0,06193		0,05481	
c	-0,00012		-0,00011		-0,00012		-0,00013		-0,00013		-0,00014	
Ymax	7,08		8,14		5,88		9,60		11,04		7,97	
Nmax	185,54		201,40		167,77		222,39		243,43		198,53	
N-Düngereffiz. Ymax	0,56		0,59		0,51		0,63		0,66		0,59	
Yopt	7,05		8,11		5,85		9,46		10,89		7,83	
Nopt	170,00		185,46		152,48		189,53		209,20		166,98	
N-Düngereffiz. Yopt	0,61		0,64		0,56		0,73		0,76		0,69	
WSG-INTENSITÄT: 80 % des N-Entz.	0,80	N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)	410,00						300,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		109,24						116,05				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		300,76						183,95				
N (kg/ha)	82,46		94,83		68,44		110,59		127,36		91,57	
Y (t/ha)	5,83		6,44		4,70		7,94		9,32		6,39	
N-Düngereffiz.	1,03		1,05		1,00		1,05		1,07		1,02	
N-ABGABE (300%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)	410,00						300,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		105,35						116,05				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		304,65						183,95				
Nopt (kg/ha)	123,37		137,65		106,60		122,22		139,06		102,35	
Yopt (t/ha)	6,63		7,67		5,43		8,27		9,65		6,69	
N-Düngereffiz.	0,79		0,81		0,75		0,99		1,01		0,96	

Tabelle AIII.1-12b: Produktionsverfahren KÖ-MAIS zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 12-Jan-93

MERKMALE KÖ-MAIS Stärke- / Ethanolgewinnung N-ABGABE	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	410,00						250,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	7,05											
Ertrag :KORN (")	6,63	2716,34	7,67	3145,51	5,43	2227,78	8,27	2067,10	9,65	2413,08	6,69	1672,41
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Stärkegehalt (% TS)	69,50											
Ausbeute (%-Punkte)	66,00											
Stärkeertrag (t/ha)	3,76		4,35		3,08		4,69		5,48		3,80	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.)(l/ha)	2549,78		2952,63		2091,18		3182,17		3714,79		2574,57	
" " (t/ha)	2,03		2,35		1,66		2,53		2,95		2,04	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.))(l/ha)	2266,25		2624,30		1858,64		2828,32		3301,71		2288,28	
(" ")(t/ha)	1,80		2,08		1,48		2,25		2,62		1,82	
Ho (GJ/t TS)	18,50											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,60						1,40					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	10,60		12,28		8,69		11,58		13,51		9,37	
TS-Gehalt (% FM)	65,00											
Ho (GJ/t TS)	17,60											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	12,59		14,58		10,32		14,64		17,08		11,84	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	2,00	272,00						272,00				
Energie (GJ/ha)	0,48											
Düngeraufwand /ha												
N	123,37		137,65		106,60		122,22		139,06		102,35	
P2O5	93,97		108,82		77,07		60,05		70,10		48,58	
K2O	169,15		195,88		138,73		44,44		51,88		35,96	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		400,86		448,93		345,57		304,95		341,54		262,41
Energie (GJ/ha)	8,63		9,64		7,45		7,31		8,25		6,21	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		112,77		130,59		92,49		197,03		230,01		159,41
Energie (GJ/ha)	0,16		0,19		0,13		0,20		0,24		0,16	
Variable Masch.-Kosten		245,25		247,10		243,13		253,91		256,35		251,13
dv.Ernte (DM/ha)												
dv.Transport: 4 km (DM/tFM)		1,34						1,33				
Schlepper-h /ha Sh1	7,00		7,00		7,00		5,50		5,50		5,50	
" Sh2	3,96		4,05		3,86		2,92		3,01		2,82	
dv.Ernte (Sh2/ha)	0,00						0,00					
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,06						0,05					
Mähdrescher-h /ha	2,00						1,50					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	69,90		90,64		89,05		92,94		93,77		92,00	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,80		1,81		1,78		1,86		1,88		1,84	
Energie (GJ/ha)	3,22		3,25		3,19		3,33		3,36		3,30	
Lohntrocknung:												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	65,00											
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00											
Trocknungskosten		483,64		560,05		396,65		666,85		778,46		539,52
Energie (GJ/ha)	10,70		12,39		8,78		13,36		15,59		10,81	
Versicherung	10,70	29,06		33,66		23,84		22,12		25,82		17,89
Zinsansatz f. Umlaufkap.		26,50		28,31		24,43		26,25		28,14		24,07
Bindungsdauer (Monate)	6,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1570,08		1720,64		1398,11		1743,11		1932,32		1526,44
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1146,26		1424,87		829,67		323,99		480,76		145,97
AKh-Bedarf pro ha	12,95		13,07		12,81		9,89		10,02		9,74	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,00						1,50					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,12						0,09					
Lohnansatz für AKh		259,00		261,47		256,19		257,11		260,48		253,26
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		350,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2729,08		2982,11		2454,30		2570,22		2762,80		2279,70
" / t Hauptprodukt		411,92		388,70		451,69		310,85		286,23		340,78
" / t Stärke (extr.)		725,73		684,82		795,79		547,65		504,28		600,39
" / l Ethanol (DM/l)		1,07		1,01		1,17		0,81		0,74		0,89
" / t " (DM/t)		1347,59		1271,62		1477,68		1016,92		936,39		1114,85
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	23,20		25,95		20,04		24,68		27,92		20,96	
" / t Stärke (GJ/t)	6,17		5,96		6,50		5,26		5,10		5,52	
" / l Ethanol (MJ/l)	9,10		8,79		9,58		7,76		7,52		8,14	
" / t " (GJ/t)	11,45		11,07		12,06		9,77		9,46		10,25	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	17,00											
P2O5:	7,60											
K2O :	5,00											
MgO :	2,30											
CaO :	0,40											
Düngerwert (DM/t TS)		87,28						95,29				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,90											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,79		0,81		0,75		0,99		1,01		0,96	
STROH/KRAUT												
N :	9,40											
P2O5:	2,10											
K2O :	23,00											
MgO :	5,00											
CaO :	8,40											
Düngerwert (DM/t TS)		60,08						64,38				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,64											

Tabelle AIII.1-13a: Produktionsverfahren S-Kartoffeln zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 10-Jan-93

MERKMALE	1987 Durchschnitt		1987 KTBL-L5		1987 KTBL-L1		2005 Durchschnitt		2005 KTBL-L5		2005 KTBL-L1	
S-KARTOFFELN Stärke- / Ethanolgewinnung HOHE INTENSITÄT	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	140,00						85,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	35,97											
Ertrag :KARTOFFELN (")	35,97	5035,80	44,60	6244,39	26,62	3726,49	47,52	4038,85	58,93	5009,27	35,15	2987,50
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,80											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,24		0,74				1,24		0,74	
TS-Gehalt (% FM)	23,00											
Stärkegehalt (% TS)	78,30											
Ausbeute Stärke (%-Punkte)	72,00											
Stärke-Ertrag (t/ha)	5,96		7,39		4,41		7,87		9,76		5,82	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.) (l/ha)	4171,08		5172,14		3086,60		5509,94		6833,82		4075,65	
" " (t/ha)	3,31		4,11		2,45		4,38		5,43		3,24	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.))(l/ha)	3707,27		4597,01		2743,38		4897,25		6073,91		3622,45	
" " (t/ha)	2,94		3,65		2,18		3,89		4,82		2,88	
Ho (GJ/t TS)	16,80											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	0,40						0,40					
Ertrag :KRAUT (t FM/ha)	14,39		17,84		10,65		19,01		23,57		14,06	
TS-Gehalt (% FM)	17,00											
Ho (GJ/t TS)	16,00											
Ertrag :INSGESAMT (t FM/ha)	10,72		13,29		7,93		14,16		17,56		10,47	
AUFWAND												
Pflanzgut-Aufwand /ha	33,00	1320,00					25,00	750,00				
Energie (GJ/ha)	6,60						5,00					
Düngeraufwand /ha												
N	170,00		200,78		136,66		205,46		244,31		163,26	
P2O5	110,00		136,40		100,94		69,21		85,85		51,20	
K2O	280,00		347,20		256,93		360,65		447,30		266,77	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		536,60		639,86		475,87		606,64		725,16		478,11
Energie (GJ/ha)	11,74		13,93		9,95		13,52		16,11		10,70	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	1,00	100,00										
Fungizide	0,70	70,00										
Insektizide	0,80	25,00										
Sonstiges	1,00	50,00										
Summe PSM-Kosten		245,00		303,80		181,30		294,00		364,56		217,56
Energie (GJ/ha)	0,63		0,79		0,47		0,63		0,79		0,47	
Variable Masch.-Kosten		435,00		462,25		405,48		484,00		517,76		447,43
dv.Ernte (DM/ha)		137,00						171,00				
dv.Transport: 10 km (DM/tFM)		2,30						2,20				
Schlepper-h /ha Sh1	11,00		11,00		11,00		9,00		9,00		9,00	
" Sh2	19,00		20,40		17,48		16,00		17,27		15,89	
dv.Ernte (Sh2/ha)	9,00		9,54		8,42		8,00		8,48		7,48	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,10						0,07					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	208,00		219,79		195,23		203,50		215,42		202,51	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	4,16		4,40		3,90		4,07		4,31		4,05	
Energie (GJ/ha)	7,46		7,88		7,00		7,30		7,72		7,26	
Versicherung	8,30	41,80		51,83		30,93		33,52		41,58		24,80
Zinsansatz f. Umlaufkap.		85,95		92,59		80,45		91,27		98,97		82,93
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		2664,34		2870,33		2494,03		2259,44		2498,02		2000,83
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		2371,46		3374,06		1232,47		1779,42		2511,24		986,67
AKh-Bedarf pro ha	40,00		41,79		38,06		25,00		26,79		23,06	
dv.Ernte (AKh/ha)	16,00						8,00					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,15						0,12					
Lohnansatz für AKh		800,00		835,84		761,18		650,00		696,62		599,50
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		4614,34		4956,17		4305,21		3779,44		4134,64		3400,32
" / t Hauptprodukt		128,28		111,12		161,74		79,54		70,16		96,75
" / t Stärke (extr.)		774,66		671,00		976,70		480,32		423,66		584,21
" / l Ethanol (DM/l)		1,11		0,96		1,39		0,69		0,61		0,83
" / t " (DM/t)		1392,85		1206,48		1756,13		863,62		761,76		1050,43
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	26,44		29,20		24,02		26,45		29,62		23,43	
" / t Stärke (extr.) (GJ/t)	4,44		3,95		5,45		3,36		3,03		4,03	
"/ l Ethanol (MJ/l)	6,34		5,64		7,78		4,80		4,33		5,75	
"/ t " (GJ/t)	7,98		7,11		9,80		6,04		5,46		7,24	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	15,50											
P2O5:	5,70											
K2O :	26,40											
MgO :	1,70											
CaO :	1,10											
Düngerwert (DM/t TS)		39,76						41,81				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,97											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,75		0,79		0,69		0,80		0,83		0,75	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		13,60						12,56				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		126,40						72,44				
Verhältnis Yo : Ymax (1988)	0,53											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	19,08		23,66		14,12		19,08		23,66		14,12	
b	0,18989		0,19980		0,17410		0,25992		0,27187		0,24072	
c	-0,00053		-0,00048		-0,0006		-5,9E-04		-5,2E-04		-6,9E-04	
Ymax	36,01		44,64		26,65		47,64		59,07		35,25	
Nmax	178,24		210,01		143,92		219,70		260,46		175,55	
N-Düngereffiz. Ymax	0,72		0,76		0,66		0,77		0,81		0,72	
Yopt	35,97		44,60		26,62		47,52		58,93		35,15	
Nopt	170,00		200,78		136,66		205,46		244,31		163,26	
N-Düngereffiz. Yopt	0,75		0,79		0,69		0,82		0,86		0,77	
VSG-INTENSITÄT: FAKTOR:	0,40	Höhe der N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							100,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		15,01						15,12				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		124,99						84,88				
N (kg/ha)	102,59		127,21		75,91		135,52		168,08		100,24	
Y (t/ha)	32,96		41,38		23,85		43,44		54,61		31,36	
N-Düngereffiz.	1,15		1,16		1,12		1,14		1,16		1,12	
N-ABGABE (100%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							100,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								15,12				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								84,88				
Nopt (kg/ha)	145,27		173,09		114,88		171,07		205,34		133,59	
Yopt (t/ha)	35,43		43,99		26,14		46,24		57,48		34,04	
N-Düngereffiz.	0,87		0,91		0,81		0,96		1,00		0,91	

Tabelle AIII.1-13b: Produktionsverfahren S-Kartoffeln zur Stärke- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 10-Jan-93

MERKMALE S-KARTOFFELN Stärke- / Ethanolgewinnung N-ABGABE	1987 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschn ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschn ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	140,00						100,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	35,97											
Ertrag :KARTOFFELN (")	35,43	4959,79	43,99	6159,28	26,14	3659,56	46,24	4623,68	57,48	5748,27	34,04	3404,34
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,80											
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	23,00											
Stärkegehalt (% TS)	78,30											
Ausbeute Stärke (%-Punkte)	72,00											
Stärke-Ertrag (t/ha)	5,87		7,29		4,33		7,66		9,52		5,64	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.) (l/ha)	4108,12		5101,64		3031,16		5361,61		6665,69		3947,67	
" " (t/ha)	3,26		4,05		2,41		4,26		5,29		3,14	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.)) (l/ha)	3651,31		4534,36		2694,10		4765,41		5924,48		3508,70	
" " (t/ha)	2,90		3,60		2,14		3,78		4,71		2,79	
Ho (GJ/t TS)	16,80											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	0,40						0,40					
Ertrag :KRAUT (t FM/ha)	14,27		17,60		10,46		18,49		22,99		13,62	
TS-Gehalt (% FM)	17,00											
Ho (GJ/t TS)	16,00											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	10,56		13,11		7,79		13,78		17,13		10,14	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	33,00	1320,00					25,00	750,00				
Energie (GJ/ha)	6,60						5,00					
Düngeraufwand /ha												
N	145,27		173,09		116,88		171,07		205,34		133,59	
P2O5	108,34		134,54		79,94		67,35		83,73		49,59	
K2O	275,77		342,47		203,48		350,94		436,29		258,39	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		988,55		1180,63		779,29		1182,82		1420,11		923,97
Energie (GJ/ha)	10,56		12,60		8,33		11,84		14,21		9,26	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		241,30		299,66		178,04		400,52		497,94		294,90
Energie (GJ/ha)	0,58		0,73		0,42		0,58		0,73		0,42	
Variable Masch.-Kosten		431,17		458,10		402,01		478,10		511,30		442,12
dv.Ernte (DM/ha)												
dv.Transport: 5 km (DM/tFM)		2,30						1,70				
Schlepper-h /ha Sh1	11,00		11,00		11,00		9,00		9,00		9,00	
Sh2	18,76		20,14		17,26		15,74		16,99		14,39	
dv.Ernte (Sh2/ha)	8,81		9,34		8,24		7,83		8,30		7,32	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,10						0,07					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	205,96		217,58		193,38		201,06		212,77		188,37	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	4,12		4,35		3,87		4,02		4,26		3,77	
Energie (GJ/ha)	7,39		7,80		6,93		7,21		7,63		6,75	
Versicherung	8,30	41,17		51,12		30,37		38,38		47,71		28,26
Zinsansatz f. Umlaufkap.		100,74		110,32		90,32		113,99		126,57		100,31
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		3122,93		3419,82		2800,04		2963,81		3353,63		2539,55
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		1836,86		2739,46		859,52		1659,86		2394,64		864,79
AKh-Bedarf pro ha	39,73		41,50		37,82		24,68		26,44		22,77	
dv.Ernte (AKh/ha)												
dv.Transport (AKh/tFM)	0,15						0,12					
Lohnansatz für AKh		794,66		830,04		756,33		641,72		687,57		592,04
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		4817,59		5249,87		4356,37		4175,53		4681,20		3631,59
" / t Hauptprodukt		135,99		119,33		166,66		90,31		81,44		106,68
" / t Stärke (extr.)		821,17		720,59		1086,39		545,34		491,77		644,17
" / l Ethanol (DM/l)		1,17		1,03		1,44		0,78		0,70		0,92
" / t " (DM/t)		1476,49		1295,63		1809,50		980,53		884,21		1158,24
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	25,12		27,73		22,29		24,63		27,57		21,43	
" / t Stärke (extr.) (GJ/t)	4,28		3,81		5,15		3,22		2,90		3,80	
"/ l Ethanol (MJ/l)	6,12		5,44		7,35		4,59		4,14		5,43	
"/ t " (GJ/t)	7,70		6,84		9,26		5,78		5,21		6,84	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	15,50											
P2O5:	5,70											
K2O :	26,40											
MgO :	1,70											
CaO :	1,10											
Düngerwert (DM/t TS)		91,38						98,54				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,97											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	1,15		1,16		1,12		1,14		1,16		1,12	
STROH/KRAUT												
N :	22,60											
P2O5:	5,50											
K2O :	43,20											
MgO :	13,30											
CaO :	36,40											
Düngerwert (DM/t TS)		140,38						71,94				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,48											

Tabelle AIII.1-14a: Produktionsverfahren Zuckerrüben zur Zucker- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 17-Jan-93

ZUCKERRÜBEN Zucker- / Ethanolgewinnung HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	106,00						70,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	50,60											
Ertrag :RÜBEN (")	50,60	5363,60	58,19	6168,14	40,48	4290,88	64,15	4490,28	73,78	5164,45	51,30	3591,35
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,50											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,15		0,80				1,15		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	23,00											
Saccharosegehalt (% TS)	78,00											
Ausbeute Sacchar. (%-Punkte)	65,00											
Saccharose-Ertrag (t/ha)	7,56		8,70		6,05		9,59		11,03		7,67	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.) (l/ha)	5535,54		6365,88		4428,44		7017,54		8071,15		5612,66	
" " (t/ha)	4,40		5,06		3,52		5,57		6,41		4,46	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.)) (l/ha)	4920,99		5659,14		3936,79		6238,45		7175,09		4989,55	
" " (t/ha)	3,91		4,49		3,13		4,95		5,70		3,96	
Ho (GJ/t TS)	16,40											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	0,80						0,60					
Ertrag :KRAUT (t FM/ha)	40,48		46,55		32,38		38,49		44,27		30,78	
TS-Gehalt (% FM)	17,00											
Ho (GJ/t TS)	16,20											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	18,52		21,30		14,82		21,30		24,49		17,03	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	1,20	177,60										
Energie (GJ/ha)	0,00											
Düngeraufwand /ha												
N	170,00		189,03		144,63		199,51		222,72		168,52	
P2O5	110,00		126,50		101,20		52,46		60,33		41,96	
K2O	300,00		345,00		276,00		221,31		254,53		177,00	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		548,60		614,71		496,45		496,52		553,82		420,05
Energie (GJ/ha)	11,89		13,27		10,45		12,06		13,45		10,20	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	1,50	250,00										
Fungizide	1,00	40,00										
Insektizide	1,00	30,00										
Sonstiges	2,00	100,00										
Summe PSM-Kosten		420,00		483,00		336,00		504,00		579,60		403,20
Energie (GJ/ha)	0,63		0,73		0,51		0,63		0,73		0,51	
Variable Masch.-Kosten		427,00		442,55		406,27		434,00		453,07		408,57
dv.Ernte (DM/ha)		155,00						155,00				
dv.Transport: 5 km (DM/tFM)		1,71						1,70				
Schlepper-h /ha Sh1	8,00		8,00		8,00		6,00		6,00		6,00	
" Sh2	15,00		15,88		13,83		12,00		12,81		11,73	
dv.Ernte (Sh2/ha)	5,00		5,19		4,75		4,00		4,15		3,80	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,09						0,07					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	161,20		168,58		151,36		148,20		155,86		145,65	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	3,22		3,37		3,03		2,96		3,12		2,91	
Energie (GJ/ha)	5,78		6,05		5,43		5,31		5,59		5,22	
Versicherung	8,30	44,52		51,20		35,61		37,27		42,86		29,81
Zinsansatz f. Umlaufkap.		53,92		58,97		48,40		54,98		60,23		47,97
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		1671,64		1828,02		1500,33		1704,37		1867,19		1487,20
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		3691,96		4340,12		2790,55		2785,91		3297,26		2104,15
AKh-Bedarf pro ha	27,00		28,29		25,28		20,00		21,26		18,32	
dv.Ernte (AKh/ha)	5,00						4,00					
dv.Transport (AKh/tFM)	0,15						0,12					
Lohnansatz für AKh		540,00		565,76		505,65		520,00		552,70		476,40
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		3361,64		3643,78		3055,98		3094,37		3359,88		2763,60
" / t Hauptprodukt		66,44		62,62		75,49		48,24		45,54		53,87
" / t Sacchar.(extr.)		444,39		418,85		504,97		322,67		304,62		360,31
" / l Ethanol (DM/l)		0,61		0,57		0,69		0,44		0,42		0,49
" / t " (DM/t)		764,60		720,67		868,85		555,17		524,12		619,94
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	18,31		20,04		16,39		18,01		19,77		15,93	
" / t Sacchar.(extr.) (GJ/t)	2,42		2,30		2,71		1,88		1,79		2,08	
"/ l Ethanol (MJ/l)	3,31		3,15		3,70		2,57		2,45		2,84	
"/ t " (GJ/t)	4,16		3,96		4,66		3,23		3,08		3,57	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	10,90											
P2O5:	3,20											
K2O :	12,00											
MgO :	2,70											
CaO :	3,60											
Düngerwert (DM/t TS)		23,87						25,26				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,63											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,75		0,77		0,70		0,79		0,81		0,75	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		12,28						11,56				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		93,72						58,44				
Verhältnis Yo : Ymax (1988)	0,51											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	25,83		29,70		20,66		25,83		29,70		20,66	
b	0,27958		0,28956		0,26220		0,36322		0,37490		0,34276	
c	-0,00079		-0,00073		-0,00087		-8,6E-04		-7,9E-04		-9,5E-04	
Ymax	50,64		58,24		40,52		64,27		73,92		51,42	
Nmax	177,52		197,09		151,47		211,69		235,86		179,46	
N-Düngereffiz. Ymax	0,72		0,74		0,67		0,76		0,79		0,72	
Yopt	50,60		58,19		40,48		64,15		73,78		51,30	
Nopt	170,00		189,03		144,63		199,51		222,72		168,52	
N-Düngereffiz. Yopt	0,75		0,77		0,70		0,81		0,83		0,76	
WSG-INTENSITÄT: FAKTOR:	0,80	Höhe der N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							80,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		14,00						14,81				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		92,00						65,19				
N (kg/ha)	101,48		116,71		81,19		128,65		147,97		102,90	
Y (t/ha)	46,09		53,49		36,25		58,36		67,78		45,82	
N-Düngereffiz.	1,14		1,15		1,12		1,14		1,15		1,12	
N-ABGABE (100%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							80,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								14,81				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								65,19				
Nopt (kg/ha)	147,44		164,84		124,10		168,03		188,73		140,24	
Yopt (t/ha)	49,93		57,47		39,87		62,64		72,15		49,95	
N-Düngereffiz.	0,85		0,87		0,81		0,93		0,96		0,89	

Tabelle AIII.1-14b: Produktionsverfahren Zuckerrüben zur Zucker- bzw. Ethanolgewinnung: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 17-Jan-93

ZUCKERRÜBEN Zucker- / Ethanolgewinnung N-ABGABE	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	106,00						80,00					
Ertrag 1986-88 (t FM/ha)	50,60											
Ertrag :RÜBEN (")	49,93	5292,79	57,47	6092,23	39,87	4226,45	62,64	5011,08	72,15	5771,98	49,95	3996,00
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,50											
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	23,00											
Saccharosegehalt (% TS)	78,00											
Ausbeute Sacchar. (%-Punkte)	65,00											
Saccharose-Ertrag (t/ha)	7,46		8,59		5,96		9,36		10,79		7,47	
Ethanol-Ertr.(90%d.Th.) (l/ha)	5462,46		6287,53		4361,94		6852,54		7893,04		5464,43	
" " (t/ha)	4,34		4,99		3,46		5,44		6,27		4,34	
(Ethanol-Ertr.(80%d.Th.)) (l/ha)	4856,02		5589,49		3877,68		6091,77		7016,76		4857,77	
" " (t/ha)	3,86		4,44		3,08		4,84		5,57		3,86	
Ho (GJ/t TS)	16,40											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	0,80						0,60					
Ertrag :KRAUT (t FM/ha)	39,95		45,98		31,90		37,58		43,29		29,97	
TS-Gehalt (% FM)	17,00											
Ho (GJ/t TS)	16,20											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	18,28		21,04		14,59		20,80		23,95		16,58	
AUFWAND												
Saatgut-Aufwand /ha	1,20	177,60										
Energie (GJ/ha)	0,00											
Düngeraufwand /ha												
N	147,44		164,84		124,10		168,03		188,73		140,24	
P2O5	108,55		124,94		86,68		51,22		59,00		40,85	
K2O	296,04		340,75		236,40		216,10		248,92		172,33	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		1010,57		1132,54		847,33		1068,55		1198,20		894,73
Energie (GJ/ha)	10,81		12,11		9,07		10,56		11,83		8,85	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide												
Fungizide												
Insektizide												
Sonstiges												
Summe PSM-Kosten		414,45		477,06		330,95		689,01		793,63		549,44
Energie (GJ/ha)	0,58		0,67		0,45		0,58		0,67		0,45	
Variable Masch.-Kosten		424,33		439,73		403,80		429,81		448,62		404,72
dv.Ernte (DM/ha)								155,00				
dv.Transport: 5 km (DM/tFM)		1,71						1,70				
Schlepper-h /ha Sh1	8,00		8,00		8,00		6,00		6,00		6,00	
Sh2	14,83		15,70		13,67		11,81		12,61		10,73	
dv.Ernte (Sh2/ha)	4,89		5,07		4,65		3,91		4,06		3,71	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,09						0,07					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	159,75		167,05		150,02		146,37		153,92		136,31	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	3,20		3,34		3,00		2,93		3,08		2,73	
Energie (GJ/ha)	5,73		5,99		5,38		5,25		5,52		4,89	
Versicherung	8,30	43,93		50,57		35,08		41,59		47,91		33,17
Zinsansatz f. Umlaufkap.		69,03		75,92		59,83		80,22		88,87		68,66
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		2139,91		2353,41		1854,59		2486,78		2754,82		2128,32
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		3152,87		3738,82		2371,86		2524,31		3017,15		1867,68
AKh-Bedarf pro ha	26,79		28,07		25,09		19,74		20,98		18,08	
dv.Ernte (AKh/ha)												
dv.Transport (AKh/tFM)	0,15						0,12					
Lohnansatz für AKh		535,84		561,36		501,80		513,14		545,40		470,12
Pachtansatz		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		3575,75		3914,78		3156,38		3569,92		3940,22		3098,44
" / t Hauptprodukt		71,61		68,11		79,16		56,99		54,61		62,03
" / t Sacchar.(extr.)		479,01		455,61		529,52		381,22		365,30		414,92
" / l Ethanol (DM/l)		0,65		0,62		0,72		0,52		0,50		0,57
" / t " (DM/t)		824,18		783,92		911,07		655,92		628,52		713,91
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	17,12		18,77		14,90		16,39		18,02		14,20	
" / t Sacchar.(extr.) (GJ/t)	2,29		2,18		2,50		1,75		1,67		1,90	
"/ l Ethanol (MJ/l)	3,13		2,99		3,42		2,39		2,28		2,60	
"/ t " (GJ/t)	3,95		3,76		4,30		3,01		2,88		3,27	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE												
N :	10,90											
P2O5:	3,20											
K2O :	12,00											
MgO :	2,70											
CaO :	3,60											
Düngerwert (DM/t TS)		60,16						65,15				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,63											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	1,14		1,15		1,12		1,14		1,15		1,12	
STROH/KRAUT												
N :	25,60											
P2O5:	5,70											
K2O :	42,00											
MgO :	8,30											
CaO :	17,40											
Düngerwert (DM/t TS)		149,35						160,95				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,57											

Tabelle AIII.1-15a: Produktionsverfahren Strohbergung, angelehnt an W-Weizen : Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 17-Jan-93

MERKMALE STROHBERGUNG (angelehnt an W-Weizen) HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Ertrag Korn 1986-88 (t FM/ha)	6,43											
Ertrag :KORN (")	6,43		7,97		5,08		8,48		10,54		6,67	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,24		0,79							
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Hu (GJ/t TS)	16,38											
Energie-Ertrag (GJ/ha)	90,58		112,32		71,56		119,46		148,47		93,96	
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,10						0,90					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	7,07		8,77		5,59		7,63		9,49		6,00	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Hu (GJ/t TS)	16,38											
Energie-Ertrag (GJ/ha)	99,64		123,55		78,71		107,51		133,63		84,56	
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	11,61		14,40		9,17		13,86		17,22		10,90	
Hu (GJ/t TS)	190,21		235,87		150,27		226,97		282,10		178,52	
Düngeraufwand /ha												
N	185,00		214,33		159,34		223,96		263,11		189,56	
P2O5	65,00		80,60		63,67		70,50		87,62		55,45	
K2O	135,00		167,40		132,25		54,70		67,98		43,02	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		417,20		486,20		385,62		418,26		488,36		356,67
Energie (GJ/ha)	10,90		12,65		9,69		12,18		14,26		10,35	
AUFWAND DER STROHBERGUNG												
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		100,50		115,98		86,95		93,65		108,63		80,49
dv.RB pressen (DM/t FM)	8,78		7,79		10,13		7,73		6,91		8,87	
dv.Transport (DM/tFM)	5,43						4,54					
Schlepper-h /ha Sh2	4,59		5,69		3,62		3,33		4,14		2,62	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,27						0,20					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,38						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	38,54		47,79		30,44		31,32		38,93		24,63	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	0,77		0,96		0,61		0,63		0,78		0,49	
Energie (GJ/ha)	1,38		1,71		1,09		1,12		1,40		0,88	
FIXKOSTEN (DM/ha)		103,68		116,56		92,40		85,98		97,39		75,95
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Düngerwert (DM/ha)		90,23		111,89		71,28		101,55		121,02		76,58
Humuswert (15 DM/t TM)	15,00	91,24		113,14		72,08		98,45		122,37		77,44
"Energieschlechtschr."(GJ/t TM)	0,32											
Zinsansatz f. Umlaufkap.		4,70		5,68		3,84		4,89		5,87		3,91
Bindungsdauer (Monate)	4,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		286,67		346,69		234,16		298,55		357,88		238,42
AKh-Bedarf pro ha	4,59		5,69		3,62		3,33		4,14		2,62	
dv. RB pressen (AKh/ha)	1,90		2,36		1,50		1,50		1,86		1,18	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,38						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		91,75		113,78		72,49		86,62		107,67		68,13
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		482,10		577,03		399,05		471,15		562,93		382,50
" / t STROH (DM/t TM)		79,26		76,50		83,04		71,78		69,00		74,09
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	3,33		4,13		2,63		3,23		4,01		2,54	
" / t STROH (GJ/t TM)	0,55		0,55		0,55		0,49		0,49		0,49	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS	N-Preis:	1,11						1,22				
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE	N-Verteuerung:		1,00									
N :	22,10											
P2O5:	8,70											
K2O :	6,00											
MgO :	2,20											
CaO :	1,00											
Düngerwert (DM/t TS)		38,20						41,16				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,16											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,66		0,71		0,61		0,72		0,76		0,67	
STROH/KRAUT												
N :	4,60											
P2O5:	2,20											
K2O :	11,00											
MgO :	1,10											
CaO :	3,40											
Düngerwert (DM/t TS)		14,83						15,47				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,32											

Korn : Strohverhältnisse (Faustzahlen f. Landwirtschaft 1988)

Tabelle AIII.1-15b: Produktionsverfahren Strohbergung, angelehnt an W-Weizen : Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 17-Jan-93

MERKMALE STROHBERGUNG (angelehnt an W-Weizen) N-ABGABE	1987 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschn techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Ertrag Korn 1986-88 (t FM/ha)												
Ertrag :KORN (")	5,81		7,30		4,49		6,82		8,73		5,13	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Hu (GJ/t TS)	16,38											
Verhältnis Haupt-:Nebenprod.	1,10						0,90					
Ertrag :STROH (t FM/ha)	6,39		8,03		4,94		6,14		7,86		4,62	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Hu (GJ/t TS)	16,38											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	10,49		13,18		8,11		11,14		14,26		8,38	
Düngeraufwand /ha												
N												
P2O5												
K2O												
CaO												
Summe Düngerkosten												
Energie (GJ/ha)												
AUFWAND DER STROHBERGUNG												
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		94,05		109,23		81,04		81,47		95,47		69,29
dv.RB pressen (DM/t FM)	9,28		8,17		10,97		8,73		7,61		10,47	
dv.Transport (DM/tFM)	5,43						4,54					
Schlepper-h /ha Sh2	4,15		5,21		3,20		2,68		3,43		2,02	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,27						0,20					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,38						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	34,82		43,75		26,91		25,19		32,24		18,95	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	0,70		0,88		0,54		0,50		0,64		0,38	
Energie (GJ/ha)	1,25		1,57		0,96		0,90		1,16		0,68	
FIXKOSTEN (DM/ha)		98,50		110,94		87,48		76,78		87,36		67,42
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Düngerwert (DM/ha)		165,72		208,22		128,07		170,54		203,74		119,72
Humuswert (15 DM/t TM)	15,00	82,44		103,59		63,71		79,18		101,36		59,56
"Energieschlechtschr."(GJ/t TM)	0,32											
Zinsansatz f. Umlaufkap.		5,70		7,02		4,55		5,52		6,68		4,14
Bindungsdauer (Monate)	4,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		347,92		428,05		277,37		336,71		407,24		252,72
AKh-Bedarf pro ha	4,13		5,19		3,19		2,67		3,42		2,01	
dv. RB pressen (AKh/ha)	1,70		2,14		1,31		1,20		1,54		0,90	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,38						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		82,57		103,75		63,81		69,50		88,97		52,28
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		528,99		642,74		428,67		482,99		583,56		372,42
" / t STROH (DM/t TM)		96,25		93,07		100,92		91,50		86,36		93,79
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	3,01		3,78		2,33		2,60		3,32		1,95	
" / t STROH (GJ/t TM)	0,55		0,55		0,55		0,49		0,49		0,49	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS	*N-Preis:*	1,11						1,22				
KORN/SAMEN/KNOLLEN/RÜBE	N-Verteuerung:		4,00									
N :	22,10											
P2O5:	8,70											
K2O :	6,00											
MgO :	2,20											
CaO :	1,00											
Düngerwert (DM/t TS)		111,80						122,04				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	1,16											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)												
STROH/KRAUT												
N :	4,60											
P2O5:	2,20											
K2O :	11,00											
MgO :	1,10											
CaO :	3,40											
Düngerwert (DM/t TS)		30,15						32,31				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,32											

Tabelle AIII.1-16a: Heugewinnung von eingesäten Ackerflächen (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität *17-Jan-93*

MERKMALE EINSAAT VON ACKERFLÄCHE - HEUWERBUNG - (2 Schnitte) HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	150,00						140,00					
Ertrag :Heu 1986-88 (t FM/ha)												
Ertrag :HEU (")	11,63		13,95		9,30		13,54		16,27		10,81	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	1,00											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80				1,20		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,10											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	10,00		12,00		8,00		11,70		13,99		9,30	
AUFWAND												
Aussaat: anteilige Aufwendg./ha												
Kosten (5Jahre,A:0,231)(DM/ha)		174,00						174,00				
Energie (5 Jahre) (GJ/ha)	1,42						1,38					
Düngeraufwand /ha												
N	190,00		220,40		159,60		206,06		238,69		173,28	
P2O5	65,00		78,00		62,40		77,64		93,28		62,00	
K2O	300,00		360,00		288,00		349,40		419,76		279,01	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		521,75		605,66		477,97		610,32		710,32		510,11
Energie (GJ/ha)	12,32		14,29		10,81		13,55		15,73		11,37	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		259,16		278,39		239,93		299,08		321,05		277,11
dv. Ernte + Transport (DM/ha)		226,16		245,39		206,93		262,08		284,05		240,11
dv.RB pressen (DM/t FM)	6,62		6,10		7,39		6,17		5,73		6,84	
dv.Transport (DM/tFM)	4,75						4,54					
Schlepper-h /ha Sh1	13,00						10,00					
Schlepper-h /ha Sh2	6,82		8,19		5,46		5,89		7,08		4,71	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,26						0,20					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,33						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	114,51		125,97		103,05		118,41		129,57		107,25	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	2,29		2,52		2,06		2,37		2,59		2,14	
Energie (GJ/ha)	4,11		4,52		3,70		4,25		4,65		3,85	
FIXKOSTEN (DM/ha)												
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Düngerwert (DM/ha)												
"Energieschlechtschr."(GJ/t TM)												
Zinsansatz f. Umlaufkap.		26,03		28,37		22,83		29,08		33,15		25,01
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		980,94		1086,43		914,73		1112,48		1238,52		986,22
AKh-Bedarf pro ha	19,82		21,19		18,46		15,89		17,08		14,71	
dv. RB pressen (AKh/ha)	2,99		3,58		2,39		2,64		3,18		2,11	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,33						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		396,45		423,74		369,16		413,26		444,12		382,38
Pachtansatz (DM/ha)		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2527,39		2760,16		2333,89		2395,74		2622,63		2168,60
" / t HEU (DM/t TM)		252,74		230,01		291,74		204,76		187,44		233,17
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	17,85		20,23		15,92		19,18		21,76		16,60	
" / t HEU (GJ/t TM)	1,78		1,69		1,99		1,64		1,55		1,78	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg/t TS) HEU (Mittel ü. 2 Schnitte)												
N :	15,20											
P2O5:	6,00											
K2O :	24,00											
MgO :	6,00											
CaO :	9,00											
Düngerwert (DM/t TS)		40,36						42,39				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,95											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,80		0,828		0,762		0,823		0,848		0,788	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		20,87						21,18				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		129,13						98,82				
Verhältnis Yo : Ymax (1988)	0,23											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	2,67		3,21		2,14		2,67		3,21		2,14	
b	0,08565		0,08890		0,08116		0,09313		0,09708		0,08777	
c	-0,0002		-0,00018		-0,00023		-0,0002		-0,00018		-0,00022	
Ymax	11,72		14,05		9,38		13,74		16,48		10,99	
Nmax	211,20		243,99		178,51		237,56		273,49		201,67	
N-Düngereffiz. Ymax	0,73		0,75		0,69		0,76		0,79		0,71	
Yopt	11,63		13,95		9,30		13,54		16,27		10,81	
Nopt	190,00		220,40		159,60		206,06		238,69		173,28	
N-Düngereffiz. Yopt	0,80		0,83		0,76		0,86		0,89		0,82	
WSG-INTENSITÄT: 80 % des N-Entz.	0,80	N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							144,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		20,87						21,18				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		129,13						98,82				
N (kg/ha)	121,60		145,92		97,28		141,62		170,14		113,09	
Y (t/ha)	10,09		12,30		7,88		11,93		14,59		9,28	
N-Düngereffiz.	1,08		1,10		1,06		1,10		1,12		1,07	
N-ABGABE (300%):												
N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							140,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								21,18				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								118,82				
Nopt (kg/ha)	126,41		149,62		102,88		132,72		157,69		107,22	
Yopt (t/ha)	10,26		12,43		8,08		11,58		14,10		9,05	
N-Düngereffiz.	1,06		1,09		1,03		1,14		1,17		1,10	

::

Tabelle AIII.1-16b: Heugewinnung von eingesäten Ackerflächen (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 17-Jan-93

EINSAAT VON ACKERFLÄCHE - HEUWERBUNG - (2 Schnitte) N-ABGABE	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t FM)	150,00						140,00					
Ertrag :Heu 1986-88 (t FM/ha)												
Ertrag :HEU (")	10,26		12,43		8,08		11,58		14,10		9,05	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)												
Relation Durchschn. : KTBL-L												
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,10											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	8,82		10,69		6,95		9,96		12,13		7,78	
AUFWAND												
Aussaat: anteilige Aufwendg./ha												
Kosten (5Jahre,A:0,231)(DM/ha)		174,00						174,00				
Energie (5 Jahre) (GJ/ha)	1,42						1,38					
Düngeraufwand /ha												
N	126,41		149,62		102,88		0,00		0,00		0,00	
P2O5	57,36		69,50		45,19		66,40		80,87		51,88	
K2O	264,74		320,76		208,55		298,82		363,90		233,46	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		421,68		494,28		348,58		315,66		371,34		259,74
Energie (GJ/ha)	9,06		10,66		7,44		3,59		4,21		2,96	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		243,63		265,81		229,85		283,29		303,61		262,88
dv. Ernte + Transport (DM/ha)		210,63		232,81		196,85		246,29		266,61		225,88
dv.RB pressen (DM/t FM)	6,62		6,42		7,98		6,62		6,07		7,49	
dv.Transport (DM/tFM)	4,75						4,54					
Schlepper-h /ha Sh1	13,00						10,00					
Schlepper-h /ha Sh2	6,02		7,29		4,74		5,04		6,14		3,94	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,26						0,20					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,33						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	107,77		118,47		97,04		110,39		120,71		100,02	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	2,16		2,37		1,94		2,21		2,41		2,00	
Energie (GJ/ha)	3,86		4,25		3,48		3,96		4,33		3,59	
FIXKOSTEN (DM/ha)												
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Düngerwert (DM/ha)												
"Energieschlechtschr."(GJ/t TM)												
Zinsansatz f. Umlaufkap.		22,18		24,24		18,18		18,73		21,26		16,19
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		861,49		958,34		770,61		791,68		870,21		712,81
AKh-Bedarf pro ha	19,02		20,29		17,74		15,04		16,14		13,94	
dv. RB pressen (AKh/ha)	2,63		3,19		2,08		2,26		2,75		1,77	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,33						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		380,41		405,89		354,85		391,07		419,62		362,40
Pachtansatz (DM/ha)		500,00		600,00		400,00		350,00		420,00		280,00
Feste Spezial-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		2141,90		2364,22		1925,47		1752,75		1929,83		1575,21
" / t HEU (DM/t TM)		242,72		221,12		276,98		175,97		159,09		202,42
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	14,35		16,33		12,34		8,93		9,92		7,93	
" / t HEU (GJ/t TM)	1,63		1,53		1,78		0,90		0,82		1,02	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg/t TS)												
HEU (Mittel ü. 2 Schnitte)												
N :	15,20											
P2O5:	6,00											
K2O :	24,00											
MgO :	6,00											
CaO :	9,00											
Düngerwert (DM/t TS)		90,98						98,09				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,95											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	1,06		0,810		0,735		0,799		0,829		0,757	

Tabelle AIII.1-17a: Heugewinnung von Dauergrünland (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität *17-Jan-93*

MERKMALE DAUERGRÜNLAND - HEUWERBUNG - (2 Schnitte) HOHE INTENSITÄT	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	1987 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 Durchschnitt ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L5 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	2005 KTBL-L1 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	150,00						120,00					
Ertrag :Heu 1986-88 (t FM/ha)	8,18											
Ertrag :HEU (")	8,18		9,82		6,54		9,22		11,08		7,36	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	0,80											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80				1,20		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,10											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	7,03		8,44		5,63		7,90		9,53		6,33	
AUFWAND												
Düngeraufwand /ha												
N	140,00		161,39		118,61		146,97		169,31		124,46	
P2O5	50,00		60,00		48,00		52,85		63,52		42,18	
K2O	215,00		258,00		206,40		237,85		285,84		189,82	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		398,90		459,34		367,82		442,79		511,12		374,25
Energie (GJ/ha)	9,25		10,65		8,18		9,76		11,25		8,27	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		230,65		244,18		217,12		264,25		279,24		249,26
dv. Ernte + Transport (DM/ha)		197,65		211,18		184,12		227,25		242,24		212,26
dv.RB pressen (DM/t FM)	7,92		7,19		9,02		7,42		6,76		8,41	
dv.Transport (DM/tFM)	4,75						4,54					
Schlepper-h /ha Sh1	13,00						10,00					
Schlepper-h /ha Sh2	4,80		5,76		3,84		4,01		4,82		3,20	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,26						0,20					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,33						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	97,51		105,58		89,45		100,72		108,33		93,10	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,95		2,11		1,79		2,01		2,17		1,86	
Energie (GJ/ha)	3,50		3,79		3,21		3,61		3,88		3,34	
FIXKOSTEN (DM/ha)												
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Zinsansatz f. Umlaufkap.		20,98		22,35		18,40		22,33		25,11		19,55
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		650,53		725,87		603,34		729,38		815,46		643,06
AKh-Bedarf pro ha	17,80		18,76		16,84		14,01		14,82		13,20	
dv. RB pressen (AKh/ha)	2,10		2,52		1,68		1,80		2,16		1,44	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,33						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		355,99		375,19		336,79		280,25		385,38		343,26
Pachtansatz (DM/ha)		300,00		360,00		240,00		210,00		250,00		170,00
Peste Spezial-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		1956,52		2111,05		1830,13		1739,63		1970,84		1676,32
" / t HEU (DM/t TM)		278,12		250,07		325,19		220,21		206,85		264,93
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	12,74		14,44		11,39		13,38		15,14		11,61	
" / t HEU (GJ/t TM)	1,81		1,71		2,02		1,69		1,59		1,83	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg/t TS) HEU (Mittel ü. 2 Schnitte)												
N :	15,20											
P2O5:	6,00											
K2O :	24,00											
MgO :	6,00											
CaO :	9,00											
Düngerwert (DM/t TS)		40,36						42,39				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,95											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,76		0,80		0,72		0,78		0,81		0,74	
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		20,87						21,18				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		129,13						98,82				
Verhältnis Yo : Ymax (1988)	0,23											
N-ERTRAGSFUNKTION:												
Yo	1,88		2,26		1,51		1,88		2,26		1,51	
b	0,08138		0,08507		0,07637		0,08749		0,09185		0,08169	
c	-0,00026		-0,00024		-0,00029		-0,00026		-0,00023		-0,00028	
Ymax	8,25		9,89		6,61		9,37		11,24		7,49	
Nmax	156,53		179,53		133,66		171,14		195,63		146,64	
N-Düngereffiz. Ymax	0,69		0,72		0,65		0,72		0,75		0,67	
Yopt	8,18		9,82		6,54		9,22		11,08		7,36	
Nopt	140,00		161,39		118,61		146,97		169,31		124,46	
N-Düngereffiz. Yopt	0,76		0,80		0,72		0,82		0,86		0,77	
WSG-INTENSITÄT: 80 % des N-Entz.	0,80	N-Düngung = 80 % des N-Entzuges										
Erzeugerpreis (DM/t)							140,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		20,87						21,18				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)		129,13						98,82				
N (kg/ha)	85,54		102,65		68,43		96,41		115,86		76,94	
Y (t/ha)	6,94		8,49		5,39		7,94		9,75		6,14	
N-Düngereffiz.	1,06		1,08		1,03		1,08		1,10		1,04	
N-ABGABE (300%): N-Preis-Verteuerung: Faktor	4,00											
Erzeugerpreis (DM/t)							140,00					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)								21,18				
Erzeugpr.-ertragsabh.Kost(DM/t)								118,82				
Nopt (kg/ha)	90,40		106,96		73,48		90,74		108,08		72,85	
Yopt (t/ha)	7,11		8,65		5,57		7,72		9,44		5,98	
N-Düngereffiz.	1,03		1,06		0,99		1,11		1,14		1,07	

::

Tabelle AIII.1-17b: Heugewinnung von Dauergrünland (2 Schnitte, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 17-Jan-93

MERKMALE DAUERGRÜNLAND - HEUWERBUNG - (2 Schnitte) N-ABGABE	1987 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	1987 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 Durchschnitt techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L5 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)	2005 KTBL-L1 techn. Kenndat. (kg/ha) (t/ha)	 ökon. Kenndat. (DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	150,00						140,00					
Ertrag :Heu 1986-88 (t FM/ha)	8,18											
Ertrag :HEU (")	7,11		8,65		5,57		7,72		9,44		5,98	
Linear.Ertragszuwachs (%/a)	0,80											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80							
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Ho (GJ/t TS)	18,10											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	6,12		7,44		4,79		6,60		8,12		5,14	
AUFWAND												
Düngeraufwand /ha												
N	90,40		106,96		73,48		90,74		108,08		72,85	
P2O5	43,48		52,85		34,07		44,24		54,14		34,27	
K2O	186,98		227,26		146,50		199,07		243,62		154,23	
CaO	400,00											
Summe Düngerkosten		620,95		728,88		511,28		673,47		796,29		547,77
Energie (GJ/ha)	6,69		7,85		5,52		6,80		8,03		5,55	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		221,83		234,50		209,10		252,15		266,05		238,15
dv. Ernte + Transport (DM/ha)		188,83		201,50		176,10		215,15		229,05		201,15
dv.RB pressen (DM/t FM)	8,58		7,69		9,98		8,18		7,33		9,54	
dv.Transport (DM/tFM)	4,75						4,54					
Schlepper-h /ha Sh1	13,00						10,00					
Schlepper-h /ha Sh2	4,17		5,07		3,27		3,36		4,11		2,60	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,30						0,23					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,33						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	92,26		99,81		84,67		94,57		101,63		87,46	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	1,85		2,00		1,69		1,89		2,03		1,75	
Energie (GJ/ha)	3,31		3,58		3,04		3,39		3,64		3,14	
FIXKOSTEN (DM/ha)												
Schlepper (DM/Sh2)	11,70						14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00						39,00					
Zinsansatz f. Umlaufkap.		28,09		31,01		22,91		29,62		34,18		24,96
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		870,88		994,40		743,29		955,24		1096,52		810,88
AKh-Bedarf pro ha	17,45		18,07		16,48		13,65		14,11		12,60	
dv. RB pressen (AKh/ha)	2,10		2,22		1,65		1,80		1,84		1,17	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,33						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		348,95		361,46		329,70		273,04		366,86		327,65
Pachtansatz (DM/ha)		300,00		360,00		240,00		210,00		250,00		170,00
Feste Spezial-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-Prämie (- abzüglich)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		1919,83		2115,86		1712,98		1658,28		1933,38		1528,53
" / t HEU (DM/t TM)		313,80		284,55		357,35		251,25		238,09		297,32
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	10,00		11,43		8,56		10,20		11,67		8,69	
" / t HEU (GJ/t TM)	1,63		1,54		1,79		1,54		1,44		1,69	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg/t TS)												
HEU (Mittel ü. 2 Schnitte)												
N :	15,20											
P2O5:	6,00											
K2O :	24,00											
MgO :	6,00											
CaO :	9,00											
Düngerwert (DM/t TS)		90,98						98,09				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,95											
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	1,03		0,77		0,69		0,75		0,79		0,70	

::

Tabelle AIII.1-18: PFLEGEVARIANTE Dauergrünland: Heugewinnung (1 Schnitt, überständiges Heu): Gegenwart (1987) und 2005 17-Jan-93

MERKMALE	1987		1987		1987		2005		2005		2005	
PFLEGEVARIANTE: Dauergrünland	Durchschnitt		KTBL-L5		KTBL-L1		Durchschnitt		KTBL-L5		KTBL-L1	
- HEUWERBUNG -	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.
(1 Schnitt)	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.	Kenndat.
- ohne Düngung -	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)
Erzeugerpreis (DM/t)	150,00						120,00					
Ertrag :Heu 1986-88 (t FM/ha)	8,18											
Ertrag :HEU (")	5,70		6,80		4,60		4,90		5,80		4,00	
Ertragsrückgang: Faktor bis 2005	0,86											
Relation Durchschn. : KTBL-L			1,20		0,80				1,20		0,80	
TS-Gehalt (% FM)	86,00											
Hu (GJ/t TS)	16,38											
Ertrag :INSGESAMT (t TM/ha)	4,90		5,80		4,00		4,20		5,00		3,40	
Energieertrag (Hu) (GJ/ha)	80,26		95,00		65,52		68,80		81,90		55,69	
AUFWAND												
Düngeraufwand /ha	Es wurde unterstellt, daß eine Düngung nicht erlaubt ist!											
N												
P2O5	Aus diesem Sachverhalt heraus wurden auch keine Nutzungskosten für die											
K2O	entzogenen Nährstoffe veranschlagt!											
CaO												
Summe Düngerkosten												
Energie (GJ/ha)												
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		165,01		174,47		155,55		173,06		180,76		165,32
dv. Ernte + Transport (DM/ha)		132,01		141,47		122,55		136,06		143,76		128,32
dv.RB pressen (DM/t FM)	10,17		9,15		11,68		11,38		10,25		13,04	
dv.Transport (DM/tFM)	4,75						4,54					
Schlepper-h /ha Sh1	4,30						3,50					
Schlepper-h /ha Sh2	3,48		4,15		2,81		2,28		2,69		1,86	
dv. RB pressen (Sh2/t FM)	0,28						0,22					
dv. Transport (Sh2/t FM)	0,33						0,24					
Treibstoffverbrauch (l/ha)	48,16		53,80		42,52		43,45		47,37		39,51	
Schmierstoff-Verbr. (l/ha)	0,96		1,08		0,85		0,87		0,95		0,79	
Energie (GJ/ha)	1,73		1,93		1,52		1,56		1,70		1,42	
FIXKOSTEN (DM/ha)	Fixkosten wurden insgesamt in Rechnung gestellt, s. Feste Spezial-/Gemeinkosten!											
Schlepper (DM/Sh2)	11,70	Beim reinen Pflegebetrieb wären diese					14,10					
RB-Presse (DM/ha)	50,00	deutlich niedriger (s.Schlepper, RB-Presse).					39,00					
Zinsansatz f. Umlaufkap.		5,50		4,72		4,09		4,54		4,79		4,28
Bindungsdauer (Monate)	8,00											
SUMME VAR. KOSTEN (DM/ha)		170,51		179,19		159,64		177,59		185,55		169,59
AKh-Bedarf pro ha	7,78		8,45		7,11		5,78		6,19		5,36	
dv. RB pressen (AKh/ha)	1,60		1,91		1,29		1,10		1,30		0,90	
dv. Transport (AKh/t FM)	0,33						0,24					
Lohnansatz für AKh (DM/ha)		155,62		169,06		142,18		115,53		161,03		139,30
Pachtansatz (DM/ha)		200,00		240,00		160,00		140,00		170,00		110,00
Feste Spezial-/Gemeinkosten		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN (DM/ha)		1176,13		1238,24		1111,82		953,12		1036,58		938,89
" / t HEU (DM/t TM)		240,03		213,49		277,96		226,93		207,32		276,14
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	1,73		1,93		1,52		1,56		1,70		1,42	
" / t HEU (GJ/t TM)	0,35		0,33		0,38		0,37		0,34		0,42	
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE (kg/t TS)												
HEU												
N :	12,00											
P2O5:	6,00											
K2O :	21,00											
MgO :	8,00											
CaO :	12,00											
Düngerwert (DM/t TS)		35,86						37,54				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,79											
N-Preis (DM/kg)	1,11						1,22					
ertragsabhäng. Kosten (DM/t)		20,03						20,34				
Erzeupr. - ertragsabhä.Ko.(DM/t)		129,97						99,66				

Tabelle AIII.1-19a: Produktionsverfahren: Miscanthus als Festbrennstoff: Gegenwart (1987) und 2005: Hohe Intensität 17-Jan-93

MERKMALE	1987 KTBL-L1		1987 Durchschnitt		1987 KTBL-L5		2005 KTBL-L1		2005 Durchschnitt		2005 KTBL-L5	
MISCANTHUS	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten	techn. Kenndaten	ökon. Kenndaten
HOHE INTENSITÄT	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)
TM-Ertrag (t TM/ha)	12,00		16,00		20,00		15,00		20,00		25,00	
Linear. Ertragszuwachs (in % von 1987)	1,50											
Relation Durchschn. zu KTBL-L	0,75		1,00		1,25							
Anlagekosten (einmalig)												
Grunddüngung: P2O5	150,00						150,00					
K2O	400,00						400,00					
CaO	400,00						400,00					
Kosten (DM/ha)		463,50						472,50				
Maschinenkosten: fixe (DM/ha)		142,00						140,00				
var. (")		111,00						116,00				
Lohnansatz (DM/ha)		354,00						392,60				
Su. Kosten:Dg.+Masch.+Lohn (DM/ha)		1070,50						1121,10				
Kosten für Pflanzgut (20000 Pfl./ha):	20000						20000					
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)	0,70	14000,00					0,50	10000,00				
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)	0,50	10000,00					0,30	6000,00				
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)	0,30	6000,00					0,10	2000,00				
Energieaufwand, inkl. Pflanzgut (GJ/ha)	13,13						12,95					
JÄHRLICHE, ANTEILIGE ANLAGEKOSTEN (DM/ha):												
:Annuität: Zinssatz (Real-) (%)	5,00											
:Laufzeit = Nutzungsdauer + 1 (Jahre)	11,00											
:Korrekturfakt.f.Erlösausfall 1./2.Jahr	1,075											
Annuitätsfaktor: 5 %, 11 Jahre, +7,5 %	0,129						0,129					
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)		1950,39						1439,27				
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)		1432,72						921,60				
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)		915,05						403,93				
JÄHRLICHER, ANTEILIGER ENERGIEAUFW.(GJ/ha)	1,31						1,29					
ENERGIEERTRAG (Hu) (GJ/ha)	200,88		267,84		334,80		251,10		334,80		418,50	
Energiegehalt (Hu) (GJ/t TS)	16,74											
JÄHRLICHER AUFWAND:												
Düngeraufwand /ha												
N	75,00		100,00		125,00		94,00		125,00		156,00	
P2O5	20,00		27,00		33,00		25,00		33,00		42,00	
K2O	120,00		160,00		200,00		150,00		200,00		250,00	
CaO	400,00		400,00		400,00		400,00		400,00		400,00	
Summe Düngerkosten		237,05		296,43		354,72		293,43		370,45		448,62
Energie (GJ/ha)	5,25		6,76		8,27		6,39		8,27		10,15	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	1,00	70,00					1,00	84,00				
Energie (GJ/ha)	0,12						0,12					
Beregnung (für Ertragsanteil >20 t TM/ha):												
Beregnungsbedarf in mm/t TM*ha(>20 t TM)	30						30,00				150,00	
Kosten (Lohn, o.Pixko. Schlep.) (DM/mm)	3,00						3,20					
Kosten der Beregnung (DM/ha)												480,00
Treibstoffverbrauch pro mm Beregnung	1,70						1,60					
Treibstoffverbrauch (l/ha)											240,00	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		178,00		208,00		237,00		196,00		232,00		267,00
dv.Ernte (DM/ha)		84,50		87,10		89,80		86,00		89,00		92,00
dv.Transport:4 km:zur Lohntrock. (DM/tFM)		4,70						4,50				
Schlepper-h /ha: Sh1	1,60		1,60		1,60		1,00		1,00		1,00	
" : Sh2	6,40		8,00		9,50		5,60		7,00		8,40	
dv.Ernte (Sh2/ha)	2,30		2,49		2,68		2,00		2,17		2,33	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,24						0,17					
Treibstoffverbrauch (inkl.Beregn.)(l/ha)	60,80		74,24		86,84		58,54		71,70		324,86	
Schmierstoff-Verbr.(inkl.Beregn.) (l/ha)	1,22		1,48		1,74		1,17		1,43		6,50	
Energie (inkl. Beregnung) (GJ/ha)	2,18		2,66		3,11		2,10		2,57		11,65	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	70,00						70,00					
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00						86,00					
Trocknungskosten (DM/t TM) bzw. (DM/ha)	47,00	564,00		752,00		940,00	47,00	705,00		940,00		1175,00
Energie (GJ/ha)	15,95		21,26		26,58		19,93		26,58		33,22	
Versicherung												
Zinsans.für Umlaufkap.: 5 % / Summe(DM/ha)	0,05	50,97		63,21		75,27	0,05	62,16		77,66		125,17
Düng.+PSM:Bindungsdauer(Monate)/ (DM/ha)	20,00	26,66		31,66		36,47	20,00	32,58		39,07		45,58
Beregnung: " "	16,00					0,00	16,00					32,00
Ernte/Transport/Trocknung: " "	8,00	24,30		31,55		38,80	8,00	29,58		38,59		47,59
SUMME VAR. KOSTEN o. Pflanzkosten (DM/ha)		1100,00		1390,00		1677,00		1341,00		1704,00		2580,00
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		-1100,00		-1390,00		-1677,00		-1341,00		-1704,00		-2580,00
AKh-Bedarf pro ha	8,10		9,70		11,20		6,70		8,10		9,50	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,30		2,49		2,68		2,00		2,17		2,33	
dv.Transport (AKh/tFM)	0,24						0,17					
Lohnansatz für AKh (DM/AKh) / (DM/ha)	20,00	162,00		194,00		224,00	26,00	174,20		210,60		247,00
Pachtansatz (DM/ha)		400,00		500,00		600,00		280,00		350,00		420,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten (DM/ha)		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
GESAMTKOSTEN inkl. anteil.Pflanzkosten:												
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)		4262,39		4684,39		5101,39		3754,47		4223,87		5206,27
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)		3744,72		4166,72		4583,72		3236,80		3706,20		4688,60
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)		3227,05		3649,05		4066,05		2719,13		3188,53		4170,93
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/t TM)		355,20		292,77		255,07		250,30		211,19		208,25
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/t TM)		312,06		260,42		229,19		215,79		185,31		187,54
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/t TM)		268,92		228,07		203,30		181,28		159,43		166,84
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	24,81		32,12		39,39		29,86		38,84		56,45	
" (GJ/t TM)	2,07		2,01		1,97		1,99		1,94		2,26	
" (GJ/GJ Hu)	0,123		0,120		0,118		0,119		0,116		0,135	
N-PREIS (DM/kg N)	1,11						1,22					
N-PREIS-VERTEUERUNG: FAKTOR	1,00											
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
STROH/KRAUT												
N :	5,00						5,00					
P2O5:	1,50						1,50					
K2O :	8,00						8,00					
MgO :	1,60						1,60					
CaO :	2,00						2,00					
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,80						0,80					
Düngerwert (DM/t TS)		12,61						13,25				

Tabelle AIII.1-19b: Produktionsverfahren: Miscanthus als Festbrennstoff: Gegenwart (1987) und 2005: N-Abgabe 17-Jan-93

MERKMALE	1987 KTBL-L1		1987 Durchschnitt		1987 KTBL-L5		2005 KTBL-L1		2005 Durchschnitt		2005 KTBL-L5	
MISCANTHUS	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.	techn.	ökon.
	Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten		Kenndaten	
N-ABGABE	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)	(kg/ha) (t/ha)	(DM/t) (DM/ha)
TM-Ertrag (t TM/ha)	12,00		16,00		20,00		15,00		20,00		25,00	
Linear. Ertragszuwachs (in % von 1987)	1,50											
Relation Durchschn. zu KTBL-L	0,75		1,00		1,25							
Anlagekosten (einmalig)												
Grunddüngung: P2O5	150,00						150,00					
K2O	400,00						400,00					
CaO	400,00						400,00					
Kosten (DM/ha)		463,50						472,50				
Maschinenkosten: fixe (DM/ha)		142,00						140,00				
var. (")		111,00						116,00				
Lohnansatz (DM/ha)		354,00						392,60				
Su. Kosten:Dg.+Masch.+Lohn (DM/ha)		1070,50						1121,10				
Kosten für Pflanzgut (20000 Pfl./ha):	20000						20000					
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)	0,70	14000,00					0,50	10000,00				
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)	0,50	10000,00					0,30	6000,00				
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)	0,30	6000,00					0,10	2000,00				
Energieaufwand, inkl. Pflanzgut (GJ/ha)	13,13						12,95					
JÄHRLICHE, ANTEILIGE ANLAGEKOSTEN (DM/ha):												
:Annuität: Zinsatz (Real-) (%)	5,00											
:Laufzeit = Nutzungsdauer + 1 (Jahre)	11,00											
:Korrekturfakt.f.Erlösausfall 1./2.Jahr	1,075											
Annuitätsfaktor: 5 %, 11 Jahre, +7,5 %	0,129						0,129					
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)		1950,39						1439,27				
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)		1432,72						921,60				
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)		915,05						403,93				
JÄHRLICHER, ANTEILIGER ENERGIEAUFW.(GJ/ha)	1,31						1,29					
ENERGIEERTRAG (Hu) (GJ/ha)	200,88		267,84		334,80		251,10		334,80		418,50	
Energiegehalt (Hu) (GJ/t TS)	16,74											
JÄHRLICHER AUFWAND:												
Düngeraufwand /ha												
N	75,00		100,00		125,00		94,00		125,00		156,00	
P2O5	20,00		27,00		33,00		25,00		33,00		42,00	
K2O	120,00		160,00		200,00		150,00		200,00		250,00	
CaO	400,00		400,00		400,00		400,00		400,00		400,00	
Summe Düngerkosten		486,80		629,43		770,97		637,47		827,95		1019,58
Energie (GJ/ha)	5,25		6,76		8,27		6,39		8,27		10,15	
PSM-Aufwand /ha												
Herbizide	1,00	98,00					1,00	118,00				
Energie (GJ/ha)	0,12						0,12					
Beregnung (für Ertragsanteil >20 t TM/ha):												
Beregnungsbedarf in mm/t TM*ha(>20 t TM)	30						30,00				150,00	
Kosten (Lohn, o.Pirko. Schleg.) (DM/mm)	3,00						3,20					
Kosten der Beregnung (DM/ha)												480,00
Treibstoffverbrauch pro mm Beregnung	1,70						1,60					
Treibstoffverbrauch (l/ha)											240,00	
Variable Masch.-Kosten (DM/ha)		178,00		208,00		237,00		196,00		232,00		267,00
dv.Ernte (DM/ha)		84,50		87,10		89,80		86,00		89,00		92,00
dv.Transport:4 km:zur Lohntrock. (DM/tFM)		4,70						4,50				
Schlepper-h /ha: Sh1	1,60		1,60		1,60		1,00		1,00		1,00	
" : Sh2	6,40		8,00		9,50		5,60		7,00		8,40	
dv.Ernte (Sh2/ha)	2,30		2,49		2,68		2,00		2,17		2,33	
dv.Transport (Sh2/tFM)	0,24						0,17					
Treibstoffverbrauch (inkl.Beregn.)(l/ha)	60,80		74,24		86,84		58,54		71,70		324,86	
Schmierstoff-Verbr.(inkl.Beregn.) (l/ha)	1,22		1,48		1,74		1,17		1,43		6,50	
Energie (inkl. Beregnung) (GJ/ha)	2,18		2,66		3,11		2,10		2,57		11,65	
Lohntrocknung												
TS-Gehalt n.Ernte (% FM)	70,00						70,00					
TS-Gehalt n.Trockn. (% FM)	86,00						86,00					
Trocknungskosten (DM/t TM) bzw. (DM/ha)	47,00	564,00		752,00		940,00	47,00	705,00		940,00		1175,00
Energie (GJ/ha)	15,95		21,26		26,58		19,93		26,58		33,22	
Versicherung												
Zinsans.für Umlaufkap.: 5 % / Summe(DM/ha)	0,05	71,78		90,96		109,96	0,05	93,67		118,62		175,58
Düng.+PSM:Bindungsdauer(Monate)/ (DM/ha)	20,00	47,48		59,41		71,16	20,00	64,09		80,03		95,99
Beregnung: " " "	16,00					0,00	16,00					32,00
Ernte/Transport/Trocknung: " "	8,00	24,30		31,55		38,80	8,00	29,58		38,59		47,59
SUMME VAR. KOSTEN o. Pflanzkosten (DM/ha)		1399,00		1778,00		2156,00		1750,00		2237,00		3235,00
DECKUNGSBEITRAG (DM/ha)		-1399,00		-1778,00		-2156,00		-1750,00		-2237,00		-3235,00
AKh-Bedarf pro ha	8,10		9,70		11,20		6,70		8,10		9,50	
dv.Ernte (AKh/ha)	2,30		2,49		2,68		2,00		2,17		2,33	
dv.Transport (AKh/tFM)	0,24						0,17					
Lohnansatz für AKh (DM/AKh) / (DM/ha)	20,00	162,00		194,00		224,00	26,00	174,20		210,60		247,00
Pachtansatz (DM/ha)		400,00		500,00		600,00		280,00		350,00		420,00
Feste Spezial.-/Gemeinkosten (DM/ha)		650,00		650,00		650,00		520,00		520,00		520,00
N-PRÄMIE (-abzüglich) (DM/ha)		-250,00		-250,00		-250,00		-300,00		-300,00		-300,00
GESAMTKOSTEN inkl. anteil.Pflanzkosten:												
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/ha)		4561,39		5077,39		5580,39		4163,47		4756,87		5861,27
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/ha)		4043,72		4554,72		5062,72		3645,80		4239,20		5343,60
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/ha)		3526,05		4037,05		4545,05		3128,13		3721,53		4825,93
bei: 1987 2005												
0,7 DM/Pfl. 0,5 DM/Pfl. (DM/t TM)		380,12		317,02		279,02		277,56		237,84		234,65
0,5 DM/Pfl. 0,3 DM/Pfl. (DM/t TM)		336,98		284,67		253,14		243,05		211,96		213,74
0,3 DM/Pfl. 0,1 DM/Pfl. (DM/t TM)		293,84		252,32		227,25		208,54		186,08		193,04
ENERGIE-AUFWAND (GJ/ha)	24,11		32,12		39,39		29,86		38,84		56,45	
" (GJ/t TM)	2,07		2,01		1,97		1,99		1,94		2,26	
" (GJ/GJ Hu)	0,123		0,120		0,118		0,119		0,116		0,135	
N-PREIS (DM/kg N)	1,11						1,22					
N-PREIS-VERTEUERUNG: FAKTOR	4,00											
NÄHRSTOFF-ENTZÜGE kg/t TS												
STROH/KRAUT												
N :	5,00						5,00					
P2O5:	1,50						1,50					
K2O :	8,00						8,00					
MgO :	1,60						1,60					
CaO :	2,00						2,00					
N-Düng.Effiz.(Entz./Dg.)	0,80						0,80					
Düngerwert (DM/t TS)		29,26						31,55				
Energie-Gutschr.(GJ/t TS)	0,31						0,31					

A IV.1 Kosten der Bereitstellung nachwachsender Energieträger

Strohballenlinie mit Pelletierung

Bei der Ernte der unterschiedlichen Getreidearten fallen etwa 4 bis 8 t/ha·a Stroh an, nachfolgend wird von einem Ertrag von 6,1 t TM/ha·a (bei einem Trockenmassegehalt von 86 %) ausgegangen. Stroh läßt sich in Ballenform in konventionellen, absätzig beschickten Anlagen oder aufgelöst in automatisch (kontinuierlich) beschickten Feuerungsanlagen verbrennen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verfeuerung von Strohbriketts oder -pellets. Insbesondere die Pelletform (Durchmesser ca. 12 bis 16 mm, Länge 20 bis 50 mm) hat sich in den letzten Jahren im Futterbereich behauptet. Durch das hohe spezifische Gewicht (Schüttdichte ≈ 600 kg/m^3) ergeben sich ein geringerer Lagerraumbedarf und damit geringere Lagerkosten bei einer Energiedichte von ca. 10 GJ/m^3. Außerdem ergeben sich bessere Feuerungsqualitäten als bei Verbrennung ganzer Ballen oder von Häckselstroh. Weitere Vorteile sind gute Dosiereigenschaften für die Verbrennung, gute Formstabilität (wenig Staub) und eine saubere Handhabung. Nachteilig ist in erster Linie der hohe Aufwand zur Herstellung der Pellets. Für die Abschätzung der Kosten, des Energieeinsatzes und der Arbeitskräftebindung wird angenommen, daß vor dem Konditionierungsschritt der Pelletierung in den meisten Fällen das Stroh in Ballenform zwischengelagert wird.

Alle Strohbergegeräte benötigen einen vom Mähdrescher sauber geformten Schwad. Strohballenpressen können in unterschiedlich organisierten Verfahren eingesetzt werden. Im folgenden werden nur praxisrelevante Varianten betrachtet. Da Pelletierungsanlagen möglichst viele Einsatzstunden pro Jahr erreichen sollen, ist eine kostengünstige Zwischenlagerung des im Sommer geernteten Strohs nötig. Diese Anlagen können sowohl mit Rundballen verschiedener Durchmesser, mit Hochdruck-Ballen mit Ballengewichten unter 20 kg, als auch mit Quaderballen bis zu 600 kg beliefert werden. In Tabelle A IV.1-1 sind die Kosten der Ballenherstellung dargestellt und zwar differenziert nach dem Eigner der Presse (Lo = Lohnunternehmer, Gem = Maschinengemeinschaft bzw. Maschinenring, La = Landwirt). Neben dem Investitionsbetrag beeinflußt die Auslastungszeit der Strohpresse die sensitivste Kostenkompente "Kapitalkosten pro Tonne Stroh". Die Kostenabschätzungen gelten für 2 ha-Schläge unter Berücksichtigung von Rüst- und Anfahrtszeiten. Die geringe Auslastung von 80 h/a bei den hofeigenen 2,5 m^3-Ballenpressen ergeben sich aus einer angenommenen Getreidefläche von 70 bis 80 ha. Die Aufstellung wird durch Ergebnisse mit kleinen Schlägen (≈ 0,5 ha) ergänzt; Unterschiede ergeben sich im wesentlichen bei den

Tabelle A IV.1-1: Vollkosten für das Pressen von Stroh auf 2 ha (0,5 ha) großen Parzellen (gerundete Werte) - gegenwärtige Verhältnisse

	Rundballen 1,2 m ∅			Rundballen 1,5 m ∅			kub. Ballen ≈ 1 m³			kub. Ballen ≈ 2,5 m³		
DM/t TM	Lo[1]	Gem[2]	La[3]	Lo	Gem	La	Lo	Gem	La	Lo	Gem	La
Investition	29 000 DM			32 000 DM			110 000 DM			155 000 DM		
Auslastung h/a	300	200	250	300	200	200	300	200	120	300	200	80
Kapitalkosten	5	7	5	5	6	6	11	14	20	12	15	32
sonst. fixe BK [4]	2	2	1	2	2	1	3	4	4	4	5	6
variable BK	7	7	7	6	6	6	9	9	9	10	10	10
Personalkosten	13	9	9	10	7	7	7	5	5	5	4	4
Schlepperkosten	9	9	9	8	8	8	6	6	6	7	7	7
Summe (2 ha)	36	34	31	31	29	28	36	38	44	38	41	59
Summe (0,5 ha)	38	36	33	33	31	30	47	50	58	53	58	86

Quellen: KTBL 1990, CLAAS 1992, FORTSCHRITT 1992, FIATAGRI 1992, RAIFFEISEN 1992, eigene Berechnungen

1) Lo = Lohnunternehmen
2) Gem = Maschinengemeinschaft
3) La = Landwirt besitzt eigene Presse
4) BK = Betriebskosten

"kubischen" Pressen aufgrund der anteilmäßig höheren Rüst- und Anfahrtszeiten.

In Tabelle A IV.1-2 sind die Glieder der Prozeßlinie Strohpelletierung mit ihren Kostengrößen, dem Energieeinsatz und dem Personalbedarf aufgeführt. Falls Spannen angegeben sind, beziehen sich die beiden Grenzwerte auf realitätsnahe Annahmen. Extrem günstige, aber auch sehr kostenaufwendige Kombinationen wurden nicht berücksichtigt. Der angegebene Mittelwert bezieht sich auf ein Mix der verschiedenen Ballenformen und Schlaggrößen. Beispielsweise verwenden Landwirte vorwiegend ihre eigenen Rundballenpressen oder lassen durch Lohnunternehmer kubische Ballen herstellen bzw. leihen sich die "big balers" aus.

Für eine energetische Nutzung des Strohs ist eine Lagerung der Ballen am Feldrand ausreichend. Optional wurden Kostenzahlen für das Abdecken des gestapelten Strohs ausgewiesen. Nach Abruf stellen die Landwirte die Strohballen der Pelletierungsanlage zur Verfügung. Der Transport über die unterstellte Entfernung von 4 bis 5 km erfolgt mit hofeigenen Geräten (Schlepper mit Frontladeeinrichtung und 2 leistungsfähigen Anhängern). Die angelieferte Strohmenge wird gewogen und zwischengelagert. Als Basiszahlen der Pelletierung dienten Ange-

Tabelle A IV.1-2: **Aufwendungen der Bereitstellung von Strohpellets - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse**

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Düngerwert			15								
Humuswert			15				320			-	
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Ballen pressen	30 - 41		38	−9	100 - 125		115				Dieselmotor
Ballen stapeln am Feldrand	7 - 17		11	−2	60 - 100		75	0,25 - 0,4		0,3	Dieselmotor
optional: Abdecken m. Plane	4 - 7		5,5				-	0,05 - 0,1		0,07	-
Aufladen, Transport mit Schlepper + 2 Hängern, 4 km	6 - 16		13	−6	70 - 110		90	0,07 - 0,17		0,12	Staub Dieselmotor
Strohpelletierung 2-Schichten 2-Strang (sais.) incl. Zwischenlager	60 - 94		77		(bei η = 35 %) 900 - 1300 etwas Dampf		1100	0,44 - 0,60		0,50	Staub Lärm
Pelletlagerung bis Verkauf	4 - 10		7		20 - 60		50	0,05 - 0,20		0,15	Dieselmotor
Laden von Pellets auf LKW	2 - 4		3				15	0,03 - 0,12		0,08	El. Motor/ Dieselmotor
LKW-Transport 18 t, Entf. 30 km	9 - 14		12		30 - 50		40	0,09 - 0,12		0,11	Lärm Dieselmotor
Zwischensumme Kond./Lag./Transp. (ohne Abdeckung)	(118-196)		160	−17	(1195-1760)		1485	(1,13-2,01)		1,56	
Summen (30 km)			173				1805			1,56	
(Anbau und Kondit.)			38	DM/MWh							
Abschätzung für 2005:			153				1685				

Quellen: GESSNER 1991, THOMA 1989, JESMA-MATADOR 1992, eigene Berechnungen

Erläuterungen: (2 % Masseverluste durch Lagern und Aufnehmen sind berücksichtigt)

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse ...) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

botsunterlagen verschiedener westdeutscher und skandinavischer Anbieter, welche durch eigene Abschätzungen für nicht aufgeführte Bauteile ergänzt wurden. Insbesondere ist zu bemerken, daß die angegebenen Nennleistungen der Pelletierpressen im Jahresdurchschnitt kaum erreichbar sind. Die Investitionskosten pro Strang beinhalten das Ballenlager (Kapazität nur für wenige Tage), Zuführung, Ballenauflösung, Hammermühle bzw. Häckseleinrichtung, Dosieranlage, Pelletierpresse, Band zum Auskühlen. Die Pellets werden in einem Schüttlager zwischengelagert. Die reinen Lagerkosten von ca. 15 DM/m^3·a werden unter Berücksichtigung der Schüttdichte von 600 kg/m^3 und 3- bis 4-maligem Lagerumschlag pro Jahr auf 7 DM/t TM kalkuliert. Dem Management obliegt es letztendlich, daß durch gezielte Steuerung der Anlieferungszeitpunkte für das Stroh (ggf. auch von Heu und Miscanthus) und durch Preisanreize beim Verkauf der Pellets die angesetzten, erträglich niedrigen Lagerkosten erreicht werden. Pro Schicht sind 3 Beschäftigte unterstellt (GESSNER 1991, JESMA-MATADOR 1992).

Die Kostenbestandteile Pressen von Ballen, Einsammeln, Stapeln am Feldrand und Ballentransport beinhalten nur die variablen Kosten und die Personalkosten. Die fixen Kosten (Presse, Schlepper und Transportanhänger) sind in den Gestehungskosten für das Getreide enthalten. Die Strohpellet-Bereitstellungskosten von 173 DM/t TM (incl. Strohbewertung) entsprechen einem Heizöläquivalenzpreis von 38 Pf/l bei einer Umrechnung auf Heizwertbasis, ohne Berücksichtigung der verschiedenen feuerungstechnischen Wirkungsgrade. Das Energie-Input-Output-Verhältnis beträgt 1:9. Die Bereitstellung von Pellets in Höhe von rund 4 000 t/a (z.B. im Fall eines 5 MW Heizwerks) bietet nur für 3 bis 4 Beschäftigte direkte Verdienstmöglichkeiten im ländlichen Raum.

Strohballenlinie (bis Verwendung)

Nach den überwiegend schlechten Erfahrungen der Verbrennung ganzer Strohballen bis etwa 1984 wurden vor allem in Dänemark Verbrennungsanlagen konzipiert, die durch ein Schleusensystem unaufgelöste, kubische Ballen in den Feuerraum einbringen. Aufgrund der Geometrie dieser Feuerungsanlagen können nur Ballen (Hesston-Ballen) eines fest vorgegebenen Querschnitts verbrannt werden. Dies setzt voraus, daß die Landwirte das Stroh nur in fest vorgegebener Form (z.B. 1,20 bis 2,40 m × 1,20 m × 1,30 m bzw. 1,20 bis 2,40 m × 0,80 m × 0,85 m für kleinere Anlagen) anliefern können (VØLUND 1992, FIATAGRI 1992). Die Mehrzahl der Landwirte müßte die Großballenpressen bei Maschinenringen mieten bzw. Lohnunternehmer mit dem Pressen beauftragen, auch wenn hofeigene, kostengünstigere Rundballenpressen zur Verfügung stehen. Kubische Großballen weisen Vorteile beim Handling, bei der Stapelbarkeit und beim Transport über

größere Entfernungen auf. Allerdings ist zu bemerken, daß bei den kleineren Hesstonballen aufgrund der höheren Stückzahl kaum Handlingvorteile gegenüber Rundballen bestehen. Beim Einsatz von großvolumigen LKWs für große Stroheinzugsgebiete (30 bis 50 km) ergeben sich Transportkosten (unter Berücksichtigung der Ladezeiten und Wartezeiten) von 18 bis 29 DM/t. TM. Entfernungen bis 30 km können ökonomisch vorteilhaft durch die Landwirte mit hofeigenen Fahrzeugen abgedeckt werden. Dafür errechnen sich die Vollkosten für den Strohtransport zwischen 6 DM/t TM (bei 2 km Distanz) und 20 DM/t TM für 30 km. Der Durchschnittswert für die Transportkosten (landwirtschaftliche Fahrzeuge und LKW-Transport) beträgt ca. 23 DM/t TM (Annahme: kreisrundes Einzugsgebiet, Transportweg ist das 1,4 fache der Luftlinie). In den folgenden Berechnungen werden die Transportkosten von Ballen der Einfachheit halber wie folgt abgeschätzt:

- für kleinere Heizanlagen und Dampferzeuger (bis 5 MW - ländlicher Raum): Transport mit landwirtschaftlichem Schlepper und zwei Hängern;

- Blockheizkraftwerke und Heizkraftwerke, sowie Zumischungen von Stroh, Heu und Miscanthus in Steinkohlenanlagen (Stadtnähe) werden mit LKWs versorgt. Aufgrund der enormen Menge heranzubringender Biomasse dürfte ein Transport mit langsamen und verkehrsbehindernden landwirtschaftlichen Fahrzeugen die Ausnahme bleiben, obwohl am Hof vorhandene Schlepper und Hänger unter Berücksichtigung von variablen Kostenbestandteilen i.a. kostengünstiger wären.

Die nachfolgenden Abschätzungen in Tabelle A IV.1-3 gelten bei gleicher Transportentfernung auch für andere Formate kubischer Großballen, die jedoch vor der thermischen Verwertung mit Hilfe eines Ballenauflösers (i.a. nach Entfernung des Bindegarns) gehäckselt werden. Mit 680 MJ/t TM Stroh entspricht der gesamte Energieaufwand 4 % des Strohheizwertes.

Tabelle A IV.1-3: Aufwendungen der Strohballenbereitstellung - gegenwärtige Verhältnisse, Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Düngerwert			15								
Humuswert			15				320				
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Ballen pressen	36 - 41		39	– 8	100 - 125		115	0,2 - 0,4		0,30	Dieselmotor
Ballen stapeln am Feldrand	7 - 17		11	– 2	60 - 100		75	0,25 - 0,4		0,32	Dieselmotor
optional: Abdecken m. Plane	4 - 7		5,5				-	0,05 - 0,1		0,07	-
Transport der kub. Ballen 30 km	17 - 33		23		60 - 80		70			0,30	Dieselmotor
Summen (30 km)			94				680			0,92	
(Anbau bis Verwend.)			19 DM/MWh								
Summen (5 - 10 km)			79				550				

Bemerkungen: (2 % Masseverluste durch Lagern und Aufnehmen sind berücksichtigt)

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse ...) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Strohbriketts für Kleinverbraucher

Der Ersatz von Braunkohlenbriketts durch Strohbriketts in Kleinfeuerungsanlagen kann hinsichtlich der entfallenden Investitionen oder Umrüstkosten interessant sein. Allerdings ist hierbei eine Verteilung der Energieträger bis in die Haushalte, wie auch bei den Braunkohlenbriketts, zu unterstellen.

Die Strohbriketts für Einzelfeuerungen (z.B. in Etagenwohnungen) können ohne Veränderungen am Ofen verwendet werden. Allerdings verbrennen sie wegen ihres hohen Anteils an flüchtigen Bestandteilen schneller und eine Gluterhaltung ist nicht über lange Zeiträume möglich (MEISSNER 1993).

Für mittlere und größere Städte wird ein Verkauf der Briketts durch den örtlichen Brennstoffhändler unterstellt, der den Energieträger über den Gütertransport durch die Bahn erhält. In Orten, die ländlich geprägt sind, ist eine direkte Auslieferung der Briketts von der Brikettierungs- bzw. Pelletieranlage zum Brennstoffhändler per LKW denkbar. Beide Varianten führen zu deutlich höheren Kosten und Energieaufwendungen als im Falle der direkten Bereitstellung von Strohpellets für größere Abnehmer. Dabei wäre nur der Transport von der Pelletierungsanlage zur größeren Feuerungsanlage zu berücksichtigen. Für den Projektierungszeitpunkt 2005 würden die Briketts für Kleinverbraucher bereits in der Brikettfabrik in Gebinde abgepackt und auf Paletten gestapelt werden.

Die Aufwendungen für die Verteilung der Strohbriketts (TM-Gehalt 86 %) bis in die Keller der Kleinverbraucher, bei einer Abnahme von 4 bis 5 t pro Jahr, betragen ca. 130 DM/t zusätzlich zu den Kosten ab Pelletierungsanlage von 140 DM/t für mittlere und größere Stadtgebiete (GARTNER 1993). Die Kosten des Bahntransports und des Umladens haben dabei mit 30 bis 35 DM/t und die Kosten der Anlieferung vom Brennstoffhändler bis in die Keller der privaten Haushalte mit 55 DM/t einen großen Anteil. Falls der Brennstoffhändler die Strohbriketts direkt von einer nahe gelegenen Brikettierungsanlage bezieht, reduzieren sich die Mehrkosten auf ca. 75 DM/t.

Die Prozeßenergieaufwendungen erhöhen sich durch die zusätzlichen Transporte und Verladungen gegenüber der direkten Anlieferung zum Großverbraucher deutlich. Im Falle der Verteilung in Groß- und Mittelstädten sind weitere 200 MJ/t (ca. 1,2 % des Heizwerts) zu berücksichtigen. In ländlichen Bereichen, ohne den Gütertransport durch die Bahn, sind die zusätzlichen Energieaufwendungen mit 80 MJ/t geringer.

Heukonditionierung

Die Bereitstellung von Heu von eingesäten Ackerflächen, Dauergrünland oder Pflegeflächen wird vorzugsweise, wie beim Stroh, über die Ballengutkette erfolgen, sofern dem nicht gravierende feuerungstechnische Nachteile entgegenstehen. Es werden zwei Erntezeitpunkte pro Jahr unterstellt. Dabei wird von einer Erntemenge von 6 t Trockenmasse pro Hektar für den ersten Schnitt, für den zweiten von 4 t/ha nach Abzug der Trocknungsverluste, ausgegangen. Frisches Gras weist zum Erntezeitpunkt einen Wassergehalt von ca. 65 % auf. Erst bei einem Wassergehalt unter 18 % bietet Gras den Mikroorganismen ungünstige Lebensbedingungen, es ist somit nicht mehr leicht verderblich. An die Trocknung von Energiegras müssen aus Kostengründen nicht die gleichen Anforderungen gestellt werden wie für Rauhfutter, bei dem die Erhaltung des Futterwerts im Vordergrund steht. Wichtig sind darüber hinaus geringe Verluste und hohe Verfahrensleistung bei geringem Aufwand. Bei der Bodentrocknung wird die Sonnenenergie zum Trocknen genutzt. Das frisch geschnittene Gras wird breitflächig auf dem Feld verteilt, mehrfach gewendet und über Nacht auf Schwad gelegt. Die erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit der Sommerluft entzieht dem Gut die Feuchtigkeit. Da die relative Luftfeuchtigkeit während des Tages schwankt und ein hohes Wetterrisiko hinzukommt, wird die Trocknung in der Regel durch mechanische Bearbeitung (Zetten, Wenden) beschleunigt. Trotzdem müssen in einigen Fällen hohe Biomasseverluste in Kauf genommen werden. Technische Trocknungsanlagen wie die Belüftungs-, Warmluft- oder Heißlufttrocknung sollten aus Kosten- und Umweltgründen nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden.

Für Biomasse bestehen folgende Relationen zwischen Trocknungsverlusten und Trocknungskosten:

Tabelle A IV.1-4: Merkmale verschiedener Trocknungsverfahren bei Heu

Verfahren	Trocknungs-dauer (Tage)	Verluste max.	Verluste typ.	Kapitalbedarf	Kosten (DM/t TM)
Bodentrocknung	3 - 5	50 %	20 %	-	- *)
Belüftungstrocknung	6 - 12	20 %	10 %	niedrig	30 - 40
Warmlufttrocknung	1	10 %	5 %	hoch	110 - 200
Heißlufttrocknung	5 - 10 min	5 %	3 %	sehr hoch	160 - 370

Quelle: LANDTECHNIK BAUWESEN 1986, eigene Abschätzungen für die typischen Verluste bezogen auf den Heizwert.

*) jedoch Kosten für notwendiges Zetten und Wenden

Da für die energetische Nutzung kein Qualitätsheu gefordert ist, sollte weitestgehend die natürliche Trocknung auf dem Feld präferiert werden. Folglich ähneln sich die Prozeßketten Stroh und Heu. Zum Ballenpressen werden dieselben Maschinen eingesetzt, was die jährliche Auslastung der Geräte verbessert. Die nachfolgenden Zahlenwerte in Tabelle A IV.1-5 zur Bereitstellung von Heupellets zeigen deutlich, daß die Verfahrensschritte Pressen von Ballen, Stapeln, Abdecken (obligatorisch) und der Transport zur Verwendung bzw. als Zwischenschritt eine Pelletierung des Heus kostengünstiger als bei Stroh ausfallen. Die spezifische Dichte liegt bis zu 40 % über der von Stroh (bezogen auf TM). Dies wirkt sich nur in geringerem Umfang auf den Zeitbedarf beim Pressen der Ballen aus, da der Schlepperfahrer mehr laufende Meter Schwad vom Feld aufnehmen muß, bis der Ballen geformt ist, als bei Stroh. Der Kraftaufwand beim Heuballenpressen ist wesentlich geringer. Günstiger ist die Kalkulation für das Stapeln der dichteren Ballen und für den Transport zur Pelletierungsanlage. Hier werden in gleicher Zeit ca. 30 % mehr Tonnage bewegt. Das Auflösen und Vorbereiten der Ballen für die Pelletierung ist weniger energieintensiv. Da Heu nicht so starr und formerhaltend wie Getreidestroh ist, erhöht sich der Durchsatz in der Pelletierung um 20 bis 25 %. Bei sehr ähnlichen Eigenschaften (Größe, Dichte, Lagerfähigkeit) unterscheiden sich die Heupellets in den folgenden Prozeßgliedern kaum von den Strohpellets.

Die energetische Verwendung der Heupellets ist problematischer als die von Strohpellets. Verbrennungsversuche (FREISING 1992) zeigten, daß beim stickstoffreichen Feldgras in konventionellen Rostfeuerungen offen ist, ob mit solchen Feuerungen die Grenzwerte für NO_x-Emissionen eingehalten werden können, oder ob sekundäre Maßnahmen ($DeNO_x$-Anlagen) erforderlich werden. Außerdem sind bei vielen Feuerungsanlagen, die versuchsweise als Brennstoff Heupellets oder aufgelöste Heuballen eingesetzt haben, technische Probleme durch die niedrig liegende Ascheerweichungstemperatur bekanntgeworden.

Es ist dringend zu klären, ob und unter welchen Bedingungen (z.B. Rostkühlung, Wirbelschichtfeuerung oder Wirbelschichtvergasung) Heuballen, Heubriketts oder Heupellets energetisch unter umweltverträglichen Bedingungen genutzt werden können.

Tabelle A IV.1-5: Aufwendungen der Bereitstellung von Heupellets - gegenwärtige Verhältnisse, Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Heu von eingesäten Ackerflächen (Anbau)											
Summe			225				1570			0,68	
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Ballen pressen	26	32	29	−8	70	88	82	0,18	0,32	0,27	Dieselmotor
Ballen sammeln und stapeln am Feldrand	7	12	9	−2	45	75	60	0,16	0,30	0,25	Dieselmotor
Abdecken mit Plane	5	9	8				-	0,05	0,10	0,07	
Aufladen, Transport mit Schlepper + 2 Hängern, 4 km	11	13	12	−5	65	100	90	0,05	0,13	0,10	Staub Dieselmotor
Hauptpelletierung 2-Schichten 2-Strang (sais.) incl. Zwischenlager	51	86	70		(bei η = 35 %) 630	950	800 etwas Dampf	0,32	0,50	0,42	Staub Lärm
Pelletlagerung bis Verkauf	4	10	7		20	60	50	0,05	0,20	0,15	Dieselmotor
Laden von Pellets auf LKW	2	4	3				15	0,03	0,12	0,08	El. Motor/ Dieselmotor
LKW-Transport 18 t, Entf. 30 km	9	14	12		30	50	40	0,09	0,12	0,11	Lärm Dieselmotor
Zwischensumme Aufbereitung	115	180	150	−15	875	1334	1137	0,93	1,80	1,45	
Summen			360 79 DM/MWh				2707			2,13	

Bemerkungen: Verluste bei der Trocknung des Grases und beim Aufnehmen des Heus sind in den Erträgen bereits berücksichtigt.

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse ...) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Bereitstellung von Heuballen

Da die voranstehende Prozeßkette Heupelletierung über den Weg der Ballenherstellung abläuft, können auf einfache Weise die Kennwerte der Heuballenherstellung abgeleitet werden (s. Tab. A IV.1-6). Es bleibt zu beachten, daß das Heu bis zur Verwendung am Feldrand gelagert werden muß. Die Lagerfläche sollte möglichst an einem Wirtschaftsweg liegen, da auch bei unzureichender Witterung abtransportiert werden muß. Staunässe, die das Heu von unten her schädigt, ist zu vermeiden. Dies kann durch das Auslegen einer Plane unter die Heuballen geschehen.

Miscanthus

Erntezeitpunkt und Erträge

Ab dem 3. bis 4. Anbaujahr geht man bei der Miscanthuspflanze von einem voll entwickelten Bestand aus. Verläßliche Aussagen über das Ertragspotential sind schon deshalb schwierig, weil es bisher kaum repräsentative Bestände mit mehrjähriger Erfahrung gibt. Früher genannte Zahlen von bis zu 50 t TM/ha·a sind heute weit nach unten korrigiert (vgl. Kap. III.1). Maximalwerte von bis zu 30 t TM/ha·a wurden bei besten Anbaubedingungen und einem Erntezeitpunkt im November erreicht (OSTER und SCHWEIGER 1992), da zu diesem Zeitpunkt die Blätter noch mitgeerntet werden. Aufgrund der ungünstigen Witterungsverhältnisse und des geringen Trockenmassegehalts von 55 bis 60 % ist zu diesem Zeitpunkt eine Ernte nicht generell empfehlenswert. Der Verlust an Biomasse zwischen dem Ende der Vegetationsperiode und dem heute empfohlenen Erntetermin in den Monaten Februar bis April des Folgejahres kann jedoch bis zu 30 % betragen. Die am Boden liegenden Blätter sollen jedenfalls bei Pelletierung nicht mit aufgenommen werden, weil kleine Steinchen und sonstige Verunreinigungen in der Pelletpresse zum übermäßigen Verschleiß führen. Zur Frühjahrsernte sind die Pflanzen in manchen Regionen auf unter 20 % Wassergehalt abgetrocknet, wodurch die Notwendigkeit einer Nachtrocknung entfällt. Trotzdem muß in der Regel nach der Miscanthusernte eine (technische) Nachtrocknung unterstellt werden, wenn das Erntegut länger gelagert werden muß.

Die Ernte in der Winterzeit ist für Landwirte ungewöhnlich. Der genaue Zeitpunkt hängt von der Witterung, von der Restfeuchtigkeit der Pflanze und dem zu erwartenden Beginn des Austreibens neuer Triebe ab. Die Tragfähigkeit des Bodens für die Erntemaschinen muß ebenfalls gegeben sein. Die Miscanthusrhizome sind druckempfindlich. Nach ca. 3 bis 4 Jahren ist die ursprüngliche Pflanzanordnung (Reihe) nicht mehr erkennbar. Durch Wind und Schneefall kann ein Teil des

Tabelle A IV.1-6: **Aufwendungen der Bereitstellung von Heuballen (5 bis 10 km) - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse[1)]**

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[2)] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Heu von eingesäten Ackerflächen (Anbau)											
Summen			225				1570			0,68	
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Ballen pressen	26	32	29	– 8	70	88	82	0,18	0,32	0,27	Dieselmotor
Ballen sammeln und stapeln am Feldrand	7	12	9	– 2	45	75	60	0,16	0,30	0,25	Dieselmotor
Abdecken mit Plane	5	9	8				-	0,05	0,10	0,07	-
Aufladen, Transport mit Schlepper + 2 Hängern, 5 km	11	13	12	– 5	65	100	90	0,05	0,13	0,10	Staub Dieselmotor
Zwischensumme Aufbereitung	49	66	58	– 15	180	263	232	0,44	0.85	0,70	
Summen (5 - 10 km)			268 59 DM/MWh				1802			1,38	
Summen (30 km)			281				1830				
Werte für 2005 (30 km)			232				1728				

Bemerkungen:

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse usw.) nur einmal gezählt werden.

1) Abschätzungen für zukünftige Verhältnisse (2005) sind am Ende des Kapitels A IV.1 zusammengefaßt.

2) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Bestands ins Lager gehen (umliegen), womit deutliche Ernteschwierigkeiten und -verluste verbunden sind.

Bereitstellung von Miscanthuspellets

Aufgrund bestehender Kenntnislücken in verschiedenen Bereichen läßt sich gegenwärtig nicht klar sagen, in welchen Kombinationen von Erntezeitpunkt, Erntetechnologie, Technologien der Zwischenlagerung, Trocknung und Verdichtung und mit welchen Transportmitteln Miscanthus optimal zur Verwendung gebracht werden kann. Nachfolgend werden aus gegenwärtiger Sicht einige plausible Modellvorstellungen erläutert.

Selbstfahrende Feldhäcksler (vgl. Maisernte) könnten beispielsweise die Flächen abernten; damit könnte auch die Auslastung dieses aufwendigen Geräts verbessert werden. Parallelfahrende Fahrzeuge (Schlepper mit 1 bis 2 Anhängern) nehmen das kurzgehäckselte Gut auf und bringen es zu einem geeigneten Lagerraum. Problematisch bei diesem Verfahren ist die geringe Schütt- und Lagerdichte von Miscanthus. Mehr als 70 kg/m^3 (feuchten) Guts werden nicht erreicht. Bei Hängern mit Aufbaugatter und ca. 25 m^3 Ladekapazität ist ein Wagen in kurzer Zeit voll, ungefähr 15 Hänger müßten pro Hektar abgefahren werden. Bei ca. 100 Minuten Erntezeit pro Hektar und 2 Hängern pro Schlepper (KTBL 1990) muß alle 15 Minuten ein Transportfahrzeug zur Verfügung stehen, um den teuren SF-Feldhäcksler (Lohnmaschinensatz um 200 DM/h) auszulasten. Ähnlich wie bei der Silomaisernte ist hier die Hilfe der Landwirte untereinander gefordert, die die nötigen Schlepper, Ladewagen oder Transportanhänger zur Verfügung stellen müßten. Das hohe Eigengewicht des Häckslers dürfte bei weichem Boden zu Schäden an den überfahrenen Pflanzenwurzeln führen.

Auch der Einsatz von, im Betrieb meist vorhandenen, angebauten oder gezogenen ein- oder zweireihigen Exaktfeldhäckslern ist wahrscheinlich. Die Auslastung dieser Geräte wäre dann verbessert. Unterstellt man dabei eine Häckselleistung von 5 bis 6 t Frischmasse pro Stunde, so benötigt man ca. 5 Stunden, um einen Hektar Miscanthus zu ernten.

Das Häckseln wäre dann zu wählen, wenn der Miscanthus nachgetrocknet und pelletiert werden müßte. Dabei wären, abgesehen von einem Kurzzeit-Zwischenlager für das frische Häckselgut, nur gutverdichtete Pellets zu lagern (FRERICHS 1990). Die Kosten der Häcksellagerung sind beträchtlich. Ein kleinerer Teil kann auf freiem Platz innerhalb der Lagerhalle für die herzustellenden Pellets wettergeschützt abgelagert werden. Für den Rest wird eine Lagerung auf

einer befahrbaren Betonplatte im Freien mit einer Lagerhöhe um 2 m unterstellt. Insgesamt sind Lagerkapazitäten in der Größenordnung von 4 Wochen Trocknungsleistung in die Abschätzungen einbezogen. Dabei wurde für Miscanthus ein Anlieferungszeitraum von bis zu 14 Wochen (Januar bis spätestens April) unterstellt. Heu und Stroh würde in den Monaten Juni bis September mit denselben Maschinen pelletiert. Der Verkauf (bzw. die Entnahme) der Pellets wurde abhängig von der Jahresganglinie der Heizwerke angenommen. Im einzelnen wurde abgeschätzt, daß 5 000 m^3 überdachte Lagerkapazität für Pellets kurzfristig maximal 275 t Miscanthushäcksel aufnehmen können. Bei Anlieferung von 3 400 t Häckselgut pro Jahr in einem 10-Wochen-Zeitraum bei einer täglichen Pelletierleistung von 50 t ist das Lager (Investitionsbetrag von 120 DM/m^3) knapp bemessen, jedoch kann mit geeigneter Organisationsplanung hier ein mehrfacher Umschlag (4- bis 5-mal) pro Jahr erzielt werden. Dies gilt jedoch nur dann, wenn die Pelletierungsanlage zu anderen Jahreszeiten für Stroh und Heu genutzt werden kann. Die Lagerung auf der Betonplatte im Freien (Investition 90 DM/m^2) wurde bei 4 Umschlägen pro Jahr mit 20 DM/t TM abgeschätzt. In der folgenden Kalkulation wird von durchschnittlichen Lagerkosten von 25 DM/t TM für das Häckselgut ausgegangen. Alle Mengenangaben gelten für eine Pelletiermaschine.

Die Feuchtigkeit der Miscanthushäcksel läßt sich entweder im Kastentrockner oder im vollmechanischen Rundtrockner entziehen. Bei einer Anlagennennleistung des Kastentrockners (80 m^3) von 400 kg Wasserverdampfung pro Stunde und einer Reduktion von 170 l Wasser pro Tonne Trockenmasse (von 70 bis 75 % auf 86 % TM) können unter Berücksichtigung von Ein- und Auslagerungszeiten und Teilleistungsgraden ca. 2,0 t Häckselgut pro Stunde lagerfähig bzw. pelletierbar getrocknet werden (GESSNER 1991). Vorteilhafter ist das kontinuierliche Verfahren eines Rundtrockners, weil die Anlage mit geringen Rüstzeiten genutzt werden kann und der Trocknungsablauf gut steuerbar ist. Entsprechend dem technischen Aufwand sind die Investitionkosten der Anlage wesentlich höher, jedoch ist der Durchsatz pro Zeiteinheit größer als bei der Kastentrocknung.

Unterstellt man 0,65 kWh Wärme pro Liter zu verdampfenden Wassers (theoretisch, unter Berücksichtigung von 85 % Kessel- und 80 % Trocknungswirkungsgrad) so wären nach obigem Beispiel (2,0 t Häckselgut pro Stunde) 163 kWh Heizöl EL pro Tonne Trockenmasse aufzubringen, der elektrische Aufwand beträgt weitere 10 kWh/t TM, im wesentlichen für das Gebläse und den Transport des Häckselguts (STELA MASSING 1991, CPM AMSTERDAM 1991). Wärmerückgewinnungsbaugruppen reduzieren den Wärmebedarf in Abhängigkeit vom technischen Aufwand. Für gegenwärtige Verhältnisse werden 35 % Rückwärmezahl an-

genommen. Bei der Kastentrocknung ist der Trocknungswirkungsgrad in Abhängigkeit von Häckselgeometrie, Lagerdichte und -höhe mit 180 bis 230 kWh/t TM deutlich ungünstiger.

Die Pelletierung der Miscanthushäcksel entspricht weitestgehend der Strohpelletierung. Die Kenndaten der verkaufsfähigen Miscanthuspellets werden in Tabelle A IV.1-7 bezüglich der Lager- und Transportkosten wie bei Stroh- oder Heupellets abgeschätzt. Erst bei der thermischen Verwertung der Miscanthuspellets wirken sich die kleinen Vorzüge (2 % mehr Heizwert, geringerer Aschegehalt und höhere Ascheerweichungstemperatur) aus. Tabelle A IV.1-9 enthält zusammenfassende Kostenangaben sowie Angaben zum Prozeßenergieaufwand und zum Arbeitsbedarf.

Aufwendungen für Miscanthusballen

Mit einer anderen Prozeßlinie für Miscanthus, der Ballenlinie, gibt es noch weniger Erfahrungen. Dabei müßten kräftige Schwadmäher in den Bestand fahren, den Miscanthus mähen und vorbehandeln (knicken, zetten). Robuste Pick-ups nehmen die holzigen Miscanthusstengel auf und führen diese den "kubischen" Ballenpressen zu. Unterstellt man, daß hierbei ausschließlich Großformatpressen für Ballen (2,5 bis 4,5 m^3) zum Einsatz kommen, so bereitet das Aufnehmen der Ballen ($\approx$90 Stück/ha) mit Radladern und das Stapeln am Feldrand bis zur Nutzung keine allzu großen Probleme. Vorteilhaft ist hierbei, daß nicht zeitgleich geschnitten, aufgenommen und transportiert werden muß. Nachteilig ist allerdings das Gewicht der Maschinen, das zu Bodenverdichtungen und Rhizomschädigungen führen kann. Geschätzte Kostendaten für die Ballenlinie sind in Tabelle A IV.1-8 aufgeführt.

Die Ballenform ist ungeeignet für zu feuchtes Gut. Deshalb sollte der Feuchtegehalt einen Wert von 33 % (75 % TM) nicht überschreiten. Die natürliche Trocknung des Miscanthusbestands in den Monaten Januar bis April vor der Ernte ist in der Regel nicht ausreichend, andererseits sind in dieser Zeit die Biomasseverluste durch mikrobiellen Abbau als gering einzuschätzen. Für eine energetische Nutzung des Miscanthus kann hingenommen werden, daß während der Lagerzeit ein Teil des Guts leicht mikrobiell abgebaut wird bzw. etwas Schimmel ansetzt. Wichtig ist, daß bei der Verbrennung der Wassergehalt einen kesselspezifischen Grenzwert nicht andauernd überschreitet. Allerdings ist zu beachten, daß eine Pilzsporenbelastung für die Arbeitskräfte zu gesundheitlichen Schäden führen kann.

Tabelle A IV.1-7: Aufwendungen der Bereitstellung von Miscanthuspellets - gegenwärtige Verhältnisse, Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[2] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Summen	160 - 240		160				500			0,46	
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Häckseln mit Anbaugerät	18 - 25		21	– 9	32 - 42		37	0,24 - 0,32		0,28	Dieselmotor
Laden auf angehängten Transportwagen + Transport über 5 km zur Pelletierungsanlage (2 Hänger)	35 - 40		38	– 23	80 - 100		90	0,45 - 0,55		0,50	Dieselmotor Lärm
Häcksellagerung [1]			25				50	0,30 - 0,40		0,35	Geruchsbelästigung
Häckseldosierung			2				5			0,05	
Misc. Trocknung 2-Schichten 3-Strang (sais.) incl. Pufferlagerung	17 - 45		25		340 - 930 HEL + Strom (bei $\eta = 35\,\%$)		480	0,15 - 0,25		0,20	Kraftwerk Lärm Staub
Misc. Pelletierung 2-Schichten 2-Strang (sais.) incl. Pufferlagerung	60 - 94		77		(bei $\eta = 35\,\%$) 900 - 1300 etwas Dampf		1100	0,44 - 0,60		0,50	Staub Lärm
Pelletlagerung bis Verkauf [1]	4 - 10		7		20 - 60		50	0,05 - 0,20		0,15	
Laden von Pellets auf LKW	2 - 4		3				15	0,03 - 0,12		0,08	El. Motor/ Dieselmotor
LKW-Transport 18 t Entf. 30 km	9 - 14		12		30 - 50		40	0,09 - 0,12		0,11	Lärm Dieselmotor
Zwischensumme Aufbereitung	172-254		210	– 32	1470-2550		1860	1,80-2,61		2,22	
Summen (c - d)			538 73 DM/MWh				2360			2,68	

Bemerkungen: 5 % Verluste beim Häckseln und 5 % durch Verrottung bei Lagerung sind berücksichtigt.

1) Das Pelletlager nimmt einen Großteil der Jahresmenge der hergestellten Miscanthuspellets auf. Freie Kapazität kann auch zur Zwischenlagerung von angeliefertem Häckselgut verwendet werden.

2) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse ...) nur einmal gezählt werden.

Die voranstehenden Abschätzungen zur Miscanthus-Großballenkette sind unsicher. Sie wurden trotzdem vorgenommen, um eine kostengünstigere Variante als die Pelletierungslinie aufzuzeigen. Diese Variante wird dann vorzuziehen sein, wenn sich die verwendungsseitigen Nachteile gegenüber Pellets nicht als gravierend erweisen. Nur wenige Fachleute haben bisher Aussagen zu einer Feldlagerung gemacht. Ebenso unsicher steht es um die Erntetechnik. Recherchen lassen die vorsichtige Abschätzung (FORTSCHRITT 1992) zu, daß mit einem modifizierten und verstärkten Schwadmäher die 3 bis 4 m langen Halme geschnitten, gekürzt, geknickt und schwadförmig abgeworfen werden können. Der Investitionsbetrag wird auf 150 000 DM geschätzt, die Schlagkraft kann bei ca. 90 kW Antriebsleistung mit 2 bis 3 h/ha angenommen werden (10 a Lebensdauer, 300 h/a).

Die starren, aber geknickten Miscanthusstengel werden vom Schwad aufgenommen, vorverdichtet und im Preßkanal der Großballenpresse zu einer Dichte von ca. 145 kg/m^3 (bei 25 bis 30 % Wassergehalt) gequetscht. Dies sind nur 110 kg Trockenmasse pro Kubikmeter und damit deutlich weniger als bei Stroh. Die Preßzeit wird auf 3 h/ha (Feldgröße 2 ha) und die Investition für die Ballenpresse auf 170 000 DM abgeschätzt, jedoch steht das Gerät auch zur Konditionierung von Heu und Stroh zur Verfügung (300 h/a). Während die beiden Prozeßglieder Mähen und Pressen von Ballen kostengünstig nur im Lohnauftrag geschehen, übernimmt der Landwirt die restlichen Arbeitsschritte mit eigenem Gerät. Das Bergen und Stapeln der großformatigen Ballen geschieht, wie bei der Strohbergung, mit einem Frontlader. Die etwa 400 kg schweren Ballen werden am Feldrand gestapelt, wobei darauf geachtet wird, daß zwischen den einzelnen Ballen etwas Luft durchstreichen kann. Bei 25 % Wassergehalt ist der Miscanthusballen nicht grundsätzlich verlustarm lagerbar. Deshalb wird zur Verbesserung der Trocknungswirkung durch die Umgebungsluft eine Abdeckung des Stapels empfehlenswert sein. In die Abschätzungen wurde für die Lagerung ein 10%iger Biomasseverlust mit einbezogen, er könnte bei ungünstigen Bedingungen (Witterung, Lagerplatz) deutlich höher ausfallen. In den Sommermonaten kann dann die Durchschnittsfeuchte durch natürliche Trocknung auf ein verbrennungsgeeignetes Niveau fallen.

Der Abtransport der Ballen zur Verwendung geschieht unter Vollkostengesichtspunkten bei Entfernungen bis etwa 30 km vorteilhaft mit einem Schlepper und zwei Hängern, sofern für den Fahrer des Schlepperzugs ein geringerer Lohnansatz (z.B. 20 DM/h) gegenüber dem LKW-Fahrer (gegenwärtig 40 DM/h Lohnkosten) angesetzt werden kann. Bei größeren Entfernungen sind LKWs mit Anhänger günstiger. Jedoch darf nicht außer acht gelassen werden, daß landwirtschaftliches

Transportgerät oft nicht ausreichend genutzt ist und somit nur variable Kostenbestandteile die Entscheidung beeinflussen. Zum Aufladen wird wiederum ein Frontlader eingesetzt.

Tabelle A IV.1-8: Aufwendungen der Bereitstellung von Miscanthusgroßballen - gegenwärtige Verhältnisse, Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Summen	160 - 240		160				500			0,46	
Konditionierung, Lagerung und Transport											
Schneiden mit Schwadmäher und Knicken	13 - 17		15		25 - 35		30	0,10 - 0,15		0,13	Dieselmotor
kräftige Großballenpresse	36 - 46		41	– 10	80 - 120		100	0,15 - 0,30		0,20	Dieselmotor Lärm
Lagerung der Ballen am Feldrand	8 - 12		10	– 2	45 - 75		60	0,16 - 0,30		0,25	Dieselmotor
Abdecken der Ballen mit Plane			6				-	0,05 - 0,10		0,08	
Laden der Ballen auf Hänger			2	– 1			5			0,05	Dieselmotor
Transport der Ballen zur Verwendung, 5 km	7 - 12		9	– 4	35 - 40		37	0,12 - 0,18		0,15	Lärm Dieselmotor
Zwischensumme Aufbereitung	(72-95)		83	– 17	(190-275)		230	(0,60-0,95)		0,75	
Summen (5 - 10 km)			226 49 DM/MWh				730			1,20	
Summen (30 km)			239	-			756			1,27	

Bemerkungen: 10 % Biomasseverlust bei Lagerung der Ballen am Feldrand bis zur Nutzung sind berücksichtigt.

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse usw.) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Tabelle A IV.1-9: Überblick über die Aufwendungen für verschiedene Prozeßlinien zur Bereitstellung von Miscanthus

Prozeßkette	Gegenwart			Zukunft (2005)		
	Kosten (DM/MWh)	Energ. inp. (H_u)	Beschäf. (h/t TM)	Kosten (DM/MWh)	Energ. inp. (H_u)	Beschäf. (h/t TM)
Anbau und Pflege ohne Ernte	34	3 %	0,5	26	5 %	0,3
+ Häckseln, Trocknen und Pelletieren	74	14 %	2,7	61	15 %	2,5
+ Häckseln und Pelletieren o. Trocknen	68	11 %	2,5	56	12 %	2,4
+ Ballenkette: Lagerung a. Feld, 75 % TM	49	5 %	1,2	40	6 %	1,1
+ Ballenkette: mit techn. Trocknung	62	11 %	1,9	53	10 %	1,6
+ Ballenherst., Auflösung, Trockn. + Pelletieren	78	17 %	2,7	68	15 %	2,4

Abschätzungen für den Zeitraum um 2005:

- Kapitalkosten pro MWh bei gleicher Technologie: -10 % (bessere Auslastung der landw. Maschinen durch 150 ha-Betriebe (statt 60 ha) bei 5 ha Parzellengröße)
- die Kapitalkosten pro MWh verändern sich gegenüber gegenwärtigen Bedingungen um - 5 bis zu + 10 %, abhängig von den unterstellten Technologien
- Betriebskosten pro MWh in Prozent der Investition (gleichbleibend)
- Personalkosten steigen von 20 DM/h auf 26 DM/h

Schnellwachsende Baumarten

Die Aufwendungen für die Anpflanzung und Bewirtschaftung von Schnellwuchsplantagen sind im Kapitel V.1.2.2 dargestellt. Hierbei ergeben sich bereits 120 bis 160 DM/t TM. Die Ernte des Bestands in der vegetationslosen Zeit erzeugt noch erhebliche zusätzliche Kosten. In der Literatur sind hierfür kaum übertragbare Aussagen zu finden, meist wird eine Erntetechnik unter sehr speziellen Bedingungen angenommen. Die Spanne der genannten Erntekosten reicht von 30 DM bis zu 120 DM pro Tonne Trockenmasse (LÖFFLER et al. 1988). Viele offene Fragen sind noch zu klären, bis unter Praxisbedingungen auf kostengünstige Weise die Tausende im Bestand stehenden Bäumchen geerntet und einer energetischen Nutzung zugeführt werden können.

Insbesondere der Mechanisierungsgrad der Ernteverfahren bestimmt die Höhe der Kosten. Nachfolgend werden zwei Varianten näher betrachtet, zum einen eine motormanuelle Ernte (Benzin-Motorsäge, wie im konventionellen Waldbau) und zum anderen, als Ausblick in die Zukunft, eine vollmechanisierte Ernte mit Bündler. Bei beiden Verfahren wird das Erntegut am Feldrand gestapelt und kann nach ausreichender Trocknung durch die Umgebungsluft meist schon nach Ende des Sommers gehäckselt und abtransportiert werden. Durch mikrobiellen Abbau der gelagerten Stämmchen und Äste wird ein Biomasseverlust von 10 % (bezogen auf die Gesamtenergiemenge) unterstellt.

Motormanuelle Ernte der schnellwachsenden Baumarten

Die 3-jährigen Bäumchen (hier: Pappeln) werden mit einer Bügelmotorsäge mit Bedienung am Handgriff etwa 20 cm über dem Boden abgesägt und geeignet abgelegt. Hierfür benötigen 2 Arbeiter für einen Hektar etwa 2 Tage. Anschließend werden die Bäumchen mit Seilen oder Ketten zum Feldrand gerückt und am Lagerplatz unter Zuhilfenahme von Anbaugeräten am Schlepper (z.B. Greifer) gestapelt. Die hierfür benötigte Lagerfläche kann etwa 10 % der beernteten Fläche betragen. Nachdem das Holz in den Sommermonaten ausreichend abgetrocknet ist (Wassergehalt < 25 %), steht es auf Abruf der energetischen Nutzung, z.B. in einer Heizungsanlage, zur Verfügung. Zuvor werden die gefällten Bäumchen, ebenfalls sehr personalintensiv, mit Kranhilfe aus dem Stapel herausgezogen und in einem Hacker mit einem Trichter als Zuführhilfe zerkleinert. Das Hackgut wird über den Auswurf direkt auf den Anhänger gefördert. Ein Schlepper mit 2 Hängern transportiert die Hackschnitzel anschließend zum Verbraucher. In Tabelle A IV.1-10 sind die Kosten, der Prozeßenergiebedarf und die Arbeitsstunden

pro Tonne Trockenmasse aufgelistet. Auf eine Abschätzung dieser Prozeßlinie mit ihrem geringen Mechanisierungsgrad für den Zeitraum 2005 wird verzichtet.

Tabelle A IV.1-10: Aufwendungen der Bereitstellung von Hackgut aus schnellwachsenden Baumarten (motormanuell)
- gegenwärtige Verhältnisse, Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Bodenvorbereitung u. Anpflanzung			159				283			0,79	
Ernte, Lagerung, Hacken und Transport											
Ernte mit Bügelmotorsäge	30	45	38		45	50	47	1,0	1,50	1,25	Benzinmotor, Lärm
Bereitlegen, Rücken, und Stapeln	25	45	35	–5	45	70	58	0,90	1,3	1,10	Dieselmotor
Lagerung am Feldrand (natürl. Trockn.)	2	4	3				-			-	
Häckseln mit Anbauhacker (mit Laden)	60	90	75	–10	270	330	300	0,90	1,30	1,10	Dieselmotor Lärm
Transport zum Verwender mit 2 Hängern, 5-10 km	15	20	17	–8	55	75	65	0,25	0,35	0,30	Dieselmotor
Summen Ernte bis Verwendung	132	204	168	–23 =145	415	525	470	3,05	4,45	3,75	Dieselmotor
Summen Anbau bis Verwendung			304				753			4,55	

Quellen: GERSTENKORN 1992 und eigene Berechnungen

Erläuterungen: (10 % Masseverluste durch Lagern und Aufnehmen sind berücksichtigt).

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger ...) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Vollmaschinelle Ernte

Es sind eine ganze Reihe vollmechanisierter Verfahren denkbar. Während man bei der motormanuellen Variante eher zu etwas längeren Umtriebszeiten tendiert, soll hier durch den Einsatz schlagkräftiger Erntemaschinen die Produktivität verbessert werden. Eine Prozeßlinie für schnellwachsende Baumarten, bei der unmittelbar nach dem Abtrennen der Bäumchen gehäckselt wird, erspart viele zeitaufwendige Arbeitsschritte. Die dann notwendige technische Trocknung des Ernteguts von 50 % Trockenmasse (oft noch weniger) auf 75 bis 85 % TM und die Lagerung des Hackguts in belüfteten Gebäuden führt zu hohen Kosten, die auf etwa 200 bis 250 DM/t TM abgeschätzt werden. Generell ist eine Verbrennung der erntefrischen Hackschnitzel technisch möglich. Der Investitionsaufwand solcher Anlagen (Wirbelschichtöfen, Zonenwanderroste) ist deutlich höher als bei konventionellen Anlagen. Außerdem ist der Wirkungsgrad der Verbrennung deutlich reduziert, kann jedoch durch Kondensation der Abgase gemildert werden.

In der zweiten Variante, der vollmaschinellen Ernte, wird unterstellt, daß die Bäumchen von einer Spezialmaschine abgetrennt, gebündelt und abgelegt werden. Dabei sind die Bündel 3 bis 4 Meter lang und wiegen ca. 60 bis 80 kg. Mit Kranunterstützung werden sie dann auf einen Transportwagen gehoben und wiederum am Feldrand (an einem befestigten Feldweg) gestapelt. Aufgrund der effizienten Vorverdichtung durch das Bündeln reicht bei dieser Variante ein Lagerplatz von 5 bis 7 % der beernteten Fläche aus. Zudem ist die Zuführung für das Hacken nach der Sommerperiode erleichtert. Die nachfolgenden Abschätzungen für die finanziellen, energetischen und arbeitskraftmäßigen Aufwendungen in Tabelle A IV.1-11 werden für gegenwärtige und zukünftige (Jahr 2005) Verhältnisse durchgeführt. Dabei haben insbesondere die Ansätze für die Spezialmaschine eine große Bandbreite. Die Abschätzungen für den Transport des Hackguts zur Verwendungsanlage entsprechen denjenigen der motormanuellen Variante.

Tabelle A IV.1-11: Aufwendungen der Bereitstellung von Hackgut aus schnellwachsenden Baumarten (vollmaschinelle Ernte)
Angaben pro t TM des verkaufsfähigen Guts

Prozeßglied	Gesamtkosten (DM/t TM)				Prozeßenergie[1] (MJ/t TM)			Beschäftigung (h/t TM)			Emissionen
	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	
Anbau											
Bodenvorbereitung u. Anpflanzung	121						281			0,79	
Ernte, Lagerung, Hacken und Transport											
Schneiden und Bündeln mit Selbstfahrer	40 - 90		65		10 - 20		15	0,20 - 0,40		0,30	Dieselmotor Lärm
Einsammeln und Stapeln der Bündel	10 - 20		15	– 3	35 - 40		38	0,45 - 0,75		0,60	Dieselmotor
Lagerung am Feldrand (natürl. Trockn.)	1 - 3		2				-			-	
Häckseln mit Anbauhacker (mit Laden)	48 - 64		56	– 10	175 - 260		216	0,70 - 0,95		0,83	Dieselmotor Lärm
Transport zum Verwender mit 2 Hängern, 5-10 km	15 - 20		17	– 8	55 - 75		65	0,25 - 0,35		0,30	Dieselmotor
Summen Ernte bis Verwendung	121 - 218		155	– 23 = 134	275 - 395		334	3,05 - 4,45		2,03	Dieselmotor
Summen Anbau bis Verwendung			255				753			2,82	

Quellen: GERSTENKORN 1992 und eigene Berechnungen

Erläuterungen: (10 % Masseverluste durch Lagern und Aufnehmen sind berücksichtigt).

a, b: Spanne der Abschätzung, wobei extreme Werte nicht enthalten sind

c: Ausgewählter Wert für weitere Berechnungen, oft Mittelwert oder arithmetisches Mittel

d: Fixkostenkorrektur - die Spanne ist auf der Basis von Vollkosten kalkuliert, so daß die in den Anbaudaten bereits enthaltenen Fixkosten (für Schlepper, Hänger, Rundballenpresse ...) nur einmal gezählt werden.

1) elektrische Energieanteile wurden auf Primärenergieanteile umgerechnet.

Industrierestholz

Abfälle von Verarbeitungsprozessen der Holzindustrie fallen bei Sägereien, aber auch in Gewerbe und Industrie an. Es handelt sich dabei um Kappholz, Spreißel, Schwarten, Rinde, Sägespäne, Furnierreste und Schleifstaub. Für eine energetische Nutzung in konventionellen Anlagen werden in der vorliegenden Studie nur naturbelassene Holzrohstoffe betrachtet. Da dieser Reststoff das ganze Jahr hindurch anfällt, bietet er für die thermische Verwertung sehr zu schätzende Logistikvorteile. Bei Sägereien können die Abfälle, die als Brennstoffe zu feucht sind, im Freien gelagert werden, bis die Trockenmassegehalte den gewünschten Bereich von 75 bis 85 % erreichen. Die Schwarten und Spreißel werden in stationären Hackern zu Hackschnitzeln zerkleinert. Dieses ist die günstigste Form für eine automatische Beschickung der Feuerung, aber auch für die Transporte und Ladevorgänge. Die Holzabfallstoffe aus dem Industriebereich (z.B. Möbelherstellung) sind meist trocken und können direkt gehackt und verwendet werden. Hackgut sollte bis zur Verwendung in gut belüfteten Gebäuden (Scheunen) gelagert werden. Sägespäne oder Sägemehl können pelletiert werden, aber es gibt auch spezielle Feuerungsanlagen für diese feinkörnigen Brennstoffe.

Die Bereitstellung von Hackgut aus Industrierestholz ist in der Praxis kein Problem. Zur Zeit wird leider ein beträchtlicher Teil des Aufkommens zur Deponie gebracht, weil zu wenige Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland die Holzabfälle für Energiezwecke nutzen. Trotz dieses Umstands werden bei den Abschätzungen für die Kosten der Bereitstellung und für die Prozeßenergie keine entfallenden Entsorgungskosten angesetzt. Für gegenwärtige Verhältnisse werden 128 DM/t TM bzw. für das Jahr 2005 ein Betrag von 110 DM/t TM unterstellt. Die notwendigen Prozeßenergien werden mit 2,2 % des Heizwerts für die Gegenwart und mit 2,1 % für 2005 angenommen. Damit weisen die Holzhackschnitzel die geringsten Kosten und Prozeßenergien der betrachteten Energieträger auf. Industrierestholz ist auch ein Rohstoff für die Zellstoff- und Spanplattenindustrie. Alleine die Säge- und Spanplattenindustrie deckt 65 bis 70 % ihres thermischen Energiebedarfs durch Holzreststoffe (s. Kap. V.1.3.1).

Rapssaat

Die Bereitstellung von W-Rapssaat als Festbrennstoff entspricht derjenigen als Nahrungsmittel. Raps wird mit ca. 86 % TM geerntet und muß zur Lagerfähigkeit auf 9 % Wassergehalt getrocknet werden. Aufgrund der guten Pumpfähigkeit der kleinen Körner kann Rapssaat ohne großen technischen Aufwand umgeladen und einer Feuerungsanlage zugeführt werden. Die Kosten frei Verwender werden mit

990 DM/t TM (bei 6,9 MWh/t) abgeschätzt, wobei der Großteil (ca. 890 DM) anbauseitig entsteht (vgl. Kap. III.1). Die Trocknungkosten für 5%-Punkte Wasserentzug sind mit 40 DM/t angenommen (KTBL 1990). Für Transporte und Lagerung sind weitere 60 DM/t unterstellt. Der Energieaufwand für die Prozeßglieder Trocknung bis Anlieferung beim Verwender ist mit ca. 400 MJ/t TM gering im Verhältnis zum Energie-Input beim Anbau von Raps mit 5 250 MJ/t TM (Gegenwart).

Weizenkorn

Weizenkorn als nachwachsender Energieträger unterscheidet sich nicht vom Nahrungsweizen hinsichtlich der Erntetechnik, Trocknung und der Lagerung. Die finanziellen Aufwendungen vom Anbau bis zur Ernte mit dem Mähdrescher sind mit 442 DM/t TM für gegenwärtige Verhältnisse (2005: 299 DM/t TM) abgeschätzt worden (vgl. Kap. III.1). Ähnlich der Rapssaat muß das Korn zur Lagerfähigkeit von ca. 82 % Trockenmasse nach der Ernte auf 86 % getrocknet werden. Hierfür werden 26 DM/t TM Trocknungskosten berücksichtigt. Lagerung und Transport zur Feuerungsanlage erzeugen Kosten in Höhe von 46 DM/t TM, so daß die Gesamtkosten frei Verwender 514 DM/t TM (2005: 371 DM/t TM) betragen. Der Energieaufwand für die Prozeßglieder nach der Ernte wird mit 120 MJ/t TM (entsprechend 3,3 l Heizöl EL) trotz der notwendigen Trocknung als gering eingeschätzt. Dies ist insbesondere dem einfachen Umgang mit einem dichten Gut (Schüttdichte ≈ 750 kg/t) zuzuschreiben. Der Energie-Input in der Summe vom Anbau bis zur Bereitstellung liegt mit ca. 2 600 MJ/t TM etwa in gleicher Höhe wie bei Pellets aus Heu oder Miscanthus.

Zusammenfassung

In Tabelle A IV.1-12 sind die Kosten der Bereitstellung nachwachsender Energieträger frei Verwendungsanlage aufgelistet. Durch die Untersummenbildung von Anbau (Feldvorbereitung, Anpflanzung bzw. Aussaat, Pflege, Düngung Pflanzenschutz und teilweise Ernte) und Konditionierung (ggf. Ernte, Verdichtung, Trocknung, Transporte und Lagerung) können die Bereiche identifiziert werden, welche die Hauptbeiträge zu den Gesamtkosten der Bereitstellung erzeugen. Die Erntekosten sind grundsätzlich dem zweiten Bereich zugeordnet, jedoch sind Ausnahmen beim Weizen (Stroh liegt im Schwad, Weizenkorn ist im Tank des Mähdreschers), bei der Rapssaat und den Zuckerrüben aus Kostenzurechnungsgründen gemacht. Bei einigen Energieträgern wird nach der Transportentfernung vom Ort der Lagerung/Konditionierung bis zum Verwender (5 bis 10 km durch land-

wirtschaftliche Fahrzeuge bzw. 30 km durch gewerbliche LKWs) unterschieden. Die Mehrkosten für den größeren Transportweg betragen für die geringverdichteten Ballenformen ca. 15 DM/t TM, während bei Pellets, Hackschnitzeln oder Rapssaat die Kostenunterschiede gering sind.

In den Abschätzungen für zukünftige Verhältnisse (2005) des Bereichs Anbau bis Ernte wirken sich insbesondere verringerte Fixkosten aufgrund der größeren Flächenausstattung der Betriebe (150 ha statt 60 ha) kostenmindernd aus. Für die Ernteverfahren bzw. die Verdichtung der Energieträger auf dem Feld werden Technologiefortschritte unterstellt, die sich auf der finanziellen Seite von 5 % Kostenvorteil bis 10 % höhere Kosten pro Einheit (DM/t TM) auswirken. Insbesondere werden Technologien zur Ernte und Aufbereitung für das Jahr 2005 als kostengünstiger und energieeffizienter als in der Gegenwart abgeschätzt. Bei den Betriebskosten bleibt der Multiplikator "Prozent der Investitionssumme" gleich, während die Personalkosten (z.B. für landwirtschaftliche Arbeiten von 20 DM/h auf 26 DM/h) angehoben werden (vgl. Kap. III.1).

Tabelle A IV .1-12: **Auflistung der Bereitstellungskosten verschiedener nachwachsender Energieträger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse**

	Gegenwart				Zukunft (2005)		
	H_u (MWh/t TM)	Anbau (DM/t TM)	Kond. (DM/t TM)	Gesamt (DM/t TM)	Anbau (DM/t TM)	Kond. (DM/t TM)	Gesamt (DM/t TM)
Strohballen 5-10 km	4,55	30	49	79	30	44	74
Strohballen 30 km	"	30	64	94	30	59	89
Strohpellets 5-10 km	"	30	138	168	30	118	148
Strohpellets 30 km	"	30	143	173	30	123	153
Strohbriketts Kl.-Verbr. ländl.	4,55	30	228	258	30	207	237
Strohbriketts Kl.-Verbr. städt.	4,55	30	285	315	30	269	299
Heuballen 5-10 km	4,55	225	43	268	179	40	219
Heuballen 30 km	"	225	56	281	179	53	232
Heupellets 5-10 km	"	225	130	355	179	110	289
Heupellets 30 km	"	225	135	360	179	115	294
Miscanthusballen 5-10 km	4,65	160	66	226	119	49	168
Miscanthusballen 30 km	"	160	79	239	119	62	181
Miscanthuspellets 5-10 km	"	160	173	333	119	160	279
Miscanthuspellets 30 km	"	160	178	338	119	165	284
HS Ind.-Restholz 5-10 km	4,75	0	126	126	0	108	108
HS aus Ind.-Restholz 30 km	"	0	130	130	0	111	111
SWP-Hackschnitzel 5-10 km	"	159	145	304	121	134	255
SWP-Hackschnitzel 30 km	"	159	157	316	121	148	269
Rapssaat für Feuerungsanlage 5-10 km	(6,9)	889	97	986	565	92	657
Rapssaat für Feuerungsanlage 30 km	"	889	102	991	565	97	662
Rapsöl als Heizölersatz	(10,19)	2117	129	2246	1345	217	1562
Rapsöl für Duotherm-Motoren	(10,19)	2117	189	2306	1345	277	1622
Rapsöl als Raff.-Rohstoff	(10,19)	2117	109	2226	1345	197	1542
RME	(10,31)	2205	443	2648	1401	504	1905
Ethanol aus Zuckerrüben	(7,49)	701	725	1426	494	955	1449
Ethanol aus Weizen	(7,49)	1301	750	2051	880	874	1754
Weizenkorn für Kohleanlagen	4,55	442	72	514	299	72	371

Tabelle A IV.2-1: **Technische und ökonomische Kenndaten für Heizanlagen und Dampferzeuger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse[1) 5)]**

Typ des Energieträgers		PBEPH [2)]	PBEPH	PBEB [3)]	PBEPH	PBEB	PBEPH	PBEB
Größenklasse der Heizanlage bzw. Dampferzeugers		**50 kW**	**500 kW**	**500 kW**	**2 MW**	**2 MW**	**5 MW**	**5 MW**
Gesamt-Wirkungsgrad	%	78	81	78	82	79	85	82
Bauzeit	a	-	-	-	0,5	0,5	1,0	1,0
Lebensdauer	a	15	20	20	20	20	20	20
Verfügbarkeit [4)]	%	100	100	100	100	100	80	80
Auslastung	h/a	1750	1750	1750	2000	2000	3500	3500
Spitzenlast-Arbeitsanteil	-	-	-		-	-	0,2	0,2
Spitzenlast-Wirkungsgrad	-	-	-		-	-	0,9	0,9
Spezifische Investition [6)]	DM/kW_i	1180	830	1010	580	710	580	660
Spezifische Betriebskosten [7)]	%/a	6,1	6,1	6,1	6,3	6,3	9,1	9,1

1) Für die Gegenwart und für 2005 wurde mit denselben technischen und ökonomischen Kenndaten gerechnet.
2) PBEPH: Pflanzenbürtige Energieträger, pelletiert oder als Holz-Hackschnitzel
3) PBEB: Pflanzenbürtige Energieträger, in Ballenform
4) Prozent der effektiven Verfügbarkeit von Kohle-Kondensationskraftwerken
5) Kenndaten für ersetzte Ölanlagen sind in Tabelle A IV.2-2 aufgeführt
6) Investition in DM/kW Inputleistung des zugeführten Energieträgers
7) Angaben in Prozent pro Jahr der spezifischen Investition

Tabelle A IV.2-2: **Technische und ökonomische Kenndaten für Öl- Zentralheizungen und Dampferzeuger - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse[1)]**

Typ des Energieträgers		Heizöl EL	Heizöl EL	Heizöl EL
Größenklasse der Anlage		**50 kW Zentralheizung**	**500 kW Zentralheizung**	**2 MW Dampferzeuger**
Gesamt-Wirkungsgrad [2)]	%	88	90	91
Bauzeit	a	-	-	-
Lebensdauer	a	15	20	20
Verfügbarkeit	%	100	100	100
Auslastung	h/a	1750	1750	2000/4000
Spitzenlast-Arbeitsanteil	-	-	-	-
Spitzenlast-Wirkungsgrad	-	-	-	-
Spezifische Investition [3)]	DM/kW_i	350	250	180
Spezifische Betriebskosten [4)]	%/a	5,5 %	5,5 %	5,5

1) Für die Gegenwart und für 2005 wurde mit denselben technischen und ökonomischen Kenndaten gerechnet.
2) Jahreswirkungsgrad der Anlage
3) Investition in DM/kW Inputleistung bezogen auf HEL
4) Angaben in Prozent pro Jahr der spezifischen Investition

Tabelle A IV.2-3: **Technische und ökonomische Kenndaten für Heizkraftwerke - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse**

Typ des Energieträgers HKW-Typ Zeitpunkt für Projektierung		PBEPH [2] WSFDT [3] Gegenw.[1]	PBEPH WSFDT Gegenw.[1]	PBEPH WSVGT[4] 2005	PBEPH WSFDT Gegenw.[1]	Kohle WSFDT Gegenw.[1]	Kohle WSVGT 2005
Größenklasse des HKW	MW_{el} MW_{FW}	12 30	25 56	25 40	42 85	42 85	25 40
Gesamt-Wirkungsgrad	%	84	84	83	84	84	83
Bauzeit	a	1,5	1,8	1,8	2,0	2,0	1,8
Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20
Verfügbarkeit [5]	%	80	80	100	80	80	100
Auslastung	h/a	4000	4000	5000	4000	4000	5000
Spitzenlast-Arbeitsanteil	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Spitzenlast-Wirkungsgrad	-	0,85	0,85	0,88	0,85	0,85	0,88
Spezifische Investition [6]	DM/kW_i	1150	1000	900	900	850	850
Spezifische Betriebskosten [7]	%/a	11,4	10,6	10,6	9,9	9,9	10,6

1) Für die Gegenwart und für 2005 wurde mit denselben technischen und ökonomischen Kenndaten gerechnet.
2) PBEPH: Pflanzenbürtiger Energieträger, pelletiert oder als Holz-Hackschnitzel
3) WSFDT: Wirbelschichtfeuerung mit Dampfturbine (Gegendruckanlage)
4) WSVGT: Wirbelschichtvergasung mit Gasturbine
5) Prozent der effektiven Verfügbarkeit von Kohle-Kondensationskraftwerken
6) Investition in DM je kW Inputleistung (Heizwert pro Zeiteinheit) des zugeführten Energieträgers
7) Angaben in Prozent pro Jahr der spezifischen Investition

Tabelle A IV.2-4: **Technische und ökonomische Basisdaten für Fernwärmenetze und für Heizöl-Sammelanlagen - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse[1)]**

	Einheit	Städtische Versorgungsgebiete		Ländliche Versorgungsgebiete	
		Fernwärme	Ölheizung	Fernwärme	Ölheizung
Fernwärme-Verteilungssystem					
spezifische Investition [2)] je kW Anschlußleistung	DM/kW	600	-	600	-
Lebensdauer	a	30	-	30	-
Auslastung	h/a	2000	-	1750	-
spezifische Betriebskosten [3)]	%/a	4,5	-	4,5	-
Hausanlage					
spezifische Investition je kW Anschlußleistung	DM/kW	400	400	450	450
Lebensdauer	a	20	15	20	15
spezifische Betriebskosten [3)]	%/a	3,0	5,5	3,0	5,5

1) Für die Gegenwart und für 2005 wurde mit denselben technischen und ökonomischen Kenndaten gerechnet.

2) Straßennetz, Stichleitungen zu Gebäuden, Übergabestationen

3) Jährl. Kosten je kW für Wartung, Instandhaltung, Steuern (nur für Fernwärmeverteilung) - als Prozentsatz der spezifischen Investition

Tabelle A IV.2-5: Technische und ökonomische Kenndaten für Kohlekraftwerke - gegenwärtige und zukünftige Verhältnisse

Typ des Kraftwerks Zeitpunkt der Projektierung		SFDT [1] Gegenwart	VGuD [2] 2005
Größenklasse des Kraftwerks	MW_{el}	500	500
el. Wirkungsgrad (netto)	-	0,38	0,425
Bauzeit	a	4	4
Lebensdauer	a	20	20
Auslastung	h/a	5000	5000
Spezifische Investition	DM/kW_i [3]	875	950
Spezifische Betriebskosten	%/a [4]	8,9	8,9

[1] SFDT: Staubfeuerung, Dampfturbine (Kondensationsanlage)
[2] VGuD: Vergasung mit Gas- und Dampfturbinenkreislauf
[3] Investition in DM je kW Inputleistung (Heizwert pro Zeiteinheit) der Kohle
[4] *Angaben in Prozent pro Jahr der spezifischen Investition*

Tabelle A IV.4.1-1: Technische Kenndaten fossiler Energieträger und energetische Umrechnungsfaktoren

	(1) Spezifisches Gewicht (kg/l)	(2) Energiegehalt (H_u) (MWh/t)	(3) CO_2-Emissionsfaktor (t CO_2/MWh)		
			(a)	(b)	(c)
Heizöl, extra leicht (HEL)	0,84	11,86	0,262	0,265	0,283
Heizöl, schwer (HS)	0,96	11,40	0,280	0,282	0,283
Dieselkraftstoff (DK)	0,84	11,86	0,262	0,265	0,283
Ottokraftstoff (OK) (Superbenzin, bleifrei)	0,74	12,10	0,255	0,260	0,283
Erdgas	–	8,80 (kWh/m³, H_u)	0,198	0,201	0,184
Steinkohle (Energiegehalt nur für einheimische Kohle)	–	8,14	0,334	0,335	0,329
Braunkohle (Kraftwerk), neue Bundesländer	–	–	–	0,388	0,399
Braunkohlenbrikett, neue Bundesländer	–	–	–	0,281	0,289

Quellen:

- Spalten (1) und (2): Eigene Berechnungen auf der Grundlage von: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 1990, Schiffer 1990.
- Spalte (3) (a): Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", Teilband II, 1991, S. 148.
  Anm.: *Es handelt sich um CO_2-Emissionen, die aufgrund des Kohlenstoffgehalts der fossilen Energieträger bei der Verbrennung freigesetzt werden.*
- Spalte (3) (b): Birnbaum/Wagner 1991.
  Anm.: Es handelt sich um aus Brennstoffanalysen berechnete Werte.
- Spalte (3) (c): Benutzte Daten für die Berechnungen der vorliegenden Studie.

Rohöl: *1 bbl (Barrel) = 159 l* *1 MWh = 3,6 GJ*
1000 l = 0,843 t *1 t SKE = 29,3 GJ*
1 t = 11,838 MWh

$$1\,kg\,C \;=>\; \frac{44}{12}\,kg\,CO_2$$

Literaturverzeichnis zum Anhang

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (Hrsg.), 1990: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt a.M.

BIRNBAUM, K.U., und H.-J. WAGNER, 1991: Einheitliche Berechnung von CO_2-Emissionen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 42 (1/2), 78-80

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten), 1988/90: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1988/90. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

CLAAS, 1992: Firmenunterlagen zu Ballenpressen und Erntegeräten. Claas Vertriebsgesellschaft mbH, Harsewinkel

CPM AMSTERDAM, 1991: Firmenunterlagen der CPM - Part of worldwide Ingersoll-Rand in Amsterdam zu Pelletpressen, ergänzende persönl. Mitteilungen von J. Hartmann/CPM-Europe B.V.

ENQUÊTE-KOMMISSION "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.), 1991: Schutz der Erde, Teilband II, Bonn/Karlsruhe, 148

FIATAGRI, 1992: Firmenunterlagen zu Ballenpressen. Fiatagri-Landtechnikbereich der Fiatgeotech S.p.A.

FORTSCHRITT, 1992: Firmenunterlagen zu Schwadmäher und Ballenpressen der Fortschritt Erntemaschinen GmbH, Neustadt/Sachsen

FREISING, 1992: Energetische Nutzung von Biomasse. Tagungsband zur Fachtagung 27./28. April 1992 in Freising. Veranstalter: Forum für Zukunftsenergien e.V.

FRERICHS, L., 1990: Ernte und Aufbereitung von Miscanthus. Vortrag beim KTBL-Fachgespräch "Anbau, Ernte und Nutzung von Elefantengras" in Braunschweig am 11./12. Sept. 1990

GARTNER, B., 1993: Persönliche Mitteilungen zu Braunkohlengestehungskosten. Ingenieur- und Service-Gesellschaft (Abt.Energie und Umwelt), Leipzig

GERSTENKORN, H., 1992: Kosten-Nutzen-Untersuchung "Anbau und thermische Verwertung von Biomasse". Arbeitsbericht 1992, Institut für Betriebswirtschaft, BFA Braunschweig-Völkenrode

GESSNER, B., 1991: Zusammenfassung relevanter Verfahrensdaten bei der Ernte, Aufbereitung und bei der energetischen Umsetzung von Biomasse, Endbericht. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan, Oktober 1991

GESSNER, B., 1991: Sonderdruck Miscanthus. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan

JESMA-MATADOR, 1992: Firmenunterlagen zu Pelletierungsanlagen und -ausrüstungen. Jesma-Matador A.S., DK-Esbjerg

KOLLOCH, H.-P., 1990: Ökonomische Untersuchungen zur Ernte und zum Einsatz von Stroh und Schwachholz als Energieträger in Großfeuerungsanlagen (1 MW bis 10 MW). Dissertation an der TU München, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Hrsg.), 1988: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaftl. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft (14. Aufl.). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

– –, 1989: Datensammlung für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft (11. Aufl.). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

– –, 1990: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft (15. Aufl.). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

– –, (verschiedene Jahrgänge): Standarddeckungsbeiträge und Rechenwerte zur Betriebssystematik für die Landwirtschaft

LANDTECHNIK BAUWESEN, 1986: Landtechnik Bauwesen, Verfahrenstechnik - Arbeit - Gebäude. BLV Verlagsgesellschaft München/Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup

LÖFFLER, H. et al., 1988: Ernte von Kurzumtriebsplantagen. Forstliche Forschungsberichte, Schriftenreihe der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Nr. 90

MEISSNER, G., 1993: Persönliche Mitteilungen zu Pelletierverfahren von Abfallstoffen. Erd- und Altlastenlabor, Schlieben

OSTER, W., und P. SCHWEIGER, 1992: Ergebnisse 3-jähriger Anbauversuche mit Schilfpflanzen. Informationen für die Pflanzenproduktion, Heft 3, Landesanstalt für Pflanzenbau (Hrsg.), Forchheim (Baden-Württemberg)

RAIFFEISEN (Raiffeisen-Zentralgenossenschaft Pforzheim), 1992: Pers. Mitteilungen von R. App zu Garnverbrauch und Garnkosten

SCHIFFER, H.-W., 1991: Energiemarkt ´90. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 41 (3), 154-173

SCHUSTER, W., W. SCHREINER, H. LEONHÄUSER und K.-H. ZSOCHE, 1982: Über die Ertragssteigerung bei einigen Kulturpflanzen in den letzten 30 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Acker- und Pflanzenbau 151, 368-387

STELA MASSING (Herr Müller),1991: Persönl. Mitteilungen zum Trocknen von Miscanthus. Stela-Laxhuber KG, Massing (Niederbayern)

THOMA, H., 1989: Durchführbarkeitsstudie zur energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen durch direkte Verbrennung. Büro für agrarökonomische Gutachten, Expertisen und Projektstudien, Langenbach

VØLUND, 1992: Firmenunterlagen zu Strohheizungsanlagen mit Ganzballenverbrennung. Vølund Energy Systems A.S., DK-Esbjerg

Lieferbare Hefte (Stand 1. 7. 1993)

(Landwirtschaft) – Angewandte Wissenschaft

(Nr. 1–245)

Nr.		DM
25	Die Wirtschaftsberatung der Württembergischen Landsiedlung GmbH, Stuttgart	3,50
59	Zeitfragen des landw. Bauwesens	4,–
70	Transportarbeit d. Landfrau i. Haus u. Hof	3,80
74	Wirtschaftliche u. marktgerechte Erzeugung von Fleischschweinen	3,60
80	Beratung in der Schweinemast	3,20
81	Autarke Landwirtschaft – arbeitsteilige Landwirtschaft	3,40
84	Aktuelles aus d. Vieh- u. Fleischwirtschaft	3,30
105	Körnermais-Untersuchungen	3,50
118	Die Landwirtschaft und ihre Marktpartner	4,90
120	Forstwirtschaft und Ausland	6,80
123	Forschungsergebnisse zur Förderung der forstlichen Erzeugung (Teil V)	3,80
144	Verbrauchsstruktur der Haushalte von selbständigen Landwirten in der Bundesrepublik Deutschland 1962/63	6,–
175	Ergebnisse aus Forschungsvorhaben der Bereiche Landwirtschaft, Ernährung und Forsten der Jahre 1970–1974	18,–
176	Verfahren der Bilanzierung aus entscheidungsorientierter Sicht und ihre methodischen Auswirkungen	18,–
187	Evaluierung eines innovativen Gruppenberatungsprogramms – ein praktischer Versuch in fünf Gemeinden des Wetteraukreises	14,–
203	Die Strukturentwicklung ausgewählter Landwirtschaftsbetriebe in Hessen	15,–
204	Die industriemäßig betriebene pflanzliche Agrarproduktion in der DDR – Organisationsformen, Produktionsverfahren und ökonomische Effizienz – mit vergleichenden Betrachtungen zur Pflanzenproduktion in der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland	32,–
225	Bekämpfung der Schweinepest	17,–
229	Wood as Resource in World Economics	35,–
231	Tagung des Deutschen Forstvereins in Saarbrücken	9,–
236	Milchpreissenkungen und Einkommensübertragungen	16,–
242	Das Investitionsverhalten in der Landwirtschaft	14,–
243	Beitrittsprobleme auf dem EG-Weinmarkt	14,–
	Sonderheft Forschungsrahmenplan 1980-1983	11,–
249	Nahrungsmittelverbrauch im Mehrländervergleich	22,–
256	Gewässerunterhaltung mit Herbiziden	15,–
259	Unser Dorf soll schöner werden	12,–
	Sonderheft Forschungsprogramm Nachwachsende Rohstoffe 1982–1985	7,–
261	10 Jahre Bodengewinnbesteuerung in der Land- und Forstwirtschaft	8,–
262	DDR-Tierproduktion: Züchtungswesen und Hygiene	17,–
265	Umweltinformationen für Landwirte	9,–
266	Landwirtschaftliche Beratungsdienste	12,–
269	Konzentrierte tierische Produktion	8,–
270	Einkommenswirkung der Produktivitätsentwicklung	9,–
277	Markttransparenz bei Pflanzenschutz- und Düngemitteln	17,–
280	Landwirtschaft – Eine soziale Frage	10,–
281	Intrasektorale Einkommensstreuung in der Landwirtschaft	14,–
282	Nord-Süd-Gefälle landwirtschaftlicher Einkommen	9,–
292	Landwirtschaftliche Unfallversicherung	22,–
293	Versorgungssicherung in der Agrarpolitik	24,–
294	Begrenzter Einsatz von Handelsdüngern und Pflanzenschutzmitteln	21,–
295	Entwicklung der tierischen Produktion	14,–
302	Biologische Station Rieselfelder Münster	10,–
305	Nachfrage nach Lebensmitteln in privaten Haushalten/Band II	16,–
	Sonderheft Forschungsrahmenplan 1984–1987	13,–
309	Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland	5,–
310	Die FAO und die Mitwirkung der Bundesrepublik Deutschland	8,–
311	Europäische Landwirtschaft bis zum Ende des 20. Jahrhunderts	11,–
312	Möglichkeiten zur Realisierung einer kontinuierlichen Sozialberichterstattung im Agrarbereich	10,–
314	Ausgleichbarkeit von Eingriffen in Natur und Landschaft	6,–
316	Energie aus Nebenstoffen der Weinbereitung	7,–
320	Milcherzeugnis-Nachfrage unter veränderten Marktbedingungen	7,–
321	Weiterführung der Milchmarktpolitik der EG	5,–
323	Auswirkungen steigender Energiepreise in der Landwirtschaft	22,–
324	Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1985	5,–
325	Resistenzzüchtung – ein Beitrag zum integrierten Pflanzenschutz	8,–
	Sonderheft Priorities in International Agricultural Research	8,–
	Sonderheft Schwerpunkte der Internationalen Agrarforschung	8,–
329	Neue Landabgaberente	17,–
330	Standort ländlicher Soziologie	32,–
336	Beschaffung von Betriebsinformationen über Bildschirmtext	17,–
337	Betriebssysteme und Standardbetriebseinkommen in der Land- und Forstwirtschaft	7,–
338	Entwicklung zum landwirtschaftlichen Fachhochschulstudium	9,–
340	Betriebswirtschaftliche Auswirkungen von Umweltschutzauflagen	25,–
341	BML-Forschungsprogramm Waldschäden durch Luftverunreinigungen 1982–1985	12,–
342	Sekt aus Moselwein – Herstellung und Vermarktungsorganisationen	17,–
343	Berufswahl und Ausbildung zum Forstwirt	17,–
	Sonderheft Forschungsplanung und Forschungskoordination im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	5,–
352	Weiterentwicklung des landwirtschaftlichen Sozialrechts	28,–

Nr.		DM
354	Zukunftsperspektiven der Landwirtschaft	13,–
356	Nutzung freigesetzter Flächen	16,–
357	Freiwillige Produktionsminderung – Empirische Analyse	27,–
359	Umweltkenntnisse und -bewußtsein bei Junglandwirten	13,–
361	Fruchtfolge – Analyse und Ausblick	8,–
362	Aktuelle Fragen der Ordnung des internationalen Agrarhandels	5,–
363	Weiterbenutzung landwirtschaftlicher Gebäude und Kleinflächen in der Ortslage – Modellplanung Ippesheim	14,–
364	Waldzustandsbericht Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1988	5,–
365	Schonung und Förderung von Nützlingen	27,–
	Sonderheft Forschungsrahmenplan 1988–1991	20,–
366	Flankierende Maßnahmen in Ergänzung einer Agrarpreispolitik des „mittleren Weges"	5,–
367	Körnerleguminosen	30,–
368	Forstwirtschaftliche Maßnahmen bei neuartigen Waldschäden	7,–
369	Erprobung der Flächenstillegung in Niedersachsen	13,–
370	Anbau fremdländischer Baumarten im Lichte der gegenwärtigen Waldschäden	20,–
371	Nachfrageveränderungen bei Milch durch Imitationsprodukte	13,–
372	Möglichkeiten und Grenzen zur Verbesserung des Standarddeckungsbeitragsverfahrens	17,–
373	Betriebliche Auswirkungen eines Verbotes von bestimmten Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft	8,–
374	Ökonomische Auswirkungen der eingeschränkten Anwendung von Nematiziden im Gartenbau	5,–
376	Folgen des Einsatzes von BST in der deutschen Milcherzeugung	16,–
377	Biotopmanagement	28,–
378	Vergleichende Erprobung verschiedener Stickstoffbestimmungsmethoden in Böden	7,–
379	Milchquotenregelung und Struktur der Milcherzeugung	10,–
381	Waldzustandsbericht Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1989	6,–
382	Landwirtschaft im EG-Binnenmarkt	14,–
383	Erwerbskombinationen in der Landwirtschaft	19,–
385	Betriebswirtschaftliche Analyse des Marktfruchtbaues	16,–

Nr.		DM
386	Nährstoffausträge durch Vorfluter und Dräne	11,–
388	Pflanzengenetische Ressourcen	15,–
392	Grundsatzfragen zur Anpassung der Landwirtschaft in den neuen Bundesländern	5,–
395	Erhebung über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Haus- und Kleingartenbereich	9,–
396	Integrierter Pflanzenschutz im Weinbau	9,–
397	Förderung der Erstaufforstung	9,–
	Sonderheft Produktions- und Verwendungsalternativen für die Land- und Forstwirtschaft Nachwachsende Rohstoffe	38,–
400	Ressourceneinsatz ländlicher Haushalte für die Lebenshaltung	11,–
401	Auswirkungen der Garantiemengenregelung Milch auf den Markt für Rindfleisch	16,–
403	Rechtsfragen zur Forstlichen Rahmenplanung nach §§ 6 und 7 Bundeswaldgesetz	26,–
405	Bericht über den Zustand des Waldes 1991	13,–
408	Technischer Wandel in der Milchproduktion	9,–
409	Rindfleischerzeugung in Europa	14,–
410	Kosten-Nutzenanalyse: Rapsöl im Nichtnahrungsmittelbereich	9,–
411	Integrierter Pflanzenschutz im Gemüsebau	9,–
412	Leinsamen als nachwachsender Rohstoff	10,–
413	Enteignungen in der Landwirtschaft der DDR nach 1949 und deren politische Hintergründe	9,–
414	Strategien für eine umweltverträgliche Landwirtschaft	9,–
415	Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1992	10,–
416	Reduzierung des Düngemitteleinsatzes	12,–
417	Landwirtschaft, Forsten und Fischerei in Portugal	7,–
418	Zum Carry over von Polychlorierten Biphenylen (PCB)	12,–
419	Einfluß der Europäischen Gemeinschaften auf die Forst- und Holzwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland	10,–
	Sonderheft Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe	30,–
420	Pflanzenbauliche und landschaftsökologische Auswirkungen stillgelegter Flächen	10,–
421	Vorschätzung des Nahrungsmittelverbrauchs in EG- und ausgesuchten Drittländern	14,–

Ab Nr. 246
Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten,
Reihe A: Angewandte Wissenschaft

LANDWIRTSCHAFTSVERLAG GMBH
HÜLSEBROCKSTRASSE 2 · 48165 MÜNSTER