

**Entwicklungen von Szenarien über die Bereitstellung
von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei
baden-württembergischen Regionen zur Herstellung
von synthetischen Kraftstoffen
– Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung –**



**Studie im Auftrag der DaimlerChrysler AG
Abschlussbericht – Juni 2005**

**erstellt durch:
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Dr. Ludwig Leible, DI Stefan Kälber, DI Gunnar Kappler**



Baden-Württemberg

DAIMLERCHRYSLER



**Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

Entwicklung von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen

Kurztitel: Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung

Abschlussbericht

Laufzeit des Projekts: 01.10.2004 bis 31.05.2005

**Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Forschungszentrum Karlsruhe**

Dr. Ludwig Leible

DI Stefan Kälber

DI Gunnar Kappler

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	7
1 Zielsetzung und Vorgehensweise	9
1.1 Zielsetzung	9
1.2 Vorgehensweise	9
2 Potenzialabschätzung	12
2.1 Bedeutung biogener Reststoffe in Deutschland und Baden-Württemberg	12
2.2 Maßgebliche Entwicklungen in Land- und Forstwirtschaft	13
2.2.1 Viehhaltung	13
2.2.2 Erträge	14
2.2.3 Flächen	15
2.2.4 Wald in Baden-Württemberg	17
2.3 Auswahl der Standorte	19
2.3.1 Flächenanteile von Acker, Grünland und Wald	19
2.3.2 Aufkommen an Stroh, Heu und Silomais	20
2.3.3 Aufkommen an Waldrestholz	21
2.3.4 Aufkommensdichte an Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz	23
2.3.5 Verkehrswegenetz	25
2.4 Biomassepotenzial der Standorte	26
2.4.1 Flächenaufkommen	26
2.4.2 Aufkommen an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz	28
3 Bereitstellungskosten	31
3.1 Methodisches Vorgehen	31
3.2 Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung	33
3.2.1 Erfassung und Lagerung von Stroh	33
3.2.2 Heuproduktion von überschüssigem Grünland	34
3.2.3 Anbau und Ernte von Silomais	35
3.2.4 Ernte und Erfassung von Waldrestholz	35
3.3 Gegenüberstellung der Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung	36
3.4 Transportkosten	37
3.5 Gesamtkosten der Bereitstellung frei Anlage	38
4 Vergleich der Standorte und Schlussfolgerungen	39
Literatur	41

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb.-Nr.:	Seite
Abb. 1:	Aufkommen biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland und Baden-Württemberg 12
Abb. 2:	Entwicklung der Rindviehhaltung in Baden-Württemberg – Bedarf an Grünland? 14
Abb. 3:	Entwicklung der Getreide- und Heuerträge in Baden-Württemberg 15
Abb. 4:	Entwicklung der Silomaiserträge in Baden-Württemberg 15
Abb. 5:	Entwicklung der Wald-, Acker-, Getreide- und Grünlandflächen in Baden-Württemberg 16
Abb. 6:	Entwicklung der Brachflächen auf Ackerland in Baden-Württemberg 16
Abb. 7:	Wald in Baden-Württemberg – Holzvorrat und -zuwachs nach BWI II 18
Abb. 8:	Verteilung der Acker-, Grünland- und Waldflächen in Baden-Württemberg – Lage der Standorte . 19
Abb. 9:	Aufkommensdichte an Silomais, Heu, Stroh und Waldrestholz 24
Abb. 10:	Verkehrswegenetz in Baden-Württemberg – Lage der Standorte 25
Abb. 11:	Flächennutzung und Einzugsbereiche der Standorte Nord (Heilbronn) und Süd (Sigmaringen) 27
Abb. 12:	Ausdehnung des Erfassungsradius am Standort Süd (Sigmaringen) auf 80 km 30
Abb. 13:	Vergleich Standort Nord und Süd: Biomasseaufkommen insgesamt und durchschnittliche Bereitstellungskosten der Biomasse frei Anlage 40

Tab.-Nr.:	Seite
Tab. 1:	Eckwerte der Bundeswaldinventur I und II für Baden-Württemberg 17
Tab. 2:	Abschätzung zum energetisch nutzbaren Strohpotenzial in Baden-Württemberg für 2003 21
Tab. 3:	Abschätzungen zum technischen Potenzial an Waldrestholz in Baden-Württemberg 22
Tab. 4:	Vorgehensweise bei der Abschätzung des technischen Potenzials an Waldrestholz in Baden-Württemberg 23
Tab. 5:	Flächenaufkommen der Standorte Nord und Süd 28
Tab. 6:	Standorte Nord und Süd – Aufkommen an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz 29
Tab. 7:	Eigenschaften von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz 32
Tab. 8:	Beschreibung der Anbau- und Bereitstellungsketten für Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz 32
Tab. 9:	Kosten der Strohbereitung frei Feldlager 33
Tab. 10:	Kosten der Heubereitung frei Lager landwirtschaftlicher Betrieb 34
Tab. 11:	Kosten der Silomaisbereitung frei Lager landwirtschaftlicher Betrieb 35
Tab. 12:	Kosten der Bereitstellung von Waldrestholz (Hackschnitzel) frei Waldstraße 36
Tab. 13:	Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz 37
Tab. 14:	Transportkosten vom Feld bzw. landwirtschaftlichen Zwischenlager oder Wald bis zur Anlage 38
Tab. 15:	Bereitstellungskosten von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz frei Anlage 39

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Langfassung	Erläuterung
A		
a	lat. anno = Jahr	
Ah	Arbeitsstunden	
B		
Bh	Betriebsstunden	
BHD	Brusthöhendurchmesser	Stammdurchmesser in 1,30 m Höhe über Grund
BWI	Bundeswaldinventur	
F		
fm	Festmeter	
FM	Frischmasse	Als Frischmasse wird die Substanz im frischen Zustand bezeichnet (inkl. Wasser)
G		
GVE	Großvieheinheit	entspricht einem Tier mit 500 kg Lebendgewicht
H		
ha	Hektar	
H _u	unterer Heizwert	Die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffs freiwerdende Wärmemenge abzüglich der Verdampfungswärme des im Abgas enthaltenen Wassers
HS	Hackschnitzel	
J		
J	Joule	Maßeinheit für den Energiegehalt: 1 J = 1kg*m ² /s ² 1 MJ = 10 ⁶ Joule (Megajoule) 1 TJ = 10 ¹² Joule (Terajoule) 1 PJ = 10 ¹⁵ Joule (Petajoule)
K		
kW	Kilowatt	= 10 ³ W = 10 ³ Js ⁻¹
kWh	Kilowattstunde	= 10 ³ Wh = 3.600 kJ
L		
ldw.	landwirtschaftlich	
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche	
M		
Mg	Megagramm	= 10 ⁶ g = 10 ³ kg = 1 t
MW	Megawatt	= 10 ³ kW = 10 ⁶ W = 10 ⁶ Js ⁻¹
MWh	Megawattstunde	= 10 ⁶ Wh
O		
oTS	organische Trockensubstanz	organischer Anteil der Trockensubstanz, näherungsweise gleich dem Glühverlust
P		
PEV	Primärenergieverbrauch	Verbrauch an primären Energieträgern (z.B. Kohle), gemessen in J (Joule)
R		
R	mittlerer Biomasseerfassungs-Radius um die Anlage	Beachte: R ist nicht identisch mit der mittleren einfachen Fahrtstrecke bis zur Anlage
S		
Srm	Schüttraummeter	
T		
TM	Trockenmasse	
TS	Trockensubstanz	

Zusammenfassung

Ausgangspunkt für die Studie war die Fragestellung, ob und unter welchen Rahmenbedingungen die ganzjährige Biomasseversorgung – **jeweils 1 Mio. Mg TM** – zweier Biomassekonversionsanlagen (Produktion von jeweils 200.000 Mg/a synthetische Kraftstoffe) in zwei Regionen Baden-Württembergs sicherzustellen ist.

Diese Frage soll mit ausgewählten Fachleuten auf einem Workshop näher diskutiert werden; es ist Zielsetzung dieser Studie, wesentliche Basisdaten für diese Diskussion bereitzustellen.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber DaimlerChrysler und dem MLR wurden die Eckpunkte für die Bearbeitung der Studie präzisiert. Als Biomasseträger sollten Stroh, Heu (Pflückschnitt von aus der Produktion gefallenem Grünland), Waldrestholz und Silomais (von Brachflächen) in Betracht gezogen werden. Die Abschätzungen zu den Kosten der Biomassebereitstellung soll sich auf die wesentlichen Faktoren beschränken und sich hierbei an einfach gehaltenen Szenarienannahmen orientieren; dabei ist von gegenwärtigen Rahmenbedingungen auszugehen.

Einleitend werden in der Studie die wesentlichen Eckpunkte für die Zielsetzung und Vorgehensweise erläutert; daran schließt sich die Skizzierung maßgeblicher Entwicklungen in der Land- und Forstwirtschaft Baden-Württembergs an, die für die Potenzialabschätzung von Bedeutung sind. Ausgehend davon werden für Baden-Württemberg die potenziell für eine energetische Nutzung verfügbaren Mengen an Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz dargestellt. Mit den angeführten Biomasseträgern könnte in Baden-Württemberg ein Biomasseaufkommen von rd. 4 Mio. Mg TM pro Jahr bereitgestellt und potenziell energetisch genutzt werden. Waldrestholz ist hierbei der dominante Biomasseträger.

Ausgehend von der Aufkommensdichte der untersuchten Biomasseträger und unter Berücksichtigung der Anbindung an die Verkehrsinfrastruktur wurden zwei Modellstandorte (Nord, Süd) ausgewählt, um dort die Voraussetzungen der regionalen Biomassebereitstellung genauer untersuchen zu können. Standort Nord liegt bei Heilbronn, mit sehr guter verkehrstechnischer Anbindung sowohl an die Bundesautobahn, Bahnstrecke als auch Wasserstraße (Neckar). Demgegenüber ist der Standort Süd (bei Sigmaringen) deutlich benachteiligt, da ihm eine direkte Anbindung an die Bundesautobahn als auch an die Wasserstraße fehlt. Geht man davon aus, dass die ausgewählten Standorte sich die Option offen halten wollen, Biomasse auch überregional (außerhalb von Baden-Württemberg oder Deutschlands) beziehen zu können, verdeutlicht dies den logistischen Nachteil des Standorts Süd.

Mit Blick auf die Biomasselogistik ist an beiden Standorten ein Erfassungsradius von 50 bis 60 km ausreichend, um mit den ausgewählten Biomasseträgern annähernd 1 Mio. Mg TM pro Jahr bereitstellen zu können. Für beide Standorte zeigt sich auch hier, dass Waldrestholz mit einem Anteil von rd. 34 % (Standort Nord) bzw. rd. 37 % (Standort Süd) der dominierende Biomasseträger ist, dicht gefolgt von Getreidestroh.

Gemessen an den Bereitstellungskosten frei Anlage zeichnet sich folgende Rangfolge ab: Mit Waldrestholz (Hackschnitzel), gefolgt von Getreidestroh, lässt sich die Biomasseversorgung am kostengünstigsten realisieren. Die direkte Anlieferung von Waldrestholz könnte im Mittel über den Erfassungsradius von 50-60 km zu rd. 60-70 €/Mg TM erfolgen; Getreidestroh wäre rd. 20-30 €/Mg TM teurer. Gemessen an diesen Kosten ist die Bereitstellung von Heu von überschüssigem Grünland oder von Silomais deutlich ungünstiger.

1 Zielsetzung und Vorgehensweise

1.1 Zielsetzung

Bezug nehmend auf die Besprechung mit DaimlerChrysler im MLR in Stuttgart am 13. September 2004, Gespräche mit DaimlerChrysler Mitarbeitern (Frau Dr. Daniel, Herr Dr. Hartmann, Herr Dr. Keppeler), insbesondere aber geleitet durch das Papier des MLR (Herr Krieglstein, Ref. 54, Stand: 17.08.2004) zum Feinbriefing, ergab sich der nachfolgend vereinbarte Bearbeitungsablauf der Studie. Ziel führend war hierbei, mit Blick auf die kurze Laufzeit (01.10.2004-31.05.2005) und das Projektbudget, anhand wesentlicher Eckpunkte die Vorgehensweise bei der Studienbearbeitung zu konkretisieren. Ohne Rückgriff auf vorliegende Ergebnisse (s.a. Leible et al., 2004; Rösch et al., 2005) aus den nachfolgend aufgeführten Forschungsprojekten von ITAS (Forschungszentrum Karlsruhe) wäre die Durchführung der Studie in diesem kurzen Zeitraum nicht möglich gewesen.

Für die Bearbeitung dieser Studie durch das Forschungszentrum Karlsruhe wurde vom MLR folgende Erlaubnis erteilt:

Das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (MLR) erlaubt dem Forschungszentrum Karlsruhe, auf vorhandene Ergebnisse der beiden nachfolgend aufgeführten und vom MLR geförderten Forschungsprojekte zurückzugreifen bzw. kostenfrei einzubringen, um darauf aufbauend die Szenarienentwicklung zur Realisierung des gemeinsamen Workshops von UVM, WM, MLR und DaimlerChrysler durchführen zu können. Dies sind die Projekte:

*„Gaserzeugung aus Biomasse“ und
„Energie aus dem Grünland - eine nachhaltige Entwicklung?“*

Die durchzuführende Studie dient der Vorbereitung eines gemeinsamen Workshops am 28. Juni 2005. Mit den Ergebnissen dieses Workshops soll gemeinsam mit DaimlerChrysler ein Beitrag zur öffentlichen Diskussion um die Chancen und Perspektiven von BTL-Kraftstoffen geleistet werden.

1.2 Vorgehensweise

Ausgangspunkt für die Erarbeitung der Szenarien sind folgende Vereinbarungen und Annahmen:

- Die ganzjährige Biomasseversorgung – **jeweils 1 Mio. Mg TM** – zweier Biomassekonversionsanlagen (Produktion von jeweils 200.000 Mg/a synthetische Kraftstoffe) in zwei Regionen Baden-Württembergs ist sicherzustellen. Da bei dieser Anlagengröße jeweils von mindestens zwei Reaktorlinien (Vergaser) bei der Synthesegaserzeugung ausgegangen werden kann, wird unterstellt, dass diese parallel mit verschiedenen Biomasseträgern betrieben werden. Die Biomassebereitstellung, insbesondere aber der Anlagenbetrieb, gestaltet sich hierdurch deutlich flexibler.
- Als Biomasseträger kommen **Stroh, Heu** (von überschüssigem Grünland), **Waldrestholz** und **Silomais** (auf Brachflächen des Ackerlands) in Betracht. Die Berücksichtigung von Silomais erfolgte auf besonderen Wunsch des Auftraggebers, da die Betreiber eines derzeit in der Diskussion befindlichen Vergasungsverfahrens zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen die Nutzung dieses Biomasseträgers als geeignet einstufen.

- Bei den Abschätzungen des für eine energetische Nutzung verfügbaren Biomassepotenzials wurde immer – soweit nicht anderes angeführt – vom technischen Potenzial ausgegangen; gegenüber dem theoretischen Potenzial sind hier technische und ökologisch begründete Beschränkungen berücksichtigt. Unter zusätzlicher Beachtung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen lässt sich hieraus das wirtschaftliche Potenzial ableiten.
- Unter Berücksichtigung des abgeschätzten Biomasseaufkommens und der bestehenden Verkehrsinfrastruktur wurden zwei Standorte ausgewählt. Hierbei war angedacht, einen Standort darzustellen, welcher verstärkt auf der Basis von stroh-, silage- und heuartiger Biomasse (landwirtschaftliche Biomasse) versorgt werden kann; hier wurde der Standort **Heilbronn (Standort Nord)** ausgewählt. Der andere Standort, welcher vorrangig mit Waldrestholz beliefert werden sollte, wurde auf **Sigmaringen (Standort Süd)** festgelegt. Für beide Standorte wird die Verfügbarkeit aller **vier oben genannten Biomaseträger** dargestellt. Die Auswahl dieser Standorte wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt.
- Schnittstelle für die Bereitstellung ist die **Lieferung der Biomasse frei Anlage** (3-Tage-Lager an der Anlage). Auf anlagenspezifische Anforderungen an den Biomaseträger wird nicht eingegangen, vielmehr muss dessen **anlagenspezifische Konditionierung** (Trocknung, Zerkleinerung) an der Anlage vorgenommen werden.
- **Spezifikation der Biomaseträger: Stroh** und **Heu** werden in Quaderballen mit einem TS-Gehalt von 86 % angeliefert; **Maissilage** (gehäckselt) wird frisch geerntet mit einem TS-Gehalt von rd. 30 % angeliefert – nach der Silierung mit einem TS-Gehalt von rd. 35 %. **Waldrestholz** wird in Form von Hackschnitzeln waldfresh mit einem TS-Gehalt von 50 % TS bzw. nach 3-6 Monaten Lagerung mit einem TS-Gehalt von 65 % angeliefert.
- Die Kostenkalkulationen erfolgen auf **Vollkostenbasis**; hierbei wird i.d.R. eine **Differenzierung** der Bereitstellungskosten frei Anlage in die beiden Kostenblöcke **Anbau/Ernte/Erfassung/Lagerung** und **Transport** zur zentralen Anlage vorgenommen.
- Die Möglichkeit der Versorgung der Anlagen mit entsprechender Biomasse aus **benachbarten Regionen** wurde nur indirekt einbezogen. So wurden bei Einbezug benachbarter Regionen außerhalb Baden-Württembergs (z.B. Bayern oder Hessen) die durchschnittlichen Verhältnisse der bereits einbezogenen Regionen Baden-Württembergs zugrunde gelegt. Unberücksichtigt blieben hierbei Flächen im benachbarten Ausland (Schweiz).

Die Entwicklung der Szenarien sollte sich auf die für die Kosten der Biomassebereitstellung **wesentlichen Faktoren** beschränken und sich hierbei an **einfachen Annahmen** orientieren.

Von Bedeutung für die Bearbeitung der Studie waren u.a.:

- Bei der Darstellung der Szenarien wird von den **gegenwärtigen Rahmenbedingungen** (Produktion, verfügbare Technik, Produktionsstrukturen, Infrastruktur, Logistik, Kosten) ausgegangen. Insofern wurde auf mittelfristige Veränderungen der Rahmenbedingungen – bedingt durch die gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP) oder sozio-ökonomische Entwicklungen – nicht eingegangen. Effekte des **Strukturwandels** in der Landwirtschaft und effizientere **Produktionstechnologien** dürften hier tendenziell zu Kostensenkungen führen.

- Bei den Abschätzungen zum technischen Potenzial wird für den **Forstsektor** davon ausgegangen, dass die Erschließung des Waldrestholzes zunächst unabhängig von der Besitzstruktur erfolgt, in Kenntnis der Problematik um dessen Mobilisierbarkeit im Kleinprivatwald. In der Vorgehensweise wird auf den Ergebnissen der **aktuellen Bundeswaldinventur (BWI II)** aufgebaut. Auf die Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Schwachholz wird – aufgrund der deutlich höheren Bereitstellungskosten frei Waldstraße – nur am Rande eingegangen.
- Auf eine Darstellung der **Konkurrenzsituation** um gleiche **Produktionsfaktoren** (z.B. Boden) oder alternative **Verwendungswege** für die zu betrachtenden vier Biomasseträger wurde verzichtet. Vielmehr wurden hier plausible Beschränkungen gesetzt. Eine weitergehende Analyse von konkurrierenden Verwertungsmöglichkeiten ist nicht Bestandteil dieser Studie.
- Bei der Abbildung der Produktionsverfahren wurde vom **Grundsatz guter fachlicher Praxis** ausgegangen.
- Es wurde die **flächenbezogene Betrachtungsweise** zugrunde gelegt; alle Kostensätze gehen von Vollkosten aus; die eingesetzte Arbeitskraft wurde entsprechend entlohnt bzw. das eingesetzte Kapital verzinst. Beim Maschineneinsatz wurde Eigenmechanisierung unterstellt, ergänzt um den Einsatz von Lohnmaschinen (z.B. Silomaishäcksler). Hierbei wurden entsprechende **Maschinenkostensätze** von Maschinenringen berücksichtigt.
- Bei der Ableitung der **Hektar-Erträge für Stroh, Heu und Maissilage** wurde von Durchschnittserträgen (5-Jahresmittel: 1999-2003) ausgegangen. Für die **Flächenanteile** von Getreide (s. Stroh), überschüssigem Grünland (aus der Produktion genommenes Grünland) und den Umfang der Brache auf Ackerfläche (Standort für Silomais) wurden Angaben für das Jahr 2003 herangezogen.
- Nach den **Potenzialabschätzungen** – dies schließt eine Visualisierung der Einzugsbereiche der Anlagen mit ein – und der Darstellung der **durchschnittlichen Bereitstellungskosten** der Biomasseträger frei Anlage wird ein **abschließender Vergleich** der Standorte und Biomasseträger durchgeführt.

Nachfolgend sind die **drei Meilensteine** der Bearbeitung der Studie nochmals zusammenfassend dargestellt, sie entsprechen auch der Gliederung der **Ergebnisdarstellung**:

1. **Potenzialabschätzung** (Aufkommen in den beiden ausgewählten Regionen: **Standort Nord** und **Standort Süd**) für **Stroh, Heu** (von überschüssigem Grünland), **Silomais** (von Ackerbrache) und **Waldrestholz**
2. **Bereitstellungskosten für Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz** frei Anlage (bezogen auf Mg TM)
3. **Abschließender Vergleich** der beiden Standorte und der Biomasseträger (Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz) hinsichtlich Stärken und Schwächen.

2 Potenzialabschätzung

2.1 Bedeutung biogener Reststoffe in Deutschland und Baden-Württemberg

Das jährliche verfügbare Aufkommen der in dieser Studie betrachteten Biomaseträger lässt sich hinsichtlich des Potenzials am besten einordnen, wenn man es in Vergleich setzt zu weiteren biogenen Rest- und Abfallstoffen, die ebenfalls für eine energetische Nutzung in Frage kommen (vgl. Abb. 1).

In Deutschland beträgt das jährlich verfügbare Aufkommen an biogenen Reststoffen und Abfällen (Basis: 2002), das energetisch genutzt werden könnte, rd. 70 Mio. Mg oTS; in Baden-Württemberg sind dies rd. 8 Mio. Mg oTS. Betrachtet man die Aufschlüsselung des Aufkommens, so wird deutlich, dass dieses mengenmäßig insbesondere durch die Land- und Forstwirtschaft bestimmt wird. Auf Bundesebene tragen Stroh, Waldrestholz und Gülle 58 % zu diesem für eine energetische Nutzung verfügbaren Aufkommen bei; in Baden-Württemberg sind dies 55 %.

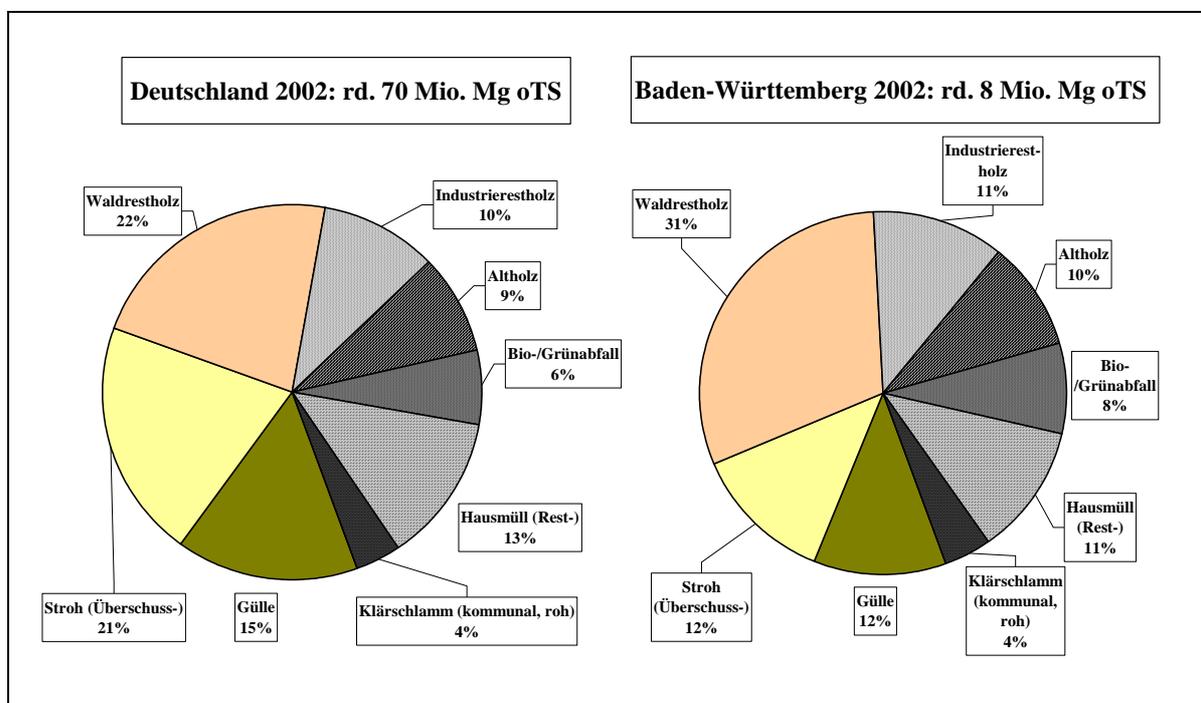


Abb. 1: Aufkommen biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland und Baden-Württemberg

Nicht berücksichtigt in diesen aufgeführten Potenzialabschätzungen ist das Pflegegut von Landschaftspflegeflächen, vor allem aber von stillgelegten bzw. brach gefallenen Flächen in der Landwirtschaft (siehe überschüssiges Grünland). Dieses Aufkommen ist in den Angaben zur kommunalen Erfassung von Bio- und Grünabfall nicht bzw. nur zu geringen Teilen enthalten. Unter Berücksichtigung von zusätzlichen biogenen Rest- und Abfallstoffen könnte das auf 70 Mio. Mg oTS geschätzte Aufkommen für Deutschland, wie eigene Abschätzungen zeigen, um ca. 5-15 Mio. Mg oTS erhöht werden.

Das angeführte Aufkommen von 70 Mio. Mg oTS pro Jahr entspricht einem jährlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 0,85 Mg oTS bzw. einem Heizwert von rd. 420 Liter Heizöl und entspricht damit rd. 9 % des deutschen Primärenergiebedarfs. Werden, wie oben ausgeführt, weitere biogene Rest- und Abfallstoffe berücksichtigt, könnte dieser relative Anteil auf über 11 % erhöht werden. Mit dieser Perspektive ist das angeführte Potenzial an biogenen Rest- und Ab-

fallstoffen für eine energetische Nutzung keinesfalls als gering einzustufen. Nach Abschätzungen für das Jahr 2004 (BMU, 2005) decken biogene Rest- und Abfallstoffe in Deutschland rund 2,3 % des Primärenergiebedarfs ab. Zur Einordnung: Insgesamt tragen erneuerbare Energieträger (einschließlich Wasser- und Windkraft) derzeit 3,6 % zur Energieversorgung in Deutschland bei.

Basis für die in Abb. 1 dargestellten Abschätzungen zum Aufkommen an organischer Trockensubstanz (oTS) sind teilweise sehr unterschiedliche Quellen und Vorgehensweisen. Die Angaben zum Aufkommen resultieren aus eigenen Abschätzungen (Überschussstroh und Gülle), unter Verwendung verschiedener statistischer Angaben (StaLA, 2000-05; BMVEL, 2004, 2005a), bzw. fußen auf einer aktuellen Literaturlauswertung (Waldrestholz, Industrierestholz, Altholz) oder aber wurden den einschlägigen Quellen des Statistischen Bundesamts und des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg entnommen (Bio-/Grünabfall, Hausmüll, Rest- und kommunaler Klärschlamm). Eine Liste der wesentlichen Literaturstellen ist am Ende des Berichts zusammengestellt.

Nach diesem Überblick werden anschließend für Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz detaillierte Ergebnisse zu den Verhältnissen in Baden-Württemberg vorgestellt. Hierbei war die Zielsetzung, durch den Einsatz von GIS (Geographisches Informations-System) eine regionale Differenzierung hinsichtlich der verfügbaren Potenziale darzustellen.

Nachfolgend wird zunächst auf maßgebliche Entwicklungen in der Land- und Forstwirtschaft eingegangen, die das verfügbare Aufkommen der oben benannten Biomasse wesentlich bestimmen.

2.2 Maßgebliche Entwicklungen in Land- und Forstwirtschaft

Abschätzungen zum Potenzial von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft für eine energetische Verwertung werden von verschiedensten Faktoren und Entwicklungen bestimmt, die wiederum zeitlichen Schwankungen unterliegen. Nachfolgend sind für Getreidestroh, Heu von überschüssigem Grünland und Silomais (auf Brachflächen) einige wesentliche Entwicklungen hinsichtlich Flächenutzung und Ertrag für den Zeitraum von 1979 bis 2003 aufgezeigt; hierbei wird auf Angaben des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg zurückgegriffen (StaLA, 2000-2005). Mit Blick auf das Waldrestholz werden abschließend wesentliche Eckwerte der Bundeswaldinventur I und II hinsichtlich der Entwicklung der Holzvorräte und Holzzuwächse dargestellt.

2.2.1 Viehhaltung

Entwicklungen in der Viehhaltung sind maßgeblich, da hierdurch Futterflächen (Ackerflächen und Grünland) gebunden werden. In Abb. 2 sind Entwicklungen beim Bestand an Rindvieh (insgesamt) und Milchkühen dargestellt. Hierbei ist in den letzten 25 Jahren ein deutlicher Rückgang festzustellen. In Folge davon ist zu erwarten, dass weniger Fläche für die Futterbereitstellung benötigt wird. Setzt sich dieser Trend in der Tierhaltung fort, ist mit weiteren Flächenfreisetzungen zu rechnen. Der fortgesetzte Strukturwandel in der Landwirtschaft – verstärkt durch die aktuellen Entwicklungen in der EU-Agrarpolitik – dürfte diesen Effekt noch weiter verstärken.

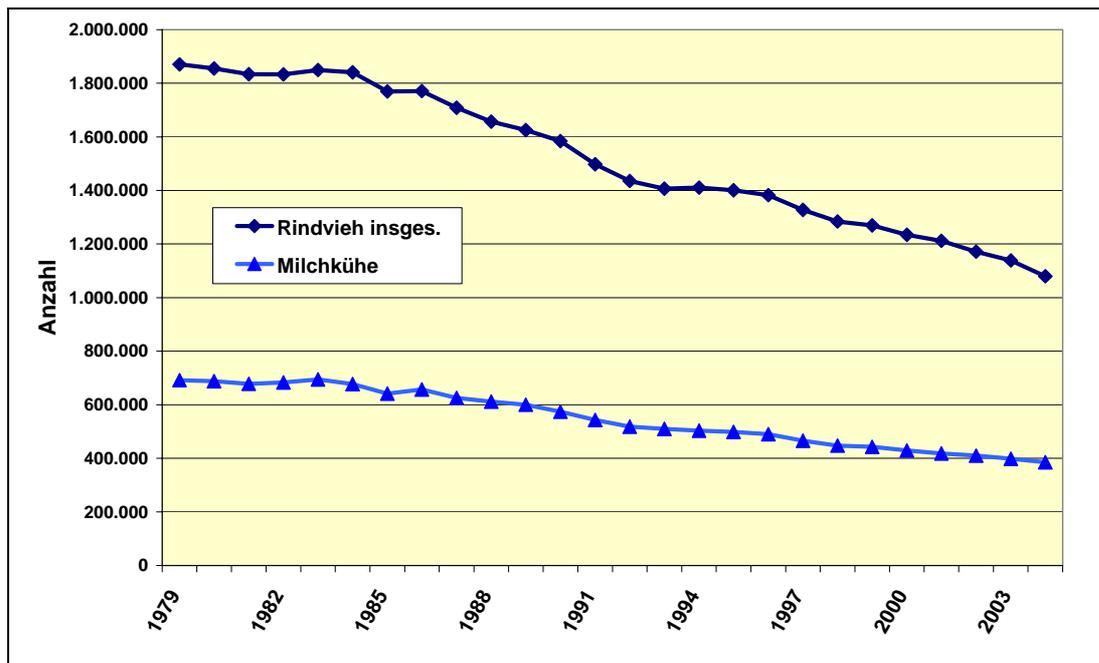


Abb. 2: Entwicklung der Rindviehhaltung in Baden-Württemberg – Bedarf an Grünland?

Auf den frei werdenden Ackerflächen könnten Marktfrüchte (z. B. Getreide, Raps) produziert und vermarktet werden. Bei frei werdenden Grünlandflächen ist diese Möglichkeit nur sehr eingeschränkt gegeben, sofern der Umbruch zu Ackerland erlaubt ist, was zunehmend der Ausnahmefall sein dürfte. In der Konsequenz daraus folgt, dass dieses überschüssige Grünland zunehmend zu einem Problemfeld wird. Die Bereitstellung von Heu zur energetischen Nutzung ist eine Option, die in diesem Zusammenhang diskutiert wird.

2.2.2 Erträge

Die Ertragssteigerungen haben bei nahezu gleich bleibenden Vermarktungsmöglichkeiten in den letzten 20 Jahren zu deutlichen Problemen auf dem EU-Agrarmarkt und dem Weltmarkt geführt. Die Einführung einer verpflichtenden Flächenstilllegung hat hier zwar teilweise Abhilfe geschaffen, aber auf Kosten des freien Welthandels und verbunden mit steigenden Kosten für die EU-Agrarpolitik. Auf diesen stillgelegten Ackerflächen ist die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen – hierzu zählt auch Biomasse zur energetischen Nutzung – gestattet.

Wie aus Abb. 3 und Abb. 4 ersichtlich ist, sind in den letzten 25 Jahren insbesondere die Getreideerträge deutlich angestiegen, bei den Heuerträgen auf dem Grünland und den Silomais-erträgen ist eine solche Entwicklung nicht zu beobachten. Markant ist der Ertragseinbruch des Jahres 2003, bedingt durch die lang anhaltende Trockenheit während der Vegetationsperiode.

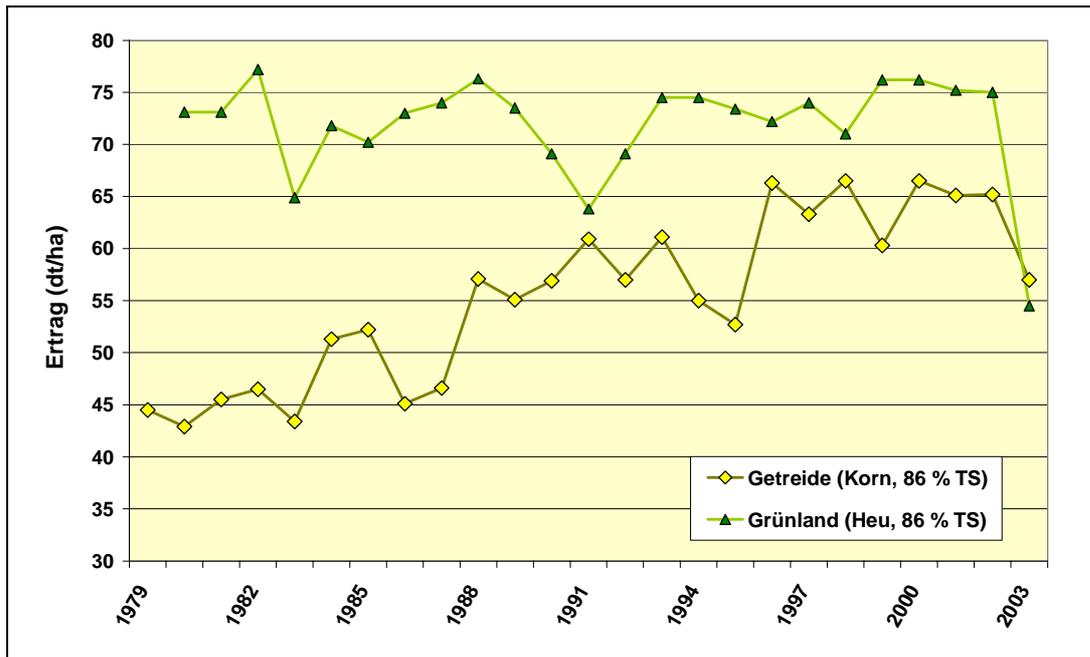


Abb. 3: Entwicklung der Getreide- und Heuerträge in Baden-Württemberg

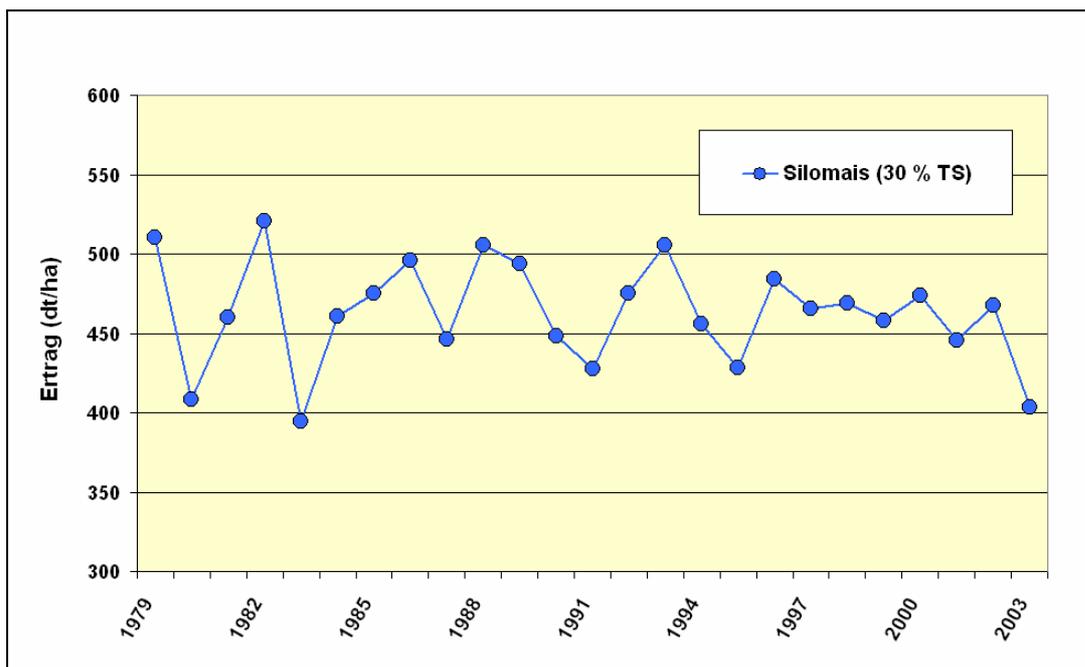


Abb. 4: Entwicklung der Silomaiserträge in Baden-Württemberg

2.2.3 Flächen

Bei der Entwicklung der Flächennutzung der letzten 25 Jahre ist festzustellen, dass nur die Waldfläche zugenommen hat, während die Ackerfläche nahezu konstant blieb und der Anbau von Getreide auf diesem Ackerland leicht zurück ging (s. Abb. 5).

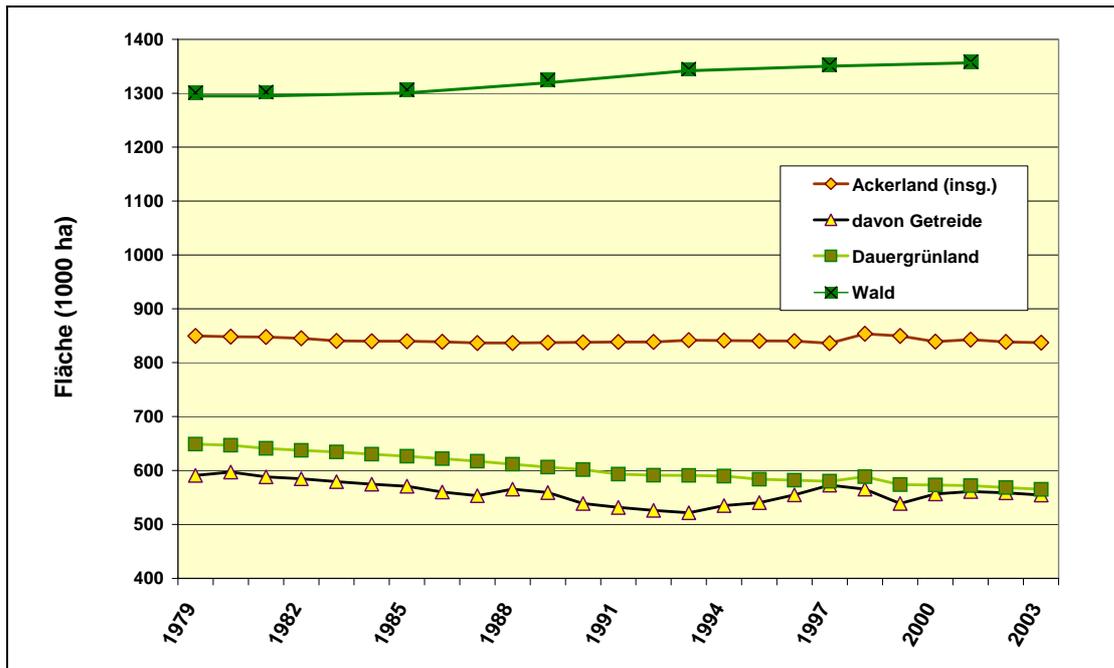


Abb. 5: Entwicklung der Wald-, Acker-, Getreide- und Grünlandflächen in Baden-Württemberg

Das Dauergrünland verminderte sich in dem genannten Zeitraum um rd. 80.000 ha. Dies liegt daran, dass nicht mehr für die Viehhaltung benötigtes Grünland in der Vergangenheit verstärkt in Ackerland umgewandelt wurde (vgl. Kap. 2.2.1). Durch Auflagen der Agrarpolitik – insbesondere zur Stützung der Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Produkte – nahm im gleichen Zeitraum die Brachfläche auf Ackerland deutlich zu (vgl. Abb. 6).

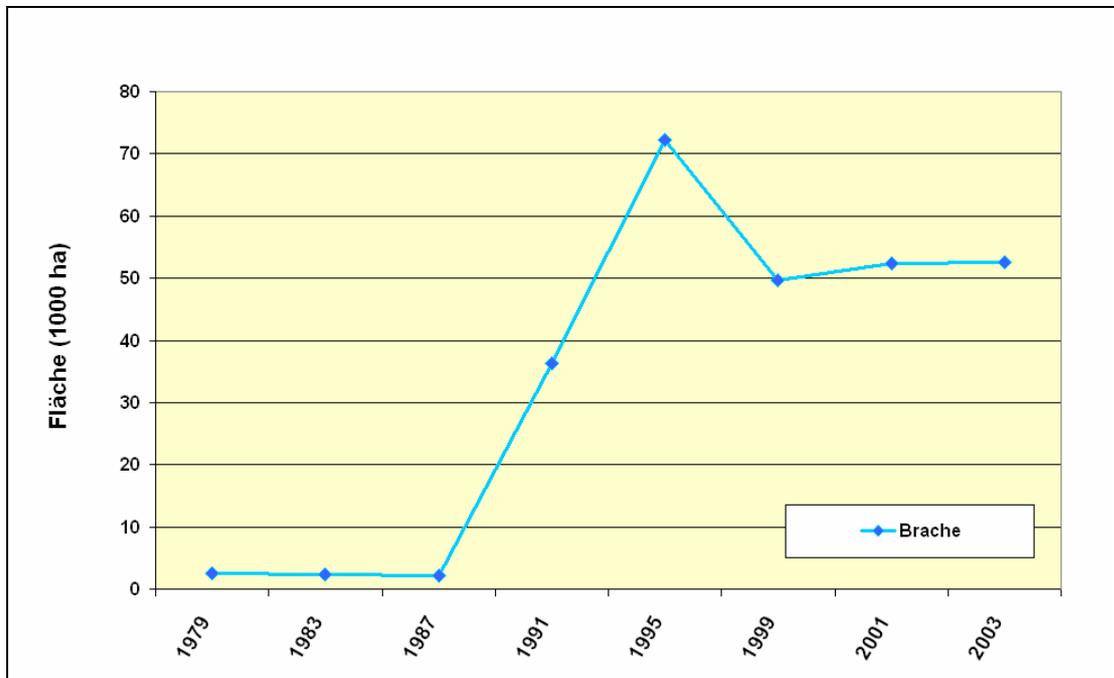


Abb. 6: Entwicklung der Brachflächen auf Ackerland in Baden-Württemberg

2.2.4 Wald in Baden-Württemberg

Um einen statistisch gesicherten Gesamtüberblick über die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten zu bekommen, erscheint es sinnvoll, auf die Daten der zweiten Bundeswaldinventur (Stichjahr 2002) zurückzugreifen. Durch den Vergleich mit den Daten der ersten Inventur (Stichjahr 1987) lassen sich neben der Darstellung des aktuellen Waldzustandes auch Aussagen über die Waldentwicklungsdynamik und über den Vorratzzuwachs sowie die Holznutzung machen (FVA, 2004); Tab. 1 zeigt eine solche Gegenüberstellung.

Tab. 1: Eckwerte der Bundeswaldinventur I und II für Baden-Württemberg

Daten zur Bundeswaldinventur		BWI I (1987)	BWI II (2002)
Holzbodenfläche (ha) ^{a)}		1.316.000	1.323.000
nach Baumart (%)	Nadelwald	65	57
	Laubwald	35	43
nach Eigentumsart (%)	Staatswald ^{b)}	24	24
	Körperschaftswald	39	40
	Privatwald	37	36
Vorrat (m³VmR) ^{c)}		462.800.000	485.500.000
nach Baumart (%)	Nadelholz	72	65
	Laubholz	28	35
nach Eigentumsart (%)	Staatswald ^{b)}	23	21
	Körperschaftswald	38	37
	Privatwald (insgesamt)	39	42
	Kleinprivatwald (<5 ha)	14	17
	Mittlerer Privatwald (5 bis 200 ha)	13	14
	Großprivatwald (>200 ha)	12	11
nach Holzstärke ^{d)} (%)	Schwach	23	17
	Mittel	61	59
	Stark	16	24
Vorratsdichte (m³ VmR/ha)		352	367

^{a)} Einschließlich Blößen und Lücken

^{b)} Einschließlich Bundeswald

^{c)} Vorratsfestmeter (Maßeinheit für den stehenden Holzvorrat im Wald) Derbholz mit Rinde (Derbholz ist die Masse des Schaftes und der Äste eines Baumes über 7 cm Durchmesser)

^{d)} Brusthöhendurchmesser: Schwachholz (<25 cm), Mittelholz (25 bis <50 cm), Starkholz (> 50 cm)

Quellen: Kändler (2005); FVA (1993); BMVEL (2005b)

Anders als beispielsweise bei den Ackerflächen hat die mit Holz bestockte Fläche („Holzbodenfläche“) in Baden-Württemberg (Waldanteil rd. 38 %) leicht zugenommen. Insgesamt zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Baumartenanteile hin zu den Laubbäumen; deren Anteil am Holzvorrat hat von 28 auf 35 % zugenommen (vgl. Tab. 1). Besonders interessant ist die Tatsache, dass die in den Wäldern Baden-Württembergs stehenden Holzvorräte seit der Inventur von 1987 (trotz verstärkter Nutzung aufgrund der Sturmkatastrophen) bis zur BWI II (2002) auf 485,5 Mio. Vorratsfestmeter angestiegen sind, dies entspricht einem Zuwachs von rd. 5 %. Bezogen auf die Holzbodenfläche stieg somit der Vorrat auf nunmehr rund 367 Vorratsfestmeter pro Hektar. Damit verfügt Baden-Württemberg nach Bayern bundesweit über die höchsten Vorräte, sowohl absolut als auch flächenbezogen. Mit einem durchschnittlichen Zuwachs von rd. 14 m³ pro Hektar und Jahr liegt Baden-Württemberg, verglichen mit den anderen Bundesländern, sogar an der Spitze.

Eine entsprechende land-/stadtkreispezifische Verteilung der Holzvorräte bzw. -zuwächse zeigt Abb. 7. Anhand der beiden dargestellten Kennwerte „Holzvorräte“ (in m³/ha Bodenfläche des Kreises) und „Jährlicher Holzzuwachs“ (in m³/ha Holzbodenfläche) gibt diese Abbildung einen Einblick, in welchen Stadt-/Landkreisen Baden-Württembergs große Potenziale vorhanden sind und im Kontext mit einer energetischen Nutzung von Holz zu diskutieren sind. Beim dargestellten jährlichen Holzzuwachs handelt es sich um den Zuwachs brutto – ohne Berücksichtigung der Holznutzung.

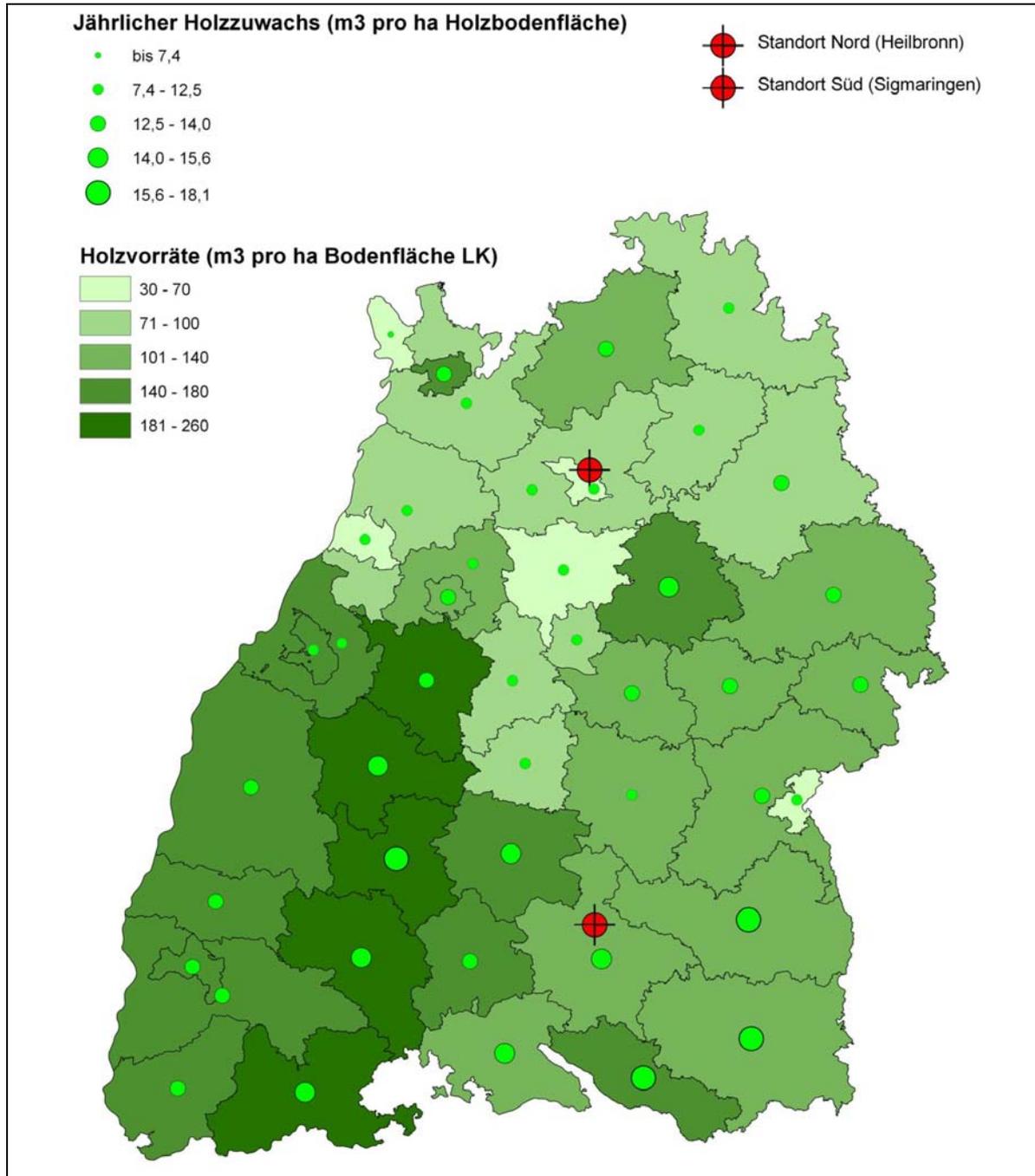


Abb. 7: Wald in Baden-Württemberg – Holzvorrat und -zuwachs nach BWI II

2.3 Auswahl der Standorte

Wie bereits in vorigen Kapiteln angedeutet, ist für die Auswahl der Standorte für die Biomasseanlagen neben der Aufkommensdichte an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz in erster Linie deren Anbindung an das Verkehrsnetz von Bedeutung. In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst die methodische Vorgehensweise und resultierende Ergebnisse aus den Abschätzungen zur Aufkommensdichte der angeführten Biomasseträger dargestellt (s. Kap. 2.3.1, Kap. 2.3.2). In Kap. 2.3.5 wird dann die Auswahl der Standorte anhand des gegebenen Verkehrsnetzes erläutert.

2.3.1 Flächenanteile von Acker, Grünland und Wald

Ausgangspunkt für die Darstellung der regionalen Verteilung des Aufkommens an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz sind die Acker-, Grünland- und Waldfläche (s. Abb. 8).

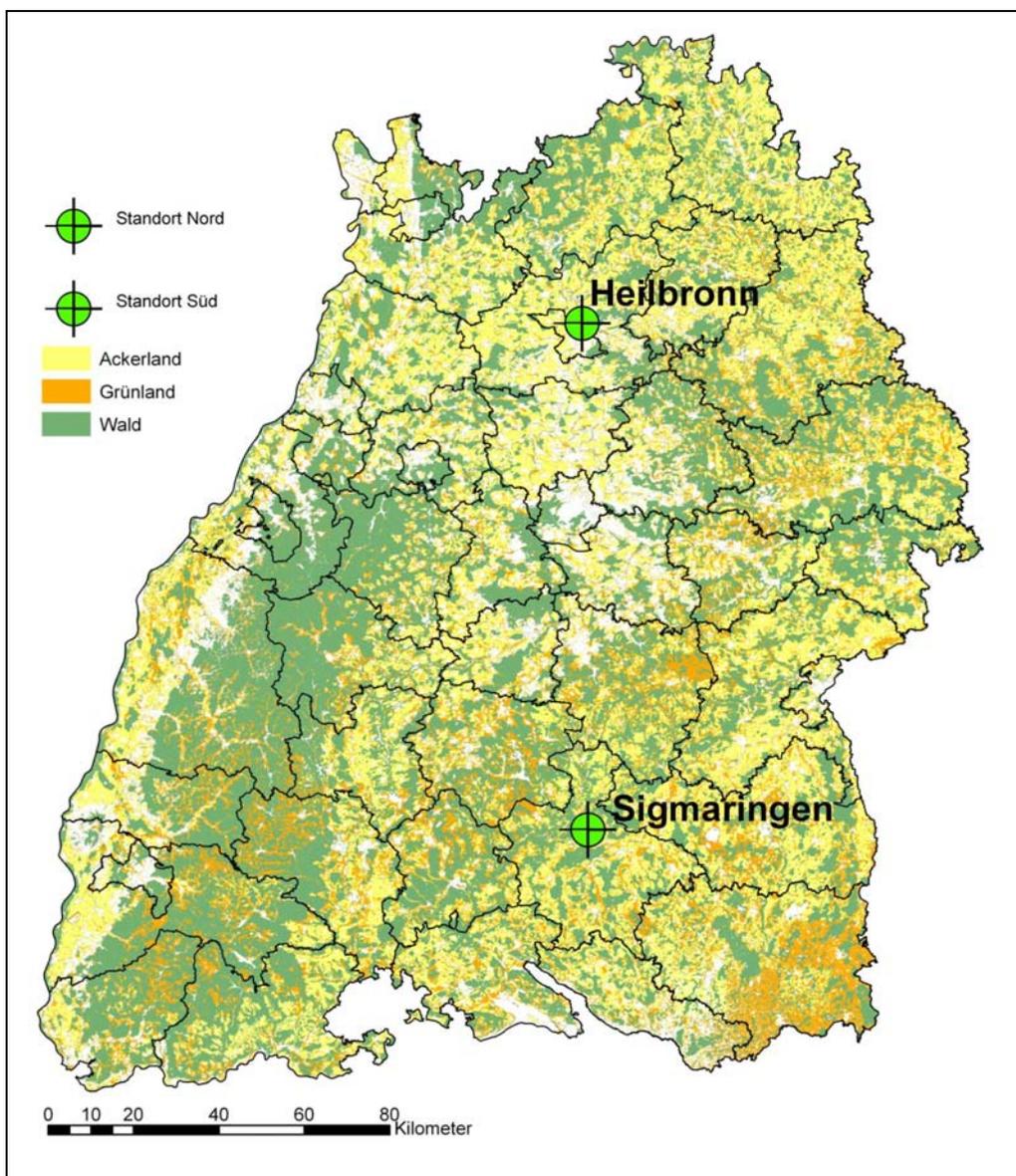


Abb. 8: Verteilung der Acker-, Grünland- und Waldflächen in Baden-Württemberg – Lage der Standorte

Da sich der Anbau von Getreide mit der Fruchtfolge über die jeweils zur Verfügung stehende Ackerfläche verteilt, lässt sich das entsprechende Strohaufkommen nicht flächengenau darstellen; der Ausgangspunkt ist hierbei immer die gesamte Ackerfläche. Dies gilt in gleicher Weise auch für die Festlegung der mit Silomais bebauten Brachflächen.

Im Gegensatz dazu kann das Aufkommen an Waldrestholz nahezu flächengenau der jeweiligen Waldfläche zugewiesen werden. Streng genommen sind aber auch hier Flächen – beispielsweise aufgrund von Naturschutzauflagen oder der Topografie – von einer Nutzung auszuschließen.

Wie aus Abb. 8 ersichtlich, ist der Einzugsbereich des Standorts Nord (bei Heilbronn) stärker durch Ackerflächen geprägt als der Standort Süd (bei Sigmaringen). Der Standort Süd zeigt hingegen deutlich mehr Wald- und Grünlandfläche.

Nachfolgend sind einige Ausführungen zur Vorgehensweise bei der Ermittlung der jeweiligen Aufkommensdichte dargestellt.

2.3.2 Aufkommen an Stroh, Heu und Silomais

Bei **Getreidestroh** ist für eine energetische Nutzung nur diejenige Strohmenge von Interesse, welche unter Berücksichtigung diverser Restriktionen – v.a. Deckung des Bedarfs an Einstreu in der Viehhaltung und Erhaltung der Humusbilanz des Bodens – tatsächlich vom Feld abgefahren werden könnte („Überschussstroh“). Diese Menge wird in erster Linie durch den Umfang der mit Getreide bebauten Ackerfläche bestimmt.

Für die Berechnung des energetisch nutzbaren Potenzials an Stroh auf Landkreisebene wurde zunächst anhand der Getreideanbaufläche des Jahres 2003 (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2004), der jeweiligen spezifischen Kornerträge pro Hektar (Durchschnittsertrag 1999-2003) und des Korn-/Strohverhältnisses, die landkreisspezifisch anfallende Brutto-Strohmenge ermittelt. Davon wurden dann – in Abhängigkeit des Viehbestandes – die Stroh-mengen für Einstreu und Fütterung abgezogen. Bezüglich der verfütterten Menge wurde auf eine Abschätzung des BMVEL (2001) zurückgegriffen, wonach bundesweit durchschnittlich rund 130 kg Stroh pro Großvieheinheit (GVE) und Jahr verfüttert wurden. Die als Einstreu für die Viehhaltung erforderliche Strohmenge beruht auf eigenen Abschätzungen.

In Tab. 2 sind die Ergebnisse dieser Strohberechnung für Baden-Württemberg für das Jahr 2003 dargestellt. Demzufolge ergibt sich ein Reststrohaufkommen von rund 2 Mio. Mg FM, bei einem unterstellten TS-Gehalt von 86 %. Um einer Humusverarmung des Bodens vorzubeugen, wurde angenommen, dass höchstens 60 % (50-70 %) dieser Menge zum Zwecke der energetischen Nutzung abgefahren werden könnten. Dies entspricht rd. 1,2 Mio. Mg FM bzw. **rd. 1,0 Mio. Mg TM**.

Die Angaben zum verfügbaren **Heu** von überschüssigem Grünland – für eine energetische Nutzung – basieren auf Abschätzungen aus dem ITAS-Projekt „Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung?“ (Rösch et al., 2005). Hierbei wurde so vorgegangen, dass auf Kreisebene in Abhängigkeit vom Bestand an Rindern, Pferden und Schafen der Bedarf an Rauhfutter (Gras, Heu) abgeschätzt und in Abgleich mit der Rauhfutterlieferung vom Acker (insbesondere Silomais) gebracht wurde. Hieraus resultierte dann die für die Rauhfutterversorgung benötigte Grünlandfläche. Die Differenz zur tatsächlichen Grünlandfläche wurde als „überschüssiges“ Grünland ausgewiesen und ist derzeit bereits aus der Futterproduktion genommen bzw. würde nicht mehr benötigt. Nach diesen Abschätzungen können von den rd. 560.000 ha Grünland in Baden-Württemberg rd. 140.000 ha als überschüssig eingestuft werden; daraus resultiert ein Aufkommen von rd. **0,7 Mio. Mg TM an Heu**, das potenziell ener-

getisch genutzt werden könnte. Durch umfangreiche Befragungen sollen diese Abschätzungen im weiteren Verlauf der Bearbeitung des oben angeführten Projekts weiter überprüft werden.

Tab. 2: Abschätzung zum energetisch nutzbaren Strohpotenzial in Baden-Württemberg für 2003

	Einheit	2003
Ackerfläche	1000 ha	837
dv. Getreidefläche (ohne Mais)	1000 ha	480
Hektarertrag (Stroh) ^{a)}	Mg FM/ha	5,8
Großvieheinheit (GVE) ^{b)}	1000 Stk.	1.141
Strohaufkommen (brutto)	1000 Mg FM	2.850
Einstreu ^{c)} + Verfütterung	1000 Mg FM	900
Reststrohaufkommen (netto)	1000 Mg FM	1.950
bezogen auf die Ackerfläche	Mg FM/ha	2,3
Energetisch nutzbar ^{d)}	1000 Mg FM	1.170 (975 – 1.365)
Energetisch nutzbar ^{e)}	1000 Mg TM	1.005 (840 – 1.170)

^{a)} Mittelwert der Hektarerträge aus den Jahren 1999 bis 2003

^{b)} 1 GVE entspricht 500 kg Lebendgewicht; tierartspezifischer Umrechnungsschlüssel siehe StaLA (2002).

^{c)} Hierbei wurde davon ausgegangen, dass Rinder u. Schweine im Jahr 2003 zu 25 % auf Einstreu standen.

^{d)} Annahme: Unter Berücksichtigung der Humusbilanz könnten 60 % (50-70 %) des Reststrohaufkommens entnommen werden.

^{e)} Annahme: TS-Gehalt = 86 % (FM)

Quelle: Eigene Abschätzungen auf Basis der statistischen Berichte des Statistischen Landesamtes BW (StaLA, 2000-2005)

Die Höhe des energetisch nutzbaren Potenzials an **Silomais** ergibt sich einerseits aus den landkreisspezifischen Brachflächen des Ackerlandes, die in der Bodennutzungshaupterhebung 2003 ausgewiesen wurden. Diese Flächen sind bisher auch noch nicht durch den Anbau mit nachwachsenden Rohstoffen belegt. Andererseits wurde für die Potenzialabschätzungen der Mittelwert der Hektarerträge für Silomais aus den Jahren 1999 bis 2003 herangezogen. Insgesamt ergibt sich somit für Baden-Württemberg ein geschätztes Aufkommen in Höhe von **rd. 0,7 Mio. Mg TM**. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass es durch Nutzung der stillgelegten Ackerflächen nicht zu einer Flächenkonkurrenz mit Getreide um Ackerflächen kommt und in Folge davon keine Rückwirkung auf das abgeschätzte Strohaufkommen resultiert.

2.3.3 Aufkommen an Waldrestholz

Waldrestholz ist im Hinblick auf das in Baden-Württemberg gegebene Potenzial, welches zurzeit nur in geringem Umfang genutzt wird, ein viel versprechender Energieträger. Dabei handelt es sich insbesondere um Holzreste/Baumbestandteile, welche nach einem Stammholzeinschlag in der Regel im Bestand verbleiben; insofern setzt sich Waldrestholz aus Reisig in Rinde und dem nicht verwerteten Holz inkl. des entsprechenden Rindenanteils zusammen (Dieter et al., 2001). Darüber hinaus kann auch Schwachholz aus Durchforstungen (Pflege von Jungbeständen) für die energetische Nutzung herangezogen werden. Aufgrund der deutlich höheren Bereitstellungskosten von Hackschnitzel aus Schwachholz wird auf dessen Berücksichtigung bei den nachfolgenden Potenzialabschätzungen verzichtet. Es muss aber beachtet werden, dass mit ansteigenden Preisen für Hackschnitzel zunehmend auch diese Fraktion für eine energetische Nutzung interessant wird. Nach Dieter et al. (2001) beginnt dies ab Preisen von 60-70 €/Mg TM frei Verwendungsanlage – ein Transport von 20 km ist hierbei bereits unterstellt (vgl. Kap. 3.5).

Die Abschätzungen zum Aufkommen an Waldrestholz basieren grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen Vorgehensweisen. Einerseits werden, gestützt auf die Ergebnisse der beiden Bundeswaldinventuren (1987 bzw. 2002), die regionsspezifischen Holzvorräte und der im Wald tatsächlich realisierte Holzeinschlag geschätzt. Daraus kann der Anteil an Holz abgeleitet werden, der potenziell für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht. Die Ergebnisse solcher Abschätzungen dürften die obere Grenze des nutzbaren Potenzials bilden. Andererseits ergibt sich eine Untergrenze aus Abschätzungen, bei denen zur Ermittlung des Potenzials auf die von den Landesforstverwaltungen (Forsteinrichtungsplanung) in forststatistischen Berichten dokumentierten Einschlagszahlen zurückgegriffen wird.

Die Ergebnisse solch unterschiedlicher Abschätzungen zum Waldrestholzaufkommen für Baden-Württemberg sind in Tab. 3. dargestellt. In Anlehnung an Sigmund und Frommherz (2000) und Deines (2005) dürften aktuell dem Wald schätzungsweise rd. 0,5-0,7 Mio. Mg TM an Holz direkt zur energetischen Nutzung entnommen werden. In grober Näherung könnte davon ausgegangen werden, dass diese Nutzung zu ca. 40 % (0,2-0,3 Mio. Mg TM) über Waldrestholz erfolgt.

Tab. 3: Abschätzungen zum technischen Potenzial an Waldrestholz in Baden-Württemberg

	Technisches Potenzial nach:							
	Sigmund und Frommherz (2000)		Dieter et al. (2001)		ITAS		ITAS	
Datenbasis	Jahresbericht der Landesforstverwaltung 1998		Bundeswaldinventur I (1987)		Jahresbericht der Landesforstverwaltung 2002		Bundeswaldinventur II (2002)	
Waldfläche ^{a)} (ha)	1.313.000		1.316.000		1.318.000		1.323.000	
	1000 Mg TM	Mg TM/ha	1000 Mg TM	Mg TM/ha	1000 Mg TM	Mg TM/ha	1000 Mg TM	Mg TM/ha
Aufkommen, Aufkommensdichte	1.120 ^{b)}	0,9	2.500 ^{c)}	1,9	1.150	0,9	1.700	1,3

^{a)} Holzbodenfläche einschließlich Blößen und Lücken

^{b)} Von den Autoren berechnetes technisches Gesamtpotenzial; als leicht verfügbares Potenzial wurden 871.000 Mg TM ausgewiesen

^{c)} davon Schwachholz: rd. 1,0 Mio. Mg TM

Wie Tab. 3 zeigt, liegt das geschätzte jährliche Aufkommen an Waldrestholz (je nach Autor und Methodik) zwischen 1,1 und 2,5 Mio. Mg TM. Des Weiteren wird deutlich, welchen Einfluss insbesondere die ausgewählte Datenbasis auf das geschätzte Aufkommen hat. Hierbei muss beispielsweise auch berücksichtigt werden, dass bei der Angabe von 2,5 Mio. Mg TM (Dieter et al., 2001) neben Waldrestholz auch Schwachholz mit rd. 1,0 Mio. Mg TM mit einbezogen ist. Zieht man in Betracht, dass die Abschätzungen von Dieter et al. (2001) aufbauend auf der BWI I von 1987 zu einem ausgewiesenen technischen Potenzial an Waldrestholz von 1,5 Mio. Mg TM führen, dann sind die von ITAS abgeschätzten 1,7 Mio. Mg TM – ausgehend von der BWI II – keinesfalls als zu optimistisch einzustufen. Hier gilt es abzuwarten, zu welchen Ergebnissen die geplante Aktualisierung – basierend auf den Daten der BWI II – der Untersuchung von Dieter et al. (2001) führen wird.

Bei den nachfolgenden Darstellungen und Berechnungen wird für Baden-Württemberg von einem Potenzial an Waldrestholz von **rd. 1,7 Mio. Mg TM** pro Jahr ausgegangen.

Methodisch stützt sich die von ITAS durchgeführte Abschätzung zum Aufkommen an Waldrestholz im Wesentlichen auf die Ergebnisse der aktuellen Bundeswaldinventur. So leitet sich hier das geschätzte Aufkommen prinzipiell aus den an den Aufnahmepunkten ausgeschiedenen (geernteten) Vorräten ab. In Anlehnung an die von Sigmund und Frommherz (2000) ver-

wendeten prozentualen Anteile zur Ermittlung der einzelnen Waldrestholzanteile ergibt sich dann, wie in Tab. 4 ausgeführt, in der Summe das dargestellte technische Potenzial.

Wie bereits festgestellt, steht das Aufkommen an Waldrestholz in engem Zusammenhang mit den im Wald stehenden Vorräten und der daraus resultierenden Möglichkeit der Vorratsentnahme. Schätzungen gehen davon aus, dass sich die seit der letzten Bundeswaldinventur erfasste Zunahme der Vorräte (vgl. Kap. 2.2.4) mittelfristig in ähnlicher Weise fortsetzen wird, wenn es nicht gelingt, über verbesserte Absatzmöglichkeiten des Holzes für die werkstoffliche Nutzung, den Holzeinschlag vornehmlich im Klein- und mittleren Privatwald merklich zu erhöhen.

Tab. 4: Vorgehensweise bei der Abschätzung des technischen Potenzials an Waldrestholz in Baden-Württemberg

	Einheit	Nadelholz	Laubholz	Insgesamt
Vorrat, ausgeschieden ^{a)}	Mio. m ³ VmR/a ^{b)}	13,4	3,7	17,1
davon:				
Derbholz, liegen bleibendes ^{c)}	Mio. m ³ /a	1,1	0,7	1,8
Nicht-Derbholz ^{d) e)}	Mio. m ³ /a	0,5	0,3	0,8
Nadeln/Blätter ^{f)}	Mio. m ³ /a	0,5	0	0,5
Summe	Mio. m³/a			3,1
umgerechnet in TM ^{g)}	Mio. Mg TM/a			1,7

a) errechnet sich aus dem insgesamt von 1987 bis 2002 ausgeschiedenen Vorrat (241 Mio. m³ VmR), dividiert durch die mittlere Periodenlänge von 14,2 Jahren

b) Vorratsfestmeter Derbholz mit Rinde

c) bei Nadelholz 8 %, bei Laubholz 20 % des ausgeschiedenen Vorrates (in Anlehnung an Sigmund und Frommherz, 2000)

d) bei Nadelholz 4,2 %, bei Laubholz 7,5 % des ausgeschiedenen Vorrates (in Anlehnung an Sigmund und Frommherz, 2000)

e) Durchmesser unter 7 cm

f) Bei Nadelholz 3,5 % des ausgeschiedenen Vorrates (50 % des Ansatzes von Wagner und Wittkopf, 2000)

g) Umrechnungsfaktor: 0,55 Mg TM/m³

Hierbei bietet die energetische Holzverwertung eine Möglichkeit, zusätzliche Holz mengen zu mobilisieren. Dies könnte insbesondere für diejenigen Sortimenten oder Holzdimensionen von Bedeutung sein, welche für die klassische stoffliche Verwertung nicht (mehr) interessant sind (Kändler, 2005). Unter Berücksichtigung weiterer in der BWI II als so genannte „nicht verwertete Abgänge“ verbuchte Anteile könnte dieses in Tab. 4 aufgeführte jährliche Aufkommen um weitere 0,5 Mio. Mg TM erhöht werden. Ebenfalls unberücksichtigt ist – im Gegensatz zu den Abschätzungen von Dieter et al. (vgl. Tab. 3) – das Aufkommen an energetisch nutzbarem Schwachholz.

Folglich dürfte langfristig das technische Potenzial an Waldrestholz zur energetischen Nutzung in Baden-Württemberg bei über 2 Mio. Mg TM/a angesiedelt sein. Inwieweit sich dieses Potenzial mobilisieren lässt, hängt in erster Linie davon ab, welche Preise für Hackschnitzel erzielt werden können.

2.3.4 Aufkommensdichte an Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz

In Abb. 9 ist das für eine energetische Nutzung abgeschätzte Aufkommenspotenzial an Reststroh, Silomais (auf Brachland), Heu von überschüssigem Grünland sowie an Waldrestholz zusammengeführt, jeweils bezogen auf die Bodenfläche der Stadt-/Landkreise Baden-Württembergs.

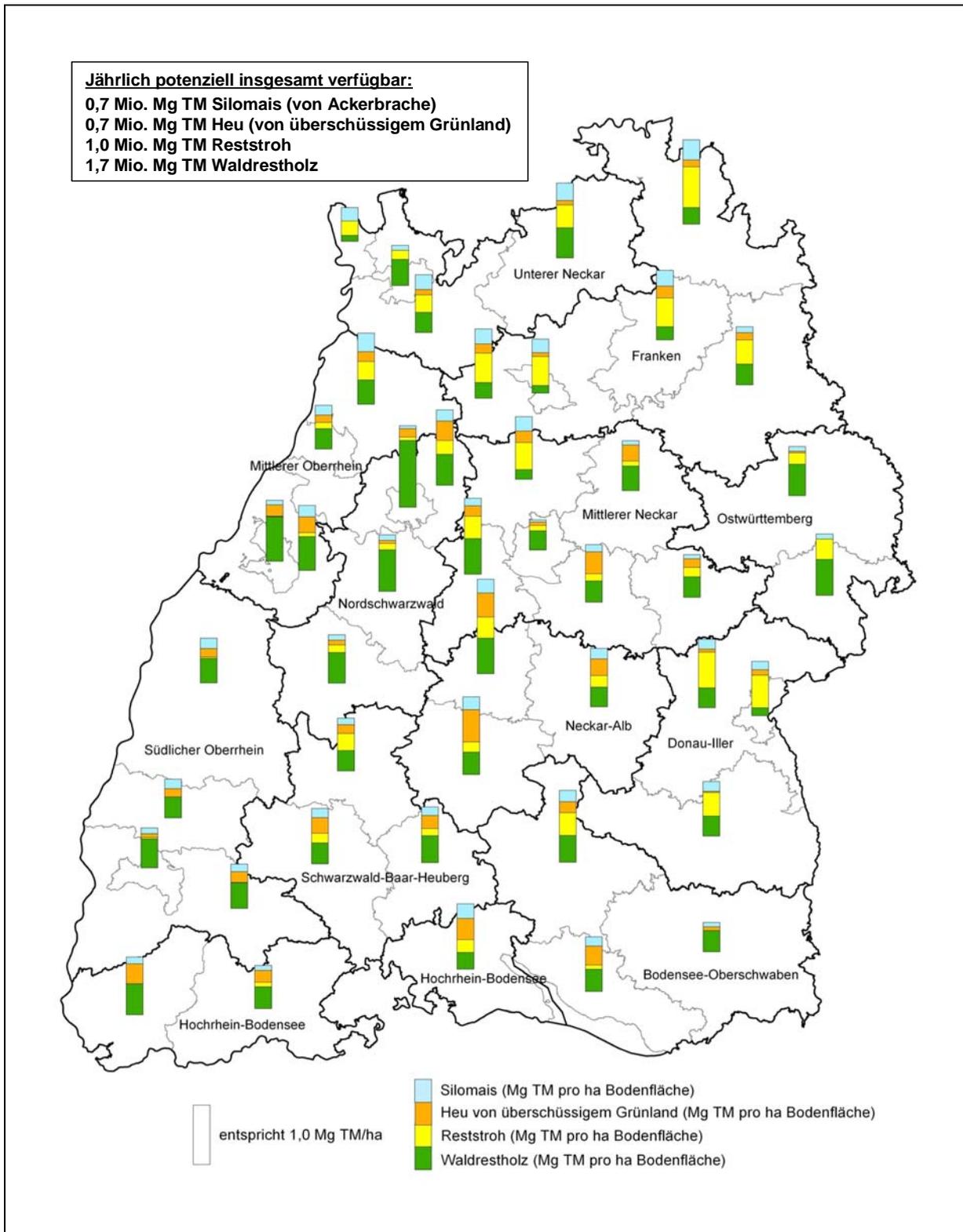


Abb. 9: Aufkommensdichte an Silomais, Heu, Stroh und Waldrestholz

Hierdurch wird die jeweilige landkreisspezifische Aufkommensdichte dieser Biomaseträger veranschaulicht; diese liegt zwischen 0,8 und 2,5 Mg/ha Bodenfläche. Wie nicht anders zu erwarten ist, stehen die dargestellten Aufkommensdichten an Silomais, Heu, Reststroh und Waldrestholz in Abhängigkeit der jeweils vor Ort dominierenden Landnutzungsformen (Ackerbau, Grünland, Waldbau). Demnach bieten hinsichtlich des Strohs die Landkreise der Region Franken und Donau-Iller die größten Aufkommenspotenziale. Silomais auf Ackerbrache stünde vor allem in der Region Franken und Unterer Neckar zur Verfügung. Heu könnte insbesondere in den Kreisen der Region Neckar-Alb und Hochrhein-Bodensee bzw. Hochrhein-Oberschwaben erschlossen werden. Die größten Aufkommensdichten von Waldrestholz liegen in den Landkreisen im Bereich des Schwarzwalds.

2.3.5 Verkehrswegenetz

Neben der im vorigen Kapitel abgeschätzten Aufkommensdichte an potenziell verfügbarer Biomasse ist für die Auswahl möglicher Anlagenstandorte insbesondere relevant, welches Verkehrswegenetz (Infrastruktur) vor Ort gegeben ist (vgl. Abb. 10).

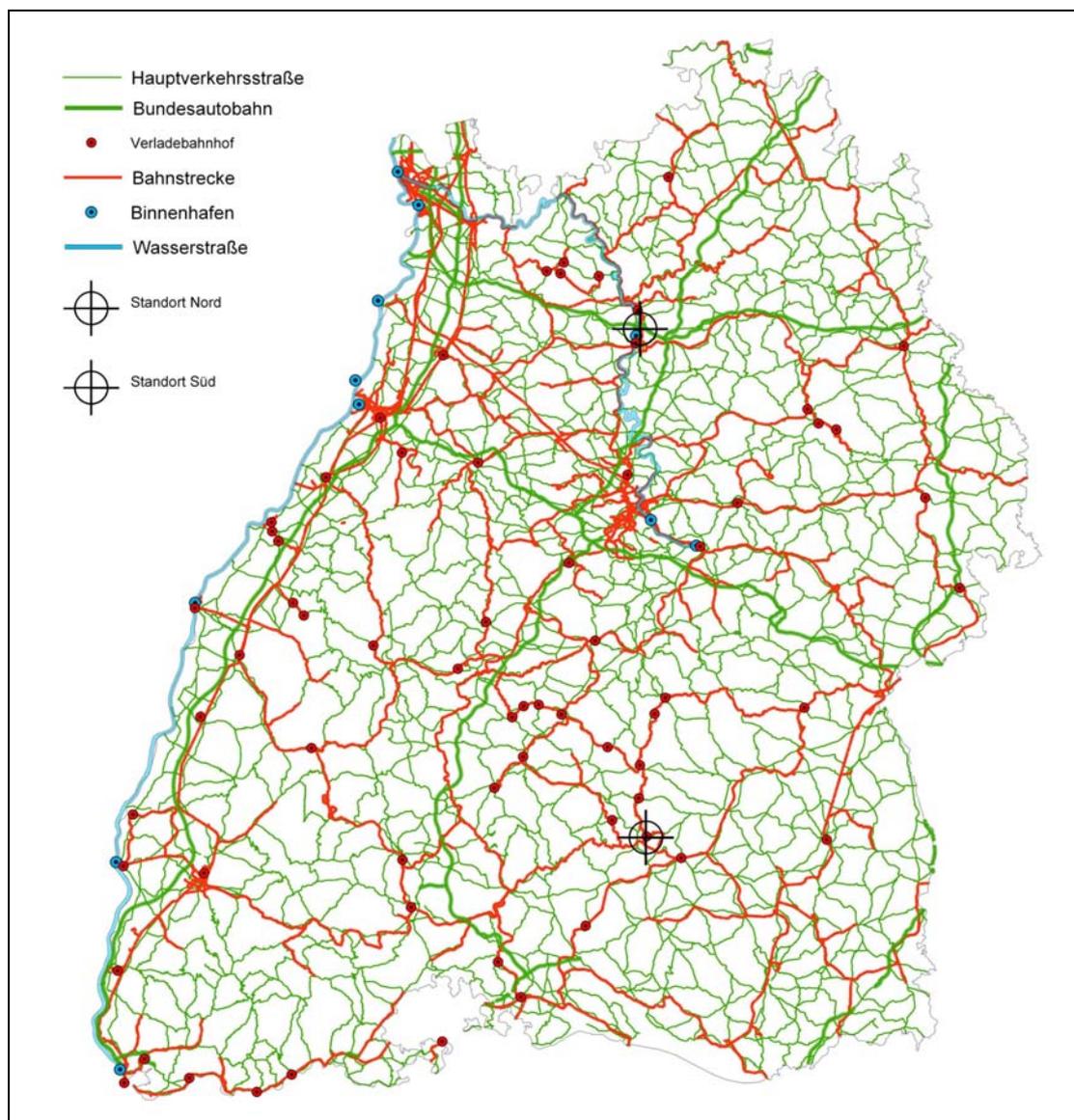


Abb. 10: Verkehrswegenetz in Baden-Württemberg – Lage der Standorte

In Abb. 10 ist der Verlauf der Hauptverkehrsstraßen, Bundesautobahnen, Bahnstrecken (einschließlich der für Holz und Stroh geeigneten Verladebahnhöfe) als auch der beschiffbaren Wasserstraßen (einschließlich Binnenhäfen) abgebildet.

Der Standort Nord (bei Heilbronn) hat eine sehr gute Anbindung sowohl an Bundesautobahn, Bahnstrecke als auch Wasserstraße (Neckar). Demgegenüber ist der Standort Süd (bei Sigmaaringen) deutlich benachteiligt, da ihm eine direkte Anbindung an die Bundesautobahn als auch an die Wasserstraße fehlt. Geht man davon aus, dass die ausgewählten Standorte sich die Option offen halten wollen, Biomasse auch überregional (außerhalb von Baden-Württemberg oder Deutschlands) beziehen zu können, verdeutlicht dies den logistischen Nachteil des Standorts Süd.

2.4 Biomassepotenzial der Standorte

Bei Abschätzungen zur Versorgung einer Anlage mit 1 Mio. Mg TM pro Jahr an Biomasse (Stroh, Heu, Silomais, Waldrestholz) ist zunächst unklar, welcher Erfassungsradius um den Anlagenstandort nötig ist, damit prinzipiell die angeführte Menge vollständig aus der angrenzenden Region bereitgestellt werden könnte. Hierbei wurde zunächst von Erfassungsradien von 40, 50 und 60 km ausgegangen und im ersten Schritt die jeweiligen Flächenaufkommen an Ackerland (Getreidefläche), Grünland (überschüssiges Grünland) und Wald abgeschätzt (s. Kap. 2.4.1). Zusätzlich wurde eine entsprechende Auswertung auch für einen Erfassungsradius von 15 km vorgenommen. Dies begründet sich daraus, dass innerhalb dieses Einzugsbereichs – aufgrund der günstigen Transportkosten (vgl. Kap. 3.4) – nahezu ausschließlich von einem Transport mit landwirtschaftlichem Schlepper auszugehen ist. Basierend auf diesen Flächenanteilen wird anschließend – durch Kombination mit den regionsspezifischen Erträgen (auf Kreisebene) – das Biomassepotenzial der Standorte dargestellt (s. Kap. 0).

Die Möglichkeit der überregionalen Anlieferung – auch von außerhalb Deutschlands – soll in dieser Studie nicht näher betrachtet werden; hierzu wären weitergehende Arbeiten nötig.

2.4.1 Flächenaufkommen

Vergleicht man die beiden Standorte Nord und Süd – differenziert über die Einzugsbereiche von 15, 40, 50 und 60 km – so wird ersichtlich, dass der Standort Nord durch einen höheren Anteil an Ackerfläche (Getreideanbau) gekennzeichnet ist (vgl. Abb. 11 und Tab. 5).

Der Grünlandanteil am Standort Süd ist dagegen annähernd doppelt so hoch wie am Standort Nord. Aufgrund des nach wie vor hohen Viehbesatzes in der Region Bodensee-Oberschwaben ist aber prozentual gesehen der Anteil an überschüssigem Grünland am Standort Nord größer.

Ausgehend vom hohen Ackerflächenanteil an der Gesamtfläche, verfügt der Standort Nord über alle Erfassungsradien hinweg über einen höheren Anteil an Brachflächen. Alleine bemessen an der Ackerfläche, liegt dieser Anteil bei beiden Standorten annähernd zwischen 5 und 6 %.

Bei den Waldflächen weist der Standort Nord beim Erfassungsradius von 15 und 40 km zunächst einen geringeren Anteil als der Standort Süd aus (vgl. Abb. 11 und Tab. 5). Mit zunehmendem Radius wird dies jedoch mehr als ausgeglichen, so dass beim Radius von 60 km der Waldanteil am Standort Nord höher ist als am Standort Süd.

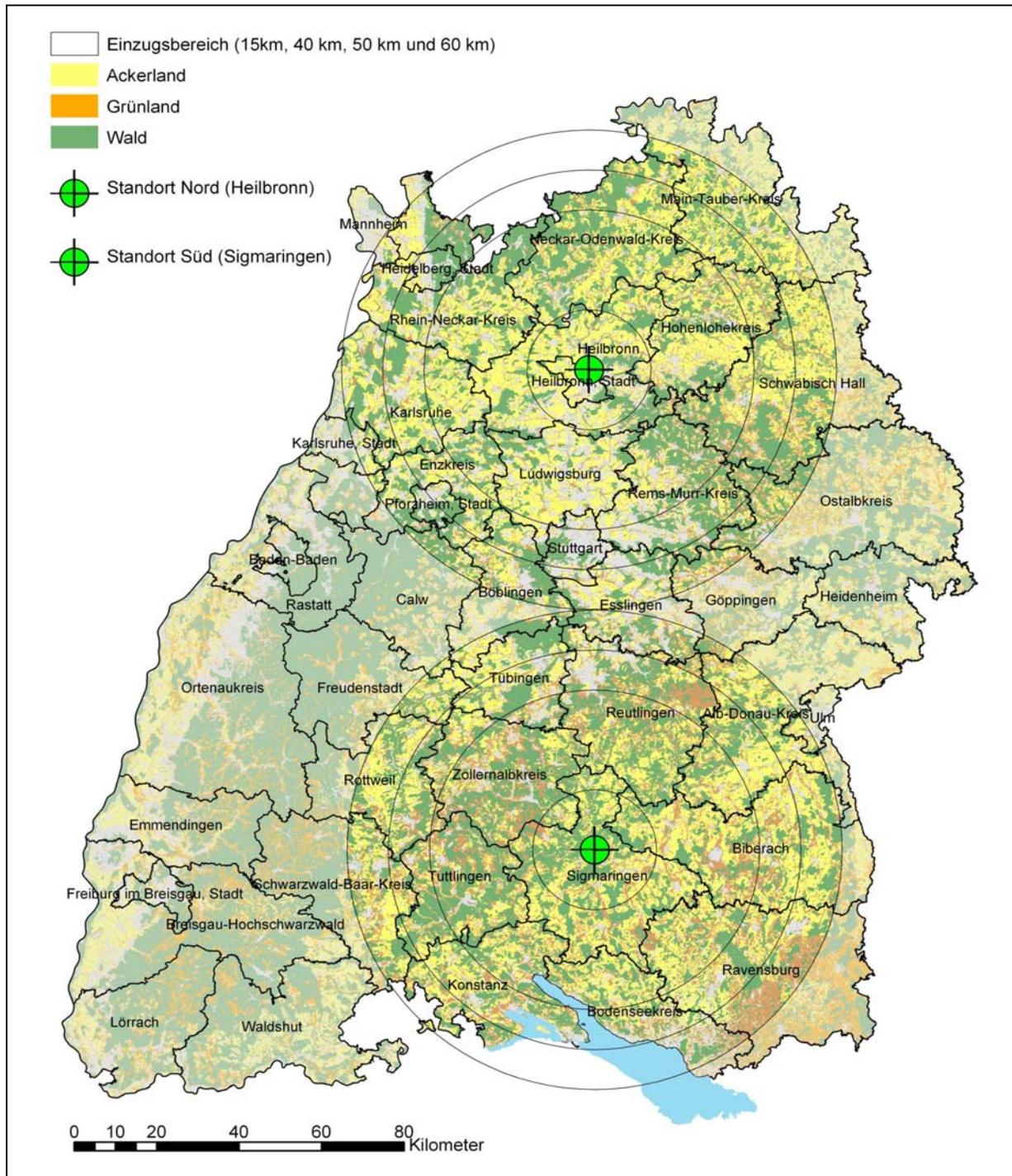


Abb. 11: Flächennutzung und Einzugsbereiche der Standorte Nord (Heilbronn) und Süd (Sigmaringen)

Bezüglich der methodischen Vorgehensweise soll an dieser Stelle nochmals daran erinnert werden, dass am Standort Nord die in Hessen liegenden Flächenanteile (s. Erfassungsradien 50 und 60 km) berücksichtigt sind, wobei die durchschnittlichen Flächenanteile (Ackerland, Grünland, Wald) und Ertragsverhältnisse des Standorts Nord zugrunde gelegt sind. Am Standort Süd wurde dagegen das Anschneiden von Flächen in der Schweiz nicht berücksichtigt; mit ein Beweggrund hierfür war, dass ein Biomassebezug aus der Schweiz – aufgrund des dort deutlich höheren Agrarpreinsniveaus – mehr als fraglich ist.

Tab. 5: Flächenaufkommen der Standorte Nord und Süd

	Radius des Einzugsbereichs (km)							
	15		40		50		60	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Standort Nord								
Ackerland	31.000	60	192.000	47	274.000	43	386.000	42
<i>dv. Ackerbrache</i>	1.700		11.000		16.000		22.000	
Grünland, insgesamt	4.800	9	48.000	12	79.000	12	122.000	13
<i>dv. überschüssig</i>	2.200		18.000		28.000		41.000	
Wald	16.000	31	169.000	41	283.000	44	407.000	45
INSGESAMT	51.800	100	409.000	100	636.000	100	915.000	100
Standort Süd								
Ackerland	25.000	37	158.000	35	243.000	36	338.000	36
<i>dv. Ackerbrache</i>	1.200		8.000		12.000		16.000	
Grünland, insgesamt	10.000	15	98.000	21	147.000	22	202.000	22
<i>dv. überschüssig</i>	1.800		26.000		40.000		53.000	
Wald	32.000	48	201.000	44	291.000	43	385.000	42
INSGESAMT	67.000	100	457.000	100	681.000	100	925.000	100

2.4.2 Aufkommen an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz

Ausgehend vom verfügbaren Flächenaufkommen (vgl. Kap. 2.4.1) sind in Tab. 6 die Aufkommenspotenziale an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz für die Standorte Nord und Süd zusammengestellt, differenziert nach den Erfassungsradien 15, 40, 50 und 60 km. Hierbei kann festgehalten werden, dass bei einem Erfassungsradius zwischen 50 und 60 km mit den angeführten Biomasseträgern annähernd 1 Mio. Mg TM pro Jahr prinzipiell bereitgestellt werden könnten.

Betrachtet man sich die einzelnen Biomasseträger etwas genauer, so ist Waldrestholz am Standort Süd dominierend; es trägt dort – je nach Erfassungsradius – mit 37 bis 42 % zum Biomasseaufkommen bei. Am Standort Nord sind dies 19-34 %. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei Stroh, hier liegt der Anteil am Standort Nord zwischen 32 bis 46 %, am Standort Süd dagegen nur bei 22-29 %. Heu von überschüssigem Grünland hat am Standort Süd nahezu die gleiche Bedeutung wie Stroh; am Standort Nord trägt Heu lediglich 14 % zum Biomasseaufkommen bei.

Demgegenüber liegt das Aufkommen an Silomais am Standort Nord deutlich über dem angeführten Aufkommen an Heu. Am Standort Süd liegt Silomais hinsichtlich der mengenmäßigen Bedeutung der Biomasseträger an letzter Stelle (vgl. Tab. 6).

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die für die Bereitstellung von 1 Mio. Mg TM Biomasse pro Anlage benötigten Erfassungsradien nicht weiter erhöht werden müssen. In diesem Zusammenhang ist daran zu erinnern, dass die durchgeführten Abschätzungen eher als konservativ einzustufen sind.

Tab. 6: Standorte Nord und Süd – Aufkommen an Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz

	Radius des Einzugsbereichs (km)							
	15		40		50		60	
	(Mg TM)	(%)	(Mg TM)	(%)	(Mg TM)	(%)	(Mg TM)	(%)
Standort Nord								
Stroh	43.000	46	235.000	35	334.000	33	469.000	32
Silomais (auf Ackerbrache)	22.000	23	148.000	22	207.000	20	285.000	20
Heu (überschüssiges Grünland)	11.000	12	90.000	14	141.000	14	200.000	14
Waldrestholz	18.000	19	192.000	29	335.000	33	500.000	34
INSGESAMT	94.000	100	665.000	100	1.017.000	100	1.454.000	100
Standort Süd								
Stroh	29.000	29	140.000	22	213.000	23	309.000	24
Silomais (auf Ackerbrache)	15.000	15	107.000	17	164.000	18	222.000	18
Heu (überschüssiges Grünland)	13.000	13	141.000	23	210.000	22	272.000	21
Waldrestholz	42.000	42	240.000	38	345.000	37	463.000	37
INSGESAMT	99.000	100	628.000	100	932.000	100	1.266.000	100

Hier könnte es gerade mit Blick auf das Aufkommen an Waldrestholz und dessen – gemessen an den anderen Biomasseträgern – günstigen Bereitstellungskosten (vgl. Kap. 3.5) sinnvoll sein, den Standort der Anlage in die Nähe höherer Aufkommensdichten an Wald zu legen. Erhöht man beispielsweise am Standort Süd den Radius auf 80 km (vgl. Abb. 12), könnten rd. 0,7 Mio. Mg TM an Waldrestholz bereitgestellt werden, wobei die Flächen in der Schweiz aus den zuvor angeführten Gründen unberücksichtigt blieben. Durch „Verschiebung“ des Standortes in Richtung Nord-Westen könnten die Holzvorräte des Schwarzwaldes noch deutlicher genutzt werden (Abb. 7).

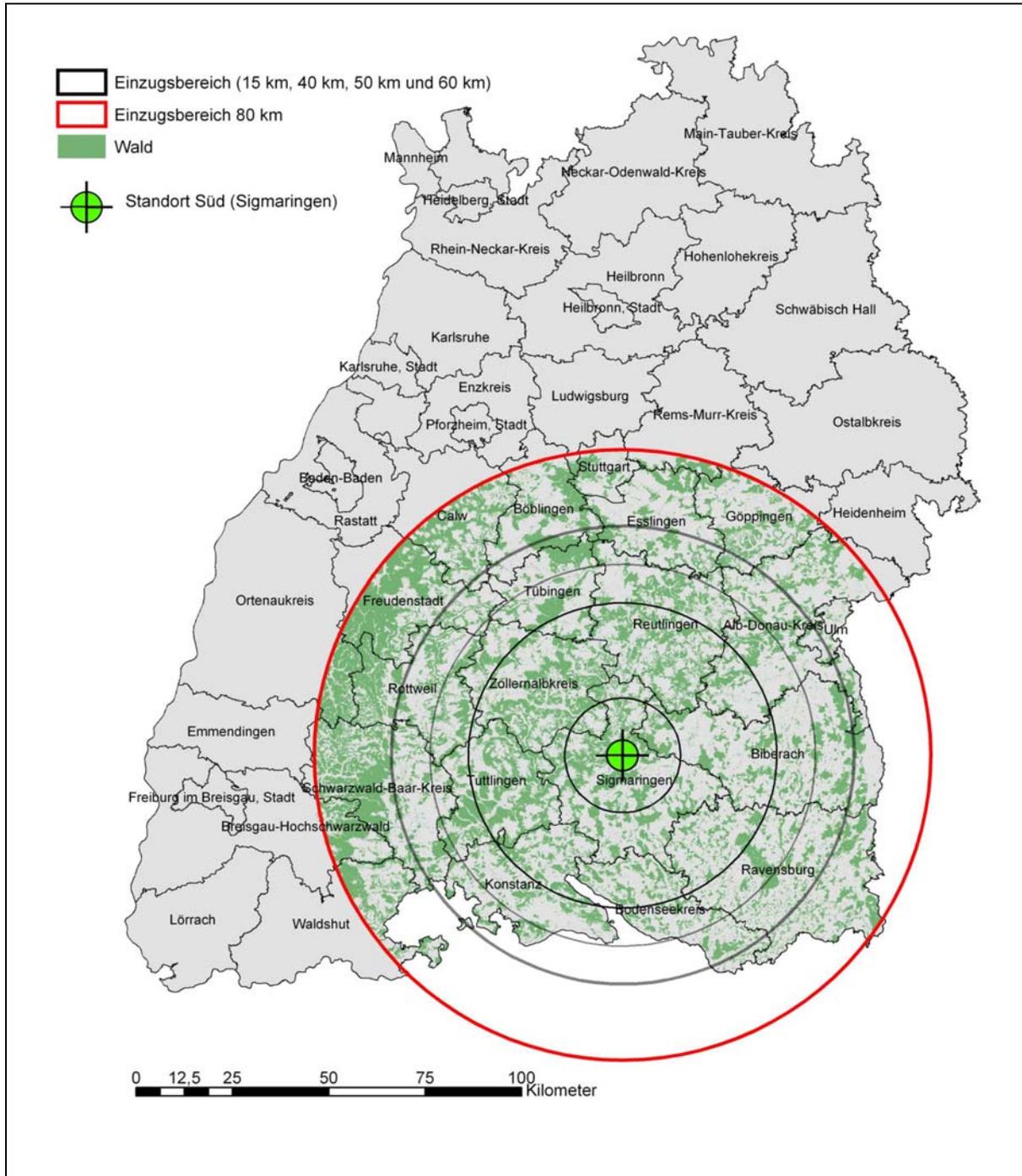


Abb. 12: Ausdehnung des Erfassungsradius am Standort Süd (Sigmaringen) auf 80 km

3 Bereitstellungskosten

Nachfolgend sind die Abschätzungen zu den Bereitstellungskosten von Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz frei Anlage (Vergasungs-/Syntheseanlage) dargestellt. Zunächst wird kurz erläutert, wie hierbei vorgegangen wurde (vgl. Kap. 3.1). Aufgrund ihrer spezifischen Bedeutung scheint es gerechtfertigt, die Gesamtkosten der Bereitstellung (vgl. Kap. 3.5) in die Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung (vgl. Kap. 3.2) und in die Transportkosten (vgl. Kap. 3.4) zu unterscheiden. Dies soll die Diskussion über ihre relative Bedeutung vorbereiten.

Ein Vergleich mit aktuellen Abschätzungen aus der Literatur und mit aktuellen Marktpreisen soll zur Einordnung der eigenen Abschätzungen dienen.

3.1 Methodisches Vorgehen

Bei der methodischen Vorgehensweise zur Abschätzung der Bereitstellungskosten für die Biomasseträger wurde darauf geachtet, Vollkosten darzustellen. Mit Ausnahme der Gasölbeförderung wurde auf die Berücksichtigung von direkten Subventionen bzw. Ausgleichsleistungen (z.B. für Flächenstilllegung, benachteiligte Agrargebiete) verzichtet. Auf indirekte Subventionen – die insbesondere über die staatliche Stützung der Renten- und Unfallversicherung der Landwirtschaft zufließen – wird nicht eingegangen. Durch die Nichtberücksichtigung dieser Subventionen kommt man einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise näher. Hinsichtlich der einzelbetrieblichen Entscheidung für oder gegen eine Biomassebereitstellung sind neben den spezifischen Rahmenbedingungen des Einzelbetriebs (z.B. Maschinenausstattung, Personal, Flächen, Arbeitsspitzen) auch die oben angeführten Subventionen und Ausgleichsleistungen von Bedeutung.

Den Kostenabschätzungen liegen u.a. folgende Annahmen zugrunde:

- Landwirtschaftliche Schlaggröße: 2 ha
- Verzinsung des eingesetzten Anlagen- und Umlaufkapitals mit 7 %
- Entlohnung der familieneigenen Arbeitskräfte
- Eigenmechanisierung: Auslastung der eingesetzten Maschinen (s. zeitbedingte/leistungsbedingte Abschreibung)
- Bei Spezialmaschinen: Einsatz von Lohnmaschinen (inkl. Fremd-Arbeitskraft)

Bei den Abschätzungen zu den Bereitstellungskosten und den hierzu nötigen Eingangsdaten wurde insbesondere auf Angaben von KTBL (2004), LEL (Over und Nussbaumer, 2003), DLG (1973, 1991a,b), Hydro Agri (1993) und Ruhr-Stickstoff (1988) zurückgegriffen. Die Abschätzungen zur Bereitstellung von Hackschnitzeln (HS) aus Waldrestholz (und Durchforstungsholz) lehnten sich vor allem an Arbeiten der LWF Bayern an (Feller et al., 1998-2000; Remler und Fischer, 1996; Wittkopf et al., 2003). Eine detaillierte Auflistung der verwendeten Datenquellen ist im Literaturverzeichnis zusammengestellt.

In Tab. 7 sind die wichtigsten Eigenschaften zu den in dieser Studie betrachteten Biomasseträgern Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz zusammengestellt. Der TS-Gehalt hat hierbei eine herausragende Bedeutung, da er maßgeblich den Heizwert (H_{it}) der Biomasse bestimmt und spezifische Erfordernisse bzgl. Transport, Lagerung und Trocknung begründet. Dies wird am Beispiel Silomais mit einem TS-Gehalt von 35 % und einem Heizwert von 4,4 MJ/kg FM deutlich.

Tab. 7: *Eigenschaften von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz*

	Schüttdichte (Mg FM/m ³)	TS (% FM)	Asche (% TS)	oTS (% TS)	H_u (MJ/kg FM)
Stroh (Quaderballen)	0,13	86 %	7 %	93 %	14,5
Heu (Quaderballen)	0,16	86 %	8 %	92 %	14,1
Silomais ^{a)} (Häcksel)	0,50	35 %	5 %	95 %	4,4
Waldrestholz (Hackschnitzel)	0,40	50 %	4 %	96 %	7,4

FM = Frischmasse; TS = Trockensubstanz; oTS = organische Trockensubstanz; H_u = unterer Heizwert

Angaben zum TS-, Asche- und oTS-Gehalt sind gerundet

^{a)} nach der Silierung

Die den ökonomischen Analysen zugrunde liegenden Anbau- und Bereitstellungsketten für Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz sind in Tab. 8 beschrieben. Auf eine ausführlichere Erläuterung wird verzichtet.

Tab. 8: *Beschreibung der Anbau- und Bereitstellungsketten für Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz*

Verfahrensschritte	Stroh (Quaderballen)	Heu (Quaderballen)	Silomais (Häcksel)	Waldrestholz ^{b)} (Hackschnitzel)
Anbau	Kostenansatz für Nährstoffentzug	Produktion von überständigem Heu (1 Schnitt/a), Pflegemaßnahmen, Düngung nach Entzug	Bodenbearbeitung, Saat (im Lohn), Düngung, Pflanzenschutz	nach Stammholzernte (Nadel-/Laubholz) und Durchforstung
Ernte/Erfassung	Quaderballenpresse (groß) (Eigenmechanisierung)	klassische Heuwerbung, Quaderballenpresse (groß) (im Lohn) ^{a)} Transport zum ldw. Betrieb	Häckseln (im Lohn), Fahrt zum ldw. Betrieb (Fahrsilo), fest walzen	(a) teilmechanisierte Verfahren (ldw. Schlepper, Rückewagen, Tragschlepper, Häcksler, ldw. Anhänger bzw. Container) (b) Hackschnitzel-Harvester + Shuttlefahrzeug u. Container
Lagerung	am Feldrand, Abdeckung mit Folie	Heulager auf ldw. Betrieb	Fahrsilo auf ldw. Betrieb	Direktanlieferung zur Anlage
Transport zur Anlage	ldw. Transport (bis R=15 km); Lkw (ab R= >15 km)			

R = mittlerer Biomasseerfassungsradius um die Anlage; Beachte: R ist nicht identisch mit der mittleren einfachen Fahrtstrecke bis zur Anlage

^{a)} Beim Einsatz von Maschinen im Lohn wird neben der Spezial-Maschine (z.B. Quaderballenpresse) auch der hierfür benötigte ldw. Schlepper (inkl. Treibstoff) und Fahrer entlohnt.

^{b)} Bei der ökonomischen Darstellung der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Waldrestholz wurde unterstellt, dass die Ernte zu 80 % teilmechanisiert (50 % Nadel- bzw. 30 % Laubholz) und zu 20 % vollmechanisiert (Hackschnitzelharvester, Nadelholz) erfolgt.

3.2 Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung

Ausgehend von den in Kap. 3.1 skizzierten Verfahrensschritten sind nachfolgend für jeweils unterschiedliche Ertragsverhältnisse bzw. Verfahren die Kosten der Bereitstellung der zu untersuchenden Biomasseträger mit ihren jeweiligen wesentlichen Kostenkomponenten dargestellt. Da es sich einerseits um Reststoffe (Stroh, Waldrestholz) und andererseits um komplette Produktionsverfahren (Heu, Silomais) handelt, kann hierbei keine durchgängig einheitliche Differenzierung bei den Kostenkomponenten eingehalten werden.

Wie bereits einleitend zu Kap. 3 erwähnt, sind die Kosten für den Transport zur zentralen Anlage der Biomassenutzung hier noch nicht berücksichtigt.

3.2.1 Erfassung und Lagerung von Stroh

Wesentlicher Eckpunkt einer kostengünstigen Bereitstellung von Stroh ist der Einsatz einer schlagkräftigen (leistungsstarken) Quaderballenpresse; im Gegensatz zu Heu wurde hierbei Eigenmechanisierung unterstellt. Ein Vergleich mit aktuellen Listenpreisen für den Einsatz einer entsprechenden Lohnmaschine führte zu nahezu identischen Kostenansätzen. Neben den Kosten für Maschinen und Personal ist der zusätzlich angesetzte Düngerwert keine zu vernachlässigende Kostengröße (vgl. Tab. 9). Kostengünstig wirkt sich die Annahme aus, dass das Stroh auf dem Feld gelagert wird. Mit rd. 50-60 €/Mg TM sind die Kosten für die Strohbereitstellung frei Feldlager als relativ günstig einzustufen.

Zur Einordnung: Nach freiwilligen Angaben des Landhandels in Süddeutschland wurden 2004 für die Abnahme von Stroh (Weizen- und Gerstestroh) frei Feld bzw. Hof (Großballen, Lkw verladene Ware) zwischen 40 und 90 €/Mg TM bezahlt (LWBW, 2004). In den Winter- und Frühjahrsmonaten werden die höchsten Preise erzielt. Die bereits enthaltenen Verladekosten können hierbei mit rd. 8-10 €/Mg TM angesetzt werden und müssten vor einem Vergleich mit den Zahlen in Tab. 9. von den Orientierungspreisen des Landhandels abgezogen werden,

Tab. 9: Kosten der Strohbereitstellung frei Feldlager

Stroh (Quaderballen)	Mg TM/ha	Ertragsniveau		
		niedrig	mittel	hoch
		4,5	5,5	6,5
Kapitalkosten	€/Mg TM	13,9	12,4	11,4
Kosten für Betriebsstoffe	€/Mg TM	13,8	12,6	11,7
Instandhaltung, Versicherung, Steuern	€/Mg TM	8,8	7,9	7,2
Personalkosten	€/Mg TM	14,9	13,0	11,6
Düngerwert (entzogene Nährstoffe)	€/Mg TM	11,6	11,6	11,6
Gesamtkosten frei Feldlager	€/Mg TM	63,1	57,4	53,6

3.2.2 Heuproduktion von überschüssigem Grünland

Im Gegensatz zu Stroh als Nebenprodukt der Getreideproduktion stellt die Bereitstellung von Heu von überschüssigem Grünland ein eigenständiges Produktionsverfahren dar. Dabei wurde unterstellt, dass es sich um eine 1-schnittige Grünlandnutzung mit Bodentrocknung handelt. Neben den Kosten für den Maschineneinsatz und den Dünger sind insbesondere die Kosten für die Lagerung im Heulager des landwirtschaftlichen Betriebs bedeutend für die Höhe der Gesamtkosten (vgl. Tab. 10). Auf die Berücksichtigung eines Pachtansatzes wurde verzichtet. Mit rd. 120-140 €/Mg TM sind die Kosten beim Heu mehr als doppelt so hoch wie bei Stroh. Somit dürfte dieser Biomasseträger unter den getroffenen Rahmenbedingungen wenig attraktiv für eine energetische Nutzung sein.

Zur Einordnung: Nach freiwilligen Angaben des Landhandels in Süddeutschland wurden 2004 für die Abnahme von Heu frei Hof (Großballen, Lkw verladene Ware) zwischen 60 und 180 €/Mg TM bezahlt (LWBW, 2004). Die hohen Preise wurden für die Winter- und Frühjahrsmonate genannt. Die bereits enthaltenen Verladekosten können hierbei mit rd. 6-8 €/Mg TM angesetzt werden und müssten vor einem Vergleich mit den Zahlen in Tab. 10 von den Orientierungspreisen des Landhandels abgezogen werden. Ein direkter Preisvergleich ist aber nur eingeschränkt möglich, da der Landhandel nur an hochwertigem Heu zu Verfütterung interessiert ist.

Tab. 10: Kosten der Heubereitstellung frei Lager landwirtschaftlicher Betrieb

Heu von überschüssigem Grünland (Quaderballen)	Mg TM/ha	Ertragsniveau ^{a)}		
		niedrig 4,5	mittel 5,5	hoch 6,5
Variable Kosten, insgesamt	€/ha	283	338	399
<i>dv. Dünger (N, P, K, Mg)</i>	€/ha	125	152	180
<i>dv. Variable Maschinenkosten</i>	€/ha	74	83	98
<i>dv. Lohnmaschinen / Lohnarbeit</i>	€/ha	76	94	110
<i>dv. Zinsansatz Umlaufkapital</i>	€/ha	8	9	11
Feste Spezial- und Gemeinkosten, insgesamt	€/ha	345	375	407
<i>dv. feste Maschinenkosten</i>	€/ha	100	100	100
<i>dv. feste Kosten für Lagerraum und Gebäude</i>	€/ha	140	162	184
<i>dv. Pachtansatz</i>	€/ha			
<i>dv. Lohnansatz für ständige Arbeitskräfte</i>	€/ha	55	63	73
<i>dv. Gemeinkosten</i>	€/ha	50	50	50
Gesamtkosten frei Lager Landwirt	€/ha	628	713	806
	€/Mg TM	140	130	124

^{a)} Feld- und Lagerverluste von 6 % sind berücksichtigt.

3.2.3 Anbau und Ernte von Silomais

Der Anbau und die Bereitstellung von Silomais ist ein Verfahren mit ausgefeilter Produktionstechnik. Bei der Kalkulation wurde unterstellt, dass sowohl die Saat als auch die Ernte im Lohn (Fremdmechanisierung) erfolgen. Neben dem Aufwand für Saatgut, Düngung und Pflanzenschutz sind es insbesondere die Maschinen bedingten Kosten aber auch die Kosten für das Fahrsilo, die zu insgesamt hohen Bereitstellungskosten bei diesem Biomasseträger führen (vgl. Tab. 11). Nicht nur die hohen Bereitstellungskosten von 130-180 €/Mg sondern auch der relativ geringe TS-Gehalt von 35 % lassen es sehr fraglich erscheinen, ob dies ein geeigneter Biomasseträger für die thermochemische Vergasung darstellt. Die zunehmend praktizierte „biologische“ Vergasungsvariante zur Biogaserzeugung scheint hier doch der geeigneteren Weg einer energetischen Nutzung zu sein. Mit dem geringen TS-Gehalt gehen neben den spezifischen Anforderungen an die Lagerung insbesondere auch hohe Transportkosten einher (vgl. 3.4).

Tab. 11: Kosten der Silomaisbereitstellung frei Lager landwirtschaftlicher Betrieb

Silomais auf Ackerbrache	Mg TM/ha	Ertragsniveau ^{a)}		
		niedrig 10	mittel 14	hoch 18
Variable Kosten, insgesamt	€/ha	1011	1177	1341
<i>dv. Saatgut</i>	€/ha	170	170	170
<i>dv. Dünger (N, P, K, Mg)</i>	€/ha	288	391	494
<i>dv. Pflanzenschutz</i>	€/ha	75	75	75
<i>dv. sonst. Var. Kosten (Hagelvers., Siloanstrich, ...)</i>	€/ha	57	69	80
<i>dv. Variable Maschinenkosten</i>	€/ha	168	195	221
<i>dv. Lohnmaschinen / Lohnarbeit</i>	€/ha	224	244	263
<i>dv. Zinsansatz Umlaufkapital</i>	€/ha	29	33	38
Feste Spezial- und Gemeinkosten, insgesamt	€/ha	775	877	979
<i>dv. feste Maschinenkosten</i>	€/ha	250	250	250
<i>dv. feste Kosten für Lagerraum und Gebäude</i>	€/ha	224	298	372
<i>dv. Pachtansatz</i>	€/ha	100	100	100
<i>dv. Lohnansatz für ständige Arbeitskräfte</i>	€/ha	151	179	207
<i>dv. Gemeinkosten</i>	€/ha	50	50	50
Gesamtkosten frei Lager (Silo) Landwirt	€/ha	1.786	2.054	2.320
	€/Mg TM	179	147	129
Gesamtkosten frei Lager (Silo) Landwirt, bei 35 % TS	€/Mg FM	63	51	45

^{a)} Ernte- und Silierverluste von 10 % sind bereits berücksichtigt.

3.2.4 Ernte und Erfassung von Waldrestholz

Im Gegensatz zu den landwirtschaftlichen Verfahren weisen die Verfahren und Rahmenbedingungen zur Bereitstellung von Waldrestholz eine deutlich größere Vielfalt auf und in der Konsequenz daraus eine große Spanne bei den Kosten der Bereitstellung von Hackschnitzel frei Waldstraße. Mit ein Grund hierfür sind die sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen (z.B. Topografie, Bestand, Baumart) aber auch die technische Vielfalt der einzusetzenden

Verfahren. Die in Tab. 12 exemplarisch dargestellten Verfahren geben hierzu einen kleinen Einblick. Die Kostenspanne der Bereitstellung von Hackschnitzel frei Waldstraße reicht von rd. 30 bis 65 €/Mg TM. Bei schwerer zugänglichem Gelände (Hanglagen, lange Distanzen für das Vorliefern/Rücken, eingeschränkte Poltermöglichkeiten) ist die angeführte Kostenspanne um ca. 20-30 €/Mg TM zu erhöhen.

Die in der Tabelle berücksichtigten teilmechanisierten Verfahren (1) und (2) für die Hackschnitzelgewinnung aus Nadel- bzw. Laubholz dürften als „typische“ Verfahren einzustufen sein, auch wenn der Hackschnitzelertrag bei Laubholz günstig erscheint; das vollmechanisierte Verfahren (3) muss sicherlich noch eine breitere Anwendung in Deutschland finden.

Tab. 12: Kosten der Bereitstellung von Waldrestholz (Hackschnitzel) frei Waldstraße

Waldrestholz (Hackschnitzel)	Technologie	Verfahren ^{a)}		
		(1) teilmechanisiert: 2 Schlepper (70/160 kW), Kranrückeanhänger, Häcksler (HEM 560) Nadelholz	(2) teilmechanisiert: Kettensäge, Tragschlepper, Schlepper (160 kW), Häcksler (HEM 700) Laubholz	(3) vollmechanisiert: Hackschnitzelharvester, Shuttle Nadelholz
Ernteertrag	Srm/ha Mg TM/ha	48 ^{b)} 7,0	75 (50-80) ^{c)} 17,5	40 ^{d)} 6,0
Kapitalkosten	€/Mg TM	9,0	9,5	21,0
Kosten für Betriebsstoffe	€/Mg TM	6,0	5,0	11,5
Instandhaltung, Versicherung, Steuern	€/Mg TM	5,5	6,0	17,0
Personalkosten	€/Mg TM	21,0	9,0	15,0
Gesamtkosten frei Waldstraße	€/Mg TM	41,5	29,5	64,5
	€/Srm	6	7	9
Durchschnittlicher Kostenansatz für die nachfolgenden Betrachtungen ^{e)}	€/Mg TM	44,0		

^{a)} Die Kostenabschätzung basiert auf verschiedenen Untersuchungen der LWF Bayern (Feller et al., 1998-2000; Wittkopf et al., 2003).

^{b)} 90-100 jähriger, gut erschlossener Fichtenbestand; Entnahme von 118 fm/ha; je fm Stammholz: 0,4 Srm Hackschnitzel

^{c)} Ausscheidender Bestand mit BHD: 40 cm; mittlere Stückmasse HS pro Krone: 3,7 Srm; Hackschnitzel pro ha: 50-80 Srm (Mittelwert zweier Versuche von Textor (2000) sowie Kuprat und Wenzelides (2002))

^{d)} Versuchsbestände mittleren Alters (35-50 a); mittlerer BHD des ausscheidenden Bestandes: 15-19 cm

^{e)} Für die nachfolgenden Berechnungen wurde dem vollmechanisierten Verfahren (Harvester) ein Anteil von 20 % zugewiesen und die Relation der teilmechanisierten Hackschnitzelgewinnung aus Nadel- und Laubholz mit einem Anteil von 60 % und 20 % berücksichtigt.

3.3 Gegenüberstellung der Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung

Die Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung unterscheiden sich bezüglich der betrachteten Biomasseträger sehr stark. Hierbei sind die Kostenvorteile für die Reststoffe Stroh und Waldrestholz offensichtlich, da sie in Kopplung mit der Getreide- bzw. Stammholzernte anfallen und folglich von spezifischen Anbaukosten entlastet sind. Bezogen auf die Trockenmasse können diese Reststoffe hierdurch um den Faktor zwei bis drei kostengünstiger bereitgestellt werden, verglichen mit Silomais oder Heu. In Tab. 13 sind für **mittlere Ertragsverhältnisse** in Baden-Württemberg die jeweiligen Bereitstellungskosten (gerundete Werte) der untersuchten Biomasseträger einander gegenüber gestellt. Detailliertere Angaben zu den Kosten wurden bereits – für unterschiedliche Ertragsverhältnisse – in den Kap. 3.2.1 bis Kap. 3.2.4 dargestellt.

Getreidestroh kann frei Lager am Feldrand zu rd. 60 €/Mg TM angeboten werden, wobei hierfür entscheidend ist, dass eine schlagkräftige (kostengünstige) Quaderballen-Kette realisiert werden kann. Silomais kostet dagegen mit 147 €/Mg TM frei Abnahme am Silo des Landwirts mehr als das Doppelte. Dieser Kostennachteil kann auch dadurch nicht kompensiert werden, dass Silomais mit 14 Mg TM/ha annähernd den dreifachen Ertrag gegenüber Getreidestroh aufweist. In ähnlicher Weise trifft diese Aussage auch für Heu zu. Betrachtet man sich die einzelnen Anteile an den Gesamtkosten, so sind bei den angebauten Biomaseträgern neben den höheren festen Kosten (für Gebäude, Maschinen) vor allem auch die höheren Aufwendungen für Löhne bzw. Lohnmaschinen (Personalkosten) und Betriebsmittel (Dünge-/Pflanzenschutzmittel) – diese sind in den variablen Kosten enthalten – ausschlaggebend.

Tab. 13: Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz – ohne den Transport zur Anlage

	Stroh (QB, 86 % TS)	Heu (QB, 86 % TS)	Silomais (Häcksel, 35 % TS)	Waldrestholz (HS, 50 % TS)
Mittlerer Ertrag (Mg TM/ha) ^{a)}	5,5	5,5	14,0	6-18 ^{b)}
Kostenkomponenten:	Angaben in €/Mg TM, gerundete Werte			
Feste Kosten (Maschinen, Gebäude, Pacht, Gemeinkosten, ...)	20	57	50	20
Variable Kosten (Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel, Treibstoff, Garn, Lohnmaschinen, ...)	24	61	84	7
Personalkosten	13	12 ^{c)}	13 ^{d)}	17
INSGESAMT	57	130	147	44

TS = Trockensubstanz; TM = Trockenmasse; QB = Quaderballen; HS = Hackschnitzel

^{a)} mittlere Ertragsverhältnisse, die den untersuchten Verfahren zugrunde liegen

^{b)} Ertragsspanne, die den untersuchten Verfahren zur Hackschnitzelbereitstellung zugrunde liegt

^{c)} Pressen von Quaderballen ist über Lohnmaschinen abgedeckt.

^{d)} Saat und Silomais-Häckseln ist über Lohnmaschinen abgedeckt.

3.4 Transportkosten

Wie bereits erläutert, sind die Transportkosten – neben den Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung (vgl. Kap. 3.2) – der zweite wesentliche Kostenblock bei der Bereitstellung.

Wie die Abschätzungen zum Biomassepotenzial an Getreidestroh, Heu, Silomais und Waldrestholz zeigen (vgl. Kap. 0), ist ein Erfassungsradius von 50 bis 60 km ausreichend, um eine Anlage gesichert mit rd. 1 Mio. Mg TM an Biomasse zu versorgen. Hierbei ist nochmals in Erinnerung zu rufen, dass hierdurch keinesfalls ausgeschlossen ist, dass in der Praxis Biomasse auch von außerhalb dieses angeführten Erfassungsbereichs kostengünstig angeliefert werden kann.

Wie der Vergleich der Kosten in Tab. 13 und Tab. 14 zeigt, betragen die Transportkosten für 60 km bei den Reststoffen (Stroh, Waldrestholz) rd. 50 % und bei Heu und Silomais rd. 25 %, gemessen an den Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung. Bei den Abschätzungen zu den Transportkosten ist unterstellt, dass der Transport bis zu einem Radius von 15 km um die Anlage mit landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen (Schlepper + Anhänger) erfolgt. Für größere Radien wird Lkw-Transport unterstellt. Eigene Abschätzungen zeigen, dass Bahn-

transport für Waldrestholz erst ab ca. 100 km mit dem Lkw-Transport konkurrieren könnte; bei Stroh wäre dies erst ab ca. 250 km der Fall.

Für alle Biomaseträger wird aus Tab. 14 deutlich: Ist das Transportfahrzeug bereitgestellt und beladen, dann sind die darüber hinausgehenden entfernungsabhängigen Mehrkosten überschaubar. Bei Hackschnitzel aus Waldrestholz betragen diese bei Erhöhung des Erfassungsradius von 50 auf 60 km nur rd. 2 €/Mg TM. Dies zeigt, dass „Importe“ von preiswerten Hackschnitzel aus größeren Entfernungen (>100 km) sehr wohl attraktiv sein können.

Tab. 14: Transportkosten vom Feld bzw. landwirtschaftlichen Zwischenlager oder Wald bis zur Anlage

RADIUS der Erfassungsfläche	Erforderliche Fahrtstrecke, einfach (km)	Stroh (86 % TS) (Quaderballen)	Heu (86 % TS) (Quaderballen)	Silomais (35 % TS) (Häcksel)	Waldrestholz (50 % TS) (Hackschnitzel)
Angaben in €/Mg TM, gerundete Werte					
15 km^{a)}	16	15	12	16	9
40 km^{b)}	46	27	21	25	16
50 km^{b)}	54	29	22	28	19
60 km^{b)}	64	30	23	30	21

Anmerkungen: Bei den Transportkosten ist die Rückfahrt (leer) mit enthalten; das Beladen ist ebenfalls enthalten.

^{a)} Transport mit landwirtschaftlichem Schlepper und 2 Anhängern

^{b)} Transport mit Lkw und Anhänger

3.5 Gesamtkosten der Bereitstellung frei Anlage

Die Gesamtkosten der Bereitstellung von Stroh, Silomais, Heu und Waldrestholz frei Anlage sind in Tab. 15 für die unterschiedlichen Radien von 15 bis 60 km zusammengefasst. Hierbei wird die Biomasse bis zu einem Radius von 15 km des kreisförmigen Einzugsbereichs immer mit dem landwirtschaftlichen Schlepper angeliefert.

Gemessen an den Bereitstellungskosten frei Anlage zeichnet sich folgende Rangfolge ab: Mit Waldrestholz (Hackschnitzel), gefolgt von Getreidestroh, lässt sich die Biomasseversorgung am kostengünstigsten realisieren. Bei diesen Biomaseträgern kann bei einem Erfassungsradius von 60 km von Bereitstellungskosten frei Anlage von 60-70 €/Mg TM (Waldrestholz) bzw. von 80-90 €/Mg TM (Stroh) ausgegangen werden.

Zum Vergleich können hier aktuelle Preise herangezogen werden, die vom Abnehmer frei Anlage (z.B. Heizwerk bzw. Heizkraftwerk) bezahlt werden. Am ehesten lässt sich dies für Hackschnitzel aus Waldrestholz umsetzen. Nach einer Umfrage im Jahr 2003 (Neugebauer et al., 2004) zahlten bayerische Heizwerke frei Werk durchschnittlich zwischen 50 und 83 €/Mg TM; Heizwerke >5 MW zahlten rd. 50 €/Mg TM. Das Biomasse-Heizkraftwerk Pfaffenhofen (Inputleistung: rd. 27 MW) – mit einem jährlichen Brennstoffbedarf von ca. 50.000 Mg TM – bezieht rd. 90 % seines Brennstoffbedarfs in Form von Hackschnitzel direkt aus dem Wald und bezahlt frei Werk 46 €/Mg TM (Wittkopf, 2004). Nach CARMEN (2005) lagen die Preise für Waldhackschnitzel frei Verwendung (Umkreis von 20 km) im Jahr 2004 zwischen rd. 60 und 70 €/Mg TM, mit leicht ansteigender Tendenz.

Nach den durchgeführten Abschätzungen ist die Bereitstellung von Heu (von überschüssigem Grünland) oder von Silomais gegenüber Waldrestholz und Stroh deutlich ungünstiger (vgl. Tab. 15). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass es sich bei diesen um angebaute Biomaseträger handelt, die einen deutlich höheren Aufwand im Produktionsverfahren erfordern (vgl. Kap. 3.2.2 und 3.2.3).

Tab. 15: Bereitstellungskosten von Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz frei Anlage

RADIUS der Erfassungsfläche	Erforderliche Fahrtstrecke, einfach (km)	Stroh (86 % TS) (Quaderballen)	Heu (86 % TS) (Quaderballen)	Silomais (35 % TS) (Häcksel)	Waldrestholz (50 % TS) (Hackschnitzel)
Angaben in €Mg TM, gerundete Werte					
15 km^{a)}	16	72	142	163	53
40 km^{b)}	46	84	151	172	60
50 km^{b)}	54	86	152	175	63
60 km^{b)}	64	87	153	177	65

Anmerkungen: Bei den Transportkosten ist die Rückfahrt (leer) mit enthalten; das Beladen ist ebenfalls enthalten.

a) Transport mit landwirtschaftlichem Schlepper und 2 Anhängern

b) Transport mit Lkw und Anhänger

Durch die Berücksichtigung von Ausgleichsleistungen (z.B. für Flächenstilllegung bzw. benachteiligte Agrargebiete) und der Flächenprämie für Nachwachsende Rohstoffe kann der bestehende große Unterschied von rd. 70 bis 120 €Mg TM abgeschwächt, aber keinesfalls ausgeglichen werden.

4 Vergleich der Standorte und Schlussfolgerungen

Aus dem Vergleich der beiden Standorte Nord und Süd wird hinsichtlich des für eine energetische Nutzung verfügbaren Aufkommens an Stroh, Heu, Silomais und Waldrestholz sehr schnell deutlich, dass eine Anlage mit einem Biomassebedarf von 1 Mio. Mg/a prinzipiell direkt aus der angrenzenden Region beliefert werden könnte (vgl. Abb. 13). Der hierfür nötige Erfassungsradius von rd. 60 km würde hinsichtlich der Logistik kein essentielles Problem darstellen. Eine bestimmende Größe für den Transport bzw. die Logistik sind die Kosten für die Bereitstellung und das Beladen der Transportfahrzeuge; die darüber hinaus mit zunehmender Transportentfernung anwachsenden Transportkosten sind – wie die Abschätzungen gezeigt haben (vgl. Kap. 3.4) – in einer überschaubaren Größenordnung. Dies erschließt für beide Anlagenstandorte die Möglichkeit, auch aus dem weiteren Umfeld der Anlage preiswertere Biomasse zu beziehen.

Waldrestholz und Stroh könnten bei einem Erfassungsradius von 50-60 km zu rd. 60-70 €Mg TM bzw. zu rd. 80-90 €Mg TM bereitgestellt werden; die Bereitstellung von Heu und Silomais wäre rd. doppelt so teuer. Im gewichteten Mittel über alle Biomaseträger (vgl. Abb. 13) resultieren bei dem angeführten Erfassungsradius Bereitstellungskosten von rd. 100-110 €Mg TM.

Der Standort Nord (bei Heilbronn) hat vor diesem Hintergrund besondere Vorteile, da er sowohl einen direkten Anschluss an die Autobahn als auch an den Neckar als Schifffahrtsweg

besitzt. Diesem Standort würde somit der überregionale Bezug von Biomasse besonders erleichtert.

Vor dieser „erleichterten“ überregionalen Anlieferung von Biomasse wäre der Standort Süd (bei Sigmaringen) eher „geschützt“ – für die Region ein Vorteil, für den Anlagenbetreiber dagegen eher von Nachteil. Ein weiterer Nachteil für den Standort Süd ist die Tatsache, dass hier der Bodensee und die Schweiz angrenzen; ein Biomassebezug aus der Schweiz ist aufgrund des deutlich höheren Agrarpreisniveaus mehr als fraglich. Dies war mit ein Beweggrund, land- und forstwirtschaftliche Flächen in der Schweiz für den Standort Süd nicht zu berücksichtigen.

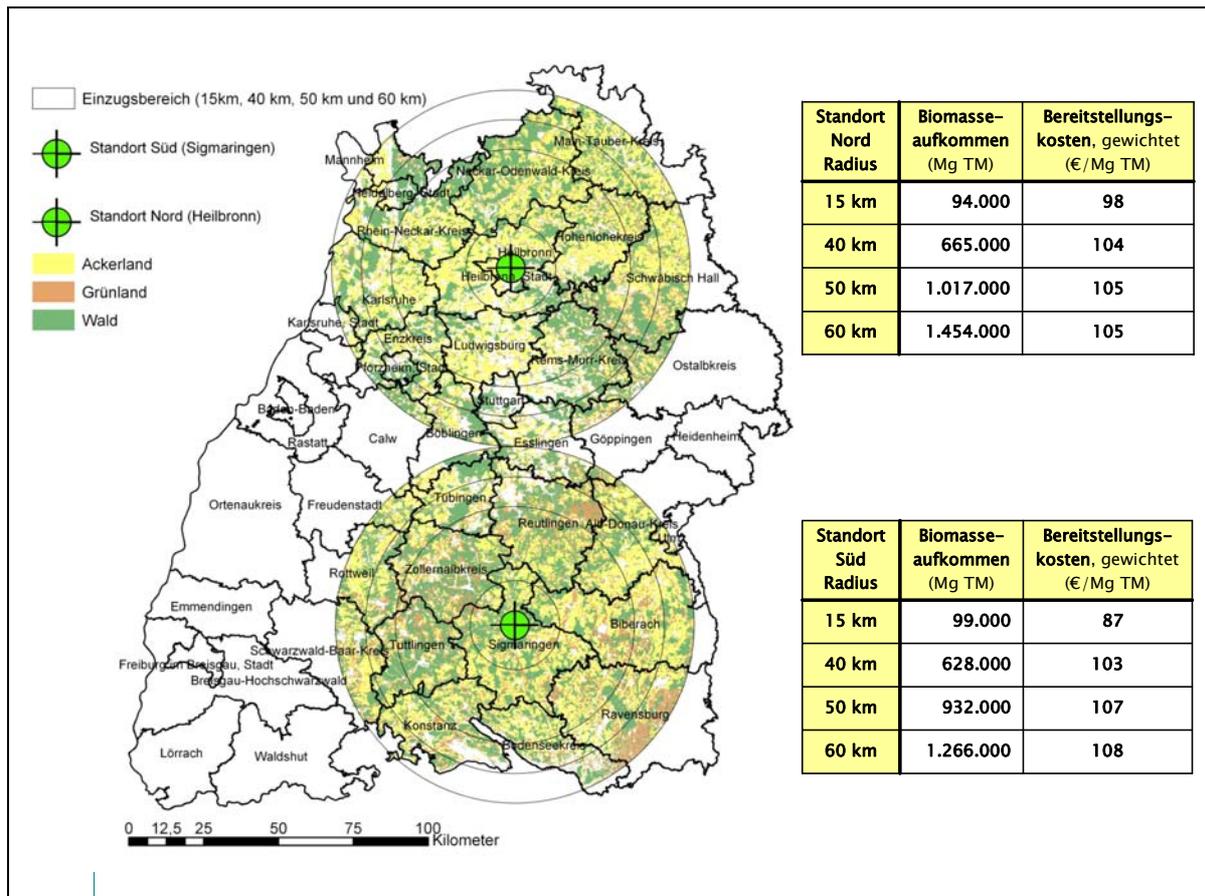


Abb. 13: Vergleich Standort Nord und Süd: Biomasseaufkommen insgesamt und durchschnittliche Bereitstellungskosten der Biomasse frei Anlage

Mit Blick auf die preiswerten Biomasseträger Waldrestholz und Stroh haben die Abschätzungen beispielsweise gezeigt, dass unter Beibehaltung der getroffenen Annahmen hinsichtlich der Verfügbarkeit eine Erhöhung des Erfassungsradius auf **rd. 80-100 km** ausreichend wäre (vgl. Kap. 0), um die jeweilige Anlage ausschließlich mit Waldrestholz und Stroh aus der umliegenden Region zu versorgen. Bei beiden Standorten würden dabei die Erfassungsradien in die angrenzenden Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen und Bayern reichen.

Literatur

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 2005: Erste vorläufige Abschätzung zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2004 in Deutschland, Stand Februar 2005
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft), 2001: Statistischer Monatsbericht 2/2001. Reihe Daten-Analysen mit „Futterwirtschaft“, BMVEL, Bonn
- BMVEL, 2004: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2004. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 549 S.
- BMVEL, 2005a: Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2005. BMVEL, Bonn, 159 S.
- BMVEL, 2005b: Bundeswaldinventur II. Homepage: www.bundeswaldinventur.de; zuletzt besucht am 22.04.2005
- CARMEN, 2005: Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln.
<http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnitzelpreise.html> [letzter Zugang: 31.05.2005]
- Deines, T., 2005: Aktuelle Informationen zum Verkauf von Brenn- und Industrieholz in Baden-Württemberg. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, Referat 54, persönliche Mitteilung (e-Mail) vom 31.05.2005
- Dieter, M., H. Englert und M. Klein, 2001: Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht 2001/11 des Instituts für Ökonomie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Hamburg, 40 S.
- DLG, 1973: DLG-Futterwerttabellen. Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. Arbeiten der DLG **62**. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 199 S.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Hrsg.), 1991a: DLG-Futterwerttabellen – Schweine (6. Aufl.). DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 64 S.
- DLG, 1991b: DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (6. Aufl.). DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 112 S.
- Feller, S., N. Remler und H. Weixler, 1998: Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung. Ergebnisse einer Arbeitsstudie am Hackschnitzel-Harvester. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Nr. **16**, Freising, 76 S.
- Feller, S., A. Göldner, B. Krausenboeck, N. Remler, B. v. Webenau und H. Weixler, 1999/2000: Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln (2. Auflage, März 2000). Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Nr. **21**, Freising, 105 S.
- FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg), 1993: Der Wald in Baden-Württemberg. Im Spiegel der Bundeswaldinventur 1986-1990, Ergebnisse der Ersterhebung. Freiburg, 180 S.
- FVA, 2004: FVA-Einblick. Die wichtigsten Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur. FVA, Jahrgang **8**, Nr. 4
- FVA, 2004: Kolloquiumsband. Der Wald in Baden-Württemberg im Spiegel der Bundeswaldinventur II
- Kändler, G., 2005: Persönliche Mitteilung, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)
- Haschke, P., 1998: Forstliche Energieholzpotenziale in Deutschland und Aspekte ihrer zukünftigen Nutzung. Holzzentralblatt **53**, 801-806
- Hydro Agri Dülmen GmbH (Hrsg.), 1993: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 618 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft), 2004: KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. KTBL, Darmstadt, 573 S. + CD-ROM
- Kuprat, H., und M. Wenzelides, 2002: Modelle der Energiehackschnitzel-Bereitstellung in Niedersachsen. AFZ - Der Wald **25**, 1358-1361
- Leible, L., S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, P. Proplesch, D. Wintzer und B. Fürniß, 2004: Gaserzeugung aus Biomasse – Systemanalytische Begleitforschung. In: MLR/LEL (Hrsg.), Tagung Nachwachsende Rohstoffe für Baden-Württemberg – Forschungsprojekte für den Ländlichen Raum, Stuttgart-Hohenheim, 14. Oktober 2004, Tagungsband, 11 S.
- LWBW (Landwirtschaftliches Wochenblatt Baden-Württemberg), 2004: Orientierungspreise für Raufutter: Januar bis Dezember 2004. Verschiedene Hefte
- MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg), 2003: Jahresbericht 2002 der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Materialband 48. Jahrgang, MLR, Stuttgart, 384 S.

- MLR, 2003: Jahresbilanz 2002, Rückblick für die Zukunft. MLR, Stuttgart, 40 S.
- Neugebauer, G., S. Wittkopf, C. Baudisch und F. Günsche, 2004: Hackschnitzel auf dem Vormarsch. Umfrage bei bayerischen Biomasseheizwerken – Material und Kosten. LWF aktuell **48**, 9-10
- Over, R., und H. Nussbaum, 2003: Kalkulationsdaten Futterbau, Grünland/Ackerfutter, Ernte 2003, Deckungsbeiträge/Vollkosten (Kalkulationsprogramm, Version 2.1). Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume, Schwäbisch Gmünd und Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft, Aulendorf.
- Remler, N., und M. Fischer, 1996: Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln (Ergebnisse einer Literaturstudie). Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. **11**, Freising, 68 S.
- Rösch, C., K. Raab, V. Stelzer und J. Johann, 2005: Perspektiven einer nachhaltigen Grünlandnutzung zur Energieerzeugung dargestellt am Beispiel Baden-Württemberg. In: Mitteleuropäische Biomassekonferenz, Graz, 26-29.01.2005, 10 S.
- Ruhr-Stickstoff AG (Hrsg.), 1988: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (11. Aufl.). Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 587 S.
- Sigmund, V., und J. Frommherz, 2000: Herleitung des verfügbaren Wald-Energieholzpotentials in Baden-Württemberg auf der Basis der Forsteinrichtungsplanung. Landesforstverwaltung, Freiburg, 17 S.
- StaLA (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), 2004: Statistische Berichte, Bodennutzung in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 2003 – Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung/allgemeinen Bodennutzungshaupterhebung. StaLA, Stuttgart, 19 S.
- StaLA, 2000 bis 2005: Statistische Berichte, Ernte der Hauptfeldfrüchte in Baden-Württemberg – Endgültige Ergebnisse, StaLa, Stuttgart
- StaLa, 2002: Statistische Berichte, Viehbestände und -halter in den Gemeinden Baden-Württembergs 2001 – Endgültige Ergebnisse der allgemeinen Viehzählung im Mai, StaLa; Stuttgart, 47 S.
- StaLa, 2004: Statistische Berichte, Viehbestände und -halter in den Gemeinden Baden-Württembergs 2003 – Endgültige Ergebnisse der allgemeinen Viehbestanderhebung am 03. Mai 2003. StaLa, Stuttgart, 15 S.
- Textor, B., 2000: Waldhackschnitzelgewinnung aus Laubholzkronen für Heizzwecke. Badische Bauern Zeitung **36**, 39-41
- Wagner, K., und S. Wittkopf, 2000: Der Energieholzmarkt Bayern, Nr. 26, Freising, 66 S.
- Wittkopf, S., U. Hömer und C. Baudisch, 2003: Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. **38**, Freising, 82 S.
- Wittkopf, S., 2004: Umweltfreundlich und innovativ. Das Biomasse-Heizkraftwerk Pfaffenhofen. Nur naturbelassenes Holz wird als Brennstoff verwendet. LWF aktuell **48**, 15-15