



**Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Wissenschaftliche Berichte**  
FZKA 7333

# Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung?

**Scientific Report**



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333

## **Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung?**

C. Rösch, K. Raab, J. Skarka, V. Stelzer

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2007

Diesem Bericht liegt ein Vorhaben zugrunde, das mit Mitteln des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum (MLR) Baden-Württemberg gefördert wurde.  
(Staatshaushaltsplan 2002 – Kap. 1221 Tit. 981 82, Az.; 54-8214.07 IV/59-16).

Unser Dank gilt dem MLR für die Finanzierung dieses Forschungsprojekts sowie allen, die bei der Fragebogenaktion und bei den Stakeholder-Workshops mitgewirkt haben.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft

Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

urn:nbn:de:0005-073333

## Kurzfassung

Grünland prägt in vielen Regionen Baden-Württembergs die Landschaft und übernimmt wichtige Funktionen im Natur-, Boden- und Wasserschutz. Seine Nutzung zur Raufuttererzeugung ist jedoch aufgrund des züchterischen und technischen Fortschritts sowie des Strukturwandels in der Milchviehhaltung rückläufig. Den Berechnungen zufolge werden bis zum Jahr 2015 rund 167.000 ha – über ein Viertel des gesamten Grünlands in Baden-Württemberg – keine Verwertung mehr in der Tierhaltung finden. Beinahe 90 % dieser Überschussflächen könnten zur Energieerzeugung genutzt werden. In der vorliegenden Studie werden die Eignung und Wirtschaftlichkeit verschiedener Verfahren der energetischen Verwertung von intensiv bzw. extensiv genutztem sowie – da Grünland in bestimmtem Umfang auch noch umgebrochen werden darf – in Maisflächen bzw. Pappel-Kurzumtriebsplantagen umgewandeltem Grünland untersucht. Anhand des wesentlich von ITAS entwickelten Integrativen Nachhaltigkeitskonzepts und 18 ausgewählter Indikatoren wird eine ganzheitliche Bewertung der Verfahren vorgenommen. Die Stoff- und Energieflüsse werden mit einem Lebenszyklusanalyseprogramm bilanziert. Zur Validierung der Ergebnisse und Erhebung abweichender Einschätzungen werden die Ergebnisse in Expertengesprächen sowie Stakeholder-Workshops zur Diskussion gestellt.

In der Gesamtschau zeigen die verschiedenen Nutzungspfade sowohl positive als auch negative Nachhaltigkeitseffekte. Zu den positiven Beiträgen der energetischen Grasnutzung gehören die Einsparung nicht erneuerbarer Energien und die Reduktion klimarelevanter Gase. Von Vorteil sind darüber hinaus der Erhalt des Boden- und Wasserschutzes, der Artenvielfalt und der Kulturlandschaft. Dagegen sind die Emissionen, die zu einem Anstieg der Gesundheitsrisiken, Versauerung und Eutrophierung führen, negativ zu bewerten. Trotz agrarpolitischer Prämien, energiepolitischer Förderung und relativ hoher Energiepreise ist die energetische Nutzung von Graspilage oder Heu heute nur in bestimmten Fällen wirtschaftlich. Die Wirkung der Verfahren auf Beschäftigung und Einkommen in der Landwirtschaft sind begrenzt. Die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem Grünland stellt sich dagegen ökonomisch als auch ökologisch vergleichsweise positiv dar. Deshalb bedarf es eines Grünlandentwicklungsplans, um Gebiete zu identifizieren, wo das Grünland erhalten bzw. verändert werden soll oder in Energiepflanzenfelder umgewandelt werden kann.

# **Energy from grassland – a sustainable development?**

## **Abstract**

In many regions of Baden-Württemberg permanent grassland is shaping the landscape and fulfils important functions in the protection of nature, soil, and water. However, traditional ways of using grassland for forage production are vanishing as a result of progress in breeding, the technological advance in milk production technology as well as structural adaptations in agriculture. According to calculations, about 167,000 ha – over one quarter of the total grassland in Baden-Württemberg – will no longer be used for animal husbandry until 2015. Almost 90% of this surplus area could be applied for the production of energy. In this study, the applicability and economic efficiency of different techniques for energy production from intensively or non-intensively used grassland as well as from grassland converted into maize fields or short-rotation poplars – the conversion of grassland is still possible to a certain limit – was analysed.

On the basis of the integrative sustainability concept developed by ITAS and 18 sustainability indicators selected, a comprehensive evaluation of the different technologies was made. The material and energy flows were balanced by means of a life cycle analysis program. In general, the different utilisation paths have both positive and negative impacts on aspects of sustainability. Positive effects of the use of grass for energy production are the preservation of biodiversity, the protection of soil, water, and the cultural landscape as well as the savings of non-renewable energy and the reduction of greenhouse gas emissions. However, the emissions increasing health risks, acidification, and eutrophication are counting negative. Even when agricultural policy premiums paid and the financial support for the promotion of renewable energies are taken into account, the production of energy from grass silage or hay is only in exceptional cases economically efficient. Despite the relatively high energy prices and the strong financial support, effects on employment and income in agriculture will be modest. Short-rotation poplars on converted grassland are comparatively advantageous from the economic and ecological point of view. Therefore a development plan for grassland is needed to identify areas where grassland should be preserved and where it could be modified or even converted for example into short-rotation poplar plantations.

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| Inhaltsverzeichnis.....                                         | I         |
| Abbildungsverzeichnis .....                                     | III       |
| Tabellenverzeichnis.....                                        | VII       |
| Abkürzungsverzeichnis .....                                     | IX        |
| <b>1 Hintergrund und Zielsetzung.....</b>                       | <b>1</b>  |
| <b>2 Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg.....</b>           | <b>4</b>  |
| 2.1 Regionale Unterschiede in der Grünlandverteilung.....       | 4         |
| 2.2 Methode zur Berechnung des überschüssigen Grünlands .....   | 5         |
| 2.3 Gegenwärtiger Grünlandüberschuss .....                      | 11        |
| 2.4 Zukünftiger Grünlandüberschuss .....                        | 12        |
| 2.4.1 Einflussgrößen und ihre Entwicklung .....                 | 13        |
| 2.4.2 Berechnungen für 2015 .....                               | 21        |
| 2.5 Umfragen bei den Landwirtschaftsämtern.....                 | 25        |
| 2.6 Einordnung der Ergebnisse .....                             | 32        |
| <b>3 Verfahren zur energetischen Nutzung von Grünland .....</b> | <b>34</b> |
| 3.1 Biogas­erzeugung aus Grassilage und Mais .....              | 35        |
| 3.1.1 Substrateigenschaften .....                               | 36        |
| 3.1.2 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung .....                 | 40        |
| 3.1.3 Wirtschaftlichkeit.....                                   | 43        |
| 3.2 Thermische Verwertung von Heu.....                          | 52        |
| 3.2.1 Brennstoffeigenschaften.....                              | 52        |
| 3.2.2 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung .....                 | 54        |
| 3.2.3 Wirtschaftlichkeit.....                                   | 61        |
| 3.3 Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen .....          | 66        |
| 3.3.1 Verfahrensbeschreibung.....                               | 68        |
| 3.3.2 Wirtschaftlichkeit.....                                   | 74        |
| 3.4 Weitere Nutzungspfade .....                                 | 79        |
| 3.4.1 BtL-Anlagen .....                                         | 79        |
| 3.4.2 Bioraffinerie.....                                        | 80        |
| 3.5 Vergleich der Verfahren.....                                | 83        |
| 3.5.1 Wirtschaftlichkeit.....                                   | 83        |
| 3.5.2 Eignung der Grünlandüberschussflächen .....               | 86        |
| 3.5.3 Energiepotenziale.....                                    | 94        |

|                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>4 Bewertung im Kontext von Nachhaltigkeit .....</b>    | <b>98</b>  |
| 4.1 Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung .....   | 99         |
| 4.2 Nachhaltigkeitsindikatoren.....                       | 102        |
| 4.3 Ergebnisse der Auswirkungsanalysen .....              | 103        |
| 4.3.1 Substitution nicht erneuerbarer Energieträger ..... | 105        |
| 4.3.2 Freisetzung klimarelevanter Gase .....              | 108        |
| 4.3.3 Kosten der Reduktion von Treibhausgasen .....       | 113        |
| 4.3.4 Eutrophierung von Gewässern .....                   | 116        |
| 4.3.5 Versauerung von Böden und Gewässern .....           | 118        |
| 4.3.6 Gesundheitlich relevante Emissionen.....            | 120        |
| 4.3.7 Erhalt der Biodiversität .....                      | 129        |
| 4.3.8 Bodenschutz.....                                    | 133        |
| 4.3.9 Schutz der Grund- und Oberflächengewässer .....     | 134        |
| 4.3.10 Kulturelle Funktion des Grünlands .....            | 135        |
| 4.3.11 Beschäftigung .....                                | 137        |
| 4.3.12 Entlohnung.....                                    | 139        |
| 4.4 Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse .....    | 141        |
| <b>5 Stakeholder-Workshops .....</b>                      | <b>146</b> |
| 5.1 Zollernalbkreis .....                                 | 147        |
| 5.2 Kreis Ravensburg .....                                | 148        |
| <b>6 Handlungsempfehlungen .....</b>                      | <b>152</b> |
| <b>7 Zusammenfassung und Diskussion .....</b>             | <b>156</b> |
| <b>Literatur.....</b>                                     | <b>165</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|          |                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1:  | Entwicklung der Milcherzeugung, der Milchleistung je Kuh sowie der Anzahl der Milchkühe in Baden-Württemberg .....                                                                               | 1  |
| Abb. 2:  | Anteil des Dauergrünlandes an der LF in Baden-Württemberg auf Kreis- (links) und Gemeindeebene (rechts).....                                                                                     | 5  |
| Abb. 3:  | Jährliche Milchleistungssteigerung in den Kreisen Baden-Württembergs von 1991 bis 2003 .....                                                                                                     | 15 |
| Abb. 4:  | Gewinne und Verluste der Kreise Baden-Württembergs beim Milchquotenhandel in den Jahren 2002 bis 2004; Quotenhandel jeweils auf Regierungsbezirksebene .....                                     | 16 |
| Abb. 5:  | Entwicklung der Bestände an Mutterkühen, Pferden und Schafen .....                                                                                                                               | 19 |
| Abb. 6:  | Anteil der überschüssigen Grünlandflächen am Gesamtgrünland auf Kreisebene in den Jahren 2003 und 2015.....                                                                                      | 22 |
| Abb. 7:  | Veränderung des Grünlandüberschusses von 2003 bis 2015 .....                                                                                                                                     | 23 |
| Abb. 8:  | Anteil der überschüssigen Grünlandflächen am Gesamtgrünland auf Kreisebene in den Jahren 2003 (links) und 2015 (rechts) .....                                                                    | 24 |
| Abb. 9:  | Anteil der Pferde und Schafe an der Summe der Raufutterverzehrer (jeweils in Großvieheinheiten) in Baden-Württemberg im Jahr 2003.....                                                           | 25 |
| Abb. 10: | Vergleich der berechneten mit den von den Kreisen in zwei Umfragen geschätzten Grünlandüberschussflächen.....                                                                                    | 26 |
| Abb. 11: | Pfade zur Nutzung von überschüssigem Grünland zur Energiegewinnung .....                                                                                                                         | 34 |
| Abb. 12: | Entwicklung der Anzahl von Biogasanlagen und der elektrischen Anschlussleistung .....                                                                                                            | 35 |
| Abb. 13: | Schematische Darstellung einer Biogasanlage mit kontinuierlicher Beschickung und Volldurchmischung.....                                                                                          | 41 |
| Abb. 14: | Schematische Darstellung einer Biogasanlage, die mit stapelfähigen Substraten beschickt (Trockenfermentation) und im Perkolationsverfahren betrieben wird .....                                  | 43 |
| Abb. 15: | Kosten für Gras- und Maissilage frei Biogasanlage .....                                                                                                                                          | 46 |
| Abb. 16: | Bereitstellungskosten für Gras- und Maissilagen über 20 Jahre (inkl. aller Prämien, ohne Düngerwert für Gärrückstand).....                                                                       | 47 |
| Abb. 17: | Einspeisevergütungen entsprechend dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (2004) bei Inbetriebnahme der Anlage im Jahr 2005 .....                                                                        | 48 |
| Abb. 18: | Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz einer Substratmischung in unterschiedlich großen Biogasanlagen (inklusive Prämien) .....                                     | 50 |
| Abb. 19: | Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz verschiedener Substrate in einer 100 kW-Biogas-Hofanlage (inklusive Prämien und Nutzung von 5 % der verfügbaren Wärme) ..... | 50 |

|                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 20: Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz von Substratmischungen in Nass- bzw. Trockenfermentationsanlagen in einer 500 kW-Biogasanlage (inklusive Prämien) ..... | 51 |
| Abb. 21: Aufbau eines Ganzballenvergasers .....                                                                                                                                                      | 57 |
| Abb. 22: Beschickung und Abbrand des Ganzballenvergasers .....                                                                                                                                       | 58 |
| Abb. 23: Schnittbild einer Halmgutfeuerung mit beweglichem Treppenrost .....                                                                                                                         | 59 |
| Abb. 24: Aufbau einer Kleinfeuerung für Halmgutpellets und Getreide .....                                                                                                                            | 60 |
| Abb. 25: Kosten für Heu-Rundballen frei hofeigener Feuerungsanlage .....                                                                                                                             | 62 |
| Abb. 26: Brennstoffkosten für unterschiedliche Wiesentypen .....                                                                                                                                     | 63 |
| Abb. 27: Bereitstellungskosten für Heu frei Feuerungsanlage und Handelspreise für Biomassebrennstoffe und Heizöl .....                                                                               | 64 |
| Abb. 28: Entwicklung der Bereitstellungskosten für Heu-HD-Ballen (1 ha-Schlag) auf unterschiedlichen Standorten (inklusive Prämien) .....                                                            | 65 |
| Abb. 29: Wärmegestehungskosten bei Einsatz von Heubrennstoffen sowie vergleichbarer Biomassebrennstoffe und Heizöl .....                                                                             | 66 |
| Abb. 30: Entwicklung der Bereitstellungskosten für Pappel-Hackschnitzel .....                                                                                                                        | 76 |
| Abb. 31: Entwicklung der Waldhackschnitzelpreise 2003 bis 2006 (CARMEN 2006) und abgeschätzte Entwicklung der Pappel-Hackschnitzelkosten 2005 bis 2024 .....                                         | 78 |
| Abb. 32: Wärmegestehungskosten aus Pappel-Hackschnitzeln im Vergleich zu Heizöl .....                                                                                                                | 79 |
| Abb. 33: Schematische Darstellung des Biomass-to-Liquid-Prozesses .....                                                                                                                              | 80 |
| Abb. 34: Darstellung der möglichen Produktströme einer Grünen Bioraffinerie .....                                                                                                                    | 82 |
| Abb. 35: Vergütungen und Prämien je kWh bzw. je Hektar bei unterschiedlicher energetischer Nutzung .....                                                                                             | 84 |
| Abb. 36: Verteilung des Überschussgrünlands nach ihrer Nutzbarkeit zur Energiegewinnung auf Kreisebene .....                                                                                         | 91 |
| Abb. 37: Für eine Biogasnutzung geeignete überschüssige bzw. in Maisflächen umwandelbare Grünlandflächen (2015) .....                                                                                | 92 |
| Abb. 38: Regionale Verteilung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg in 2004 und 2006 .....                                                                                                          | 93 |
| Abb. 39: Regionale Verteilung der Pappel-Kurzumtriebsanbaufläche bei Ausschöpfung der Restriktionen zum Umbruch von überschüssigem Grünland (2015) .....                                             | 94 |
| Abb. 40: Energiepotenziale bei energetischer Nutzung des für 2015 ermittelten Überschussgrünlandes auf Kreisebene (ohne Umwandlung) .....                                                            | 95 |
| Abb. 41: Energiepotenziale aus dem Grünlandüberschuss bei unterschiedlichen Nutzungsstrategien .....                                                                                                 | 96 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 42: Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                          | 106 |
| Abb. 43: Flächenspezifische Energieeinsparung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                                | 107 |
| Abb. 44: Flächenspezifische Minderung der Freisetzung an CO <sub>2</sub> -Äquivalenten durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                  | 111 |
| Abb. 45: Minderung der Freisetzung an CO <sub>2</sub> -Äquivalenten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland zur Strom- und Wärmeproduktion im Vergleich mit dem deutschen Strom-Mix ..... | 111 |
| Abb. 46: Treibhausgas-Minderung pro Energieeinheit und Differenzkosten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland .....                                                                      | 113 |
| Abb. 47: Treibhausgas-Minderung pro Flächeneinheit und Differenzkosten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland .....                                                                      | 114 |
| Abb. 48: Flächenbezogener Brutto- und Nettoenergieertrag der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                     | 115 |
| Abb. 49: Kosten der Minderungsmaßnahmen pro Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland .....                                                               | 116 |
| Abb. 50: Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                      | 117 |
| Abb. 51: Erhöhung der Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen durch ungünstige Düngerausbringung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                      | 118 |
| Abb. 52: Flächenspezifische Erhöhung der Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland .....                                                                | 118 |
| Abb. 53: Freisetzung versauernd wirkender Emissionen der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                         | 119 |
| Abb. 54: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung versauernd wirkender Substanzen durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland .....                                                                | 120 |
| Abb. 55: Freisetzung von Feinstaub der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                                                                                           | 123 |

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 56: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Feinstaub durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....      | 124 |
| Abb. 57: Freisetzung von Stickoxiden der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                            | 125 |
| Abb. 58: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Stickoxiden durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....    | 125 |
| Abb. 59: Freisetzung von Kohlenmonoxid der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                          | 126 |
| Abb. 60: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Kohlenmonoxid durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland ..... | 126 |
| Abb. 61: Bildung von Sommersmog der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                                 | 128 |
| Abb. 62: Flächenspezifischer Beitrag zur Bildung von Sommersmog durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....            | 128 |
| Abb. 63: Flächenbezogener Arbeitszeitbedarf der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                     | 139 |
| Abb. 64: Entlohnung der Arbeitszeit der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland.....                             | 141 |

## Tabellenverzeichnis

|          |                                                                                                                                      |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1:  | Energiegehalte von Grundfuttermitteln in den Kreisen Baden-Württembergs .....                                                        | 6  |
| Tab. 2:  | Grundfutterbedarf bei Rindern, Pferden und Schafen.....                                                                              | 8  |
| Tab. 3:  | Grundfutterbedarf bei Milchkühen .....                                                                                               | 9  |
| Tab. 4:  | Flächenbedarf für die Futterbereitstellung nach Tierarten .....                                                                      | 10 |
| Tab. 5:  | Überschüssige Grünlandflächen in Baden-Württemberg im Jahr 2003 .....                                                                | 12 |
| Tab. 6:  | Gleichgewichtspreise sowie Angebots- und Nachfragemengen beim Milchquotenhandel in Baden-Württemberg im Zeitraum 2002 bis 2004 ..... | 17 |
| Tab. 7:  | Annahmen zur Entwicklung des Grünlandbestands und seiner Nutzung im Jahr 2015 .....                                                  | 21 |
| Tab. 8:  | Schätzungen zum Grünlandüberschuss und Angaben zur Nutzung der Überschussflächen (Umfrageergebnisse) .....                           | 28 |
| Tab. 9:  | Zusammensetzung und Futterwerte von Gras- und Maissilage sowie von Heu .....                                                         | 37 |
| Tab. 10: | Rohproteingehalte und daraus errechnete Stickstoffkonzentrationen von Gras- und Maissilagen (ohne Nitrat-N) .....                    | 37 |
| Tab. 11: | Biogaserträge von Gras- und Maissilage sowie Heu .....                                                                               | 39 |
| Tab. 12: | Trockenmasse-, Methan- und Methanhektarerträge von unterschiedlichen Grünlandstandorten, Schnittvarianten und Schnittterminen .....  | 40 |
| Tab. 13: | Biogaserträge von Gras- und Maissilage sowie Extensivheu .....                                                                       | 45 |
| Tab. 14: | Grunddaten für die betrachteten Biogasanlagen .....                                                                                  | 49 |
| Tab. 15: | Inhaltsstoffe und verbrennungsspezifische Stoffeigenschaften von Grünlandaufwuchs im Vergleich zu Stroh und Holz .....               | 53 |
| Tab. 16: | Inhaltsstoffe und verbrennungsspezifische Stoffeigenschaften verschiedener Grastypen .....                                           | 54 |
| Tab. 17: | Erträge unterschiedlicher Grünlandtypen.....                                                                                         | 56 |
| Tab. 18: | Techniken zur Verbrennung von Halmgütern in Mittel-/Großanlagen .....                                                                | 61 |
| Tab. 19: | Erträge von Pappel-Kurzumtriebsplantagen.....                                                                                        | 72 |
| Tab. 20: | Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen .....                                                | 74 |
| Tab. 21: | Bereitstellungskosten für Hackschnitzel aus Pappel-Kurzumtriebsplantagen .....                                                       | 76 |
| Tab. 22: | Flächenumfang hängiger und artenreicher Wiesen sowie Mähwiesen (Natura 2000) .....                                                   | 88 |
| Tab. 23: | Herleitung der am Grünlandüberschuss beteiligten extensiven Grünlandtypen für 2015 .....                                             | 89 |

|          |                                                                                                                                                                                                                               |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 24: | Aufteilung des Überschussgrünlandes auf Nutzungsformen für 2015 .....                                                                                                                                                         | 90  |
| Tab. 25: | Vergleich der Strom-Energiepotenziale von Überschussgrünland<br>mit der Brutto-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen .....                                                                                           | 97  |
| Tab. 26: | Vergleich der Wärme-Energiepotenziale aus Überschussgrünland<br>mit der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen .....                                                                                                  | 97  |
| Tab. 27: | Substanzielle Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung .....                                                                                                                                                             | 99  |
| Tab. 28: | Ausgewählte Indikatoren zur Operationalisierung der<br>Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung .....                                                                                                                    | 103 |
| Tab. 29: | Ökobilanziell abgeschätzte Prozessketten und ihre Abkürzungen .....                                                                                                                                                           | 104 |
| Tab. 30: | Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch und<br>Energieträgerreichweiten .....                                                                                                                                     | 105 |
| Tab. 31: | Energie- und flächenspezifische Verringerung der Freisetzung von<br>CO <sub>2</sub> -Äquivalenten der untersuchten Verfahren zur<br>Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw.<br>umgewandeltem Grünland ..... | 110 |
| Tab. 32: | Grenzwerte gesundheitlich relevanter Schadstoffemissionen bei der<br>energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs .....                                                                                                         | 121 |
| Tab. 33: | Schadstoffbelastung im ländlichen Raum in Baden-Württemberg .....                                                                                                                                                             | 127 |
| Tab. 34: | Bewertung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus<br>intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland<br>unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten .....                                                    | 144 |

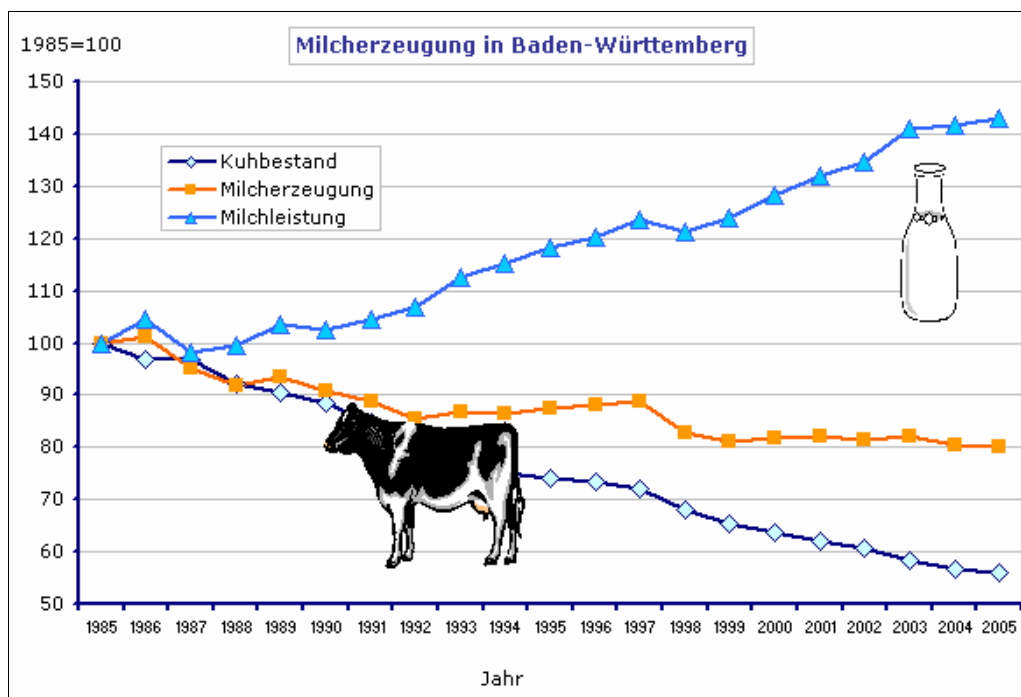
## Abkürzungsverzeichnis

|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| Akh             | Arbeitskraftstunde                                              |
| ALLB            | Amt für Landwirtschaft, Landschaft- und Bodenkultur             |
| BHKW            | Blockheizkraftwerk                                              |
| BImSchG         | Bundesimmissionsschutzgesetz                                    |
| BImSchV         | Verordnungen zum Bundesimmissionsschutzgesetz                   |
| BMU             | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BtL             | Biomass-to-Liquid                                               |
| C               | Kohlenstoff                                                     |
| CO              | Kohlenmonoxid                                                   |
| CO <sub>2</sub> | Kohlendioxid                                                    |
| EEG             | Erneuerbare-Energien-Gesetz                                     |
| EJ              | Exajoule                                                        |
| el              | elektrisch                                                      |
| FFH             | Fauna-Flora-Habitat                                             |
| FM              | Frischmasse                                                     |
| FWL             | Feuerungswärmeleistung                                          |
| GAP             | Gemeinsame Agrarpolitik                                         |
| GEMIS           | Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme                  |
| GIS             | Geographische Informationssysteme                               |
| GGP             | Gleichgewichtspreise                                            |
| GV              | Großvieheinheit                                                 |
| GWh             | Gigawattstunde                                                  |
| ha              | Hektar                                                          |
| HCl             | Chlorwasserstoff                                                |
| HD-Ballen       | Hochdruckballen                                                 |
| HS              | Hackschnitzel                                                   |
| KEA             | Kumulierter Energieaufwand                                      |
| KEV             | Kumulierter Energieverbrauch                                    |
| kg              | Kilogramm                                                       |
| km              | Kilometer                                                       |
| KTBL            | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft       |
| KUP             | Kurzumtriebspappeln                                             |
| kW              | Kilowatt                                                        |
| kWh             | Kilowattstunde                                                  |
| KWK             | Kraft-Wärme-Kopplung                                            |
| LF              | landwirtschaftlich genutzte Fläche                              |
| Lkw             | Lastkraftwagen                                                  |
| MEKA            | Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich                |
| MEPL            | Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum                 |
| MJ              | Megajoule                                                       |
| N               | Stickstoff                                                      |
| NaWaRo          | Nachwachsende Rohstoffe                                         |
| NEL             | Netto-Energie-Laktation                                         |
| NF              | Nassfermentation                                                |
| NH <sub>3</sub> | Ammoniak                                                        |

|                 |                                        |
|-----------------|----------------------------------------|
| NM VOC          | non methane volatile organic compounds |
| NO <sub>x</sub> | Stickoxide                             |
| oTS             | organische Trockenmasse                |
| PK-Dünger       | Phosphat-Kalium-Dünger                 |
| RB              | Rundballen                             |
| RegB            | Regierungsbezirk                       |
| t               | Tonne                                  |
| TA Luft         | Technische Anleitung Luft              |
| TF              | Trockenfermentation                    |
| Tg              | Terragramm                             |
| TM              | Trockenmasse                           |
| TS              | Trockensubstanz                        |

## 1 Hintergrund und Zielsetzung, Aufbau des Berichts

Grünland prägt in vielen Regionen Deutschlands das Landschaftsbild. Die Nutzung des Grünlands als Futterlieferant führt zu Beschäftigung und Einkommen in der Landwirtschaft. Im Umwelt- und Naturschutz hat das Grünland vielfältige Funktionen. Es dient dem Boden- und Wasserschutz und kann, abhängig von seiner Lage und Ausprägung, eine hohe Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz haben. Auch für den Tourismus spielt das durch Wiesen und Weiden geprägte Landschaftsbild eine wichtige Rolle. Die Erhaltung von Grünland im Allgemeinen und von Extensivgrünland im Besonderen hat deshalb eine hohe Priorität im Natur- und Umweltschutz und in der Agrarpolitik. Trotz dieser Wertschätzung ist die Grünlandnutzung durch die Rindviehhaltung seit Jahren rückläufig. Ein Grund dafür ist der züchterische und technische Fortschritt, der zu einem stetigen Anstieg der Milchleistung pro Kuh und aufgrund nahezu konstanter Milcherzeugung zu einer Verringerung des Bestandes an Milchkühen in Baden-Württemberg geführt hat (Abb. 1).



(Datengrundlage: Statistisches Landesamt 2005a)

Abb. 1: Entwicklung der Milcherzeugung, der Milchleistung je Kuh sowie der Anzahl der Milchkühe in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg hat mit 38 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche einen im Bundesvergleich überdurchschnittlich hohen Grünlandanteil und ist daher von dieser Entwicklung besonders betroffen. Seit 1991 ist die Milchleistung je Kuh in Baden-Württemberg um rund 40 % gestiegen und – bei einer bedingt durch die Milchquote weitgehend konstanten Gesamtmenge an erzeugter Milch – der Bestand an Kühen um circa 30 % zurückgegangen. In vielen Regionen Baden-Württembergs gibt es deshalb Grünlandflächen, die nicht mehr für die Tierfütterung benötigt werden.

Wo dies möglich ist, werden überschüssige – das heißt in diesem Kontext nicht mehr für die Erzeugung von Raufutter benötigte – Grünlandflächen zu Ackerland umgebrochen oder

aufgeforstet. Eine Umwandlung von Grünlandflächen ist zukünftig jedoch nur noch begrenzt möglich. Das Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz aus dem Jahr 2004 sieht vor, dass bei einer Abnahme des Verhältnisses von Dauergrünlandflächen zu landwirtschaftlich genutzten Flächen von mehr als 5 % im Vergleich zum Referenzjahr 2003 der Umbruch genehmigt werden muss. Bei einer Abnahme von mehr als 8 % kann, bei mehr als 10 % muss eine Neuanlage von Dauergrünland vorgeschrieben werden (Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz 2004).

Vor diesem Hintergrund führte das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am Forschungszentrum Karlsruhe im Auftrag des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg eine Untersuchung über neue Wege zur nachhaltigen Entwicklung von Grünland durch. In dem vorliegenden Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben werden die Methoden und Ergebnisse des Forschungsprojektes dokumentiert. In Kapitel 2 wird der Umfang an überschüssigen Grünlandflächen in Baden-Württemberg auf Kreisebene ermittelt. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Annahmen werden erläutert und die Ergebnisse für die Gegenwart und die Trendfortschreibung bis zum Zieljahr 2015 dargestellt. Anschließend werden die Informationen aus zwei Umfragen bei den Landwirtschaftsämtern in Baden-Württemberg zusammenfassend wiedergegeben. Die in den Umfragen erhobenen Angaben zum Grünlandüberschuss werden mit den berechneten Grünlandüberschüssen verglichen, um Hinweise auf abweichende Einschätzungen zu gewinnen und zur Validität der Projektergebnisse beizutragen.

In Kapitel 3 werden auf der Grundlage technischer, ökonomischer und ökologischer Kenngrößen verschiedene Prozessketten zur energetischen Nutzung des Grünlandaufwuchses untersucht. Zu den betrachteten Verfahren der Energiegewinnung aus dem Grünland gehören die Verwendung von Grassilage (mit Gülle und Maissilage in einer Nassfermentation) und von Heu extensiv genutzter Flächen (mit Maissilage in einer Trockenfermentation) zur Stromerzeugung sowie die thermische Nutzung von Heuballen und Heupellets in Kleinfeuerungsanlagen. Da in einem bestimmten Umfang der Umbruch von Grünland mit nachfolgendem Energiepflanzenanbau möglich ist, werden daneben auch der Maisanbau und die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln und die Nutzung dieser Energiepflanzen zur Strom- bzw. Wärmeerzeugung analysiert. Die Pappel-Kurzumtriebsplantagen werden im Bericht ausführlich dargestellt, weil es sich hierbei nicht um ein standardisiertes landwirtschaftliches Produktionsverfahren handelt. Die Erzeugung von Maissilage wird dagegen zusammen mit der Grassilageproduktion dargestellt. In Kapitel 3 wird die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Verfahren abgebildet und die Eignung der Überschussflächen zur fermentativen bzw. thermischen Nutzung des Aufwuchses oder zur Umwandlung in Maisanbauflächen oder Pappel-Kurzumtriebsplantagen ermittelt. Darauf aufbauend wird das energetische Potenzial von Grünlandüberschussflächen bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien bestimmt.

Die Verfahren zur energetischen Verwertung von intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland werden in Kapitel 4 hinsichtlich ihres Beitrags zu einer nachhaltigen Entwicklung bewertet. Dazu wird das am ITAS entwickelte integrative Nachhaltigkeitskonzept angewandt. Zunächst werden die von der Projektfragestellung betroffenen Nachhaltigkeitsziele erläutert und die ausgewählten Indikatoren zur Operationalisierung der Ziele vorgestellt. Die Auswirkungen der Verfahren auf insgesamt 18 Nachhaltigkeits-

indikatoren werden teilweise durch ökobilanzielle Abschätzungen mit Hilfe eines Lebenszyklusanalyseprogramms ermittelt. Am Ende des Kapitels werden die Einzelergebnisse zusammenfassend dargestellt und im Vergleich zur Referenz (Mulchen und Energieerzeugung aus nicht erneuerbaren Energieträgern) und zu den anderen Verfahren bewertet.

Um die an der nachhaltigen Entwicklung von Grünland auf regionaler und lokaler Ebene Beteiligten und Betroffenen in das Projekt einzubinden, wurden Stakeholder-Workshops im Zollernalbkreis und im Kreis Ravensburg durchgeführt. Bei den Workshops waren Akteure unterschiedlicher Provenienz und Interessensausrichtung vertreten, wie z. B. Vertreter von Naturschutzverbänden, landwirtschaftlichen Vereinigungen und aus Politik und Verwaltung sowie Landwirte mit Grünland. Die wesentlichen Ergebnisse der Workshops sind in Kapitel 5 dokumentiert.

Am Ende des Berichts werden Handlungsempfehlungen abgeleitet und die Ergebnisse des Forschungsprojekts zusammengefasst und diskutiert.

## 2 Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg

In diesem Kapitel wird zunächst dargestellt, wie das Grünland in Baden-Württemberg gegenwärtig regional verteilt ist. Dann wird die Vorgehensweise bei der Berechnung der Grünlandflächen, die nicht mehr zur Raufutterproduktion benötigt werden, erläutert. Die Kalkulationen basieren sowohl auf Auswertungen statistischer Datenreihen als auch auf erhobenen Angaben. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse für den gegenwärtigen Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg differenziert nach Kreisen dargestellt. Zur Ermittlung des zukünftigen Grünlandüberschusses werden Annahmen zur weiteren Entwicklung der Grünlandnutzung getroffen und darauf aufbauend Umfang und Verteilung der überschüssigen Grünlandflächen in Baden-Württemberg für das Zieljahr 2015 (Ende der Milchkontingentierung) berechnet.

Um Informationen über die Validität der Berechnungen und Hinweise auf abweichende Einschätzungen zu bekommen, wurden bei den 35 Ämtern für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur (ALLB) in Baden-Württemberg zwei zeitlich versetzte Umfragen durchgeführt. Dabei wurde nach dem Umfang und der Nutzung überschüssiger Grünlandflächen sowie der Qualität des Aufwuchses in den jeweiligen Stadt- und Landkreisen gefragt. In den Fällen, in denen zu dem Zuständigkeitsgebiet eines ALLB mehrere Kreise gehörten, wurden die Antworten nach den Kreisen differenziert, so dass am Ende der Befragung komplette Antwortbögen für alle 44 Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs vorlagen. Der Fragebogenrücklauf lag infolge der intensiven Begleitung bei 100 % (erste Umfrage) bzw. 80 % (zweite Umfrage). Die ausgewerteten Ergebnisse der Umfragen sind zusammenfassend dargestellt.

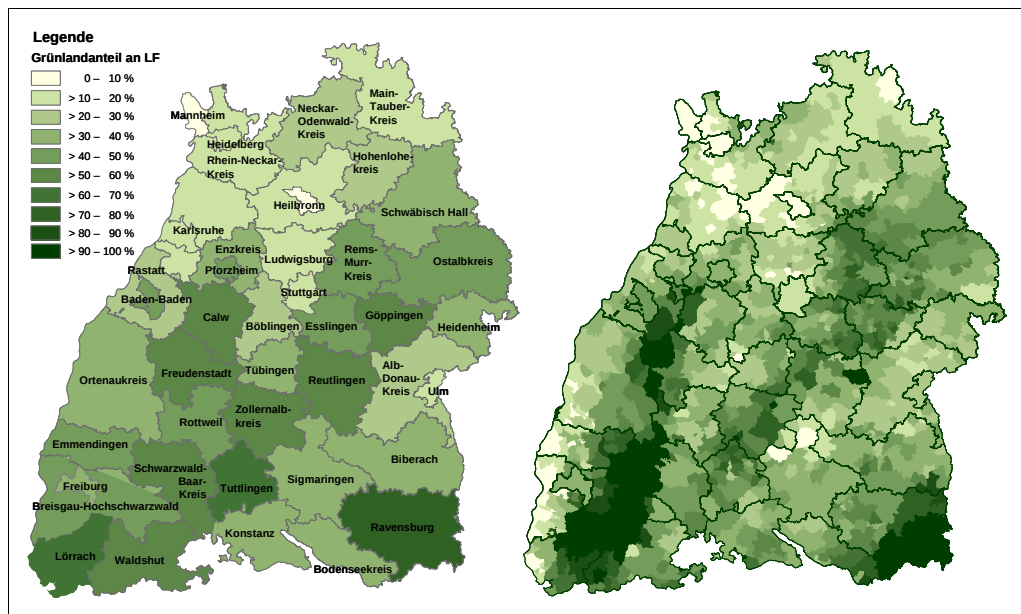
### 2.1 Regionale Unterschiede in der Grünlandverteilung

In Baden-Württemberg gab es in 2001 rund 636.000 ha Grünland (Statistisches Landesamt 2004a). Dies entspricht einem Anteil des Grünlands von circa 38 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Das Grünland ist regional unterschiedlich verteilt. Mit über 70.000 ha die größte Grünlandfläche unter den 35 Landkreisen Baden-Württembergs<sup>1</sup> weist der Kreis Ravensburg auf. Hohe Werte von über 30.000 ha Grünland haben der Ostalbkreis sowie die Kreise Biberach und Schwäbisch-Hall. Über 20.000 ha Grünland befinden sich jeweils in den Kreisen Alb-Donau-Kreis, Breisgau-Hochschwarzwald, Ortenaukreis, Reutlingen, Schwarzwald-Baar-Kreis und Waldshut. Der Kreis Ravensburg hat nicht nur absolut, sondern – bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) – mit 72 % auch relativ den größten Grünlandanteil. Weitere Gebiete mit Grünlandanteilen von über 60 % an der LF befinden sich in den Kreisen Lörrach, Tuttlingen und Schwarzwald-Baar (Abb. 2). Betrachtet man den Anteil des Grünlands an der LF auf Gemeindeebene, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Es wird erkennbar, dass vor allem im Schwarzwald und im Allgäu viele Gemeinden über sehr hohe Grünlandanteile an der LF von bis zu 100 % verfügen (Abb. 2). Weitere Grünlandschwerpunkte finden sich in einem Streifen von der Südwestalb über das Albvorland bis zu den Keuperwaldbergen. Auf der anderen Seite wei-

---

<sup>1</sup> Die neun Stadtkreise Baden-Württembergs werden wegen teilweise fehlender statistischer Daten bei den entsprechenden Landkreisen berücksichtigt.

sen Gemeinden in den Flussniederungen von Donau, Neckar, Rhein und Main einen besonders geringen Grünlandanteil an der LF von häufig unter 10 % auf.



(Datengrundlage: Statistisches Landesamt 2004a)

Abb. 2: Anteil des Dauergrünlandes an der LF in Baden-Württemberg auf Kreis- (links) und Gemeindeebene (rechts)

## 2.2 Methode zur Berechnung des überschüssigen Grünlands

Die Berechnung des Umfangs überschüssiger Grünlandflächen erfolgt auf der Basis statistischer Daten über Tierbestände, Flächennutzung und landwirtschaftliche Erträge in Baden-Württemberg (Statistisches Landesamt 2004a). Zunächst wird der tier- und leistungsspezifische Grundfutterbedarf (aus Grasschnitt, Grassilage, Heu, Weide, Hutung, Feldfutter sowie Silomais) der Raufutter verzehrenden Rinder (Kälber, Färsen, Milchkühe, Mutterkühe, Mastbullen), Pferde und Schafe auf Kreisebene abgeleitet. Anschließend wird anhand der langjährigen Durchschnittserträge und Energiegehalte der kreisspezifische Bedarf an Futterflächen (Wiesen, Mähweiden, Dauerweiden, Hutungen, Feldfutter, Silomais) zur Deckung des errechneten Futterbedarfs ermittelt. Aus dem Vergleich des jeweiligen Grünlandbedarfs auf Kreisebene mit den statistischen Angaben über die Grünlandfläche der Kreise wird der Umfang an überschüssigen Grünlandflächen abgeleitet. Nicht berücksichtigt wird dabei der Zu- oder Verkauf von Grundfutter über die Kreisgrenze hinweg.

### Qualität des Grundfutters

Grundlage zur Berechnung des Grundfutterbedarfs der Raufutterfresser ist der Energiegehalt der verschiedenen Futtermittel in der Futterration. Hierbei wird unterschieden zwischen der umsetzbaren Energie (ME) pro kg Trockenmasse (TM) Futter für Masttiere und dem Netto-Laktations-Energiegehalt (NEL) für die Milchkühe. Die Energiegehalte von Grundfuttermitteln variieren je nach Standort und Nutzungsintensität. Aus diesem Grund konnten Literaturangaben zu den Energiegehalten nicht ohne weiteres auf die einzelnen Regionen des Landes übertragen werden. Deshalb wurden im Rahmen der Umfragen bei den Landwirtschaftsäm-

tern die Energiegehalte der Grundfuttermittel abgefragt. In Tab. 1 sind die Spannweiten der Energiegehalte, die für die Kreise in Baden-Württemberg genannt wurden, dargestellt. Die Angaben differieren in einem erheblichen Ausmaß. Beispielsweise reichen sie bei Grassilage in Blüte von 5,0 bis 6,1 MJ NEL/kg TM. Dies entspricht einer Differenz von rund 22 %. Für Dauerweiden und Hutungen liegen keine kreisspezifischen Daten vor. Hier werden Literaturwerte von Briemle/Elsässer (1997) verwendet. Ein Vergleich der Futtermittelwerte in Tab. 1 zeigt, dass Maissilage in der Regel (siehe Weide gut Eingrasen) einen deutlich höheren Energiegehalt aufweist als Grassilage, Weide und Heu. Aus diesem Grund wird in der Rinderfütterung bevorzugt Maissilage eingesetzt.

Tab. 1: Energiegehalte von Grundfuttermitteln in den Kreisen Baden-Württembergs

| Futtermittel                     | Energiegehalte (Spanne) |                             |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                                  | MJ ME/kg TM             | MJ NEL <sup>1)</sup> /kg TM |
| Grassilage Ähren- / Rispschieben | 9,5 - 10,6              | 5,7 - 6,4                   |
| Grassilage in Blüte              | 8,3 - 10,1              | 5,0 - 6,1                   |
| Heu Beginn Blüte                 | 8,2 - 9,3               | 4,9 - 5,6                   |
| Heu Ende Blüte                   | 7,5 - 8,7               | 4,5 - 5,2                   |
| Mais, teigreif                   | 10,3 - 12,5             | 6,2 - 7,5                   |
| Weide gut / Eingrasen            | 10,0 - 11,3             | 6,0 - 6,8                   |
| Weide mittel                     | 8,5 - 10,0              | 5,1 - 6,0                   |
| Dauerweide <sup>2)</sup>         | 8,3                     | 5,0                         |
| Hutung <sup>2)</sup>             | 7,5                     | 4,5                         |

<sup>1)</sup> Netto-Energie-Laktation (NEL) ist ein Energiebewertungsmaßstab für Milchkühe und Ziegen in MJ

<sup>2)</sup> Briemle/Elsässer 1997

Quelle: Eigene Erhebung bei den Landwirtschaftsämtern Baden-Württembergs

## Grundfutterbedarf der Raufutterverzehrer

In den Berechnungen wird davon ausgegangen, dass der Grundfutterbedarf von Kälbern, Mutterkühen, Pferden und Schafen ausschließlich aus Grünlandaufwuchs (unter Einbeziehung von Feldfutter) gedeckt wird. Bei Milchkühen, Mastbullen und Färsen wird dagegen zwischen einer stark mais- und einer stark grünlandbetonten Variante unterschieden. Die jeweiligen Anteile dieser beiden Fütterungsarten werden in jedem Kreis so angepasst, dass die gemäß Berechnung für die Fütterung erforderliche Silomaisfläche mit der tatsächlichen Silomaisanbaufläche des Kreises übereinstimmt. Dabei wird unterstellt, dass Silomais aufgrund seines hohen Energiegehaltes (vgl. Tab. 1) bevorzugt in der Tierfütterung<sup>2</sup> eingesetzt wird und keine überschüssigen Silomaisanbauflächen existieren. Im Landesdurchschnitt führt diese Vorgehensweise zu einer ausgeglichenen Fütterung. Die durchschnittliche Ration besteht zu 52 % aus grünlandbetonter und zu 48 % aus maisbetonter Futtergrundlage. In den einzelnen Kreisen ergibt sich jedoch ein heterogeneres Bild. Um beispielsweise die vorhandenen Silomaisanbauflächen im Kreis Rastatt/Baden-Baden innerhalb der Kreisgrenze für die Tierfütterung zu verwerten, wird unterstellt, dass die Futterration zu 100 %

<sup>2</sup> Der Anbau von Silomais dient hier ausschließlich der Ernährung von Raufutterfressern, ein Einsatz als Substrat für Biogasanlagen wird nicht berücksichtigt.

maisbetont ist. Dagegen wird im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald aufgrund sehr geringer Silomaisanbauflächen zu 87 % eine grünlandbetonte Fütterung angenommen.

Der Anbau von Feldfutter (Klee- und Luzernegras, Grasanbau) wird in den Berechnungen wie Grünland (Wiesen und Mähweiden) behandelt. Das bedeutet, dass die Feldfutteranbauflächen mit den Grünlandflächen und die Feldfuttererträge mit den Grünlanderträgen zusammengefasst werden. Wie beim Silomaisanbau wird auch hier unterstellt, dass es keine überschüssigen Feldfutteranbauflächen gibt. Nachfolgend wird der Grundfutterbedarf der einzelnen Tierarten – unterschieden einerseits in Rinder, Pferde und Schafe und andererseits in Milchkühe – dargestellt und erläutert, welche Futtermischungen auf Basis der verschiedenen Grundfutterarten zur Deckung dieses Bedarfs unterstellt werden.

### **Grundfutterbedarf der Rinder, Pferde und Schafe**

In Tab. 2 sind der Grundfutterbedarf und die Zusammensetzung der Grundfuttermischungen für Rinder (Mastbullen, Kälber, Färsen, Mutterkühe, ohne Milchkühe), Pferde und Schafe in einer Übersicht zusammengestellt. Je nach Futtermischung kann die Mastdauer und somit der Futterbedarf erheblich variieren. So benötigt z. B. ein Mastbulle bei Fütterung mit Maissilage aufgrund der höheren Zunahmen mehr Energieeinheiten pro Jahr als bei Fütterung mit Grassilage (Tab. 2). Als Folge der verlängerten Mastdauer bei Fütterung mit Grassilage ergibt sich allerdings ein Mehrbedarf an Futterenergie von gut 10 % pro Tier.

Da anhand der Daten des Statistischen Landesamtes eine Differenzierung zwischen Aufzucht- und Mastfärsen nicht möglich ist, wird in den Berechnungen zwischen einer maisbetonten Fütterung (stellvertretend für Mastfärsen) und einer grünlandbetonten Fütterung (stellvertretend für Aufzuchtfärsen) unterschieden. Bei der maisbetonten Fütterung (Mastfärsen) wird bei einer Mastdauer von 17 Monaten unterstellt, dass die benötigte Energiemenge zu 50 % aus Maissilage und zu je 25 % aus Grassilage und Heu gewonnen wird. Bei der extensiven grünlandbetonten Fütterung (Aufzuchtfärsen) ist die Aufzuchtzeit mit 26 Monaten deutlich verlängert. Die angenommene Futtermischung setzt sich hier zu 50 % aus mittleren Weiden und zu je 25 % aus Grassilage und Heu zusammen. Es wird weiter davon ausgegangen, dass der Grundfutterbedarf der Mutterkühe ausschließlich aus weniger intensivem Grünlandaufwuchs wie Dauerweide, mittlerer Weide, Heu und Grassilage erzeugt wird. Kälber und Jungrinder, die bei den Mutterkühen aufwachsen, werden aufgrund fehlender statistischer Daten bei den Kälbern, Mastbullen und Färsen subsumiert.

Bei der Abschätzung des Futterbedarfs für Pferde wird in Anlehnung an Ernst (2001) davon ausgegangen, dass diese circa 9 kg TM pro Tier und Tag benötigen. Es wird unterstellt, dass dieser Futterbedarf zu 40 % aus mittleren Weiden und zu 60 % aus Heu gedeckt wird. Die Ermittlung des Futterbedarfs von Schafen basiert auf der Annahme, dass pro Mutterschaf 1,5 Lämmer aufgezogen werden, die Mastlämmer auf der Weide und am Schluss im Stall gehalten werden, das Ablammalter für Jungschafe bei 20 Monaten liegt und zur Bestandsergänzung 0,2 Jungschafe pro Mutterschaf erforderlich sind. Es wird weiter angenommen, dass das Sommerfutter aus Hutungen und mittleren Weiden, das Winterfutter zu gleichen Teilen aus Heu und Grassilage gedeckt wird.

Tab. 2: Grundfutterbedarf bei Rindern, Pferden und Schafen

| Tierart                                   | Mast-dauer | Futterbedarf               |                                          | Anteile an der Futterr ration in % |     |                 |       |                 |        |
|-------------------------------------------|------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-----|-----------------|-------|-----------------|--------|
|                                           |            | MJ ME/<br>Tier und<br>Jahr | kg TM/<br>Tier und<br>Jahr <sup>1)</sup> | Gras-<br>silage                    | Heu | Mais-<br>silage | Weide | Dauer-<br>weide | Hutung |
| Mastbulle M <sup>2)</sup><br>(125-600 kg) | 362 d      | 21.683                     | 1.913                                    | -                                  | -   | 100             | -     | -               | -      |
| Mastbulle G <sup>3)</sup><br>(125-600 kg) | 428 d      | 20.291                     | 2.064                                    | 100                                | -   | -               | -     | -               | -      |
| Kalb<br>(bis 125 kg)                      | 112 d      | 1.840 <sup>4)</sup>        | 225                                      | -                                  | 100 | -               | -     | -               | -      |
| Mastfärse<br>(125-500 kg)                 | 17 m       | 18.981                     | 1.901                                    | 25                                 | 25  | 50              | -     | -               | -      |
| Aufzuchtfärse<br>(5-30 Monate)            | 26 m       | 21.600                     | 2.389                                    | 25                                 | 25  | -               | 50    | -               | -      |
| Mutterkuh                                 |            | 34.146                     | 4.011                                    | 20                                 | 30  | -               | 10    | 40              | -      |
| Pferd                                     |            | 27.740                     | 3.249                                    | -                                  | 60  | -               | 40    | -               | -      |
| Mutterschaf                               |            | 3.820                      | 444                                      | 13                                 | 14  | -               | 51    | -               | 22     |
| Mastlamm                                  | 7 m        | 2.143                      | 249                                      | 7                                  | 7   | -               | 60    | -               | 26     |
| Jungschaf                                 | 20 m       | 3.187                      | 370                                      | 11                                 | 12  |                 | 54    | -               | 23     |

<sup>1)</sup> Durchschnittswerte für Baden-Württemberg

<sup>2)</sup> Maissilagefütterung

<sup>3)</sup> Grassilagefütterung

<sup>4)</sup> entspricht 1.140 MJ NEL

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL 2002, KTBL 2004 und Ernst 2001

## Grundfutterbedarf Milchkühe

Die Grundfutteraufnahme der Milchkühe hängt zum einen von der Qualität des Grundfutters und zum andern von der angestrebten Milchleistung ab. Mit steigender Milchleistung nehmen die Anforderungen an die Futterqualität und hier insbesondere an die Energiekonzentration in der Grundfuttermischung zu, da die Futteraufnahmekapazität der Milchkuh begrenzt ist. In der Vergangenheit ist die Leistungssteigerung der Milcherzeugung aus dem Grundfutter überwiegend durch den Einsatz von Mais- oder Grassilage und deren gestiegene Energiekonzentration erzielt worden<sup>3</sup>. Eine Zunahme der Grundfutterleistung durch energiereiches Grundfutter wird allerdings nur erreicht, wenn der Kraftfuttereinsatz nicht erhöht wird, da Kraftfutter Grundfutter verdrängt (Walter et al. 2005). Bei hoher Milchleistung (ab circa 6.000 kg pro Tier und Jahr) kommt es durch steigende Kraftfuttergaben zu einer Grundfuttermverdrängung (KTBL 2004).

In Anlehnung an KTBL (2004), LfL (2005a), Landwirtschaftsamt Bodenseekreis (2004) sowie Schwarz/Gruber (1999) wird in den Berechnungen von einer durchschnittlichen Grundfutteraufnahme von circa 12 kg TM pro Milchkuh und Tag ausgegangen. Dies ent-

<sup>3</sup> Auch der Einsatz von Pressschnitzeln, Raps und Soja zum Proteinausgleich hat auf Kosten des Grünlandfutters zugenommen.

spricht umgerechnet einer Grundfutterleistung von 3.285 l Milch (KTBL 2004) und einem Grundfutterbedarf von rund 28.000 MJ NEL pro Kuh und Jahr<sup>4</sup>. In Tab. 3 wird zur Deckung dieses Futterbedarfs zwischen einer stark maisbetonten (80 % Silomais, 15 % Grassilage und 5 % Heu) und einer stark grünlandbetonten (50 % Weide/Grasschnitt, 33 % Grassilage, 12 % Heu und 5 % Maissilage) Fütterung unterschieden.

Tab. 3: Grundfutterbedarf bei Milchkühen

|                                     | Futterbedarf             |                         | Anteile an der Futterrationsration in % |     |                 |       |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----|-----------------|-------|
|                                     | MJ NEL/<br>Tier und Jahr | kg TM/<br>Tier und Jahr | Gras-<br>silage                         | Heu | Mais-<br>silage | Weide |
| Milchkuh, maisbetonte Fütterung     | 28.020                   | 4.284                   | 15                                      | 5   | 80              | -     |
| Milchkuh, grünlandbetonte Fütterung | 28.020                   | 4.588                   | 33                                      | 12  | 5               | 50    |

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL 2004, Landwirtschaftsamt Bodenseekreis 2004, LfL 2005a, Schwarz/Gruber 1999

### Grundfüttererträge

Die Übertragung des Futterbedarfs auf die Fläche erfolgt mit kreisspezifischen Durchschnittserträgen. Hierzu werden Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg aus den Jahren 1983 bis einschließlich 2003 herangezogen. Durch den langen Betrachtungszeitraum werden witterungsbedingte Ertragsschwankungen (wie z. B. im Trockenjahr 2003) ausgeglichen. Da eine Auswertung über diesen Zeitraum keine signifikanten Ertragsänderungen ergeben hat, wird mit Durchschnittserträgen dieser Jahre gerechnet.

Von den Durchschnittserträgen müssen die Verluste abgezogen werden, die von der Ernte bis zur Bereitstellung am Futtertrog anfallen. Diese sind in den statistischen Angaben zu den Erträgen aus dem Grünland (geschätzte Angaben in „geernteten Heueinheiten“) bereits eingearbeitet (Statistisches Landesamt 2004a). Zusätzlich werden über alle Futtervarianten Verluste bei Lagerung, Entnahme und Futtervorlage in Höhe von 15 % abgezogen. KTBL (2004) nennt Werbungs- und Konservierungsverluste von 10 % (bei Grünfütterung) bis 35 % (bei Anwelksilage und Heu). Andere Autoren gehen von einem Verlust von der Ernte bis zur Bereitstellung am Tier von insgesamt rund 28 % des Aufwuchses aus und liegen somit in der gleichen Größenordnung (Buchgraber et al. 2003).

Das Statistische Landesamt gibt die Erträge für Silomais und Raufutter in unterschiedlichen Einheiten an. Während sich die Angaben für Silomais auf Frischmasse beziehen, werden die Raufuttererträge als Heugewicht angegeben. Bei der Umrechnung der Heugewichte in Trockenmasse wird ein Mittelwert von 85 % TM angenommen. Die TM-Gehalte für Maissilage liegen nach KTBL 2004 zwischen 25 und 38 %. In den Berechnungen wird nach LfL (2004) ein TM-Gehalt von 33 % gewählt. Der statistische Heuertrag in Baden-

<sup>4</sup> Dem Rinderreport Baden-Württemberg zufolge werden zwischen 774 und 4.445 l Milch pro Kuh und Jahr aus Grundfutter erzeugt (LEL 2003). Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Milchleistung aus dem Grundfutter nicht gemessen, sondern rechnerisch nach Abzug der Milchleistung aus Kraftfutter ermittelt wurde. Derartige Angaben können als Vergleich für die Verwertung des Grund- und Kraftfutters dienen, aber nicht für die tatsächliche Grundfutteraufnahme herangezogen werden.

Württemberg variiert zwischen 5,4 t TM/ha in den Kreisen Waldshut und Tuttlingen und 7,1 t TM/ha im Kreis Ravensburg. Im langjährigen Schnitt liegt der Ertrag in Baden-Württemberg bei rund 6 t TM/ha (entsprechend 70,6 dt FM/ha). Der Silomaisertrag ist im landesweiten langjährigen Durchschnitt mit 15,2 t TM/ha (entsprechend 461 dt FM/ha) mehr als doppelt so hoch. Den niedrigsten Silomaisertrag weist mit 13,4 t TM/ha der Kreis Reutlingen, den höchsten mit 17,2 t TM/ha der Kreis Böblingen auf. Da für Dauerweiden und Hutungen keine statistischen Ertragsangaben vorliegen, wurden die Erträge von Dauerweiden mit 80 % des durchschnittlichen Raufutterertrages pro Kreis abgeschätzt. Für Hutungen wurde für alle Kreise ein einheitlicher Ertrag von 2 t TM/ha angenommen (nach Briemle/Elsäßer 1997). In Tab. 4 ist der landesweite Flächenbedarf zur Deckung des Futterbedarfs dargestellt, wie er sich aus dem Grundfutterbedarf je Tierart, der Anzahl der Tiere, den Erträgen je Hektar und den Energiegehalten des Futters errechnet.

Tab. 4: Flächenbedarf für die Futterbereitstellung nach Tierarten

|                         | Anzahl Tiere 2003 | Flächenbedarf (ha) |               |
|-------------------------|-------------------|--------------------|---------------|
|                         |                   | Grünland           | Silomais      |
| Kälber                  | 169.966           | 7.325              | -             |
| Mastbullen              | 162.114           | 33.926             | 11.465        |
| Färsen                  | 344.721           | 118.574            | 9.855         |
| Mutterkühe              | 63.219            | 55.082             | -             |
| Milchkühe               | 395.659           | 216.107            | 47.456        |
| <i>Rinder insgesamt</i> | <i>1.135.679</i>  | <i>431.014</i>     | <i>68.776</i> |
| Pferde                  | 64.212            | 32.840             | -             |
| Schafe                  | 301.212           | 35.709             | -             |
| <i>Summe</i>            | <i>1.501.103</i>  | <i>499.562</i>     | <i>68.776</i> |

Quelle: Statistisches Landesamt 2004b und eigene Berechnungen

### Einbeziehung von Kleinstbetrieben

In den bisherigen Berechnungen wird als Datengrundlage von den Zahlen zur landwirtschaftlichen Nutzfläche ausgegangen, die jährlich vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg auf Betriebsebene erhoben werden. Im Jahr 2003 umfasste die so ermittelte Grünlandfläche 565.085 ha. Vergleicht man diese Zahl mit der Grünlandfläche aus der tatsächlichen Bodennutzung auf Gemeinde- und Kreisebene (2001: 635.969 ha), die alle vier Jahre erhoben wird – aber keine Differenzierung nach Art der Grünlandnutzung enthält –, ergibt sich ein Saldo von rund 70.900 ha Grünland. In der Regel ist auch auf Kreisebene die Gesamtfläche an Dauergrünland aus der tatsächlichen Bodennutzung größer als die landwirtschaftlich genutzte (LF) Grünlandfläche.

Die Diskrepanz zwischen Grünlandfläche aus der tatsächlichen Bodennutzung und der Grünlandfläche nach agrarstatistischer Erhebung beruht im Wesentlichen auf Unterschieden bei der Datenerfassung. Während bei der Bodenflächenerhebung nach der tatsächlichen Nutzung alle Grünlandflächen ermittelt werden, erfasst die Bodennutzungshaupterhebung nur die Flächen, die von Betrieben ab zwei ha Nutzfläche oder mit einer Mindestan-

zahl an Tieren (z. B. acht Rinder oder 20 Schafe) bewirtschaftet werden. Da außerdem die bewirtschaftete Fläche unabhängig von ihrer tatsächlichen Lage den jeweiligen Betrieben zugeordnet wird, können die bewirtschafteten Flächen, bedingt durch Kauf oder Pacht auch in angrenzenden Bundesländern bzw. Nachbarstaaten (bei kreisweiter Betrachtung jeweils auch in Nachbarkreisen) liegen. In einigen Landkreisen gibt es deshalb mehr landwirtschaftlich genutzte Grünlandfläche als gemäß Bodennutzungserhebung tatsächlich vorhandene Grünlandfläche.

Die auf Basis der Bodenflächenerhebung erfassten „zusätzlichen“ 70.900 ha Grünlandflächen gehören überwiegend zu Kleinstbetrieben und „Stücklesbesitzern“ mit weniger als 2 ha Nutzfläche. Es ist davon auszugehen, dass diese Flächen nicht vollständig ohne Nutzung für die Tierfütterung sind. Allerdings werden in der Agrarstatistik die dort gehaltenen Tiere nicht erfasst. In den Berechnungen wird der Umfang dieser „zusätzlichen“ kleinen Tierbestände deshalb durch den Vergleich von Datensätzen früherer Jahre abgeschätzt, für die sowohl Informationen über den Tierbestand auf der Basis der gegenwärtig gültigen Erfassungsgrenzen als auch früher geltenden Erfassungsgrenzen, bei denen auch die Tierhaltung in kleineren Tierbeständen aufgezeichnet wurden.

Eine Fortschreibung dieser Zahlen ergibt für Pferde<sup>5</sup> eine Erhöhung des statistisch erfassten Bestandes um circa 50 %, für Schafe um circa 10 %. Der Bestand an Rindern wurde nicht verändert, da eine entsprechende Auswertung mangels Datenverfügbarkeit nicht durchgeführt werden konnte und davon ausgegangen wird, dass in Kleinstbetrieben nur wenige Rinder gehalten werden. In den Berechnungen zum Futterbedarf dieser in Kleinstbetrieben gehaltenen Tiere werden für die „zusätzlichen“ Grünlandflächen über alle Kreise hinweg ein einheitlicher Ertrag von rund 4 t TM/ha und Jahr angenommen. Zur Futterbereitstellung für diese zusätzlichen Pferde und Schafe werden damit rund 28.000 ha benötigt. Hierdurch verringert sich die nicht für die Tierfütterung benötigte zusätzliche Grünlandfläche auf circa 43.100 ha. Das bedeutet, dass im Landesmittel circa 61 % des „zusätzlichen“ Grünlandes als Überschussfläche in die Berechnungen mit eingehen.

## 2.3 Gegenwärtiger Grünlandüberschuss

Zur Berechnung des gegenwärtigen Grünlandüberschusses wird – wie im vorhergehenden Kapitel dargestellt – auf der Basis langjähriger Durchschnittserträge und kreisspezifischer Energiegehalte der Futtermittel – der kreisspezifische Bedarf an Futterflächen (Wiesen, Mähweiden, Dauerweiden, Hutungen, Feldfutter, Silomais) zur Deckung des errechneten Futterbedarfs ermittelt. Aus der Differenz zwischen Grünlandbedarf und vorhandener Grünlandfläche wird auf Kreisebene der Umfang an überschüssigen Grünlandflächen abgeleitet. Auf Grundlage der Berechnungen werden GIS-gestützte Auswertungen auf Kreisebene vorgenommen, aus denen der Anteil an überschüssigen Grünlandflächen und deren regionale Verteilung hervorgeht. Die Gesamtfläche an überschüssigem Grünland ergibt

<sup>5</sup> Bei den Pferdebeständen ist die Agrarstatistik besonders unscharf, da seit 1999 für Pferde keine Anzahl mehr definiert ist, ab der Pferde haltende Betriebe in die Agrarstatistik aufgenommen werden. Bis 1998 galt als Erfassungsgrenze bei der Viehzählung ein Bestand von zwei Pferden. Nicht mehr erfasst werden auch Viehhalter ohne Betriebseigenschaft wie z. B. Reitvereine.

sich aus der Summe der überschüssigen landwirtschaftlich genutzten Grünlandflächen und der „zusätzlichen“ überschüssigen Grünlandflächen (Tab. 5).

Tab. 5: Überschüssige Grünlandflächen in Baden-Württemberg im Jahr 2003

|                                |                  | Vorhandener<br>Flächenumfang |            | Flächen-<br>bedarf für<br>Grundfutter | Grünland-<br>Überschussfläche |    |
|--------------------------------|------------------|------------------------------|------------|---------------------------------------|-------------------------------|----|
|                                |                  | Grünland                     | Feldfutter |                                       |                               |    |
|                                |                  | ha                           |            |                                       | ha                            | %  |
| Dauergrünland LF*              |                  | 565.085                      |            |                                       |                               |    |
| davon                          | Dauerweiden      | 38.729                       |            | 30.263                                | 8.466                         | 22 |
|                                | Hutungen         | 20.982                       |            | 18.182                                | 2.800                         | 13 |
|                                | Wiesen/Mähweiden | 505.373                      | 26.616     | 451.118                               | 80.870                        | 16 |
| Dauergrünland LF u. Feldfutter |                  | 591.701                      |            | 499.562                               | 92.137                        | 16 |
| Zusätzliche Grünlandfläche**   |                  | 70.885                       |            | 27.847                                | 43.038                        | 61 |
| Grünland insgesamt             |                  | 635.969                      | 26.616     | 527.409                               | 135.175                       | 21 |

\* Basis 2003, \*\* Basis 2001

Auf Kreisebene weist der Zollernalbkreis mit fast 10.000 ha den größten Grünlandüberschuss auf. Über jeweils 5.000 ha und mehr überschüssige Grünlandflächen verfügen einige Kreise, wie z. B. die Kreise Konstanz, Esslingen und der Bodenseekreis. Bezogen auf die Grünlandfläche erreicht der Überschussanteil in bestimmten Kreisen über 50 %.

Die Bilanzierung des Futterbedarfs für die Raufutterfresser und seiner Deckung durch verschiedene Grundfutterarten für Baden-Württemberg ergibt sich ein Überschuss von rund 92.000 ha landwirtschaftlich genutzter Grünlandfläche. Dies entspricht circa 16 % der LF-Grünlandfläche in Baden-Württemberg. Bei über 80 % davon handelt es sich um Wiesen und Mähweiden. Zusammen mit der „zusätzlichen“ Grünlandfläche beläuft sich der Grünlandüberschuss auf rund 135.000 ha, bzw. 21 % der gesamten Grünlandfläche in Baden-Württemberg.

## 2.4 Zukünftiger Grünlandüberschuss

Entscheidend für die Entwicklung des Grünlandüberschusses ist der zukünftige Futterbedarf, der vorrangig durch die Anzahl Raufutter fressender Tiere bestimmt wird. Weiteren Einfluss haben die Futterqualität, die Zusammensetzung der Futtermischung und die Flächenverfügbarkeit. Die Tierbestände wiederum werden in starkem Maße durch agrarpolitische Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitsaspekte bestimmt. In der EU-Agrarreform (BMVEL 2004) wurden für die Grünlandnutzung durch Rinder haltende Betriebe einige grundlegende Beschlüsse gefasst. Hierzu zählen die Verlängerung der Milchkontingentierung bis 2015, die Stützpreissenkungen für Butter und Magermilchpulver, die Einführung einer Grünlandprämie und einer Milchprämie, die Erhaltung von Dauergrünland mit Umbrucheinschränkung sowie die Mindestpflege des Dauergrünlandes. Diese Rahmenbedingungen werden für jede Tierart unterschiedliche Auswirkungen haben. Im Folgenden wer-

den Annahmen getroffen, um für die wesentlichen Parameter die weitere Entwicklung zu definieren und auf dieser Basis den zukünftigen Grünlandüberschuss zu ermitteln. Da mit der Milchkontingentierung eine bestimmende Einflussgröße auf die Grünlandnutzung bis 2015 fortgeschrieben wurde, wird für die Abschätzung des zukünftigen Grünlandüberschusses dieses Jahr als Zieljahr gewählt. Die Trendfortschreibung basiert im Wesentlichen auf statistischen Daten bis zum Jahr 2003.

#### **2.4.1 Wesentliche Einflussgrößen und ihre Entwicklung**

In den Berechnungen des zukünftigen Grünlandüberschusses werden die bestehenden Trends in der Tierhaltung ohne nennenswerte Brüche fortgeschrieben. Nachfolgend wird dokumentiert, welche Annahmen zur Entwicklung und regionalen Verteilung der Milchviehhaltung getroffen werden, welche Veränderungen im Bestand an anderen Raufutterfressern (Mutterkühe, Pferde, Schafe) unterstellt werden und wie sich die zukünftige Flächenbelegung durch den Ökolandbau, den Silomaisanbau sowie die zukünftige Umwandlung von Grünland in Siedlungs- und Verkehrsfläche in der Trendfortschreibung darstellt.

##### **Milchkühe**

In der Trendfortschreibung ist die Anzahl der Milchkühe in Baden-Württemberg abhängig von der Höhe der Milcherzeugung und von der durchschnittlichen Milchleistung pro Kuh. Die regionale Verteilung der Milcherzeugung hängt außerdem noch vom Milchquotenhandel ab. Für die Entwicklung dieser drei Einflussfaktoren werden anschließend Annahmen getroffen.

##### *Milcherzeugung*

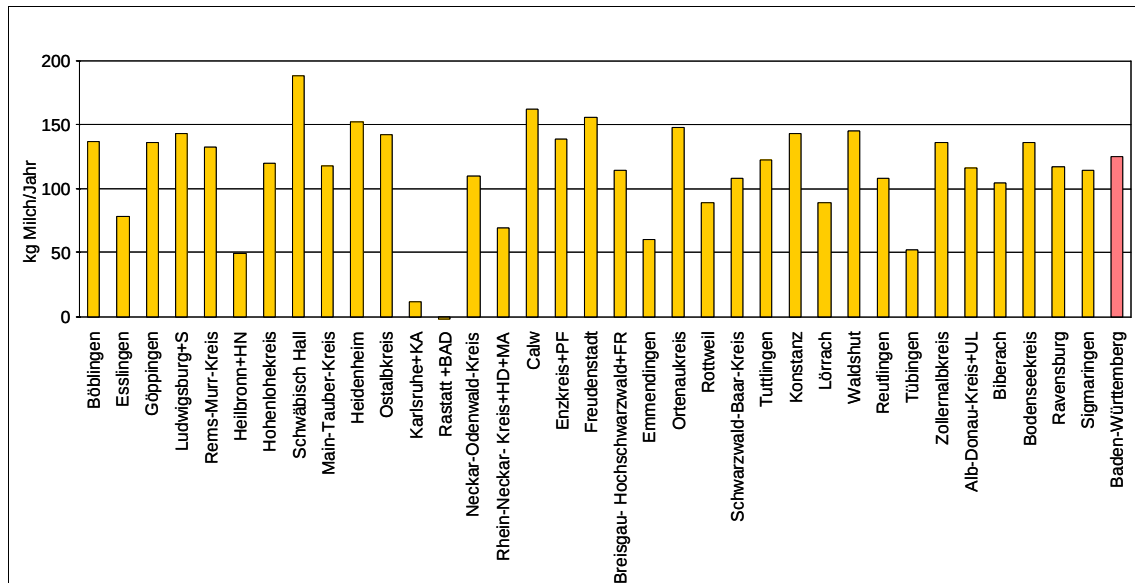
Welche Milchmenge in Baden-Württemberg erzeugt werden kann, wird durch die Agrarpolitik, d. h. die Milchquoten, die für Deutschland und alle anderen EU-Mitglieder festgeschrieben sind, bestimmt. Da in Deutschland die Rechte zur Milcherzeugung nur innerhalb der Bundesländer gehandelt werden dürfen, ist die Milchmenge, die produziert werden kann, auch auf Ebene der Bundesländer festgeschrieben. Darüber hinaus gibt es in Baden-Württemberg eine regionale Beschränkung der Milcherzeugung: die Milchquoten dürfen nur innerhalb der Regierungsbezirke gehandelt werden. Ab Juli 2007 gibt es keine regionalen Übertragungsgebiete mehr, sondern nur noch zwei Übertragungsregionen (West und Ost). Bei der letzten Milchquotenbörse mit landesweit vier Übertragungsgebieten sind die baden-württembergischen Quotenpreise stark zurückgegangen (Ausnahme: Regierungsbezirk Freiburg) (Anonym 2007). Ab dem Jahr 2010 werden die Milchquoten voraussichtlich bundesweit einheitlich gehandelt. Es ist davon auszugehen, dass die Kaufpreise für Milchquoten weiter sinken werden, da die Quotenregelung bis 2015 befristet ist. Da zum Zeitpunkt als die Studie durchgeführt wurde, wohl Forderungen zur Aufhebung der Beschränkung des Milchquotenhandels auf Regierungsbezirksebene in der Diskussion waren (Seitz 2005), nicht jedoch zwei Quotenbörsen in West und Ost, wird in den Berechnungen von einem gemeinsamen Übertragungsbereich für den Milchquotenhandel in Baden-Württemberg ausgegangen.

Für die Fortschreibung der Milcherzeugung in Baden-Württemberg wird unterstellt, dass die Milchpreissenkungen keine Auswirkungen auf die Höhe der Milcherzeugung haben werden. Diese Annahme basiert zum einen drauf, dass die Gleichgewichtspreise bei den Milchbörsen im April und Juli 2005 gegenüber den Vorjahren zwar gefallen sind, die Nachfrage nach Milchquote aber nach wie vor das Angebot bei weitem übersteigt. Trotz der durch die neue Agrarreform verschlechterten Rahmenbedingungen sehen die Landwirte in der Milchproduktion offensichtlich auch weiterhin gute Perspektiven oder aber sie haben keine Alternativen zur Milchviehhaltung. Zum anderen zeigen Untersuchungen, dass auch bei einer Senkung des Milchpreises um 15 % gegenüber 1999 kaum Änderungen bei der Milcherzeugung zu erwarten sind (Kleinhanss/Hüttel 2004). Erst bei einer Milchpreissenkung um 20 % ergäbe sich in den südlichen Bundesländern (Bayern und Baden-Württemberg) eine Abnahme der Milchproduktion um circa 2,5 %. Da der Milchpreis von 1999 bis 2006 um rund 0,5 % abgenommen hat, ist aktuell nicht von einem Milchpreiseffekt auf die Milchproduktion auszugehen (ZMP 2006).

### *Milchleistung*

Die Milchleistung je Kuh hat sich in Baden-Württemberg in den letzten Jahren stark erhöht. Sie stieg von 4.285 kg je Kuh und Jahr im Jahr 1991 auf 5.783 kg im Jahr 2003. Dies entspricht einer Zunahme von 125 kg bzw. 2,9 % pro Jahr. Seit 1999 beträgt die durchschnittliche Steigerung der Milchleistung sogar 177 kg pro Jahr. In den einzelnen Kreisen war die Leistungssteigerung unterschiedlich ausgeprägt. Abb. 3 zeigt, dass einzelne Kreise wie Rastatt/Baden-Baden oder Karlsruhe nur sehr geringe Steigerungen oder sogar Rückgänge zu verzeichnen haben, während Kreise wie Schwäbisch-Hall oder Calw jährliche Zuwachsraten von über 150 kg Milch erreichen (Statistisches Landesamt 2004a).

Durch die Einführung der Grünlandprämie, das Abschmelzen der Tierprämien und die weitgehende Freigabe des Milchpreises im Rahmen der neuen Agrarreform kommt es zukünftig noch stärker als bisher darauf an, die Milch zu möglichst geringen Kosten zu produzieren. Dies ist zum einen durch eine möglichst hohe Milchleistung je Kuh (Hochleistungsstrategie) und zum anderen durch eine Maximierung des Weideanteils (Vollweidestrategie) möglich. Sowohl mit der Hochleistungsstrategie (wie sie z. B. in den USA praktiziert wird) als auch mit der Vollweidestrategie (wie sie in z. B. Neuseeland und Irland anzutreffen ist) kann die Milch zu wesentlich geringeren Kosten produziert werden als unter den derzeitigen Produktionsbedingungen in Deutschland (Weiss/Thomet 2004). Unter schweizerischen Verhältnissen führt das Vollweidesystem im Vergleich zum Hochleistungssystem zu um circa 10 % niedrigere Produktionskosten pro kg Milch. Außerdem wird bei wesentlich kleineren Produktionseinheiten die Gewinnschwelle erreicht als beispielsweise in Neuseeland (Weiss/Thomet 2004, 2005). Da in Baden-Württemberg nur in wenigen Regionen die notwendigen Voraussetzungen für ein erfolgreiches Vollweidesystem (arrondierte Flächen, lange Vegetationszeit, ausreichend Sommerniederschläge) vorhanden sind, ist davon auszugehen, dass dieses Produktionsverfahren landesweit nur eine geringe Bedeutung erlangen wird.



(Datengrundlage: Statistisches Landesamt 2004a)

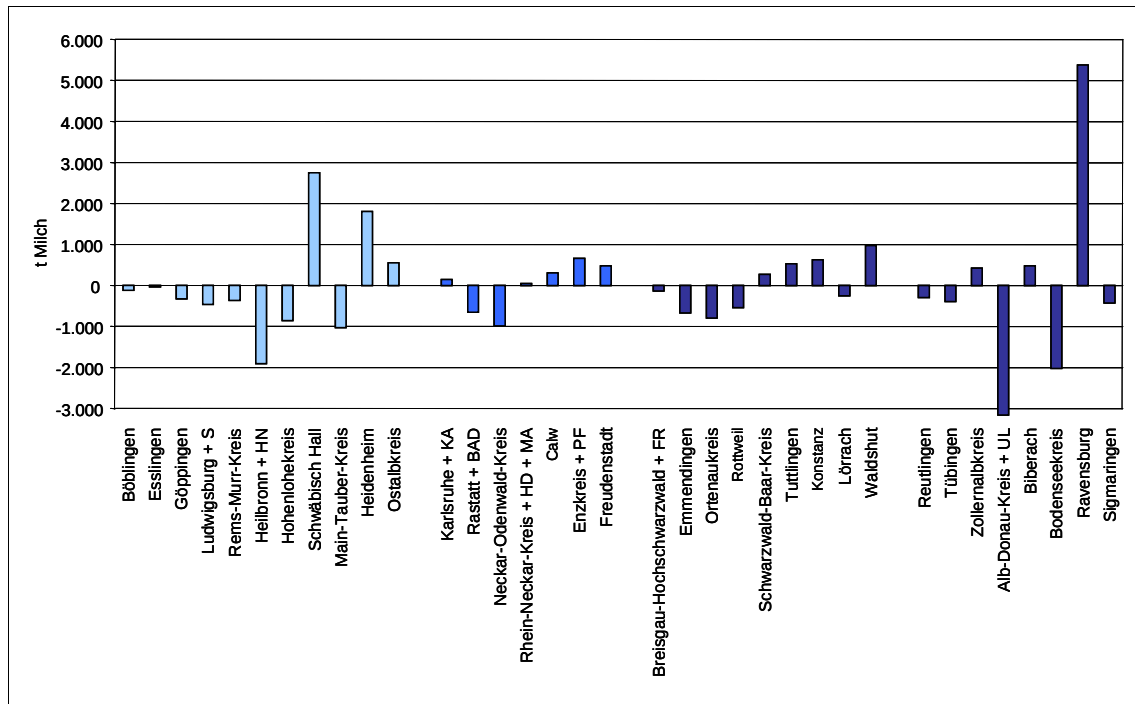
Abb. 3: Jährliche Milchleistungssteigerung in den Kreisen Baden-Württembergs von 1991 bis 2003

In den Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Milcherzeugung wird deshalb von einer Leistungssteigerung ausgegangen. Zur Fortschreibung der Milchleistung bis zum Jahr 2015 werden die kreisspezifischen Steigerungsraten der letzten zwölf Jahre herangezogen. Dabei wird ein Maximum von 150 kg pro Jahr festgesetzt, da die darüber hinausgehenden Steigerungsraten auf einem relativ niedrigen Milchleistungsniveau erzielt wurden, diese aber mit zunehmendem Anstieg des Leistungsniveaus immer schwerer zu realisieren sind. In den Berechnungen wird deshalb die Milchleistungssteigerung der Jahre 1991 bis 2003 (mit einem Maximum von 150 kg pro Jahr) für jeden Kreis bis 2015 fortgeschrieben und die Anzahl der Milchkühe pro Kreis entsprechend vermindert. Die Fortschreibung der Milchleistung auf Basis dieser Annahmen führt zu einem Anstieg der Milchleistung bis zum Jahr 2015 auf 7.230 kg pro Jahr und Kuh im Landesdurchschnitt und auf rund 8.000 kg pro Jahr und Kuh in den besten Landkreisen.

### Regionale Verteilung der Milchproduktion

In welchen Regionen Baden-Württembergs die Milchproduktion stattfindet, hängt entscheidend vom Standort und von der Betriebsstruktur, aber auch von der Struktur der Molkereiwirtschaft, Nutzungsalternativen für das Grünland und anderen außerlandwirtschaftlichen Erwerbsmöglichkeiten ab. Eine Erfassung dieser verschiedenen Einflussgrößen und ihrer Auswirkungen auf die Struktur der Milcherzeugung in Baden-Württemberg ist sowohl hinsichtlich der Methodik als auch der Datenverfügbarkeit im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht leistbar. Vereinfachend wird deshalb der Milchquotenhandel auf Kreisebene als Ergebnis verschiedener agrarstruktureller Einflüsse verstanden und als Indikator für günstige bzw. ungünstige Bedingungen der Milchproduktion herangezogen. Da der Erwerb bzw. Verkauf von Milchquoten in die Zukunft weist – in der Regel legt sich ein Käufer bzw. Verkäufer durch seine Entscheidung für längere Zeit fest, da die Milchkontingentierung noch bis 2015 Gültigkeit hat – können anhand dieser Handelsverläufe tendenzielle Aussagen über die Standorte der zukünftigen Milchproduktion in Baden-Württemberg gemacht werden. Für die Fortschreibung des Milchquotenhandels wurden die verfügbaren Daten zum Milchquoten-

handel von 2002 bis 2004 ausgewertet. Die summierten Gewinne und Verluste der einzelnen Kreise Baden-Württembergs beim Milchquotenhandel zeigt Abb. 4.



(Datengrundlage: Verkaufsstelle für Milch-Referenzmengen 2005)

Abb. 4: Gewinne und Verluste der Kreise Baden-Württembergs beim Milchquotenhandel in den Jahren 2002 bis 2004; Quotenhandel jeweils auf Regierungsbezirksebene

Es ist erkennbar, dass in den Kreisen mit guten Standortbedingungen für die Milcherzeugung und bereits hoher Milchproduktion sowie Milchleistung, wie z. B. in Ravensburg und Schwäbisch Hall, Milchquote zugekauft wird. Damit wird sich die bereits vorhandene Konzentration der Milcherzeugung im Osten des Landes verstärken. Überraschend dagegen ist, dass auch Regionen mit eher ungünstigen Bedingungen für die Milchproduktion, z. B. im Schwarzwald, weiterhin auf Milcherzeugung setzen. Dies dürfte auf mangelnde Alternativen für die Grünlandnutzung und fehlende außerlandwirtschaftliche Erwerbsmöglichkeiten zurückzuführen sein. Der Kreis Ravensburg zeigt die mit Abstand größte Zunahme bei der Milcherzeugungsquote (um rund 5.000 t), was angesichts der dort bestehenden guten Produktionsbedingungen nicht überrascht. Bezogen auf die Milcherzeugung in 2003 bedeutet dies aber nur einen relativen bescheidenen Zuwachs von 1,2 %. Anders im Kreis Rastatt/Baden-Baden: Der geringe Verlust von 650 t Milchquote entspricht einem Rückgang der Milcherzeugung um mehr als 30 %.

Die angewandte Methode, die zukünftige Verteilung der Milcherzeugung auf der Basis des aktuellen Milchquotenhandels fortzuschreiben hat den Nachteil, dass in Baden-Württemberg die Quoten bislang nur innerhalb der einzelnen Regierungsbezirke (RegB) transferiert werden können. Aufgrund dieser Beschränkung werden für jeden Regierungsbezirk getrennte Milchbörsen durchgeführt und eigene Gleichgewichtspreise (GGP) zwischen angebotener und nachgefragter Milcherzeugungsmenge festgesetzt. Ein Vergleich der GGP-Mittelwerte zeigt (Tab. 6), dass im RB Freiburg fast doppelt so hohe GGP erzielt wurden wie im RB Karlsruhe. In allen Regierungsbezirken waren für den Zeitraum 2002

bis 2004 die nachgefragten Mengen größer als die angebotenen, und die jeweils zum GGP gehandelten Mengen kleiner als die angebotenen Mengen (Tab. 6).

Tab. 6: Gleichgewichtspreise sowie Angebots- und Nachfragemengen beim Milchquotenhandel in Baden-Württemberg im Zeitraum 2002 bis 2004

| Regierungs-<br>bezirk | Gleichge-<br>wichtspreis | Angebote-<br>ne Menge | Nachgefragte<br>Menge | Gehandelte<br>Menge | Angebote-<br>ne, aber nicht<br>gehandelte<br>Menge |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
|                       | Euro/kg                  | kg                    |                       |                     |                                                    |
| Stuttgart             | 0,42                     | 56.458.725            | 63.758.673            | 41.764.698          | 14.694.027                                         |
| Karlsruhe             | 0,31                     | 18.401.328            | 26.931.107            | 11.317.688          | 7.083.640                                          |
| Freiburg              | 0,56                     | 23.856.639            | 35.546.244            | 20.557.530          | 3.299.109                                          |
| Tübingen              | 0,52                     | 69.158.958            | 92.923.515            | 57.455.788          | 11.703.170                                         |

Quelle: Verkaufsstelle für Milch-Referenzmengen 2005

Wäre in diesem Zeitraum bereits ein landesweiter Übertragungsbereich vorhanden gewesen, hätten Teilmengen der in den RegB Stuttgart und Karlsruhe zu den dort niedrigeren GGP nicht absetzbaren Angebote von Nachfragern aus den RegB Freiburg und Tübingen übernommen werden können. Ausgehend von einem zukünftig landesweiten Übertragungsbereich für Milchquoten wird in den Berechnungen deshalb angenommen, dass die angebotenen, aber nicht gehandelten Milcherzeugungsmengen im RegB Karlsruhe zu 80 % und im RegB Stuttgart zu 60 % abgeflossen wären. Es wird weiter unterstellt, dass von diesen Mengen der RegB Tübingen aufgrund seiner deutlich größeren Nachfrage zwei Drittel und der RegB Freiburg ein Drittel aufgenommen hätten.

In den Berechnungen zur regionalen Verteilung der Milcherzeugung werden zunächst der Gewinn bzw. Verlust aus dem Milchquotenhandel für jeden Kreis erfasst und die aufgrund des Gleichgewichtspreises in den Regierungsbezirk zu- bzw. abfließenden Milchmengen entsprechend der kreisspezifischen Milchproduktion und des Milchquotenhandels auf die Kreise verteilt. Dann werden die aus dem Quotenhandel und dem GGP-Ausgleich in die Kreise zu- bzw. abfließenden Milchmengen über die durchschnittliche Milchleistung auf Milchkühe umgerechnet. Da die Milchquotenauswertung einen Zeitraum von drei Jahren umfasst, wird pro Jahr ein Drittel dieser Anzahl an Kühen bis 2015 in Ansatz gebracht. Das Ergebnis der Berechnungen zeigt eine Reduzierung der Anzahl der Milchkühe pro Jahr entsprechend der Milchleistungssteigerung und eine regionale Umverteilung der Milcherzeugung. Gewinne beim Milchquotenhandel erhöhen die Milcherzeugung pro Kreis und dadurch die Anzahl der Milchkühe. In Kreisen mit Verlusten beim Quotenhandel sinken dagegen die Kuhbestände.

### Mutterkühe, Pferde und Schafe

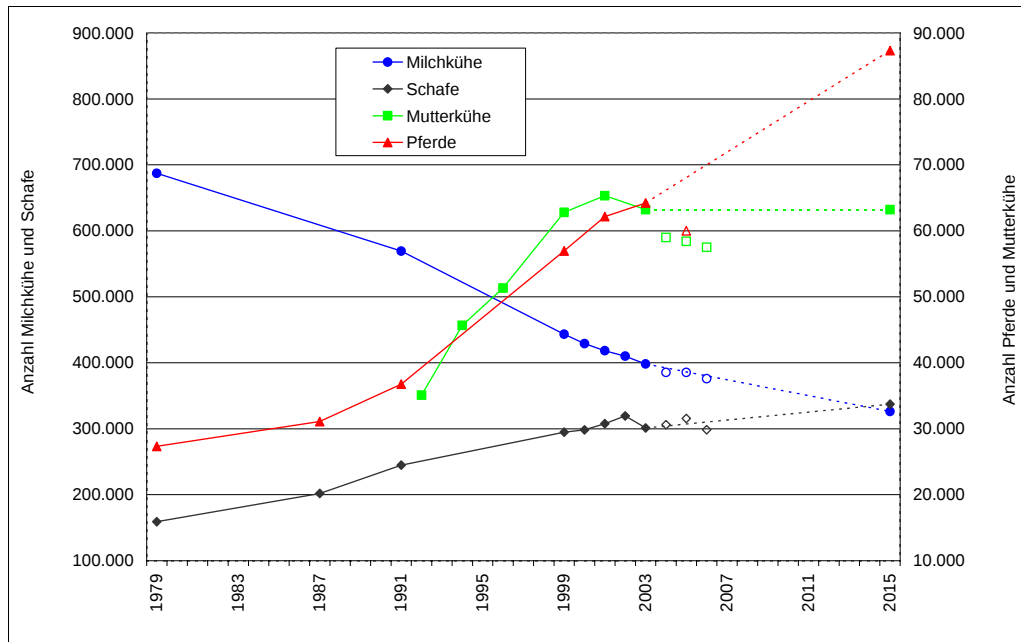
Bei den Mutterkuhständen weist die Statistik für die 1990er Jahre Steigerungsraten von jährlich circa 10 % aus, vor allem als Folge der finanziellen Förderung durch die Mutterkuhprämien. Seit 1999 stagniert dagegen die Anzahl der Mutterkühe (Abb. 5). Die neue Agrarreform dürfte sich eher negativ auf die Mutterkuhhaltung auswirken, da die bisher

bezahlten Mutterkuhprämien bis 2012 vollständig in die flächenbezogene Grünlandprämie überführt werden. Berechnungen für Baden-Württemberg (Segger 2004) gehen von einem Rückgang der summierten Prämien in den Jahren 2007 bis 2009 von circa 50 Euro pro Hektar und ab 2013 von 100 Euro pro Hektar aus. Eine Beibehaltung oder Ausdehnung der Mutterkuhhaltung setzt zum einen die Fortführung der Flächenzahlungen aus Agrarumweltprogrammen und zum anderen gute Vermarktungsmöglichkeiten für Fleisch von Mutterkühen voraus (Segger 2004). Die Absatzchancen könnten sich mit dem Rückgang des Milchkuhbestands aufgrund anhaltender Milchleistungssteigerung und der damit gekoppelten Verringerung des Bestands an Kälbern, Färsen und Bullen etwas verbessern, vorausgesetzt die Nachfrage nach Kalb- bzw. Rindfleisch bleibt gleich oder nimmt zu.

Der Selbstversorgungsgrad bei Rind- und Kalbfleisch steigt in Baden-Württemberg seit den 1990er Jahren kontinuierlich an und liegt zurzeit bei etwa 90 % (LLM 2004). Eine weitere Zunahme des inländischen Fleischabsatzes erscheint also durchaus möglich. Allerdings nimmt die Konkurrenz aus anderen Bundesländern und dem Ausland zu. Vor diesem Hintergrund wird in den Berechnungen zusammenfassend von einem konstanten Mutterkuhbestand bis zum Jahr 2015 ausgegangen. Wie die neusten Zahlen zeigen, ist die Anzahl an Mutterkühen allerdings nicht wie angenommen konstant, sondern rückläufig (Abb. 5). Weil es sich dabei vielleicht nur um eine kurzfristige Erscheinung und noch nicht um einen Trendwechsel handelt, werden die Annahmen jedoch nicht verändert.

Der Pferdebestand in Baden-Württemberg weist seit 1979 ein starkes Wachstum auf. Dies betrug im Zeitraum 1979 bis 1991 jährlich 3 %, stieg in den 1990er Jahren (1991 bis 1999) auf 7 % pro Jahr und verringerte sich in den letzten Jahren (1999 bis 2003) wieder auf jährlich 3 % (Abb. 5). Einerseits gibt es Anzeichen dafür, dass sich der Pferdebestand in der Zukunft weniger dynamisch entwickeln wird als dies in der Vergangenheit der Fall war. Andererseits bringt das neue Agrarrecht deutliche finanzielle Vergünstigungen für die Pferdehaltung, da die Grünlandprämie auch an Pferdehalter gezahlt wird. Diesen Sachverhalt soll das folgende Beispiel illustrieren: Nach Segger (2004) erhöht sich die Prämie für einen Betrieb mit 40 Pensionspferden und 50 ha LF (davon 60 % Grünland) von circa 25 Euro pro Hektar für die Jahre 2007 bis 2009 auf circa 170 Euro pro Hektar ab 2013.

Bei der Fortschreibung der Pferdebestände bis 2015 wird deshalb von einer um 3 % pro Jahr und Kreis steigenden Anzahl an Pferden ausgegangen. Für die Pferdehaltung unterhalb der agrarstatistischen Erfassungsgrenze wird für 2003 von einem Pferdebestand ausgegangen, der 50 % der statistisch erfassten Pferde entspricht. Es wird unterstellt, dass diese Anzahl zukünftig nicht weiter ansteigt. Das heißt, der Zuwachs an Pferden findet ausschließlich in Betrieben größer als zwei Hektar statt. Das Wachstum des gesamten Pferdebestandes beträgt damit nicht 3 %, sondern nur 2 % pro Jahr. Wie die neusten Erhebungen zeigen (Abb. 5), nimmt der Pferdebestand nicht wie hier unterstellt weiter zu, sondern ab. Da aus der aktuell zurückgehenden Anzahl Pferde noch nicht gefolgert werden kann, dass dies auch für die gesamte angenommene Zeitspanne gilt, werden die getroffenen Annahmen jedoch nicht verändert.



(Datengrundlage: Statistisches Landesamt 2004a, 2006a)

Abb. 5: Entwicklung der Bestände an Milch-/Mutterkühen, Pferden und Schafen

Der Schafbestand weist seit 1979 ebenfalls ein beachtliches Wachstum von 4 % pro Jahr im Zeitraum 1979 bis 1991 und von 3 % pro Jahr zwischen 1991 und 1999 auf. In den letzten Jahren (1999 bis 2003) kam es zu einer Stagnation des Schafbestands. Nach einem Höchstwert im Jahr 2002 sank die Anzahl der Schafe im Jahr 2003 wieder auf das Niveau des Jahres 2000 (Abb. 5). Die neue GAP-Reform kann für Schafhalter deutliche finanzielle Vorteile bringen, da der Verlust der Mutterschafprämie durch die Grünlandprämie überkompensiert wird. Dies zeigt das folgende Beispiel: Nach Segger (2004) erhöht sich die Prämie für einen Schafbetrieb mit 500 Mutterschafen und 100 ha LF von circa 70 Euro pro Hektar für die Jahre 2007 bis 2009 auf circa 170 Euro pro Hektar ab 2013.

Für den Landesschafzuchtverband Baden-Württemberg (Wenzler 2005) ist die Gewährung der Grünlandprämie für die Schafhalter im Einzelfall jedoch fraglich, da dies voraussetzt, dass die beihilfefähigen Flächen dem Betriebsinhaber mindestens zehn Monate uneingeschränkt zur Verfügung stehen müssen (BMVEL 2004). Die Einhaltung dieses Zeitraumes kann, insbesondere bei Truppenübungsplätzen und Winterweiden, teilweise aber auch bei Naturschutzgebieten Schwierigkeiten bereiten. In den Annahmen wird deshalb für die Fortschreibung des Schafbestandes von einem jährlichen Wachstum von nur 1 % pro Kreis bis 2015 ausgegangen. Für die Schafhaltung unterhalb der statistischen Erfassungsgrenze wird für das Jahr 2003 ein Schafbestand in Höhe von 10 % der gezählten Tiere angesetzt. Diese Anzahl an Schafen wird nicht weiter erhöht, so dass das Wachstum des gesamten Schafbestandes statt 1 % nur 0,9 % pro Jahr beträgt.

Die Anzahl an Kälbern, Färsen und Mastbullen ist – abgesehen vom Schlachalter – ausschließlich von der Anzahl der Milch- und Mutterkühe abhängig. Vereinfachend wird deshalb das Verhältnis der Anzahl dieser Tierarten zur Summe der Milch- und Mutterkühe aus dem Jahr 2003 pro Kreis auch für das Zieljahr 2015 angenommen. Das bedeutet, dass die Anzahl an Kälbern, Färsen und Mastbullen insgesamt rückläufig ist, in Kreisen mit steigender Milcherzeugung jedoch ansteigen kann.

## **Ökolandwirtschaft**

Im Jahr 2003 wurden in Baden-Württemberg gut 6 % der Rinder und Schafe sowie 5 % der Pferde in ökologisch wirtschaftenden Betrieben gehalten (Statistisches Landesamt 2004). Bei der Berechnung des Bedarfs an Grünland zur Tierfütterung im Jahr 2003 wurden die nach ökologischen Prinzipien gehaltenen und gefütterten Tiere nicht gesondert betrachtet, weil auf Kreisebene dazu keine statistischen Daten vorliegen. Da in den nächsten Jahren mit einem weiteren Anstieg des Ökolandbaus gerechnet wird, wird in den Berechnungen auf Landesebene von einer Verdopplung der ökologisch gehaltenen Tiere im Zeitraum 2003 bis 2015 ausgegangen.

Ein von der konventionellen Tierfütterung abweichender Futterbedarf bei ökologischer Tierhaltung wird für Milchkühe, Färsen und Mastbullen angenommen. Der Futterbedarf für die bereits extensiv gehaltenen Mutterkühe, Kälber, Pferde und Schafe wird dagegen nicht verändert. Bei den ökologisch gehaltenen Milchkühen wird eine erhöhte Grundfutteraufnahme von circa 14 kg TM pro Tag (circa 32.000 MJ NEL pro Jahr, entsprechend etwa 12 kg Milch aus dem Grundfutter) angenommen. Außerdem wird die Gewichtung zwischen mais- und grünlandbetonter Fütterung mit 10 % mais- zu 90 % grünlandbetont deutlich zum Grünland verschoben. Diese Gewichtung wird auch für die Fütterung der Färsen und Mastbullen angesetzt, während die sonstigen Futterrationen unverändert bleiben. Der Vergleich einer dementsprechend veränderten Fütterung bei allen in 2003 ökologisch gehaltenen Milchkühe, Färsen und Bullen ergibt einen Mehrbedarf von 50 % Grundfutter gegenüber konventioneller Fütterung. Dies entspricht 0,25 ha Grünlandfläche pro Großvieheinheit. Wenn die Tierhaltung im Ökolandbau entsprechend den getroffenen Annahmen ausgeweitet wird, erhöht sich der Bedarf an Grünland für die Tierfütterung um circa 13.000 ha bis zum Jahr 2015.

## **Silomaisanbaufläche**

Durch die Gewährung von Flächenprämien für das Grünland und die zukünftig Gleichstellung von Acker- und Grünlandprämie verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung von Tierfutter aus dem Grünland (bzw. aus Klee gras) im Vergleich zur Erzeugung von Silomais. Vor allem auf Grenzertragsstandorten für Maisanbau könnte der Maisanbau durch Klee gras, aber auch durch Dauergrünland verdrängt werden. Da aber auf der anderen Seite der Grundfutterqualität eine immer bedeutendere Rolle in der Milchproduktion zukommt und über Maissilage leichter eine hohe Qualität zu erreichen ist, wird in den Berechnungen vereinfachend davon ausgegangen, dass der Maisanteil in der Grundfütteration konstant bleibt. Die Silomaisanbaufläche pro Kreis wird an die zukünftige Zahl der Milchkühe gekoppelt und im selben Maße wie diese variiert.

## **Siedlungs- und Verkehrsfläche**

In Baden-Württemberg wurden von 1993 bis 2004 im Durchschnitt 4.000 ha pro Jahr in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt. Wird diese Flächeninanspruchnahme anteilmäßig auf die Grünlandfläche umgelegt – Grünland hat an der nicht besiedelten Bodenfläche einen Anteil von 20 % – ergibt das einen jährlichen Verlust von Grünlandfläche in Höhe von 828 ha bzw. 0,13 % des Grünlandbestands. Auf Kreisebene variiert der jährli-

che Grünlandverlust zwischen 0,09 und 0,25 %. Da es ein gesellschaftspolitisches Ziel ist, den Flächenverbrauch zukünftig deutlich zu reduzieren, wird in den Berechnungen davon ausgegangen, dass die Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen erfolgreich verringert werden kann und der dadurch verursachte Verlust an Grünland zukünftig nur noch halb so hoch ist wie in der Vergangenheit. In den Berechnungen wird deshalb unterstellt, dass in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2015 circa 5.000 ha Grünland in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt werden und nicht mehr für die Tierfütterung zur Verfügung stehen. Dies entspricht 0,8 % der gegenwärtigen Grünlandfläche.

### Zusammenfassung der Annahmen zur zukünftigen Grünlandnutzung

In Tab. 7 sind die wichtigsten Annahmen zur Grünlandnutzung, die der Berechnung des Grünlandüberschusses im Jahr 2015 zu Grunde liegen, dargestellt.

Tab. 7: Annahmen zur Entwicklung des Grünlandbestands und seiner Nutzung im Jahr 2015

| Parameter                           |                                                          |                                              | Veränderung bis 2015 gegenüber 2003                                                                          |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anzahl Raufutter verzehrender Tiere | Milchkühe                                                | Höhe der Milcherzeugung in Baden-Württemberg | Bleibt konstant                                                                                              |
|                                     |                                                          | Milchleistung                                | Gleiches Wachstum pro Kreis wie im letzten 12-Jahres-Zeitraum (Maximum 150 kg/Jahr)                          |
|                                     |                                                          | Regionale Veränderung der Milcherzeugung     | Entsprechend dem Milchquotenhandel 2002 - 2004 unter Einbeziehung des Gleichgewichtspreises                  |
|                                     | Mutterkühe                                               |                                              | Bleibt konstant                                                                                              |
|                                     | Kälber, Färsen, Mastbullen                               |                                              | Verhältnis zu Milch- und Mutterkühen unverändert                                                             |
|                                     | Pferde                                                   |                                              | Zunahme um 2 % pro Jahr                                                                                      |
|                                     | Schafe                                                   |                                              | Zunahme um 0,9 % pro Jahr                                                                                    |
|                                     | Tierbestand im Ökolandbau                                |                                              | Verdoppelung                                                                                                 |
| Fläche                              | Silomaisanbau                                            |                                              | Verhältnis zur Anzahl der Milchkühe bleibt unverändert                                                       |
|                                     | Umwandlung von Grünland in Siedlungs- und Verkehrsfläche |                                              | Die jährliche Abnahme reduziert sich auf die Hälfte der durchschnittlichen jährlichen Rate von 1993 bis 2004 |

#### 2.4.2 Berechnungen für 2015

Der Grünlandüberschuss bis zum Jahr 2015 wird sich den Berechnungen zufolge von gegenwärtig rund 135.000 ha (entspricht 21 % der Grünlandfläche) auf rund 167.000 ha bzw. 26 % der Grünlandfläche erhöhen. Für einige Kreise ergeben die Berechnungen allerdings negative Überschussflächen (Abb. 6). Dies bedeutet, dass das verfügbare Grünland nicht für die Fütterung der angenommenen Tierbestände ausreichen würde. Die fehlenden Flächen werden in diesen Kreisen durch Pacht- oder Eigentumsflächen in benachbarten Kreisen oder Bundesländern ausgeglichen.

Ein Vergleich der Veränderung der Anteile der Überschussflächen am Gesamtgrünland von 2003 bis 2015 (Abb. 6) zeigt, dass in den meisten Kreisen die Grünlandüberschussfläche um 5 bis 10 Prozentpunkte zunimmt. Daneben gibt es einige Kreise (Göppingen, Ost-

albkreis, Neckar-Odenwald-Kreis, Calw, Freudenstadt, Alb-Donau-Kreis) deren Grünlandüberschuss bis 2015 um mehr als 10 Prozentpunkte steigt, bedingt vor allem durch die hohen Milchleistungssteigerungen im Vergleichszeitraum 1991 bis 2003 und den geringen Zukauf an Milchquote.

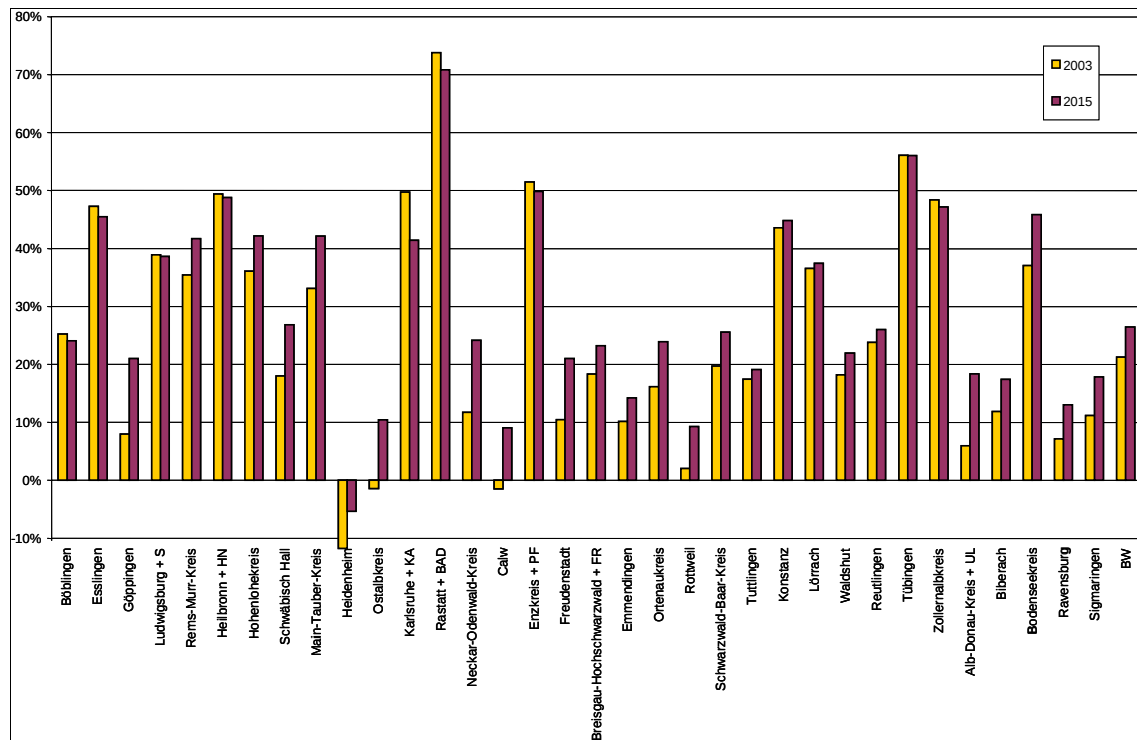


Abb. 6: Anteil der überschüssigen Grünlandflächen am Gesamtgrünland auf Kreisebene in den Jahren 2003 und 2015

Andere Kreise zeigen dagegen nahezu keine oder nur geringe Änderungen beim Grünlandüberschuss. Ausschlaggebend hierfür sind die niedrigen Milchleistungssteigerungen in diesen Kreisen (Heilbronn, Rastatt, Tübingen), teilweise in Verbindung mit einer Erhöhung der zulässigen Milcherzeugungsmenge durch Quotenzukauf, wodurch höhere Leistungssteigerungen ausgeglichen werden können (Enzkreis, Zollernalbkreis). Ein weiterer Grund ist der relativ hohe Anteil an Pferden und Schafen.

Da angenommen wird, dass der Pferdebestand jährlich um zwei Prozent wächst, kann dieses Wachstum insbesondere in Kreisen mit einem bereits hohen Pferdebestand (Böblingen, Esslingen, Ludwigsburg) den Rückgang der Grünlandnutzung durch die Milchviehhaltung weitestgehend ausgleichen. Entsprechendes gilt auch für Kreise mit einem hohen Schafbestand (Zollernalbkreis). Da den jüngsten Bestandserhebungen zufolge der Pferdebestand – entgegen den getroffenen Annahmen – in dem Zeitraum von 2003 bis 2005 nicht angestiegen, sondern gesunken ist (Abb. 5), könnte der Grünlandüberschuss in diesen Kreisen höher ausfallen, als in den Berechnungen dargestellt.

Auch der Rückgang des Grünlandüberschusses um circa 10 % bis 2015 im Kreis Karlsruhe und im Rhein-Neckar-Kreis sind in Anbetracht der neusten Zahlen zum Pferdebestand unter Vorbehalt zu sehen, da diese Kreise hohe Pferdebestände und nur geringe Milchleistungssteigerungen aufweisen. Außerdem wird in diesen Kreisen für Milchkühe eine sehr maisbetonte Fütterung unterstellt, so dass Rückgänge im Milchkuhbestand nur geringe, Zunahmen

beim Pferdebestand allerdings starke Auswirkungen auf den Grünlandbedarf haben. In diesen Kreisen wird deshalb der Rückgang der Milchkühe durch die unterstellte Zunahme der Pferde mehr als ausgeglichen. Der Futterbedarf aus dem Grünland erhöht sich also.

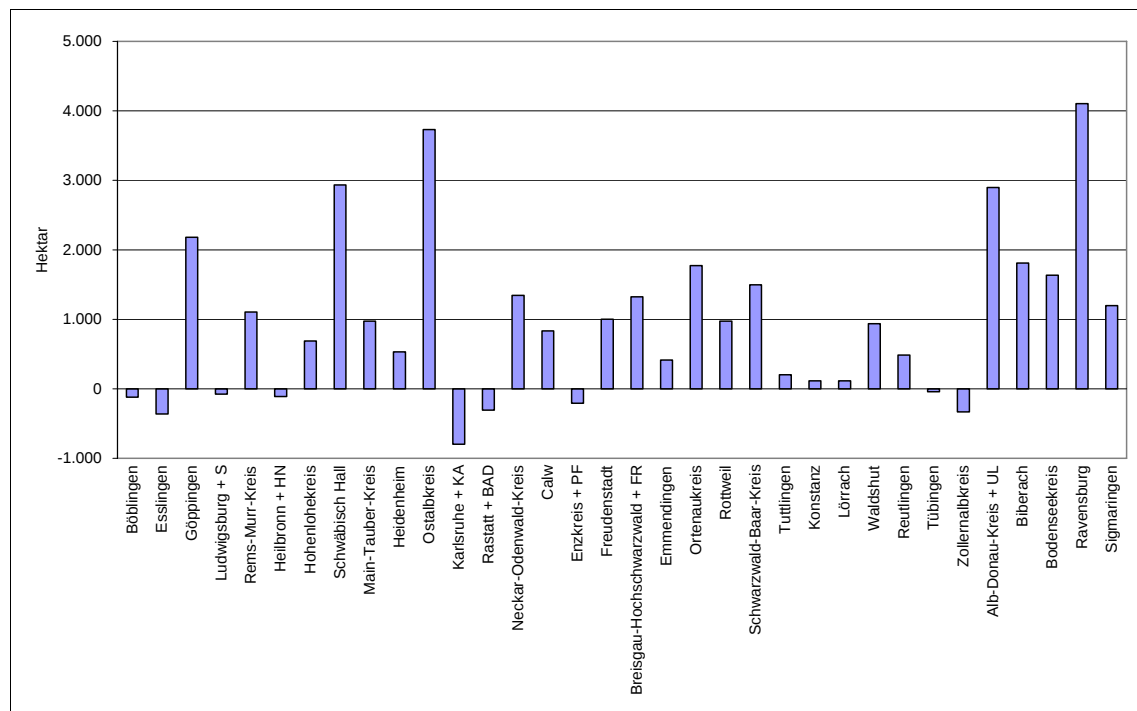


Abb. 7: Veränderung des Grünlandüberschusses von 2003 bis 2015

Betrachtet man die absoluten Veränderungen des Grünlandüberschusses (Abb. 7) von 2003 bis 2015, so zeigt sich, dass die Zunahme des zukünftig nicht mehr für die Tierfütterung benötigten Grünlandes in nur wenigen Kreisen konzentriert ist. Allein fünf Kreise, (Göppingen, Schwäbisch-Hall, Ostalbkreis, Alb-Donau-Kreis und Ravensburg), die alle im Osten von Baden-Württemberg liegen (Abb. 8), sind für 50 % der Zunahme des Grünlandüberschusses verantwortlich. Bei ihnen handelt es sich um milchviehstarke Kreise, die aktuell von der Problematik des Grünlandüberschusses nicht betroffen sind, aber bei weitergehender Milchleistungssteigerung und sinkenden Milchviehbeständen deutliche Grünlandüberschüsse aufweisen. Diejenigen Kreise in der Mitte und im Nordwesten Baden-Württembergs, die bereits aktuell geringe Tierbestände und hohe Grünlandüberschüsse aufweisen, zeigen dagegen nur noch geringfügige Veränderungen.

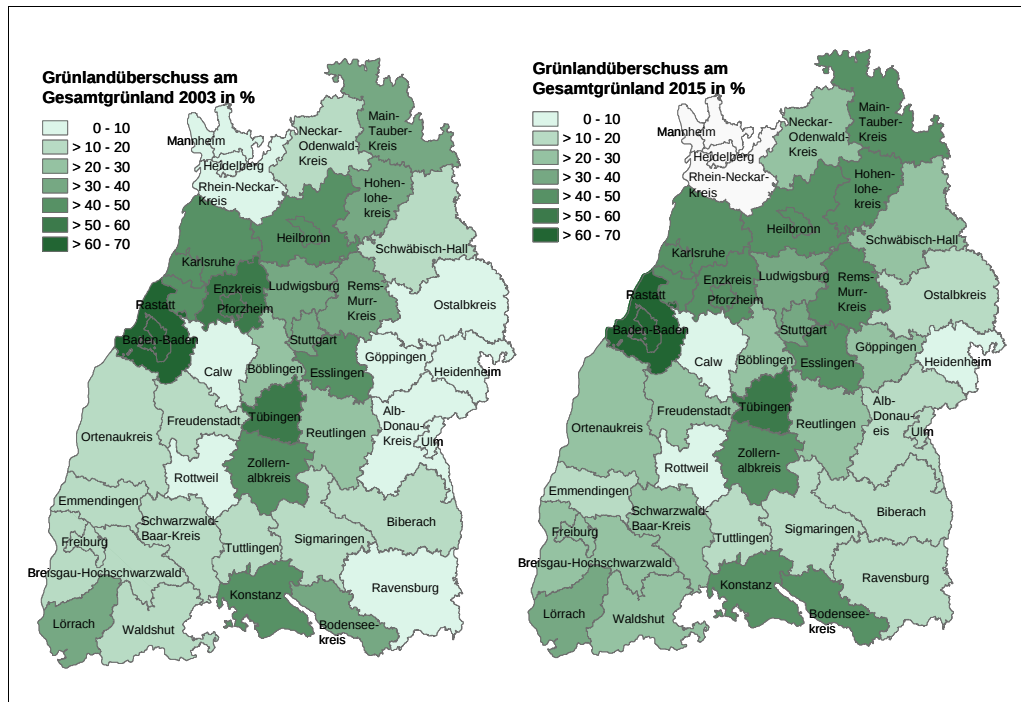


Abb. 8: Anteil der überschüssigen Grünlandflächen am Gesamtgrünland auf Kreisebene in den Jahren 2003 (links) und 2015 (rechts)

Die Bedeutung der Pferde und Schafe als Raufutterverzehr – insbesondere in Kreisen mit einem geringen Bestand an Rindern – wird in Abb. 9 veranschaulicht. Dargestellt sind hier die Anteile von Pferden und Schafen an der Summe der Raufutter verzehrenden Tierbestände. Die Pferde erreichen vor allem in Ballungsgebieten (Böblingen, Karlsruhe, Rhein-Neckar-Kreis, Heidelberg, Mannheim) mit 15 bis 25 % bereits gegenwärtig erhebliche Anteile an den Raufutterfressern. Zukünftig wird sich dieser Anteil in einzelnen Kreisen auf bis zu 30 % erhöhen. In den östlichen Kreisen des Landes mit einem hohen Rinderbestand spielt der Bestand an Pferden und Schafen bei der Grünlandnutzung mit einem Anteil von unter 5 % an den Raufutterfressern dagegen nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 9).

Auch Schafe können regional für die Grünlandnutzung von erheblicher Bedeutung sein. Vor allem in Kreisen am Rande der Schwäbischen Alb (Esslingen, Reutlingen, Tübingen, Zollernalbkreis) haben die Schafe mit 7 bis 12 % einen nennenswerten Anteil am Bestand an Raufutterfressern (Abb. 9). Da für Schafe und Pferde eine Fütterung ausschließlich mit Grünlandaufwuchs (d. h. ohne Mais) angenommen wird, erhöht sich ihre Bedeutung für die Grünlandverwertung zusätzlich. Kreise mit hohen Pferde- und Schafanteilen weisen gleichzeitig geringe Viehbesatzdichten von meist unter einer Großvieheinheit pro Hektar Grünland auf (Ausnahme: Rhein-Neckar-Kreis). Diese Kreise haben aufgrund dieser niedrigen Viehbesatzdichte gegenwärtig hohe Grünlandüberschüsse. Als Folge des unterstellten weiteren Anstiegs der Pferde- und Schafbestände wird sich dieser aber bis zum Jahr 2015 nicht weiter erhöhen, sondern teilweise sogar zurückgehen.

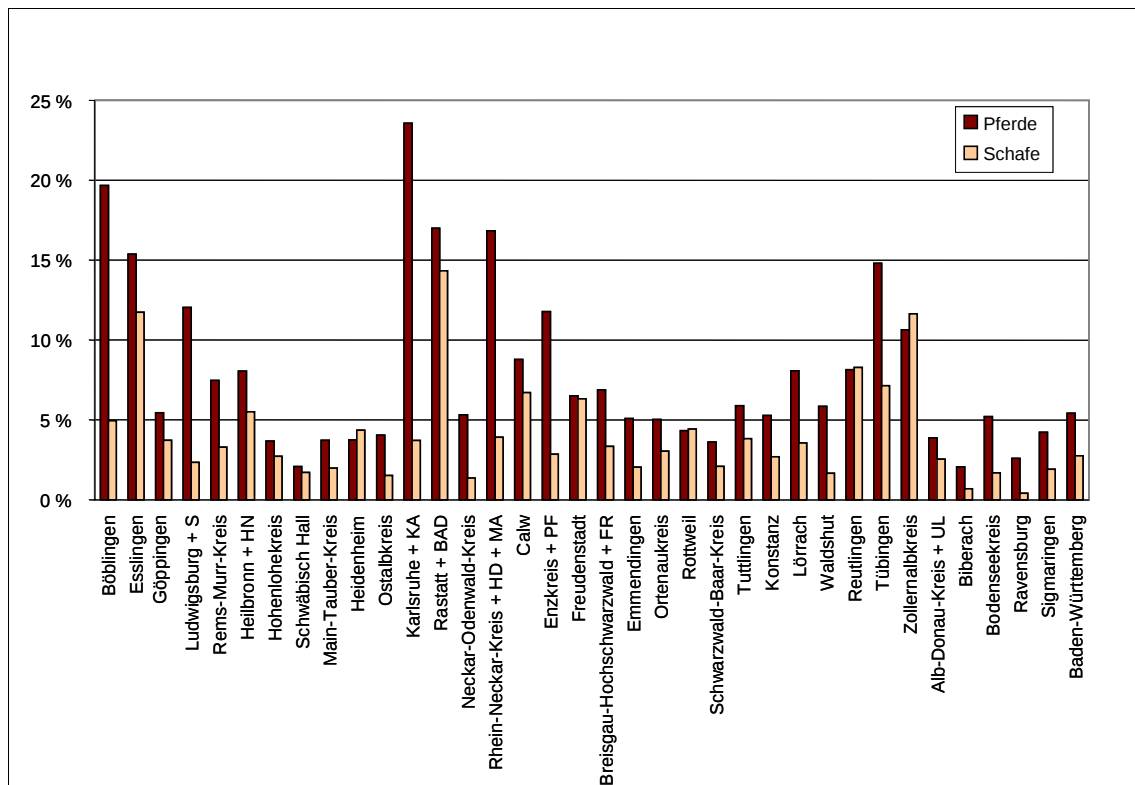


Abb. 9: Anteil der Pferde und Schafe an der Summe der Raufutterverzehrer (jeweils in Großvieheinheiten) in Baden-Württemberg im Jahr 2003

## 2.5 Umfragen bei den Landwirtschaftsämtern

Ziel der schriftlichen Befragungen bei den 35 Landwirtschaftsämtern in Baden-Württemberg war es, zum einen zusätzliche Informationen, wie z. B. kreisspezifische Futterqualitäten und Energiegehalte von Grassilage, zu erheben. Zum anderen sollten die Einschätzungen der Experten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Grünlandnutzung in ihrem Dienstbezirk abgefragt werden. Die Ergebnisse sollen Hinweise auf abweichende Einschätzungen geben und zur Validität der Berechnungen zum Grünlandüberschuss beitragen. Die Durchführung einer zweiten Umfrage war erforderlich, weil sich vor dem Hintergrund der Agrarreform die Grünlandnutzung im Vergleich zur Situation im Dezember 2003 als der erste Fragebogen verschickt wurde, neu darstellte. Der Rücklauf der Fragebogen war in beiden Runden hoch. Von den angeschriebenen 35 Landwirtschaftsämtern haben sich in der ersten Befragungsrunde alle Landwirtschaftsämter beteiligt. In der zweiten Umfrage haben 28 Landwirtschaftsämter (80 %) den Fragebogen beantwortet.

Die Landwirtschaftsämter in den südlichen Regierungsbezirken (RegB Tübingen: 100 % und RegB Freiburg: 89 %) haben deutlich häufiger geantwortet als die Ämter in den nördlichen Regierungsbezirken (RegB Stuttgart: 73 % und RegB Karlsruhe: 57 %). Die regionalen Unterschiede im Fragebogenrücklauf und verschiedene Gespräche mit Vertretern der Landwirtschaftsämter, die die Fragebogen beantwortet bzw. nicht zurückgeschickt haben, deuten darauf hin, dass der Grünlandüberschuss vor allem in den Landkreisen der südlichen Regierungsbezirke ein Problem darstellt. Nachfolgend werden die Ergebnisse der beiden Umfragen zusammenfassend wiedergegeben.

## Schätzungen zum Grünlandüberschuss

Der in der ersten Umfrage (Dezember 2003) für die einzelnen Kreise angegebene Grünlandüberschuss summiert sich für Baden-Württemberg auf rund 100.600 ha. Die Schätzungen der zweiten Umfrage gehen von 101.030 ha Grünlandüberschuss im Jahr 2015 aus. Die Angaben aus der ersten und zweiten Umfrage sind damit nahezu identisch. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei der ersten Umfrage alle 35 Landwirtschaftsämter Schätzungen abgaben, während dies bei der zweiten Umfrage nur noch 26 Kreise taten. Da den Ämtern bei der zweiten Umfrage die Projektberechnungen zum Grünlandüberschuss vorlagen, ist weiter davon auszugehen, dass diese einen Einfluss auf die zweite Schätzung hatten. Abb. 11 zeigt die Umfrageergebnisse im Vergleich zu den berechneten Überschussflächen.

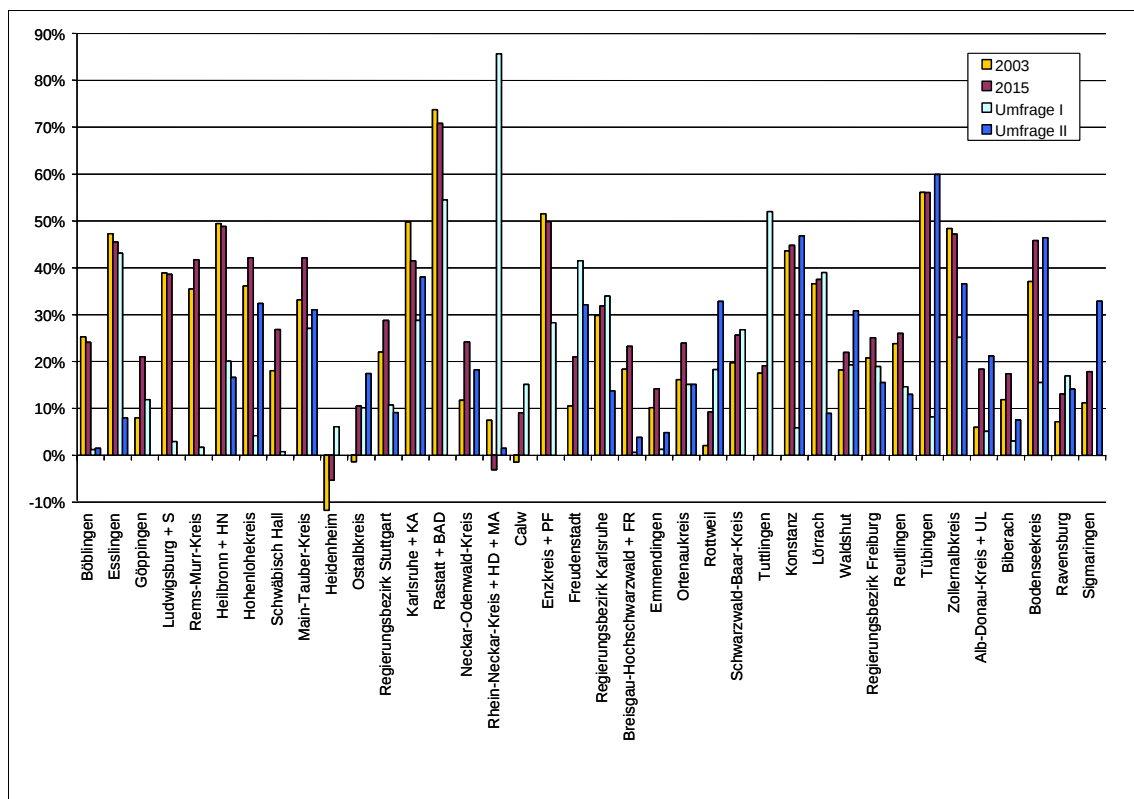


Abb. 10: Vergleich der berechneten mit den von den Kreisen in zwei Umfragen geschätzten Grünlandüberschussflächen

Vergleicht man die Angaben der einzelnen Kreise, die sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Umfrage Schätzungen abgegeben haben, so steigen die Angaben für den Grünlandüberschuss um 36 % (von 74.450 ha auf 101.030 ha). Es zeigt sich, dass für 12 Kreise die Schätzungen auf ähnlichem Niveau wie bei der ersten Umfrage bleiben, 11 Kreise deutlich höhere Werte nennen und nur drei Kreise (Esslingen, Lörrach und Rhein-Neckar-Kreis) signifikant niedrigere Überschussflächen im Vergleich zur ersten Umfrage angeben.

Von den Kreisen mit steigenden Angaben zum Grünlandüberschuss (Ergebnisse aus der zweiten Umfrage) bleiben drei Kreise (Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Biberach) weit unter den errechneten Werten, sechs Kreise (Hohenlohe, Neckar-Odenwald, Konstanz, Tübingen, Alb-Donau und Bodensee) liegen mit ihren Schätzungen in der Nähe

der errechneten Werte. Weitere zwei Kreise (Rottweil, Sigmaringen) schätzen ihren Grünlandüberschuss deutlich höher ein.

Der in der zweiten Umfrage von 26 Kreisen geschätzte Grünlandüberschuss (101.030 ha) liegt um 17 % niedriger als die für diese Kreise berechnete Überschussfläche (122.000 ha) in 2015. Vergleicht man die Angaben der einzelnen Kreise, so zeigt sich, dass bei 62 % (16 von 26) der Kreise der geschätzte Grünlandüberschuss mit dem errechneten weitgehend übereinstimmt, dass weitere 31 % (acht Kreise) den Grünlandüberschuss deutlich geringer einschätzen und 7 % (zwei Kreise) deutlich höher. Bei den restlichen neun Kreisen, die keine neuen Schätzungen abgegeben haben, werden die Schätzwerte aus der ersten Umfrage zum Vergleich mit den Berechnungen herangezogen. Hier weist der größte Teil (fünf Kreise) wieder ähnliche Ergebnisse auf, drei Kreise gehen von einem geringeren und ein Kreis geht von einem höheren Grünlandüberschuss aus. Der Schwerpunkt des Grünlandüberschusses befindet sich im Süden Baden-Württembergs. Änderungen zwischen den Angaben aus der ersten und zweiten Umfrage ergeben sich vor allem im RegB Karlsruhe, bedingt durch den geringen Fragebogenrücklauf und die deutlich geringeren Angaben zum Grünlandüberschuss im Rhein-Neckar-Kreis (um 6.000 ha).

### **Nutzung überschüssiger Grünlandflächen**

Die Grünlandüberschussflächen werden den Umfrageergebnissen in allen Regierungsbezirken zufolge größtenteils gemulcht (35 % der Flächen), da sich dieses Verfahren unter den gegenwärtigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen für viele Landwirte am wirtschaftlichsten darstellt. Zu den Kosten der Grünlandpflege macht der überwiegende Teil der Landwirtschaftsämter keine Angaben, einige nennen jedoch Kosten von bis zu 1.000 Euro pro Hektar.

Die Energiegewinnung aus dem Grünland wird von 61 %<sup>6</sup> der Befragten als zukünftige Nutzungsmöglichkeit genannt. Damit rangiert sie vor der Nutzung durch extensive Viehhaltung (55 %), der Überführung in Naturflächen (52 %), der Umwandlung in Forstflächen (36 %) und der Heuvermarktung (34 %). Für rund 20 % der Überschussflächen – das entspricht rund 20.000 ha – wird die Nutzung von Grünlandaufwuchs zur Biogaserzeugung als Verwendungsalternative gesehen (Tab. 8). Der überwiegende Teil dieser „Biogas-Grünlandflächen“ befindet sich in den südlichen Kreisen Baden-Württembergs. Die Heuverbrennung zur Energiegewinnung wird von den Landwirtschaftsämtern nicht als Nutzungsalternative für Überschussgrünland angesehen.

Einen derzeit noch relevanten Verwertungsweg stellt der Heuverkauf dar. In der ersten Umfrage gaben 73 % der Landwirtschaftsämter an, dass eine Heuvermarktung besteht. In der zweiten Umfrage wird der Heuverkauf für circa 19 % der Überschussfläche als Nutzungsalternative genannt. Neben der regionalen Vermarktung, z. B. an Pferdehaltungsbetriebe in Stadtnähe, wird auch auf den überregionalen Heuexport hingewiesen. Die Heuverkaufsflächen liegen überwiegend in den südlich gelegenen Kreisen mit Schwerpunkt im RegB Tübingen. In einigen Kreisen ist der Heuverkauf bedeutsam, z. B. in den Kreisen Biberach (1.000 ha), Rottweil (1.800 ha), Reutlingen (2.500 bis 3.000 ha) und im Zollernalbkreis (5.000 ha) sowie in Sigmaringen (6.000 t), Konstanz (5.000 t), im Breisgau-Hochschwarzwald (3.150 t) und im Bodenseekreis (2.600 t).

<sup>6</sup> Mehrfachnennungen waren möglich.

Tab. 8: Schätzungen zum Grünlandüberschuss und Angaben zur Nutzung der Überschussflächen (Umfrageergebnisse)

| Regierungsbezirk                    | Stuttgart                          | Karlsruhe | Freiburg | Tübingen | Baden-Württemberg |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|
|                                     | Hektar                             |           |          |          |                   |
|                                     | Schätzungen zum Grünlandüberschuss |           |          |          |                   |
| Grünlandüberschuss Umfrage 1 (2003) | 18.785                             | 21.500    | 33.275   | 27.050   | 100.610           |
| Grünlandüberschuss Umfrage 2 (2005) | 15.970                             | 8.700     | 27.160   | 49.200   | 101.030           |
| Antwortende Kreise Umfrage 2        | 64 %                               | 57 %      | 78 %     | 100 %    | 74 %              |
|                                     | Nutzung der Überschussflächen      |           |          |          |                   |
| Mulchen                             | 9.935                              | 6.835     | 7.357    | 11.000   | 35.127            |
| Biogasnutzung                       | 1.074                              | 395       | 9.218    | 9.205    | 19.892            |
| Verbrennung                         | 1                                  | 260       | 0        | 460      | 721               |
| Heuverkauf                          | 1.870                              | 310       | 3.008    | 14.510   | 19.697            |
| Grüncobsverkauf                     | 110                                | 0         | 0        | 1.483    | 1.593             |
| Aufforstung                         | 872                                | 285       | 3.079    | 3.532    | 7.768             |
| Umbruch                             | 654                                | 510       | 585      | 4.695    | 6.444             |
| Kompostieren                        | 615                                | 105       | 1.650    | 1.314    | 3.684             |
| Sonstiges                           | 840                                | 0         | 2.263    | 3.300    | 6.102             |

Die überwiegende Menge des gehandelten Heus geht ins Ausland, vor allem nach Österreich und in die Schweiz. Genauere Angaben zum überregionalen Heuverkauf macht der Breisgau-Hochschwarzwald: hier werden 1.200 t in die Schweiz, 550 t in die Niederlande, 500 t nach Schleswig-Holstein, 300 t nach Nordrhein-Westfalen, 250 t nach Niedersachsen, 150 t nach Bayern und 50 t nach Belgien verkauft. Der Heuzukauf fällt nicht ins Gewicht und findet nur in Sigmaringen (1.500 t aus dem Kreis Tuttlingen) und im Breisgau-Hochschwarzwald (2.000 t aus verschiedenen Kreisen und kleinere Mengen aus Hessen) statt.

In einigen Kreisen im Südosten des Landes (Ostalbkreis, Sigmaringen und Ravensburg) werden aus dem Aufwuchs überschüssiger Grünlandflächen auch Pellets oder Grüncobs für den überregionalen Verkauf hergestellt. Insgesamt spielt dieser Nutzungsweg angesichts der kleinen Mengen an gehandelten Grüncobs allerdings eine vernachlässigbare Rolle, was auf eine eher geringe Qualität des Aufwuchses des Überschussgrünlandes hindeutet. Ein Verkauf von Grüncobs findet im Kreis Sigmaringen (500 t) und im Bodenseekreis (50 t) statt, während im Kreis Biberach (1.500 t) und im Main-Tauber-Kreis (circa 100 t Grüncobs aus dem Allgäu und aus Bayern) gekauft werden. Im Kreis Ravensburg findet ein Handel in unbekannter Größenordnung statt. Für die gehandelten Grüncobs werden Preise von 100 bis 150 Euro/t angegeben.

Die Hoffnung, dass durch die Befragung Handelswege für Heu und Grüncobs offen gelegt werden können, hat sich nicht erfüllt. In den Berechnungen kann deshalb kein Ausgleich

von einerseits Kreisen mit Grünland-Überschussflächen und andererseits Kreisen mit Raufutterbedarf durchgeführt werden. Allerdings zeigen die Umfrageergebnisse, dass in einigen Kreisen der errechnete Grünlandüberschuss durch den (noch) bestehenden Heuverkauf relativiert wird. Im Zollernalbkreis gibt es beispielsweise rund 10.000 ha Grünlandüberschussflächen, wovon die Hälfte zur Heuerzeugung für den überregionalen Verkauf genutzt wird. Ähnliches gilt für den Kreis Reutlingen. Der Kreis Rottweil weist den Berechnungen zufolge gegenwärtig keinen Grünlandüberschuss auf, jedoch wird auf 1.800 ha Heu für den überregionalen Markt produziert.

Die in der zweiten Umfrage genannten Preise für Heu liegen zwischen 40 und 170 Euro/t mit einem Schwerpunkt zwischen 80 und 120 Euro/t. Nach offiziellen Informationen (BWagrar 2006) werden zwischen 60 bis 85 Euro/t für Kleinballen und 50 bis 75 Euro/t für Großballen (Lkw-verladen, ab Hof/Feld) bezahlt. Den Berechnungen zufolge liegen die Vollkosten ab Feld bei 70 bis 90 Euro/t Heu. Dies macht deutlich, dass sich mit dem Heuverkauf „kein Geld verdienen lässt“. Angesichts der teilweise unzureichenden Wirtschaftlichkeit des Heuverkaufs und der Unsicherheit über die Entwicklung dieses Absatzmarktes suchen die Landwirte nach lukrativeren Verwendungsmöglichkeiten für Überschussgrünland und erhoffen sich insbesondere durch die Nutzung von Grassilage in Biogasanlagen eine höhere Wertschöpfung.

Bei der Frage nach alternativen Nutzungsformen für Überschussgrünland wird die Aufforstung von über zwei Drittel der Kreise<sup>6</sup> als Option genannt. Für über die Hälfte der Kreise wird eine Überführung in Naturschutzflächen und für 43 % aller Kreise eine Umwandlung in Ackerflächen angegeben. Die Aufforstung (8 %) und der Umbruch (6 %) werden zusammen für 14.200 ha oder 2,5 % des Dauergrünlands als Nutzungsalternativen angegeben. In dieser Größenordnung wäre eine Grünlandumwandlung problemlos mit den Regelungen des Direktzahlungen-Verpflichtungengesetzes (2004) vereinbar. Der Aufforstung wird vornehmlich in den RegB Freiburg und Tübingen eine bedeutendere Rolle zugesprochen. Der Grünlandumbruch wird nur im RegB Tübingen als relevante Nutzungsoptionen betrachtet. Die Kompostierung von Grünlandaufwuchs wird ebenfalls genannt (4 %). Hier dürfte es sich wahrscheinlich um Naturschutzvorrangflächen mit einem besonders späten Schnitt und der Auflage, den Aufwuchs abzutransportieren, handeln.

### **Energetische Nutzung von Biomasse**

Potenziale zur energetischen Nutzung werden bei Holz, Gülle und Energiepflanzen (85 bis 89 % der Nennungen) sowie bei Stroh (67 %) gesehen. Dabei wird dem Holz in 57 % der Kreise sogar viel Potenzial zur Energieerzeugung zugesprochen. Für Gülle beträgt der Wert 36 %, bei den Energiepflanzen und Stroh je 18 %. Für die überwiegende Anzahl der Kreise (82 %) wird angegeben, dass Gülle energetisch genutzt wird. Über die Hälfte der Kreise ziehen zusätzlich Energiepflanzen (64 %) und Grünabfälle (52 %) zur Energieerzeugung heran.<sup>6</sup> In 9 % wird die Nutzung von Stroh zur Energiegewinnung genannt. Der Umfang der Bioenergienutzung ist allerdings nur von geringer Bedeutung. In weniger als 10 % der Kreise wird den Angaben zufolge „viel“ Biomasse energetisch genutzt. Eine Ausnahme bildet das Stroh, bei dem in 16 % der Fälle angegeben wird, dass „viel“ Stroh energetisch genutzt wird. Vereinzelt werden auch andere Biomassen zur Energiegewinnung genutzt, wie z. B. Fette, Maisspindeln, Mist, Getreide-, Müllerei-, Speise- und Bioab-

fälle. Als notwendige Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Nutzung von Biomasse wird mit deutlichem Abstand eine verstärkte Förderung (84 %) genannt. Danach folgt mit 55 % die Änderung von Vorschriften und mit 33 % die Öffnung von Umweltprogrammen.<sup>6</sup> Vereinzelt wird auch die Veränderung der Flurstruktur, des Managements, der Strategie, der Organisation und des Transports genannt.

### **Herkunft des zusätzlichen LF-Grünlands**

Die Auswertung der verfügbaren Statistiken ergibt, dass in einigen Kreisen mehr landwirtschaftlich genutztes (LF) Grünland als tatsächliches Grünland (gemäß der Bodennutzungserhebung) vorhanden ist (siehe Kap. 2.2, Abschnitt Einbeziehung von Kleinstbetrieben). Dies hat zur Folge, dass es in den betroffenen Kreisen zu Unstimmigkeiten bei der Berechnung des Grünlandüberschusses kommt. Der wichtigste Grund für diese Diskrepanz – die einigen der Befragten gar nicht bekannt war – dürfte im Besitz oder in der Pacht von Grünlandflächen in anderen Kreisen oder Bundesländern (z. B. Hessen, Rheinland-Pfalz) vornehmlich durch Schäfer liegen. Die angegebenen Zahlen zum Pachtumfang stimmen sehr gut mit den Berechnungen über den Umfang des „zusätzlichen“ LF-Grünlands überein. Das kann möglicherweise aber auch daran liegen, dass sich die Landwirtschaftsämter bei ihren Antworten an den mit dem Fragebogen verschickten statistischen Angaben orientiert haben. Aus den Umfrageergebnissen kann die Herkunft des „zusätzlichen“ LF-Grünlands nicht abgeleitet werden. Eine Abgleichung der statistischen Daten zu den LF-Grünlandflächen wäre deshalb nur mit Hilfe von InVeKos<sup>7</sup> oder Auswertungen der gemeinsamen Anträge möglich. Dies konnte im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden.

### **Art und Nutzung von Nicht-LF-Grünland**

Zur Verbesserung der Informationslage über das Nicht-LF-Grünland, das überwiegend von „Stücklesbesitzern“ bewirtschaftet wird, die nicht mehr in der landwirtschaftlichen Statistik geführt werden, sind bei der Umfrage auch Fragen zur durchschnittlichen Parzellengröße und zu Art und Nutzung des Nicht-LF-Grünlands gestellt worden. Da das Nicht-LF-Grünland nicht zum Aufgabenbereich der Landwirtschaftsämter gehört und hierzu keine Daten verfügbar sind, handelt es sich bei den nachfolgenden Angaben um Schätzungen. Die Auswertung der Antworten macht deutlich, dass die Nicht-LF-Grünlandflächen sehr klein parzelliert sind (durchschnittliche Größe: 23 Ar) und überwiegend als Streuobstwiesen (34 % der Flächen) oder Wiesen (28 %) und Weiden (19 %) genutzt werden.

Die Angaben für Streuobstwiesen stimmen mit der statistisch erfassbaren Datenlage allerdings nur bedingt überein. Dies zeigt folgende Berechnung: Nach den Angaben aus der Biotopkartierung (1981 bis 1989) von der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU, jetzt LUBW) existieren in Baden-Württemberg rund 74.500 ha Streuobstwiesen (Höll/Breunig 1995). Der Auswertung des Förderprogramms "Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich" (MEKA II)<sup>8</sup> zufolge umfassen die Streuobstwiesen auf LF-Grünland in Baden-

---

<sup>7</sup> Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, von der Europäischen Kommission eingeführt, mit dem u. a. landwirtschaftlich genutzte Parzellen (ab 2005 GIS-unterstützt) identifiziert werden können.

<sup>8</sup> MEKA II wird den Landwirten vom Land Baden-Württemberg seit dem Jahr 2000 angeboten. Es baut auf dem seit 1992 angebotenen MEKA I auf und enthält im Vergleich dazu einige zusätzliche Förderpositionen und den neu eingeführten Förderbereich "Honorierung der Vielfalt von Pflanzenarten auf Grünland" (Artenreiches Grünland, MEKA II Förderposition B4).

Württemberg rund 30.000 ha. Da bei MEKA für rund 82 % der in Baden-Württemberg vorhandenen LF-Grünlandflächen eine Grundförderung beantragt wurde, dürfte der tatsächliche Umfang bei schätzungsweise 36.400 ha Streuobstwiesen liegen. Zieht man vom gesamten kartierten Streuobstbestand den Streuobstwiesenbestand auf LF (laut MEKA II) ab, dann müssten rund 39.100 ha der Streuobstwiesen zum Nicht-LF-Grünland gehören, d. h. 55 % des Nicht-LF-Grünlandes wären Streuobstwiesen. Gemäß der Angaben aus der zweiten Fragebogenumfrage werden jedoch nur 34 % des Nicht-LF-Grünlandes (circa 71.000 ha) als Streuobstwiesen genutzt (entspricht 24.100 ha).

Das Nicht-LF-Grünland wird den Antworten zufolge in erster Linie für die Bereitstellung von Tierfutter (37 % der Fläche) verwendet. Folglich dürfte es sich bei rund zwei Drittel des Nicht-LF-Grünlandes um Überschussgrünland handeln. Diese Angabe stimmt gut mit den Berechnungen überein, denen zufolge 39 % des Nicht-LF-Grünlandes für die Tierfütterung erforderlich sind. Der Heuverkauf spielt nur eine untergeordnete Rolle. Insgesamt steht den Antworten zufolge etwa die Hälfte des Nicht-LF-Grünlandes für eine energetische Nutzung zur Verfügung.

### **Hangneigung der Flächen**

Für die Verfahren zur Nutzung von Überschussgrünland zur Energiegewinnung ist die Hängigkeit der Flächen ein wichtiger Wirtschaftlichkeitsfaktor, da die Kosten für die Bergung des Auswuchses bei einer Hangneigung von über 25 % deutlich ansteigen. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass mehr als zwei Drittel der zukünftigen Überschussflächen ein Gefälle von weniger als 25 % aufweisen. Damit ist anzunehmen, dass bei einem Großteil der Flächen eine Bergung des Grünlandaufwuchses mit vorhandener konventioneller Technik erfolgen kann.

### **Energiegehalte von Futtermitteln**

Zur Ermittlung des nicht zur Tierfütterung benötigten Grünlands werden in den Berechnungen kreisspezifische Angaben des Statistischen Landesamtes für Tierbestände, Anbauflächen und Futtererträge verwendet. Da keine regional differenzierten Daten zur Futterqualität vorliegen, musste mit für alle Kreise einheitlichen Energiegehalten der Futtermittel gerechnet werden. Um hier eine bessere Berechnungsgrundlage und damit auch genauere Ergebnisse zu bekommen, wurden in der zweiten Umfrage die kreisspezifischen Energiegehalte für unterschiedliche Futterarten und -qualitäten erhoben.

Die Auswertung der Antworten zeigt, dass die durchschnittlichen Angaben der Landwirtschaftsämter zu den Energiegehalten der Futtermittel weitgehend den Annahmen in unseren Berechnungen entsprechen. Eine Ausnahme stellen Grassilage, für die etwas höhere, und Silomais bzw. gute Weide, für die etwas niedrigere Energiegehalte angegeben werden, dar. Zwischen den einzelnen Kreisen ergeben sich allerdings erhebliche Unterschiede in den durchschnittlichen Energiegehalten der Futtermittel von bis zu über 20 %. Bei Grassilage werden überdurchschnittliche Werte vor allem für Oberschwaben (Biberach, Ravensburg, Bodenseekreis) und unterdurchschnittliche vor allem für die nordwestlichen Kreise (Karlsruhe, Rhein-Neckar, Neckar-Odenwald, Heilbronn) genannt.

## 2.6 Einordnung der Ergebnisse

Den Berechnungen über den Umfang an Grünlandüberschuss zufolge sind gegenwärtig rund 135.000 ha bzw. 21 % der gesamten Grünlandfläche ohne Nutzung in der Tierhaltung. Dieser Überschuss wird bis zum Jahr 2015 auf rund 167.000 ha oder 26 % der Grünlandfläche in Baden-Württemberg anwachsen. Diese Abschätzungen basieren auf Bilanzierungen des Futterbedarfs von Rindern, Pferden und Schafen mit der Futtererzeugung aus dem Grünland. Ergänzend dazu wurden Umfragen bei den Landwirtschaftsämtern durchgeführt, um Hinweise auf abweichende Einschätzungen zu gewinnen und zur Validität der Berechnungen beizutragen. Die Angaben zum Grünlandüberschuss, die in der zweiten Umfrage von 26 Kreisen gemacht wurden, liegen um 17 % niedriger als die für diese Kreise berechnete Überschussfläche. Insgesamt summieren sich die Schätzungen der regionalen Experten auf einen Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg von rund 101.000 ha. Der Unterschied zwischen dem berechneten und dem in den Umfragen ermittelten Grünlandüberschuss dürfte darauf zurückzuführen sein, dass sich die Kalkulationen auf das gesamte Grünland beziehen, die Abschätzungen in den Umfragen dagegen auf der landwirtschaftlich genutzten Grünlandfläche basieren.

Der aktuell sinkende Pferdebestand und die Reform der Milchquotenbörse könnten dazu führen, dass der Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg zukünftig deutlich höher ausfällt als auf der Basis der ausschließlichen Übertragbarkeit von Milchquoten innerhalb Baden-Württembergs ermittelt wurde. Durch die Reform der Milchquotenbörse – ab dem 01. Juli 2007 gibt es nur noch die Übertragsgebiete West (alte Bundesländer) und Ost (neue Bundesländer) – werden sich die Wanderungsbewegungen der Milchquoten verändern. Künftig kann Milchquote aus den vier Regierungsbezirken Baden-Württembergs, in denen der Quotenpreis relativ niedrig war, in Regionen abfließen, die in der Vergangenheit relativ hohe Quotenpreise im Vergleich zum gewichteten Bundesdurchschnitt (West) bezahlt haben. Hierzu gehören Schleswig-Holstein, die Oberpfalz, Oberbayern sowie Ober- und Mittelfranken und Niedersachsen (Brümmer/Loy 2007).

In welchem Umfang es zu einem Abfluss an Milchquote kommen wird, ist allerdings schwierig abzuschätzen, da die meist familiengeführten Milchviehbetriebe in Baden-Württemberg kurzfristig auch höhere Quotenpreise bezahlen könnten, sofern sie mit einer geringen Entlohnung der betriebseigenen Produktionsfaktoren und der eigenen Arbeit (von rund 5 € pro Stunde oder darunter) zurechtkommen und dadurch ihre Lebenshaltungskosten erwirtschaften können (Latacz-Lohmann/Hemme 2007). Vor allem Gebiete, in denen bislang Milchquote zugekauft wurde, weil die Milchproduktion immer noch die betriebswirtschaftlich interessanteste oder die einzige Einkommensmöglichkeit darstellt, werden wahrscheinlich kurzfristig auch weiterhin Quote zukaufen. Dies gilt in Baden-Württemberg besonders für das Allgäu und das Alpenvorland aber auch für den Schwarzwald.

Nicht nur in Baden-Württemberg, sondern in vielen Regionen Deutschlands und in anderen EU-Staaten nehmen die Tierbestände – insbesondere die Zahl an Milchkühen – seit Jahren kontinuierlich ab. Dies hat zur Folge, dass immer mehr Grünland von seiner Aufgabe als Tierfutterproduzent freigestellt wird. Ergebnisse zum überschüssigen Grünland mit denen die Resultate dieser Studie verglichen werden könnten, liegen aber nur vereinzelt vor und basieren meist auf groben Abschätzungen. Nach Wachs/Steinhöfel (2003) werden in Sachsen rund 22 % des Grünlands nicht zur Ernährung des Bestands an Wiederkäuern benötigt. Diese Angabe liegt in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse unserer Berechnungen für Baden-Württemberg. Röhricht/Groß-Ophoff (2003) gehen dagegen davon aus, dass 40 % der gesamten Grünlandaufwüchse energetisch bzw. stofflich genutzt werden könnten.

Auch in Bayern ist die Grünlandnutzung durch die Rinderhaltung stark rückläufig. Dort hat in den letzten 30 Jahren das Dauergrünland um 420.000 ha abgenommen. Damit verringerte sich sein Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 42 auf 35 % (STMLF 2003). In Abschätzungen der Landesanstalt für Landwirtschaft in Bayern wird davon ausgegangen, dass zwischen 22 und 25 % des Grünlands nicht mehr als Futterflächen benötigt werden (Hartmann 2006). Auch in Ostdeutschland müsste es infolge des niedrigen Tierbesatzes theoretisch überschüssiges Grünland geben (IE 2005). Untersuchungen hierzu liegen allerdings nicht vor.

Nach Angaben von Buchgraber (2004) zeigt sich in Österreich auf rund 30 % der Grünlandfläche ein Überschuss an Futter. Aufgrund weiter abnehmender Tierzahlen wird bis 2008 mit rund 254.000 ha an freigesetzten Grünlandflächen aufgrund des geringeren Futterbedarfs gerechnet. Bis zum Jahr 2010 werden rund 47 % der Grünlandflächen nicht mehr für die Erzeugung von Raufutter benötigt. Amon (2003) geht davon aus, dass in Österreich 25 % des Grünlands zur Produktion von Biogassubstrat verfügbar sind. Auch in den Niederlanden und in Tschechien wird über einen relevanten Umfang an Grünlandflächen berichtet, der nicht mehr für die Tierfütterung benötigt wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass davon auszugehen ist, dass in Baden-Württemberg, wie auch in anderen Teilen Deutschlands und in anderen EU-Staaten ein nennenswerter Teil des Grünlandes nicht mehr für die Futtergewinnung benötigt wird. Der Aufwuchs der frei werdenden Grünlandflächen könnte energetisch oder stofflich genutzt werden, ohne dass es dabei – wie beim Anbau von Energiepflanzen auf Ackerflächen – zu einer Konkurrenz zur Futter-/Nahrungsmittelproduktion kommen würde. Aus sozioökonomischen, landeskulturellen und naturschutzfachlichen Aspekten ist die Erhaltung des Grünlandes wünschenswert. Es stellt sich deshalb die Frage, welche Verfahren zur energetischen Nutzung des Aufwuchses von Grünland geeignet sind und wie sich diese Verfahren im Vergleich zur Umwandlung von Grünland in Energiepflanzenanbauflächen wirtschaftlich und ökologisch darstellen. Im folgenden Kapitel werden die Biogaserzeugung aus Grassilage und Mais, die thermische Verwertung von Grünlandaufwüchsen (Heu) sowie die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen hinsichtlich ihrer Anforderungen an die Substrat- bzw. Brennstoffeigenschaften und der Konversionstechnik dargestellt und die Wirtschaftlichkeit der Verfahren sowie ihre Eignung zur Verwertung der Aufwüchse von Grünlandüberschussflächen analysiert.

### 3 Verfahren zur energetischen Nutzung von Grünland

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland dargestellt und ihre Wirtschaftlichkeit analysiert. Zunächst werden Verfahren behandelt, mit denen der Grünlandaufwuchs direkt verwertet werden kann. Welche Technik zur Energieumwandlung in Frage kommt, hängt dabei von der Qualität des Materials ab. Während junges, energiereiches Gras von mehrschnittigen produktiven Wiesen ein geeignetes Biogassubstrat darstellt, eignet sich überständiges, rohfaserreiches Heu eher als Festbrennstoff (Abb. 11).

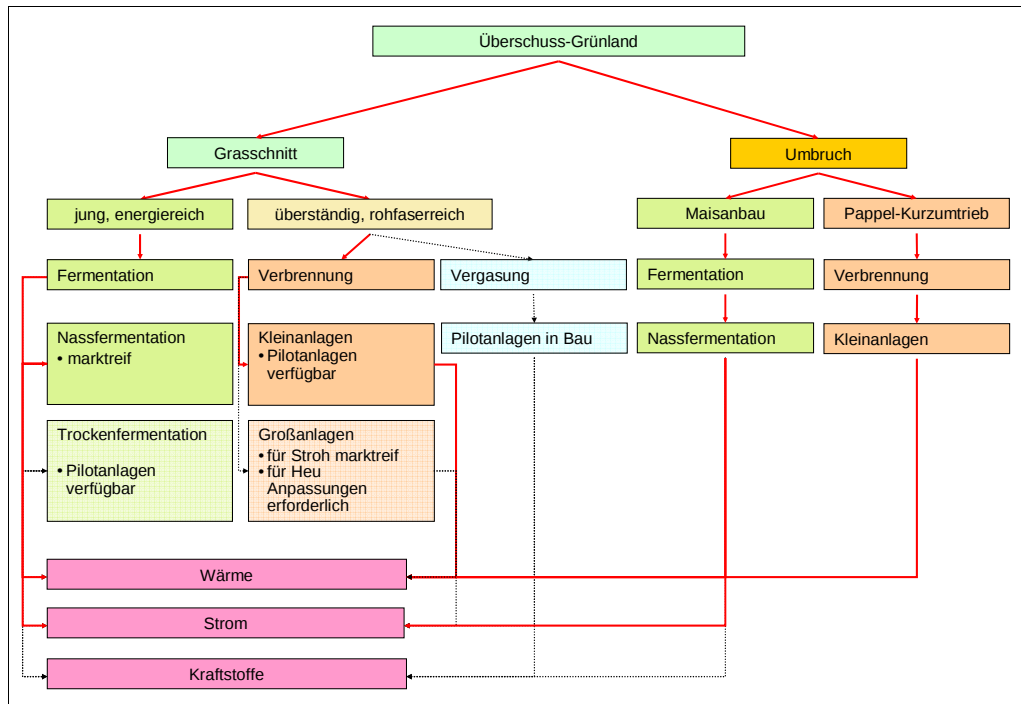


Abb. 11: Pfade zur Nutzung von überschüssigem Grünland zur Energiegewinnung

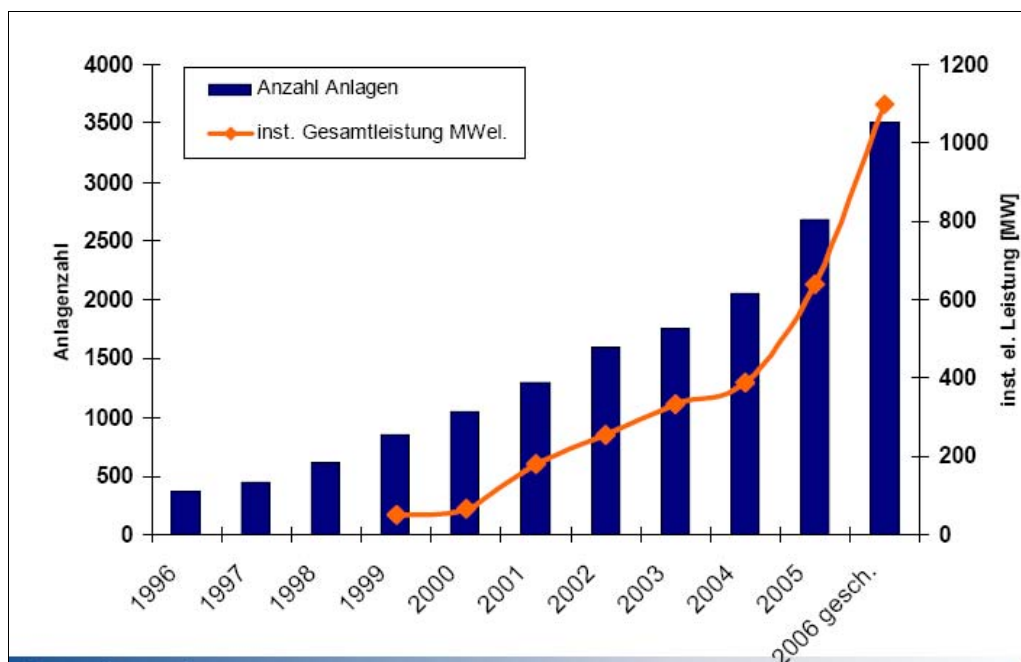
Da Grünland auch in andere Flächennutzungsformen überführt werden kann und dies nach dem Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz (2004) in begrenztem Umfang zulässig ist, werden in diesem Kapitel als Alternativen zur Grünlandnutzung die Verfahren „Grünlandumbruch mit nachfolgendem Maisanbau zur Stromerzeugung“ (Kapitel 3.1) und „Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen“ (Kapitel 3.3) betrachtet. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen beziehen sich auf einzelbetriebliche Anlagen oder von mehreren Landwirten betriebene Gemeinschaftsanlagen. Die Bioenergieträger werden auf eigenen oder gepachteten Flächen erzeugt.

Von einem Zukauf an Substraten bzw. Brennstoffen wird nicht ausgegangen, da die hierfür anzusetzenden Preise schwer abzuschätzen sind, weil sie nicht nur von den Produktionskosten, sondern von den Angebots- und Nachfrage-Verhältnissen am Markt abhängen. Dies zeigen die in der Vergangenheit stark gestiegenen Preise für Holzpellets und die regional und saisonal unterschiedlich hohen Preise für Mais- und Grassilage. Da die Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf betrieblicher Ebene durchgeführt werden, sind in den ökonomischen Analysen finanzielle Zuwendungen über agrarpolitische Flächenprämien ent-

halten. Darüber hinaus wird auf Verfahren zur energetischen bzw. energetisch-stofflichen Verwertung von Gras hingewiesen, die gegenwärtig noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium stecken, aber zukünftig möglicherweise auch eine Alternative für die Verwertung von Grünlandaufwuchs darstellen. Dazu gehören die BtL-Verfahren und die grüne Bioraffinerie.

### 3.1 Biogaserzeugung aus Grassilage und Mais

Seit der Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG 2004) und der damit verbundenen Einführung einer zusätzlichen Vergütung für Strom, der aus nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) erzeugt wird – Grünlandaufwuchs zählt auch dazu – ist die Zahl der Biogasanlagen und ihre Leistung auch in Baden-Württemberg deutlich gestiegen (Abb. 12). In Deutschland liegt in 2005 die durchschnittliche installierte elektrische Leistung pro Anlage bei circa 400 kW. Als Substrat wird in diesen NaWaRo-Anlagen neben Gülle hauptsächlich Mais eingesetzt. Als zweithäufigstes Kosubstrat wird Grassilage (in 41 % der Anlagen) und darüber hinaus auch Rasenschnitt (in 18 % der Anlagen) verwendet (Weiland 2006).



Quelle: Fachverband Biogas 2005

Abb. 12: Entwicklung der Anzahl von Biogasanlagen und der elektrischen Anschlussleistung

Im Folgenden wird die Biogaserzeugung aus Grassilage (in Kombination mit Gülle und Maissilage) sowie aus Extensivheu (als Kosubstrat mit Mais) dargestellt und die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren in unterschiedlichen Anlagengrößen ohne und mit Wärmenutzung berechnet. Dabei wird von einer direkten Verstromung des erzeugten Biogases in einem unmittelbar neben der Anlage installierten BHKW ausgegangen, da diese Konstellation gegenwärtig die Regel ist.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Nur in seltenen Fällen kann dabei die anfallende Wärme sinnvoll genutzt werden. Durch Anschluss an ein Gebiet mit Nahwärmeversorgung oder Aufbereitung und Einspeisung des Biogases in das Erdgasnetz und

### 3.1.1 Substrateigenschaften

Zur Biogasgewinnung über die Nassfermentation eignet sich sowohl frisches Gras als auch Heu oder Grassilage. Die beim Einsatz dieser verschiedenen Substratarten erzielbaren Biogaserträge differieren nur wenig. Hinsichtlich der Ernte- und Lagertechnik sowie der Verfahrenskosten ist jedoch die Grassilage für eine ganzjährige Versorgung einer Biogasanlage deutlich vorteilhafter als frisches Gras oder Heu. Allerdings kann in Trockenfermentationsanlagen auch der Einsatz von Heu vor allem als Strukturelement von Bedeutung sein. Daneben könnte zumindest ein Teil des Grünlandes umgebrochen und dadurch zusätzliche Anbaufläche für Mais gewonnen werden. Deshalb wird im Folgenden jeweils auch die Eignung von Maissilage dargestellt.

Nicht jeder Grünlandaufwuchs eignet sich gleichermaßen zur Erzeugung von Grassilage als Biogassubstrat. Die Silierfähigkeit von Gras hängt in erster Linie von dessen Rohfaseranteil ab: je höher dieser ist, umso schlechter ist die Silierbarkeit. Den größten Einfluss auf die Eignung von Grassilage hat deshalb der Schnittzeitpunkt des Grünlandaufwuchses, da im Verlauf der Vegetationsperiode der Rohfaseranteil zunimmt und gleichzeitig der Rohproteinanteil abnimmt (Tab. 9). Durch den Siliervorgang wird die Rohfaserfraktion im Substrat teilweise aufgeschlossen, wodurch sich die Nährstoffverfügbarkeit für den methanogenen Stoffwechsel in der Biogasanlage verbessert (Amon 2004) und wichtige Vorläufersubstanzen (z. B. Milch- und Essigsäure) gebildet werden.

Ein Zusatz an Siliermitteln, die das Verhältnis von Milchsäure zu Essigsäure zugunsten der Essigsäure verschieben, könnte die Biogasausbeute aus Grassilage weiter verbessern. Allerdings sind nur geringe Steigerungen der Methanausbeute um 3 bis 5 % zu erwarten (Prochnow et al. 2007). Durch die höhere Biogasausbeute von Grassilage im Vergleich zu Grünschnitt kann der Verlust an organischer Substanz (10 bis 15 %) während des Siliervorganges (KTBL 2005) teilweise wieder ausgeglichen werden (FNR 2004). Der TS-Gehalt von Grassilage liegt in der Regel zwischen 25 und 40 % (KTBL 2004). Zum Vergleich: Der TS-Gehalt von Grasschnitt variiert zwischen 15 und 20 % und kann durch kurzes Anwelken auf den gewünschten Trockensubstanzgehalt erhöht werden.

---

seine Verstromung an einem Standort mit hohem Wärmebedarf könnte ein deutlich höherer Gesamtwirkungsgrad erzielt werden als in den Anlagen-BHKW. Die ersten beiden Anlagen, die in Deutschland erfolgreich aufbereitetes Biogas (mit Erdgasqualität) ins Erdgasnetz einspeisen, sind Ende 2006 in Betrieb gegangen (Anonym 2006).

Tab. 9: Zusammensetzung und Futterwerte von Gras- und Maissilage sowie von Heu

| Futtermittel       |            |                 | TM (%) | in 1.000 g Trockenmasse |              |                       |                |
|--------------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------|-----------------------|----------------|
|                    |            |                 |        | NEL* (MJ)               | Rohfaser (g) | Stärke und Zucker (g) | Rohprotein (g) |
| Grassilage         | 1. Schnitt | Beginn Schossen | 40     | 6,75                    | 187          | 40                    | 190            |
|                    |            | Rispenschieben  | 40     | 6,46                    | 222          | 25                    | 180            |
|                    |            | Rispenspreizen  | 40     | 6,14                    | 256          | 15                    | 165            |
|                    |            | Mitte der Blüte | 40     | 5,84                    | 293          | 10                    | 145            |
|                    | 2. Schnitt | Beginn Schossen | 40     | 6,22                    | 187          | 20                    | 188            |
|                    |            | Rispenschieben  | 40     | 6,00                    | 221          | 20                    | 174            |
|                    |            | Rispenspreizen  | 40     | 5,70                    | 254          | 15                    | 160            |
| Wiesenheu intensiv | 1. Schnitt | Rispenschieben  | 86     | 6,17                    | 245          | 120                   | 132            |
|                    |            | Rispenspreizen  | 86     | 5,69                    | 284          | 110                   | 115            |
|                    |            | Blüte           | 86     | 5,30                    | 317          | 105                   | 98             |
|                    |            | abgeblüht       | 86     | 4,87                    | 350          | 100                   | 82             |
| Maissilage         | teigreif   | körnerarm       | 26     | 6,15                    | 234          | 230                   | 84             |
|                    |            | körnerreich     | 30     | 6,61                    | 190          | 325                   | 82             |

\* Netto-Energie-Laktation (NEL) ist ein Energiebewertungsmaßstab für Milchkühe und Ziegen in MJ

Quelle: nach LfL (2006a)

In Grassilage und Heu ist der Rohfaser- und Proteingehalt bestimmend für den Biogasertrag, während bei Maissilage der Stärke- und Zuckergehalt maßgebend zur Biogasausbeute beiträgt (Amon 2004). Die Stickstoffgehalte von Grassilage liegen zwischen rund 23 und 30 g/kg TS und sind damit gut doppelt so hoch wie von Maissilage (Tab. 10). Der relativ hohe Proteingehalt von Grassilage kann eine limitierende Größe beim Einsatz von Grassilage als Biogassubstrat darstellen, weil es hierdurch zu einer vermehrten Bildung von Ammoniak und Ammonium während der Biogasgewinnung im Fermenter kommen kann.

Tab. 10: Rohproteingehalte und daraus errechnete Stickstoffkonzentrationen von Gras- und Maissilagen (ohne Nitrat-N)

| Futtermittel       |            |                 | Rohprotein (g) | Stickstoff (g/kg TS) |
|--------------------|------------|-----------------|----------------|----------------------|
| Grassilage         | 1. Schnitt | Beginn Schossen | 190            | 30,4                 |
|                    |            | Rispenspreizen  | 165            | 26,4                 |
|                    |            | Mitte der Blüte | 145            | 23,2                 |
|                    | 2. Schnitt | Beginn Schossen | 188            | 30,1                 |
|                    |            | Rispenspreizen  | 160            | 25,6                 |
|                    |            | Rispenschieben  | 132            | 21,1                 |
| Wiesenheu intensiv | 1. Schnitt | Blüte           | 98             | 15,7                 |
| Maissilage         | teigreif   | körnerarm       | 84             | 13,4                 |
|                    |            | körnerreich     | 82             | 13,1                 |

Quelle: nach LfL (2006a)

Messungen in Thüringer Biogasanlagen (Reinhold 2005a) ergaben, dass der Anteil von Ammonium am Gesamtstickstoff von durchschnittlich 45 % im Ausgangssubstrat während der Fermentation auf 63,5 % im Gärrest steigt. Hohe Konzentrationen an Ammoniak und Ammonium wirken aber hemmend auf die Mikroorganismen im Biogasfermenter. Bei der Vergärung von Grassilage mit 35 % TS und 30 g N/kg TS würden etwa 0,2 g/l Ammoniak und 6,6 g/l Ammonium gebildet werden. Diese hohen Konzentrationen sind nicht unproblematisch, da es bereits ab etwa 0,15 g/l Ammoniak und ab 4 g/l Ammonium zu einer Hemmung der Biogasproduktion kommen kann (KTBL 2005). Andererseits ist anzunehmen, dass die Bakterien im Fermenter eine hohe Adaptionsfähigkeit besitzen. Darüber hinaus kann die Stickstoffkonzentration im Fermenter durch Kofermentation der Grassilage mit Gülle oder anderen Substraten wie Maissilage herabgesetzt werden.

Neben dem hohen Proteingehalt kann auch der Schwefelgehalt von Grassilage bei der Biogaserzeugung im Fermenter kritisch sein, da dieser u. a. zu Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) umgewandelt wird. Schwefelwasserstoff kann ab einer Konzentration von 50 mg/l  $\text{H}_2\text{S}$  zur Hemmung der Biogasproduktion führen (Edelmann 2001). Problematisch ist darüber hinaus das Absinken des pH-Wertes beim Einsatz von Gras in Folge des Abbaus langkettiger organischer Verbindungen in niedermolekulare Säuren. Im Normalfall wird dieses Absinken durch das freigesetzte Kohlendioxid im neutralen Bereich gepuffert. Ist die Pufferkapazität erschöpft, sinkt der pH-Wert weiter, und die Methanbakterien werden gehemmt. Dadurch nimmt der Anteil an organischen Säuren zu, bis durch einen zu niedrigen pH-Wert der gesamte Prozess zum Erliegen kommt.

Aus den oben genannten Gründen wird von einer Gras-Monofermentation abgeraten. Inzwischen gibt es allerdings erste Biogasanlagen, die nur mit Grassilage betrieben werden. So wird in einer Biogasanlage bei Salzburg eine Mischung aus Frischgras, Heu, Grassilage und geringen Mengen Rindergülle eingesetzt. Probleme ergaben sich bisher nur durch Schwimmschichtbildung, die auf unzureichender Substratzerkleinerung und ungenügender Rührwerkstechnik beruhten. Dagegen lagen pH-Wert und Stickstoffgehalte in unproblematischen Bereichen (Wittmann 2006, Stiegler 2006).

Über die Biogasausbeute aus Gras liegen noch wenige belastbare Ergebnisse aus wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Außerdem basieren die in Laboruntersuchungen gewonnenen Methanerträge bei der anaeroben Vergärung von Gras häufig auf Batch-Versuchen. Hier wird in mit Substrat befüllten Gefäßen die erzeugte Biogasmenge während einer Verweilzeit von meist 28 bis 40 Tage gemessen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus diesen Laborversuchen auf großtechnische Anlagen ist begrenzt (KTBL 2005). Die Ergebnisse aus Durchflussversuchen, bei denen die Fermenter über die komplette Versuchszeit kontinuierlich mit Substrat beschickt werden, liefern praxisrelevantere Ergebnisse. Sie werden jedoch auf Grund ihres hohen zeitlichen und apparativen Aufwandes selten durchgeführt. Die Auswertbarkeit von Laboruntersuchungen ist deshalb eingeschränkt. Ein Vergleich der verfügbaren Werte (Tab. 11) zeigt, dass für Gras- und Maissilage ähnliche Biogaserträge im Bereich von 590 bis 640 l/kg (organischer Trockensubstanz) (oTS) gemessen wurden.

Tab. 11: Biogaserträge von Gras- und Maissilage sowie Heu

| Substrat                              | Labor-<br>versuche | TS   | oTS  | Biogas-<br>ertrag | Methan-<br>gehalt | Methan-<br>ertrag |
|---------------------------------------|--------------------|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                       | n                  | %    | % TS | Nl/kg oTS         | %                 | Nl/kg oTS         |
| Grassilage                            | 19                 | 28,3 | 89,0 | 627               | 52,9              | 332               |
| Heu                                   | 2                  | 83,9 | 92,5 | 580               | 50,9              | 295               |
| Gras, Landschafts-<br>pflege (frisch) | 2                  | 21,6 | 90,2 | 145               | 57,0              | 83                |
| Rasenschnitt                          | 2                  | 28,2 | 72,4 | 207               | 49,0              | 101               |
| Maissilage, teigreif                  | 17                 | 32,6 | 94,7 | 642               | 54,0              | 347               |
| Maissilage, vollreif                  | 29                 | 40,1 | 96,3 | 593               | 54,0              | 320               |

Quelle: KTBL 2005

Heu lag in den wenigen vorliegenden Untersuchungen mit 580 l/kg oTS etwas niedriger. Extensive Aufwüchse aus Landschaftspflege sowie Rasenschnitt erzielen dagegen sehr niedrige Biogaserträge. Die niedrigen Werte für Landschaftspflegegras sind überwiegend auf hohe Gehalte an stark mit Lignin inkrustierter Rohfaser zurückzuführen, während beim Rasenschnitt hohe Stickstoffgehalte eine hemmende Wirkung ausüben.

Untersuchungen zur Biogasausbeute von Grassilage in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt, Substratqualität und Standort wurden von Oechsner/Lemmer (2002, Durchflussversuche) sowie von Amon et al. (2006, Batchversuche) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen (Tab. 12), dass auf sehr extensiven Naturschutzgebieten keine geeigneten Substrate zur Biogasnutzung aufwachsen.

Aber auch Substrate von Futterwiesen auf extensiven Standorten zeigen nur mäßige Methanerträge, die auch durch eine erhöhte Schnittfrequenz nicht wesentlich verbessert werden können. Bei Aufwüchsen von intensiven Standorten werden bei vierschüriger Wirtschaftsweise die höchsten spezifischen Methanerträge erzielt, allerdings bei sinkendem Trockenmasseertrag (Amon et al. 2006). Der Methanhektarertrag ist deshalb gegenüber dreischürigen Varianten nur noch geringfügig erhöht, erfordert allerdings einen zusätzlichen Erntegang. Günstig erscheint eine dreischürige Variante mit einer Verschiebung des Zeitpunktes für den ersten Schnitt um zwei Wochen, da dadurch die höchsten Trockenmasseerträge realisiert werden können, die die etwas geringeren spezifischen Methanerträge ausgleichen können. Im Detail zeigen sich bei den Untersuchungen allerdings noch einige Unklarheiten und Widersprüche. Erst durch die Auswertung mehrerer Versuchsjahre und einer höheren Anzahl an Wiederholungen könnten konkrete Aussagen zu notwendiger Intensität, Schnitthäufigkeit und Schnittzeitpunkt zur Erzielung eines optimalen Methanertrags aus Grünlandaufwuchs gemacht werden (Amon et al. 2006).

Tab. 12: Trockenmasse-, Methan- und Methanhektarerträge von unterschiedlichen Grünlandstandorten, Schnittvarianten und Schnittterminen

| Quelle                           | Standort | Schnitt-<br>häufigkeit | Schnitt<br>termin | Trockenmasse-<br>ertrag |      | Methan-<br>ertrag     | Methanhektarertrag |       |
|----------------------------------|----------|------------------------|-------------------|-------------------------|------|-----------------------|--------------------|-------|
|                                  |          |                        |                   | t TM/ha                 |      | m <sup>3</sup> /t oTS | m <sup>3</sup> /ha |       |
| Oechsner<br>und Lem-<br>mer 2002 | NSG      | einschürig             | -                 | 1,5                     |      | 80                    | 120                |       |
|                                  | extensiv | zweischürig            | -                 | 8,5                     |      | 220                   | 1.870              |       |
|                                  | intensiv | vierschürig            | -                 | 12,5                    |      | 390                   | 4.875              |       |
| Amon et<br>al. 2006              | extensiv | einschürig             | 30.08.            | 4,2                     | 4,2  | 153                   | 649                | 649   |
|                                  |          | zweischürig            | 05.07.            | 3,8                     | 6,3  | 171                   | 655                | 978   |
|                                  |          |                        | 11.10.            | 2,5                     |      | 128                   | 323                |       |
|                                  |          | dreischürig            | 09.06.            | 2,6                     | 5,9  | 221                   | 583                | 1.108 |
|                                  |          |                        | 29.07.            | 1,8                     |      | 167                   | 294                |       |
|                                  |          |                        | 11.10.            | 1,5                     |      | 152                   | 231                |       |
|                                  | intensiv | dreischürig            | 01.06.            | 3,6                     | 10,4 | 315                   | 1.134              | 2.714 |
|                                  |          |                        | 22.07.            | 3,5                     |      | 272                   | 963                |       |
|                                  |          |                        | 27.09.            | 3,3                     |      | 190                   | 618                |       |
|                                  |          | dreischürig            | 15.06.            | 5,2                     | 11,4 | 362                   | 1.872              | 3.213 |
|                                  |          |                        | 03.08.            | 3,1                     |      | 192                   | 586                |       |
|                                  |          |                        | 10.10.            | 3,1                     |      | 243                   | 756                |       |
|                                  |          | vierschürig            | 18.05.            | 2,5                     | 10,2 | 257                   | 643                | 3.378 |
|                                  |          |                        | 06.07.            | 3,7                     |      | 392                   | 1.447              |       |
|                                  |          |                        | 09.09.            | 3,8                     |      | 317                   | 1.208              |       |
|                                  |          |                        | 30.09.            | 0,2                     |      | 350                   | 81                 |       |

### 3.1.2 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung

In diesem Kapitel wird der Einsatz von Grünlandaufwuchs in der Nassfermentation (Gras-silage) und – auch aufgrund der dafür gewährten zusätzlichen Stromvergütung im Rahmen des EEG – die (innovative) Trockenfermentation (von Heu extensiver Flächen zusammen mit Maissilage) untersucht. Der Unterschied liegt darin, dass sich bei der Nassfermentation die Substrate in einem pump- und rührfähigen Zustand befinden, während die Substrate der Trockenfermentation stapelbar sind. Die Verfahrenstechnik von Biogasanlagen ist in verschiedenen Veröffentlichungen ausführlich dargestellt (z. B. FNR 2004). Im Folgenden soll deshalb nur auf Besonderheiten bei der Grasvergärung eingegangen werden.

## Nassfermentation

Die Nassfermentation von Gülle und inzwischen auch von nachwachsenden Rohstoffen (meist Mais- oder Grassilage) in unterschiedlichen Mischungen ist Stand der Technik. Beim Einsatz von Grassilage (und insbesondere Heu) kann, es bedingt durch den vergleichsweise hohen Trockensubstanz- und Rohfasergehalt im Fermenter, zur Bildung von Schwimmschichten kommen. Deshalb ist beim Einsatz von Gras und Heu neben einer Aufbereitung des Substrates (z. B. durch den Einsatz eines Häckslers)<sup>10</sup> eine gute Durchmischung des Fermenterinhalts mittels leistungsfähiger Rührwerke zu gewährleisten.

Bei der Vergärung von Gras ist durch den hohen Trockensubstanzgehalt von einer höheren Faulraumbelastung<sup>11</sup> auszugehen als bei Anlagen, die Gülle als Hauptsubstrat verwenden. Da Grassilage zu einem erheblichen Teil aus Rohfaser besteht und diese für die Mikroorganismen schwerer aufzuschließen ist als die organischen Inhaltsstoffe von Gülle, muss bei der Vergärung von Grassilage die hydraulische Verweilzeit ausreichend lange sein. Biogasanlagen, die Gras- und Maissilage verwenden, gehen von einer hydraulischen Verweilzeit von bis zu 100 Tagen aus.

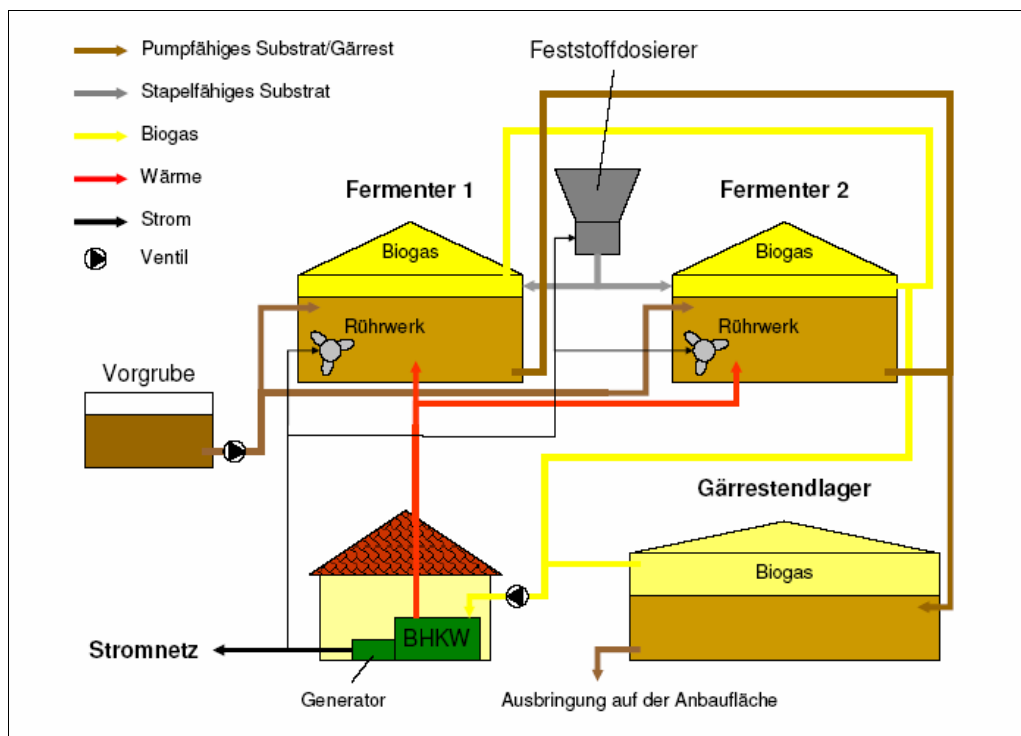


Abb. 13: Schematische Darstellung einer Biogasanlage mit kontinuierlicher Beschickung und Voll-durchmischung

Als Bauweise für die Fermenter kommen wärmeisolierte und beheizbare Stahl- oder Betonfermenter in Frage. Das Gärrest-Endlager sollte gasdicht abgedeckt sein, um klimawirksame Methanemissionen zu vermeiden. Die Nassfermentation ist ein bereits erprobtes und

<sup>10</sup> Zum Einfluss der Häcksellänge auf die Methanausbeute gibt es Hinweise, aber noch keine systematischen Untersuchungen (Prochnow et al. 2007). Außerdem muss der Methanmehrertrag mit dem dafür erforderlichen Energieaufwand bilanziert werden, um Aussagen über den Nettoenergieertrag zu ermöglichen.

<sup>11</sup> Die Faulraumbelastung gibt an, wie viel Kilogramm organischer Trockenmasse (oTS) pro Kubikmeter Faulraum pro Tag (kg oTS/m<sup>3</sup>/d) dem Fermenter zugeführt werden muss.

mit Erfolg eingesetztes Verfahren zur Biogasgewinnung. Abb. 13 zeigt den schematischen Aufbau einer Biogasanlage, die im Verfahren mit Volldurchmischung und kontinuierlicher Beschickung betrieben wird.

### **Trockenfermentation**

Die Unterteilung der Verfahren in einerseits Nassfermentation und andererseits Trockenfermentation ist nicht eindeutig und auch etwas missverständlich, da die Vergärung organischer Substanz immer im wässrigen Milieu stattfindet. Im Bereich der Bioabfallvergärung ist es jedoch seit langem üblich, die Biogasanlagen anhand des Wassergehalts des Substrates im Fermenter zu klassifizieren. Im Bereich der Vergärung nachwachsender Rohstoffe wird der Begriff Trockenfermentation inzwischen allerdings auch auf Verfahren der Nassvergärung angewendet, und zwar dann, wenn außer zum Anfahren der Anlage keine weitere Flüssigkeitszugabe erfolgt. Die notwendige Pump- und Rührfähigkeit wird durch den Abbau der organischen Substanz erreicht, wodurch z. B. beim Einsatz von Maissilage der ursprüngliche Trockenmassegehalt von 30 % auf circa 13 % absinkt.

Die Zahl der Biogasanlagen, die nach dem Prinzip der Trockenfermentation ausgelegt sind, nimmt in Deutschland stetig zu, obwohl diese Technologie noch relativ jung ist und erst in Ansätzen die Marktreife erreicht hat. Das Interesse an der Trockenfermentation resultiert in erste Linie aus der derzeitigen Vergütungsregelung des EEG, die die Trockenfermentation als innovative Technologie klassifiziert, für die der Technologiebonus gewährt wird. Für die Trockenfermentation können stapelfähige Substrate wie Festmist oder Silagen ohne Zugabe von Wasser vergoren werden. In der biologischen Abfallbehandlung werden meist kontinuierlich arbeitende Fermenter eingesetzt, welche jedoch einen hohen technischen Aufwand erfordern. Daher sind für die Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen oder Festmist im landwirtschaftlichen Bereich vor allem diskontinuierliche Verfahren interessant. Ein Überblick zum Stand der Technik wird in Band 24 der Gülzower Fachgespräche (FNR 2006) gegeben.

Bei der Trockenfermentation wird das Substrat in garagenähnlichen Bauten oder Container eingebracht, welche gasdicht sein müssen. Je nach Verfahren wird das Substrat durch periodische Berieselung mit Perkulationsflüssigkeit (Perkulationsverfahren), Überstauung mit Prozessflüssigkeit (Aufstauverfahren) oder Durchmischung mit einer ausreichenden Menge biologisch aktivem Gärrückstand (Haufwerkverfahren) aktiviert. Um das Perkolieren der Flüssigkeit zu gewährleisten, den Gärrest stapelfähig zu halten und damit das entstehende Gas aus dem Substrat entweichen kann, müssen eventuell strukturgebende Substrate wie Stroh, Heu oder Grünschnitt beigemischt werden. Da sowohl die Biogasproduktion, als auch die Beschickung diskontinuierlich verlaufen, werden mehrere Fermenter zeitlich versetzt betrieben, um eine gleichmäßige Gasproduktion zu gewährleisten. Der Gärrest ist stapelbar und kann wie Festmist gelagert werden.

Im Gegensatz zum Nassverfahren gibt es nur wenige Anlagen, die nach diesem Verfahren Biogas aus angebauter Biomasse erzeugen. Diese befinden sich zudem meist noch im Versuchs- bzw. Pilotstadium. In jüngster Zeit sind allerdings einige derartige Anlagen in Betrieb gegangen, als Beispiel soll hier eine 500 kW-Anlage der Firma Looock betrachtet werden (Looock 2006). In Abb. 14 ist der schematische Aufbau einer derartigen Biogasanlage

mit Garagenfermenterboxen dargestellt, die im Perkulationsverfahren mit großem separatem Perkulationsspeicher betrieben wird.

Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ergibt sich daraus, dass zur sicheren Substratentnahme nach der Gärung zunächst das Methan aus dem Fermenterraum entfernt werden muss, da sonst akute Explosionsgefahr beim Öffnen des Tores besteht. Das Methan wird daher ausgeblasen. Ein Teil kann dabei noch dem BHKW zugeführt werden, aber der Rest wird durch den Biofilter in die Atmosphäre abgegeben. Die Firma Looock gibt die dadurch und die oben genannten resultierenden Verluste mit 5 % vom gesamten Methanertrag an.

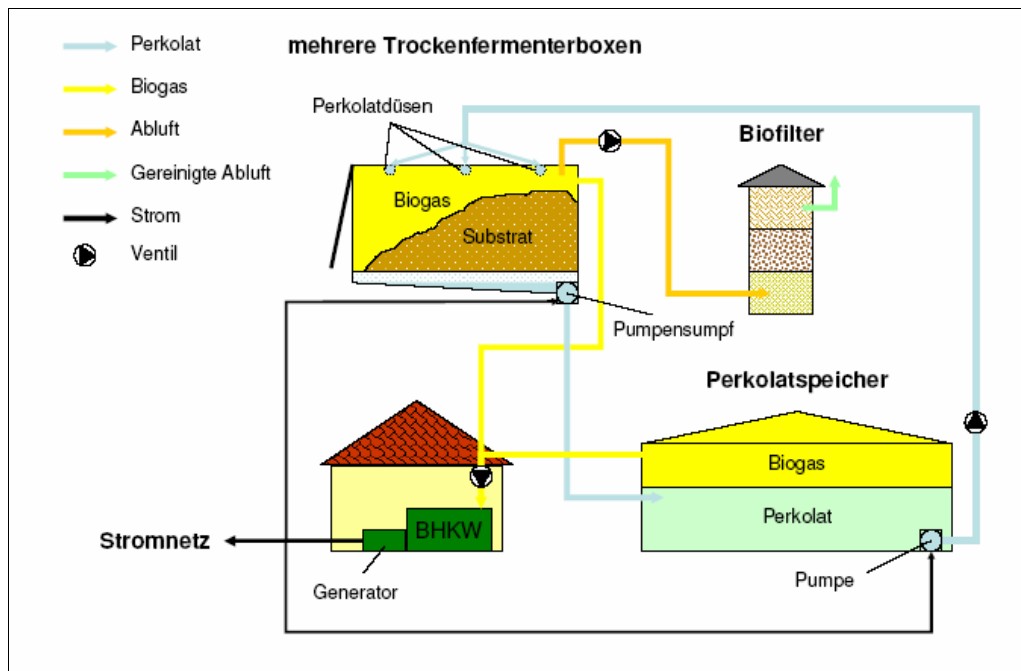


Abb. 14: Schematische Darstellung einer Biogasanlage, die mit stapelfähigen Substraten beschickt (Trockenfermentation) und im Perkulationsverfahren betrieben wird

Die Anlage soll nach Angaben der Hersteller ausschließlich mit Maissilage beschickt werden. Nach eigenen Berechnungen (in Anlehnung an Reinhold 2005b) enthält der Gärückstand dann aber nur noch rund 12 % TS und nicht, wie von Looock (persönliche Mitteilung) angenommen, 20 % TS. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Gärückstand noch stapelfähig ist. Vielmehr ist anzunehmen, dass sich eine eher pastöse Masse bilden wird. Hierdurch würde die Methanbildung schon frühzeitig zum Erliegen kommen, da das Substrat für das Perkolat dann nicht mehr durchlässig ist. Es erscheint also erforderlich, strukturgebendes Substrat beizumischen, wofür bei der Betrachtung im Rahmen dieses Projekts extensives Heu verwendet wird. Um auf einen Trockensubstanzgehalt des Gärrestes von circa 20 % zu kommen, ist je Tonne Maissilage (30 % TS) die Zumischung von circa 140 kg extensivem Heu (TS-Gehalt 85 %) notwendig.

### 3.1.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Vergärung von Grünlandaufwuchs hängt von den Substratkosten, den Investitions- und Betriebskosten der Biogasanlage und den erzielbaren Erlösen aus Strom- und Wärmeverkauf ab. Im Folgenden werden die Kosten für Gras- und Maissilage

und die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung aus Biogas untersucht. Dabei werden die Mono- und Kovergärung von Grassilage in Nassfermentationsanlagen sowie die Kovergärung von Extensivheu in Trockenfermentationsanlagen betrachtet.

### **Substratkosten Gras- und Maissilage**

Zunächst werden die für die Substratbereitstellung notwendigen Annahmen erläutert und anschließend die sich daraus ergebenden Substratkosten dargelegt. Betrachtet wird neben Grassilage auch Maissilage. Die Substratkosten für extensives Heu werden in Kapitel 3.2.3 behandelt und entsprechen den dort ausgeführten Annahmen für Rundballen aus Heu, das von einer zweischnittigen Wiesen stammt, die zur Reduktion der Heubereitstellungskosten nur einmal geschnitten wird.

Die Bereitstellungskosten für Gras- und Maissilage werden auf Datenbasis von KTBL (2004) gerechnet, nur die Ernte (Häckseln und Festfahren) erfolgt durch Lohnunternehmer. Dabei wird eine Schlaggröße von 5 ha und einer Feld-Hof-Entfernung von 3 km unterstellt. Bei den Berechnungen wird mit Netto-Trockenmasseerträgen kalkuliert, die sich an den Angaben der Versuchsanstalt für Grünlandwirtschaft in Aulendorf (Elsäßer 2005) orientieren (Tab. 13). Für den Standort der vierschürigen Wiese wird zusätzlich eine dreischnittige Variante mit gleich hohem Ertrag angenommen, um den wirtschaftlichen Vorteil einer reduzierten Schnittfrequenz darzustellen.

Für die Biogaserträge werden in Anlehnung an die Richtwerte von KTBL (2005) für Grassilage je nach Standort und Schnitthäufigkeit Werte zwischen 540 und 580 m<sup>3</sup>/t oTS unterstellt (Tab. 13). Für zweischnittige Wiesen wird dabei ein Standort angenommen, der aufgrund seiner klimatischer Bedingungen und Höhenlage nur eine kürzere Vegetationszeit zulässt, an dem jedoch trotzdem verhältnismäßig intensives Grünland kultiviert werden kann.

Das Heu, das in der Trockenfermentation als Strukturmaterial eingesetzt wird, stammt von zweischürigen Wiesen, die aus wirtschaftlichen Gründen nur einmal geschnitten werden (siehe Kap. 3.2.3). Für den Biogasertrag aus Heu werden Richtwerte für Weizenstroh (370 m<sup>3</sup>/t oTS) übernommen (KTBL 2005). Diese liegen 15 % unter den Angaben für zweischürige Wiesen (Oechsner/Lemmer 2002), aber circa 30 % höher als die Methanerträge von extensiven Wiesenstandorten (Amon et al. 2006). Der Maisertrag entspricht den Durchschnittserträgen der Jahre 1983 bis 2003 in Baden-Württemberg. In Anlehnung an die Richtwerte für Maissilage (KTBL 2005) wird mit einem Biogasertrag von 620 m<sup>3</sup>/t oTS kalkuliert.

Tab. 13: Biogaserträge von Gras- und Maissilage sowie Extensivheu

|                   |                       | Heu von<br>extensiven<br>Wiesen | Grassilage von intensiven Wiesen |                  |                                  |                  | Mais-<br>silage |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Schnitthäufigkeit |                       | einschürig                      | zwei-<br>schürig                 | drei-<br>schürig | dreischürig<br>hoher Er-<br>trag | vier-<br>schürig |                 |
| Nettoertrag       | t TS/ha a             | 3,9                             | 5,75                             | 7,3              | 9,0                              | 9,0              | 13,5            |
| oTS-Gehalt        | %                     | 94                              | 89                               | 89               | 89                               | 89               | 94              |
| Biogasertrag      | m <sup>3</sup> /t oTS | 370                             | 540                              | 560              | 560                              | 580              | 620             |
| Methangehalt      | %                     | 53                              | 53                               | 53               | 53                               | 53               | 54              |
| Methanertrag      | m <sup>3</sup> /t oTS | 196                             | 286                              | 297              | 297                              | 307              | 335             |
| Stromertrag*      | kWh/t TS              | 625                             | 866                              | 898              | 898                              | 930              | 1.070           |
|                   | kWh/ha                | 2.436                           | 4.980                            | 6.511            | 8.083                            | 8.372            | 14.445          |

\* Wirkungsgrad BHKW 34 %

Die Düngung erfolgt vorrangig mit dem Gärrückstand. Es wird angenommen, dass es bei Phosphor und Kalium zu keinen Verlusten bei Lagerung, Vergärung und Ausbringung kommt, so dass der Entzug von Phosphat und Kalium durch die Gärrestdüngung ausgeglichen wird. Für Stickstoff wird angenommen, dass eine sachgerechte Ausbringung mit Schleppschlauch bei günstiger Witterung erfolgt und die Verluste bei 20 % liegen. Trotz dieser Ausbringungsverluste muss bei Grünland nicht nachgedüngt werden, da ein Teil des Stickstoffbedarfs durch die Stickstofffixierung über Leguminosen abgedeckt wird. Im Maisanbau ist dagegen der Ausgleich des Stickstoffverlusts bei der Ausbringung des Gärrückstandes durch eine zusätzliche mineralische Stickstoffdüngung erforderlich. Für den Einsatz des Gärrückstandes werden nur die Ausbringungskosten, aber kein Düngerwert angesetzt. Deshalb wird auch keine Düngergutschrift für den Gärrückstand berechnet.

Für das Grünland werden eine Nachsaat und eine Ampferbekämpfung auf 10 % der Fläche angenommen. Die Unkrautbekämpfung im Mais erfolgt mit Herbiziden. Die Pachtkosten werden in Ablehnung an die durchschnittlichen Pachtpreise in Baden-Württemberg (Statistisches Landesamt 2006a) je Hektar und Jahr mit 115 Euro für vierschnittige, 105 Euro für dreischnittige, 85 Euro für zweischnittige Wiesen und 207 Euro für Ackerflächen angenommen. Für anteilige Gemeinkosten werden 100 Euro/ha angesetzt. In die Kalkulation einbezogen werden die flächenbezogenen EU-Prämien (72 Euro/ha Grünland, 304 Euro/ha Mais), die Beihilfe für den Energiepflanzenanbau (45 Euro/ha<sup>12</sup>), bei Grünland die Ausgleichszulage in der benachteiligten Agrarzone (50 Euro/ha auf Flächen mit einer landwirtschaftlichen Vergleichszahl > 30) und die Zuwendung für die Grünlandgrundförderung entsprechend dem Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA, 90 Euro/ha, ab 2007 50 Euro/ha). Für MEKA wird aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Finanzierung und Fortführung dieses Programms unterstellt, dass diese Prämie nur noch bis zum Jahr 2012 gewährt wird.

<sup>12</sup> Diese Prämie gilt ab einem Ertrag von 50 m<sup>3</sup>/ha bei Silomais bzw. 38 m<sup>3</sup> bei Wiesen, nur auf nicht stillgelegten Flächen (BLE 2005). Bei Mais wird nur auf der Hälfte der Fläche die Prämie berücksichtigt, da angenommen wird, dass Mais zu 50 % auf Stilllegungsflächen angebaut wird und es hierfür keine Energiepflanzenprämie gibt.

In Abb. 15 sind die Bereitstellungskosten je Tonne Frischmasse (FM) frei Biogasanlage dargestellt. Mit 25 Euro je Tonne ist Maissilage deutlich preiswerter zu erzeugen als Grassilage mit 27 bis 30 Euro je Tonne. Eine Kostenreduktion bei Grassilage ist möglich, wenn bei gleich bleibendem Ertrag auf einen Schnitt verzichtet werden kann. Die Bereitstellungskosten sinken dann von 29 Euro je Tonne bei vier Schnitten auf 27 Euro je Tonne bei drei Schnitten. Ohne Einbezug von Flächenprämien erhöhen sich die Kosten je Tonne um 7 bis 12 Euro. Bei monetärer Bewertung des eingesetzten Gärückstands erhöhen sich die Kosten bei Maissilage um rund 5 Euro je Tonne, bei Grassilage um rund 10 Euro je Tonne.

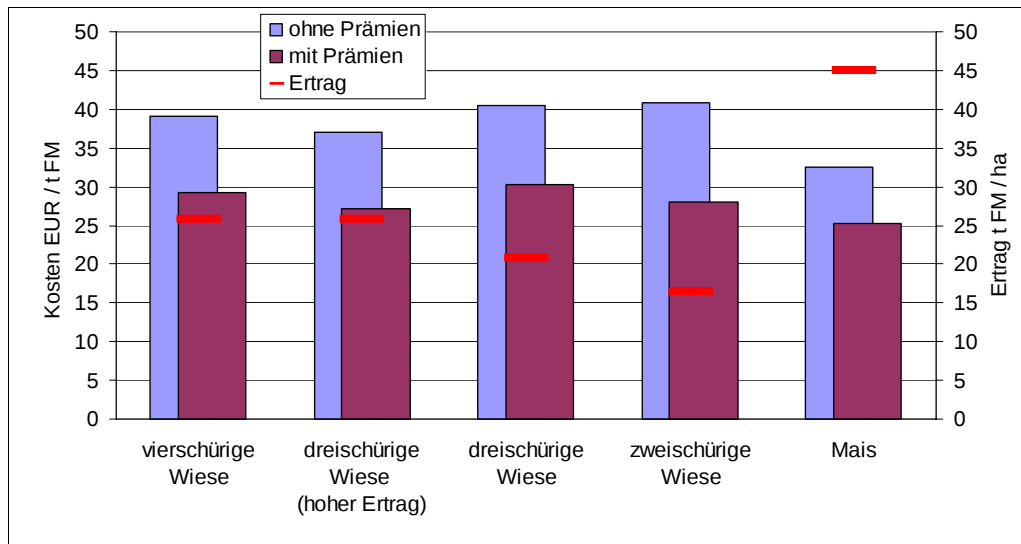


Abb. 15: Kosten für Gras- und Maissilage frei Biogasanlage

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit sind nicht die Kosten je Tonne Frischmasse, sondern die Kosten je erzeugte Einheit Methan bzw. Strom. Auch bei Bezug der Kosten auf Energieeinheiten kann im Jahr 2005 Maissilage mit 7,9 Cent/kWh<sub>el</sub> zu 10 % niedrigeren Kosten bereitgestellt werden als die preiswerteste Grassilage (dreischürige Variante mit hohem Ertrag) mit rund 8,7 Cent/kWh<sub>el</sub> (Abb. 16). Grassilage von dreischürigen Wiesen mit durchschnittlichem Ertrag erzielen mit rund 10 Cent/kWh<sub>el</sub> die höchsten Bereitstellungskosten.

Als Folge der Gewährleistung der Einspeisevergütung für 20 Jahre werden in der Regel für diesen Zeitraum der Betrieb einer Biogasanlage geplant und die Investitionen abgeschrieben. Während allerdings die Einspeisevergütung über 20 Jahre konstant bleibt, erhöhen sich die jährlichen Bereitstellungskosten für die Substrate selbst bei moderaten Annahmen zur Preissteigerung entsprechend der vergangenen 15 Jahre – je nach Kostengröße jährlich zwischen 1 und 2 %, für Treibstoffe um 4,3 % – um gut 30 % für Grassilage und um rund 50 % für Maissilage (Abb. 16). Durch die Anhebung der Grünlandprämie auf das Niveau der Ackerprämie verringern sich die Bereitstellungskosten für Grassilage ab 2010 und erreichen dann das Niveau der Maissilage – trotz des unterstellten Wegfalls der MEKA-Zuwendung zu diesem Zeitpunkt. Der Anstieg der Bereitstellungskosten führt dazu, dass im Jahr 2024 76 bis 79 % der Einspeisevergütung für das Gärsubstrat ausgegeben werden müssen. Im Jahr 2005 liegt dieser Wert noch bei 47 bis 58 %.

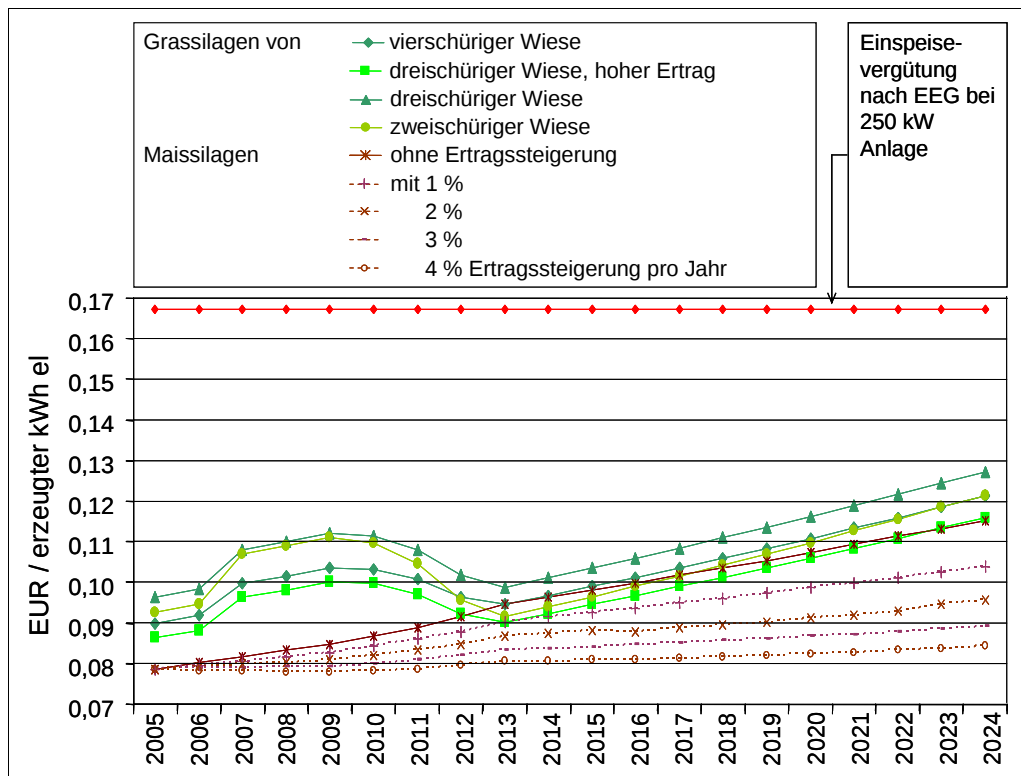


Abb. 16: Bereitstellungskosten für Gras- und Maissilagen über 20 Jahre (inklusive Prämien, ohne Düngerwert für Gärrückstand)

Für Mais werden durch Züchtung und Anbau spezieller Energiemaissorten für die Zukunft häufig hohe Ertragssteigerungen angenommen. Deshalb werden die Bereitstellungskosten für Maissilage auch unter der Annahme berechnet, dass die Erträge jährlich zwischen 1 und 4 % gesteigert werden. Unter diesen Annahmen könnten bis zum Jahr 2024 die Nettoerträge auf 16 t TS (bei jährlich 1 % Zuwachs) bis fast 24 t TS (bei jährlich 4 % Zuwachs) pro Hektar und Jahr gesteigert werden.

Wie die Berechnungen in Abb. 16 zeigen, kann die Verteuerung der Substratkosten durch Preissteigerungen auch durch die höchste Ertragssteigerung bei Mais nicht ausgeglichen werden. Im Vergleich zu Grassilage ergeben sich allerdings erhebliche Kostenvorteile. Bereits bei einer nur einprozentigen Ertragssteigerung wären die Bereitstellungskosten über den gesamten Zeitraum um rund 1 Cent/kWh<sub>el</sub> niedriger als bei der günstigsten Grassilage. Ob künftige Ertragsteigerungen so hoch, wie vor allem von der Saatzuchtindustrie angekündigt, ausfallen werden, bleibt abzuwarten. In den letzten 20 Jahren stagniert der durchschnittliche Ertrag bei Silomais in Baden-Württemberg auf dem Niveau von circa 46 t FM (Statistisches Landesamt 2004a). Das gleiche gilt auch für die Grünlanderträge, die seit 1983 bei durchschnittlich circa 7 t Heu liegen.

### Stromerzeugung aus Grassilage

Die Erlöse, die aus der Stromerzeugung aus Grassilage erzielt werden, werden auf der Basis der durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2000, 2004) garantierten Stromabnahme und Einspeisevergütung kalkuliert. Seit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 werden neben einer von der Anlagenleistung abhängigen Grundvergütung verschiedene

Zusatzvergütungen gewährt. Zu diesen Boni gehören die Zuschläge für den Einsatz einer innovativen Konversionstechnologie (z. B. Trockenfermentation) (Technologiebonus), die Nutzung der anfallenden Wärme (KWK-Bonus) und die ausschließliche Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen (Brennstoffbonus) (Abb. 17).

Der ausschließliche Einsatz von Grassilage in Biogasanlagen erscheint beim gegenwärtigen Stand der technischen Entwicklung problematisch, u. a. wegen des hohen Stickstoffgehalts von Grassilage, der im Fermenter zu einer hohen, die Biogasproduktion hemmenden Ammoniumkonzentration führen kann. Im Vordergrund steht deshalb die Kovergärung von Mais- und Grassilage und Rindergülle, die auch in der Praxis in vielen Anlagen realisiert wird. Daneben wird auch die Monovergärung für Mais- bzw. Grassilage sowie die Kovergärung von Maissilage und Heu in Trockenfermentationsanlagen betrachtet. Grundsätzlich wird mit Vollkosten über eine Betriebszeit von 20 Jahren gerechnet, wobei für die im Zeitverlauf anfallenden Kosten Inflationszuschläge einkalkuliert werden.

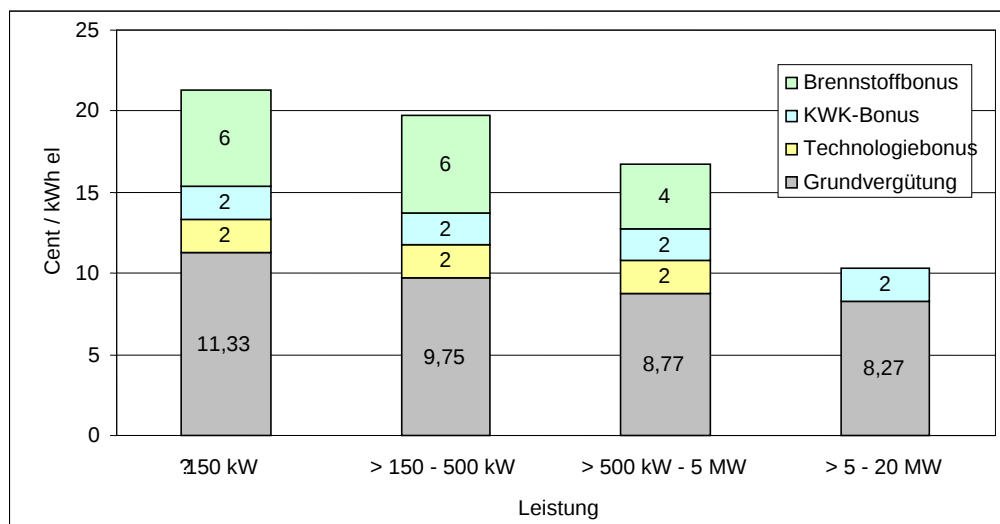


Abb. 17: Einspeisevergütungen entsprechend dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (2004) bei Inbetriebnahme der Anlage im Jahr 2005

Tab. 14 gibt eine Übersicht über die Annahmen zu Investitions- und Wartungskosten, zu Strom- und Wärmevergütung sowie zu Wärmenutzung und Arbeitszeitbedarf. Betrachtet werden Hofanlagen mit einer Größe von 100 kW sowie Gemeinschaftsanlagen mit 250 und 500 kW. Bei der Hofanlage werden im Gegensatz zu den Gemeinschaftsanlagen keine Kosten für Grundstück, Silolager und Infrastruktur angesetzt und es wird eine Wärmenutzung auf dem Betrieb unterstellt. Bei der Trockenfermentation werden weitgehend Angaben der Fa. Looock übernommen, wobei zur besseren Vergleichbarkeit Daten zum BHKW und Kapitaldienst verändert wurden. Zu beachten ist, dass die installierten Leistungen der Gasmotor-BHKW jeweils 50 % Reserve beinhalten. Als Jahr der Inbetriebnahme wird 2005 angenommen.

Tab. 14: Grunddaten für die betrachteten Biogasanlagen

|                                       |          | Hofanlage        | Gemeinschaftsanlagen |           |                     |
|---------------------------------------|----------|------------------|----------------------|-----------|---------------------|
|                                       |          | Nassfermentation |                      |           | Trockenfermentation |
| Anlagengröße                          | kW       | 100              | 250                  | 500       | 500                 |
| installierte BHKW-Leistung (Gasmotor) | kW       | 150              | 375                  | 750       | 750                 |
| Gesamtinvestition                     | Euro     | 433.300          | 1.073.750            | 1.817.850 | 2.479.303           |
| Gesamtinvestition                     | Euro/kW  | 4.333            | 4.295                | 3.636     | 4.959               |
| Auslastung BHKW                       | h/a      | 5.667            | 5.667                | 5.667     | 5.667               |
| AfA* Bau                              | Jahre    | 20               |                      |           |                     |
| AfA* Technik                          | Jahre    | 10               |                      |           |                     |
| Wartung Bau                           | %        | 1                |                      |           |                     |
| Wartung Technik                       | %        | 3                |                      |           |                     |
| Wartung BHKW                          | Cent/kWh | 0,40             | 1,45                 | 1,24      | 1,24                |
| Zins 10 Jahre/20 Jahre                | %        | 3,9 / 4,1        |                      |           |                     |
| Versicherung                          | %        | 0,5              |                      |           |                     |
| Wirkungsgrad BHKW                     | %        | 34               |                      |           |                     |
| Prozessstrom                          | %        | 8                |                      |           | 2                   |
| CH <sub>4</sub> -Verlust Biogasanlage | %        | 0                |                      |           | 5                   |
| CH <sub>4</sub> -Verlust Gärrestlager | %        | 0                |                      |           | 1,8                 |
| Stromvergütung                        | Cent/kWh | 17,33            | 16,73                | 16,24     | 16,24               |
| KWK-Bonus                             | Cent/kWh | 0,08 / 0,77      | 0 / 0,78             | 0 / 0,79  | 0 / 0,79            |
| Technologiebonus                      | Cent/kWh | 0                |                      |           | 2                   |
| Wärmenutzung (der verfügbaren Wärme)  | %        | 5 / 50           | 0 / 50               | 0 / 50    | 0 / 50              |
| Wärmevergütung                        | Cent/kWh | 2                |                      |           |                     |
| Arbeitszeit Biogasanlage              | h/a      | 582              | 621                  | 878       | 1.665               |
| Stundenlohn                           | Euro/Akh | 15               |                      |           |                     |

\* AfA = Absetzung für Abnutzungen oder Abschreibungen, d. h. steuerrechtlich zu ermittelnde Wertminderung von Anlagevermögen

In den Abbildungen zur Wirtschaftlichkeit (Abb. 18 bis Abb. 20) werden als Maß für die Wirtschaftlichkeit die über 20 Jahre gemittelten Stromgestehungskosten den nach EEG gewährten Einspeisevergütungen gegenübergestellt. Bei Gleichstand von Kosten und Vergütung können durch die Einnahmen alle Ausgaben für den Betrieb der Biogasanlage gedeckt werden. In den Ausgaben enthalten ist die Arbeitsentlohnung, die in 2005 mit 15 Euro je Stunde, in 2025 mit 21,50 Euro und im Durchschnitt der Jahre mit 18,07 Euro angesetzt wird. Ein über die Arbeitsentlohnung hinausgehender Gewinn entsteht dabei nicht. In den Abb. 18 bis Abb. 20 ist daneben auch die durchschnittliche Entlohnung dargestellt, die sich bei Kostenrechnung ohne Lohnansatz ergibt. Die Entlohnung errechnet sich dabei aus dem Quotient der Überschüsse und der geleisteten Arbeitsstunden.

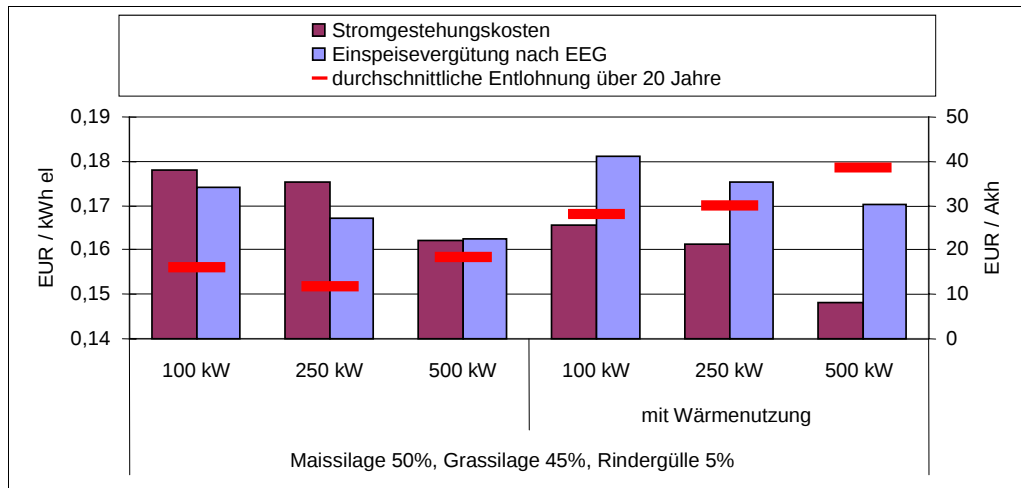


Abb. 18: Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz einer Substratmischung in unterschiedlich großen Biogasanlagen (inklusive Prämien)

Die Vollkostenrechnung für Biogasanlagen mit Substratmischungen aus 50 % Mais- und 45 % Grassilage sowie 5 % Rindergülle (Trockenmasseangaben) zeigt, dass die durchschnittlichen Stromgestehungskosten ab 500 kW<sub>el</sub> Leistung unterhalb der Einspeisevergütung liegen (Abb. 18) und diese somit über die gesamte Laufzeit gesehen wirtschaftlich betrieben werden können. Kleinere Anlagen mit 250 kW<sub>el</sub> Leistung sind bei dieser Substratmischung nur wirtschaftlich, wenn für größere Mengen der bei der Stromerzeugung anfallenden Wärme (im berechneten Beispiel 50 % der verfügbaren Wärme) eine Nutzung unterstellt werden kann. Hofanlagen mit 100 kW<sub>el</sub> Leistung kommen in die Nähe der Wirtschaftlichkeit, wenn vorhandene Infrastruktur (Betriebsfläche, Silolager, Wasser- und Stromanschluss) und betriebseigene Maschinen verwendet werden können sowie vorhandene Wohn- und Betriebsgebäude mit der anfallenden Wärme<sup>13</sup> versorgt werden.

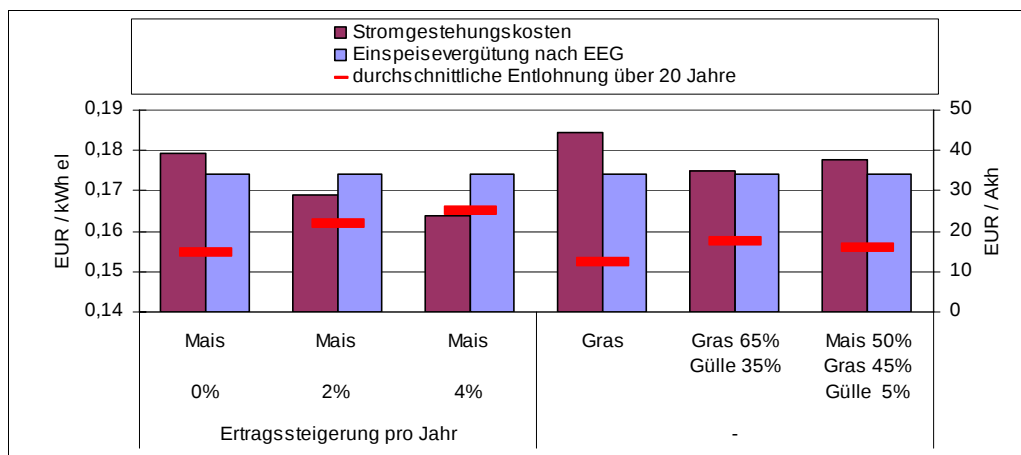


Abb. 19: Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz verschiedener Substrate in einer 100 kW-Biogas-Hofanlage (inklusive Prämien und Nutzung von 5 % der verfügbaren Wärme)

Beim Vergleich verschiedener Substrate wird deutlich, dass Mais in der Monovergärung nicht wesentlich besser abschneidet als Gras. Bei der Annahme von Ertragssteigerungen erreicht Mais allerdings die Wirtschaftlichkeitsschwelle (Abb. 19). Substratmischungen

<sup>13</sup> Bei Hofanlagen wird angenommen, dass 5 % der verfügbaren Wärme genutzt werden.

von Grassilage mit viel Gülle oder mit Maissilage und wenig Gülle sind wirtschaftlich günstiger als die Monovergärung.

Abb. 20 zeigt die Ergebnisse der Kofermentation von Mais- und Grassilage in einer 500 kW-Biogasanlage mit Nassfermentation sowie der Kofermentation von Maissilage und extensivem Heu in einer Trockenfermentation (ebenfalls 500 kW). Trotz der um den Technologiebonus erhöhten Einspeisevergütung kann die Trockenfermentation ohne Wärmenutzung<sup>14</sup> nicht wirtschaftlich betrieben werden. Mit Wärmenutzung wird die Wirtschaftlichkeit erreicht, allerdings schneidet auch dabei die Nassvergärung deutlich besser ab als die Trockenfermentation. Steht allerdings Heu in ausreichender Menge zur Verfügung, für das keine anderweitige Verwertung vorhanden ist, kann der Einsatz in einer Trockenfermentationsanlage wirtschaftlich interessant sein.

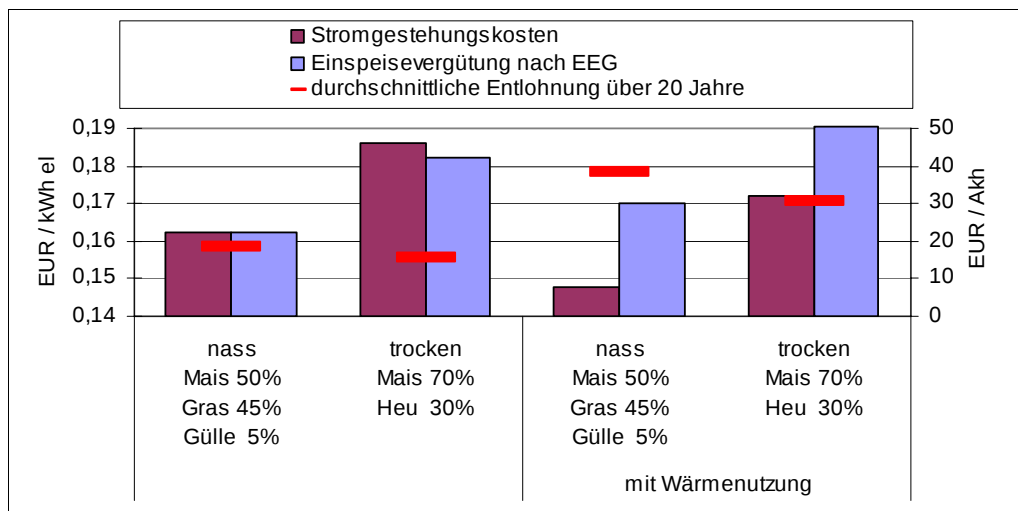


Abb. 20: Wirtschaftlichkeit und Arbeitsentlohnung über 20 Jahre beim Einsatz von Substratmischungen in Nass- bzw. Trockenfermentationsanlagen in einer 500 kW-Biogasanlage (inklusive Prämien)

Obwohl Maissilage günstigere Substratkosten aufweist als Grassilage kann die Kofermentation von vergleichsweise teurer Grassilage wirtschaftlich sein. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Anbaufläche für Energiemais aus standörtlichen oder klimatischen Gründen begrenzt ist. Ein Beispiel zur Illustration dieses Sachverhalts: Wenn bei der 500 kW<sub>el</sub>-Anlage in Abb. 18 keine Grassilage eingesetzt und auch nicht durch zusätzliche Maissilage ersetzt werden könnte, würde die verfügbare Menge an Maissilage und Gülle nur zum Betrieb einer kleineren Anlage mit 284 kW<sub>el</sub> Leistung ausreichen. Als Folge der höheren spezifischen Investitionskosten für diese kleinere Biogasanlage lägen die Stromgestehungskosten mit 17,12 Cent pro kWh<sub>el</sub> deutlich über der Einspeisevergütung von 16,61 Cent pro kWh<sub>el</sub>.

Nur mit Grassilage und Gülle betriebene Biogasanlagen mit 100 kW<sub>el</sub> Leistung können ebenfalls annähernd wirtschaftlich betrieben werden, sofern umfangreiche Mengen an kostenfreier Gülle vorhanden sind, bestehende Infrastrukturen und betriebseigene Maschinen verwendet sowie Wohn- und Betriebsgebäude mit der anfallenden Wärme versorgt werden können (Abb. 19). Auch in diesem Fall – für eine 100 kW<sub>el</sub>-Biogasanlage werden rund

<sup>14</sup> Diese Annahmen sind hypothetisch, da der Technologiebonus nur in Verbindung mit KWK gewährt wird.

90 ha Grassilage und Gülle von 300 Großvieheinheiten (GV) benötigt – kann durch den Einsatz von Grassilage eine größere Anlagenleistung realisiert werden als bei alleiniger Vergärung der Gülle. Die Monovergärung von Gülle in einer 100 kW<sub>el</sub>-Anlage wäre aufgrund der klein strukturierten Landwirtschaft in Baden-Württemberg kaum möglich, da zum Betrieb dieser Anlage Gülle von über 1.000 GV erforderlich wäre.

Werden die Wirtschaftlichkeitsberechnungen ohne Berücksichtigung eines Lohnansatzes für die Bereitstellung von Gras- bzw. Maissilage und den Betrieb der Biogasanlage durchgeführt, ergibt sich bei den betrachteten Anlagentypen eine Entlohnung zwischen 11 und 38 Euro pro Arbeitsstunde über die Betriebsdauer von 20 Jahren. Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, die aktuell zum Teil deutlich unter 10 Euro pro Arbeitsstunde liegen (Latacz-Lohmann/Hemme 2007), ist dies relativ hoch (vgl. Kap. 4.3.12).

## **3.2 Thermische Verwertung von Heu**

In diesem Kapitel werden zunächst die Brennstoffeigenschaften und Erträge von Heu diskutiert. Anschließend werden unterschiedliche Verfahren zur thermischen Nutzung von Heuballen (Hochdruck- und Rundballen) und Heupellets in Kleinfeuerungsanlagen definiert und ihre Wirtschaftlichkeit dargestellt.

### **3.2.1 Brennstoffeigenschaften**

Während Holz einen seit langem bewährten Biobrennstoff darstellt und die Verbrennung von Stroh zwar in Deutschland kaum praktiziert wird, aber relativ gut erforscht ist und im benachbarten Ausland in großem Umfang betrieben wird, liegen zur energetischen Nutzung von Heu nur vereinzelte Untersuchungen vor. Um Rückschlüsse auf die Verbrennungseigenschaften von Heu machen zu können, wird nachfolgend die Zusammensetzung von Heu im Vergleich zu Holz und Stroh diskutiert. In Tab. 15 und Tab. 16 sind die wichtigsten Inhaltsstoffe und verbrennungsspezifischen Eigenschaften von verschiedenen Grünlandaufwüchsen sowie von Holz und Stroh dargestellt.

Wie Tab. 15 zu entnehmen ist, weist Heu einen 10-fach höheren Gehalt an Stickstoff, Chlor und Kalium auf als Holz. Der erhöhte Stickstoffgehalt im Brennstoff führt zu höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung. Dasselbe gilt für Chlor, allerdings mit dem Unterschied, dass sich nach der Verbrennung ein großer Teil davon in Form von Salzen in der Asche wieder findet. Kleinere Anteile des im Brennstoff gebundenen Chlors werden als Chlorwasserstoff (HCl) emittiert oder ggf. als gesundheitsschädigende Dioxine und Furane freigesetzt. Des Weiteren ist ein hoher Chlorgehalt im Brennstoff unerwünscht, weil Chlorverbindungen eine korrosive Wirkung in den Wärmetauschern ausüben.

Tab. 15: Inhaltsstoffe und verbrennungsspezifische Stoffeigenschaften von Grünlandaufwuchs im Vergleich zu Stroh und Holz

| Parameter        | Einheit  | Futterwiese intensiv | Futterwiese extensiv | Streuwiese | Stroh       | Holz  |
|------------------|----------|----------------------|----------------------|------------|-------------|-------|
| Rohprotein       | % TM     | 15 - 20              | 10 - 15              | 5 - 10     | 3,5 - 5,0   | -     |
| Rohfaser         | % TM     | 20 - 25              | 30 - 35              | 35 - 45    | 45 - 50     | -     |
| NEL              | MJ/kg TM | 6,0 - 6,5            | 4 - 5                | 2,5 - 3,5  | 3,0 - 3,5   | -     |
| Stickstoff       | % TM     | 2 - 3                | 1,5 - 2,0            | 1,0 - 1,5  | 0,4 - 0,6   | 0,15  |
| Schwefel         | % TM     | 0,14 - 0,16          |                      |            | 0,05 - 0,1  | 0,015 |
| Chlor            | % TM     | 0,3 - 1,4            |                      |            | 0,3 - 0,8   | 0,005 |
| Kalium           | % TM     | 1,5 - 2,0            |                      |            | 1,0 - 1,8   | 0,14  |
| Calcium          | % TM     | 0,4 - 0,5            |                      |            | 0,3 - 0,4   | 0,5   |
| Asche            | % TM     | 5,0 - 9,0            |                      |            | 5,0 - 6,0   | 0,5   |
| Heizwert         | MJ/kg TM | 16,4 - 17,4          |                      |            | 17,1 - 17,6 | 18,5  |
| Sinterbeginn     | °C       | 840 - 1.020          |                      |            | 815 - 890   | 1.190 |
| Erweichungspunkt | °C       | 870 - 1.060          |                      |            | 885 - 930   | 1.425 |

Quelle: Elsässer (2003), Hartmann/Hering (2004), Briemle/Elsässer (1997), Jilg/Briemle (1992), FNR (2004)

Besondere Probleme bei der Verbrennung von Heu bereiten die niedrigen Ascheerweichungstemperaturen. Während Holz mit Erweichungspunkten von rund 1.200 bis 1.400 °C problemlos verbrannt werden kann, neigen Halmgüter mit Erweichungstemperaturen um rund 800 bis 1.000 °C zu Ascheverschlackungen. Die Ursache hierfür liegt u. a. im hohen Kaliumgehalt in Heu und Stroh, da Kalium den Ascheerweichungspunkt erniedrigt. Anbackungen und Ablagerungen im Feuerraum, am Rost und an den Wärmetauscherflächen, die nur durch aufwändige Zusatzeinrichtungen vermieden werden können, sind die Folge.

Auch der Aschegehalt von Gras ist im Vergleich zu Holz – teilweise aber auch im Vergleich zu Stroh – deutlich erhöht. Die großen Aschemengen müssen aus der Feuerung entfernt sowie entsorgt werden und führen zu einem niedrigeren Heizwert. Dies zeigt ein Vergleich der Asche- und Heizwerte verschiedener Grasherkünfte (Tab. 16): Straßengrasschnitt hat den höchsten Aschegehalt und den niedrigsten Heizwert. Im Durchschnitt hat Gras mit rund 17 MJ/kg TM einen ähnlichen Heizwert wie Stroh, aber einen niedrigeren als Holz. Auch bei anderen verbrennungstechnisch relevanten Kenngrößen (z. B. beim Ascheverhalten) hat Heu vor allem von extensiv genutzten Grünlandflächen ähnliche Eigenschaften wie Stroh.

Tab. 16: Inhaltsstoffe und verbrennungsspezifische Stoffeigenschaften verschiedener Grastypen

| Parameter        | Einheit  | Landschafts-<br>pflegeheu | Straßen-<br>grasschnitt | Rohrschwinkel | Weidelgras |
|------------------|----------|---------------------------|-------------------------|---------------|------------|
| Stickstoff       | % TM     | 1,14                      | 1,49                    | 0,87          | 1,34       |
| Chlor            | % TM     | 0,31                      | 0,88                    | 0,50          | 1,39       |
| Kalium           | % TM     | 1,49                      | 1,30                    | 1,94          | 1,50       |
| Calcium          | % TM     | 0,50                      | 2,38                    | 0,38          | -          |
| Asche            | % TM     | 5,7                       | 23,1                    | 8,5           | 8,8        |
| Heizwert         | MJ/kg TM | 17,4                      | 14,1                    | 16,4          | 16,5       |
| Sinterbeginn     | °C       | 1.017                     | 1.181                   | 840           | -          |
| Erweichungspunkt | °C       | 1.061                     | 1.200                   | 869           | -          |

Quelle: Hartmann/Hering (2004)

In einem bestimmten Ausmaß können die Brennstoffeigenschaften von Heu durch die Wahl des Schnittzeitpunktes und durch die Feldtrocknung des geschnittenen Materials beeinflusst werden. So kann der Gehalt an Stickstoff im Brennstoff durch die Verschiebung des Schnittzeitpunktes verringert werden, da der Proteingehalt durch das „Abreifen“ der Biomasse abnimmt. Bei Futterwiesen ist das Hinauszögern des Schnittzeitpunktes allerdings nur begrenzt möglich, da in der Regel auch ohne Mahd ein zweiter Aufwuchs nachwächst. Nur bei Streuwiesen und speziell gezüchteten Grassorten ist ein später, im Herbst liegender einmaliger Schnitt möglich. Eine lange Feldtrocknungszeit und insbesondere Niederschlagseinwirkung während dieser Zeit reduzieren durch Auswaschung die Mineralstoffgehalte des gemähten Grünlandaufwuchses, insbesondere die von Chlor und Kalium, allerdings mit der Gefahr deutlicher Ertragseinbußen. Ein guter Grünlandaufwuchs im Sinne der thermischen Nutzung ist also – ganz im Gegenteil zu den Anforderungen beim Verfüttern – stark überständig und möglichst verregnet.

### 3.2.2 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung

Nachfolgend werden die Verfahren zur Bereitstellung von Heu und die Flächenerträge sowie die Anlagen zur thermischen Nutzung von Heuballen und Heupellets dargestellt. Bei den nachfolgend analysierten Prozessketten der thermischen Heunutzung werden nur ein- und zweischnittige Wiesen betrachtet, da ab drei Schnitten ein Einsatz in Biogasanlagen angenommen wird.

#### Düngung und Pflege

In der Praxis werden auch zweischnittige Wiesen nach Entzug gedüngt. Allerdings kann die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden je nach Standort so hoch sein, dass diese für den Aufwuchs einer zweischnittigen Wiese ausreicht. Entsprechend sinkt der Ertrag an einem solchen Standort auch ohne Düngung bei Ein- oder Zweischnittnutzung nicht unter 6 t TM/ha (Briemle 1999, Briemle/Rück 2005). Derartig günstige Bedingungen dürften aber an typischen Standorten von Zweischnittwiesen nicht immer anzutreffen sein, so dass auf eine Düngung nicht immer verzichtet werden kann. Deshalb wird in den Berechnungen

die Zweischnittwiese nach Entzug gedüngt, bei der einschnittigen Variante wird dagegen keine Düngung angenommen. Auch bei der Einschnittwiese wird auf Düngung verzichtet, weil es sich hier in der Regel um artenreiches Extensivgrünland (Landschaftspflegeflächen) handelt, das nicht gedüngt werden soll.

In allen Varianten wird auf Nachsaat und Pflanzenschutzmaßnahmen verzichtet, da durch die späten Schnittzeitpunkte ein Aussamen des Bestandes gegeben ist. Es wird lediglich angenommen, dass die Bestände abgeschleppt werden, um eine reibungslose Ernte – auch mit schlagkräftiger Mechanisierung – zu gewährleisten.

### **Ernte**

Üblicherweise wird Heu in Form von Hochdruck-, Rund- oder Quaderballen geerntet. Der Vorteil von Ballen ist, dass sie kostengünstig hergestellt und in dieser Aufbereitungsform Ernte, Transport und Lagerung durchgeführt werden können. Heuballen können entweder als solche verbrannt werden – Ganzballenfeuerungen sind verfügbar – oder sie müssen vor der Verfeuerung zerschnitten bzw. aufgelöst werden.

Für alle Schlaggrößen wird angenommen, dass nach dem Mähen einmal gezettet, dreimal gewendet und zweimal geschwadet wird. Auf dem 20 ha-Schlag wird eine Quaderballenpresse und auf dem 5 ha-Schlag eine Rundballenpresse eingesetzt. Die Ballen werden mit dem Frontlader auf- und abgeladen und per Schlepper mit Anhänger zum Lager gefahren. Auf dem 1 ha-Schlag werden Hochdruckballen (HD-Ballen) gepresst, die mit einer angebauten Schleuder auf den angehängten Wagen befördert werden. Das Abladen erfolgt händisch. Als Lager dient jeweils ein abgeschriebenes Altgebäude. Für HD- und Rundballen sind aufgrund der Nähe des Lagers zur Feuerungsanlage keine weiteren Transporte erforderlich, der Transport der Quaderballen zur Pelletieranlage und der Pellets zur Feuerungsanlage erfolgt mit dem Lkw.

Hängige Flächen werden nur für den 1 ha-Schlag berechnet. Ein Einsatz von Rund- oder Quaderballenpressen wird hier nicht angenommen. Es werden Hangneigungen mit 25 bis 35 % und mit 35 bis 50 % unterschieden. Für Maschinenkosten und Arbeitszeiten werden dafür Zuschläge in Anlehnung an Greimel et al. (2002) angesetzt. Die Maschinenkosten erhöhen sich demnach um 60 bzw. 190 %, die Arbeitszeiten verlängern sich um 50 bzw. 100 %. Abweichend vom flachen Gelände wird angenommen, dass die Ballen statt mit der Schleuder händisch aufgeladen werden.

### **Erträge**

Je nach Klima- und Bodenverhältnissen, Höhenlage und Nährstoffversorgung haben die Wiesen ein unterschiedliches Ertragsniveau. In Tab. 17 sind Untersuchungen zum Ertrag von Grünlandflächen bei unterschiedlichen Standortqualitäten und Nutzungshäufigkeiten angegeben.

Tab. 17: Erträge unterschiedlicher Grünlandtypen

| Wiesentyp                                             | Nutzungen pro Jahr | TM-Ertrag (t/ha a) | Quelle                 |
|-------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Wüchsige Fettwiesen                                   | 2 bis 3            | 5 bis 8            | Briemle/Elsässer 1997  |
| Nach Ausmagerung auf weniger guten Standorten         | 2 bis 3            | 5 bis 6            | Briemle et al. 1998    |
| Nach Ausmagerung auf guten Standorten                 | 3 bis 4            | 8 bis 12           |                        |
| Wiese nach 15 Jahren extensiver Nutzung, ohne Düngung | 1                  | 6                  | Briemle/Rück 2005      |
| Wiesen                                                | 2                  | 5 bis 5,5          | Buchgraber et al. 2003 |
| Streuwiesen                                           |                    | 5                  |                        |
|                                                       |                    | 1 bis 9,5          | Jilg/Briemle 1992      |
| Magerwiesen                                           | 1                  | 3 bis 3,5          | Buchgraber et al. 2003 |
|                                                       | 1                  | 2 bis 5            | Briemle/Elsässer 1997  |

Die Anzahl der Schnitte und der Schnittzeitpunkt bestimmen zum einen den Ertrag, haben aber auch einen Einfluss auf die Eignung des Aufwuchses als Brennstoff. Das Heu sollte möglichst wenig Stickstoff und Mineralstoffe (vor allem Kalium), aber viel holzige Anteile enthalten. Ein sehr langes Hinauszögern des ersten Schnittzeitpunktes ist trotzdem nicht sinnvoll, da vor allem bei standortgemäß zweischnittigen Wiesen der erste Aufwuchs ab circa Mitte Juli ins Lager geht. Dies erschwert die Ernte und mindert den Ertrag und die Qualität des Brennstoffs, da neue, rohfaserarme Triebe austreiben. Nur bei angepassten Arten z. B. von Streuwiesen könnte eine einmalige Nutzung im Herbst ohne Ernte- und Qualitätsverluste erfolgen. Wenn der gemähte Aufwuchs während der Feldtrocknung dem Regen ausgesetzt, ist dies von Vorteil, da hierdurch Mineralstoffe ausgewaschen werden (Näheres hierzu bei Härdtlein et al. 2004, siehe Kapitel 3.2.1).

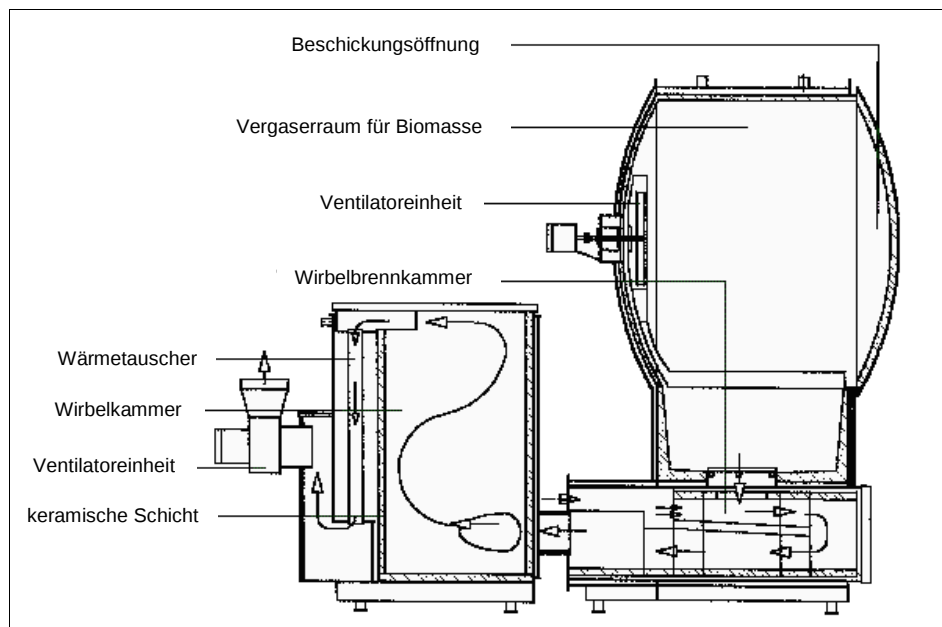
In den Berechnungen wird für zweischnittige Wiesen von 5 t TM Nettoertrag pro Hektar und Jahr (20 % Werbungsverluste) ausgegangen. Davon fallen 3 t TM beim ersten, und 2 t TM beim zweiten Schnitt an. Daneben wird eine Zweischnittwiese betrachtet, bei der nur einmal zu einem späteren Schnittzeitpunkt abgeerntet wird und die einen Ertrag von 3,9 t TM/ha erzielt. Hintergrund sind Untersuchungen von Gruber et al. (2000), denen zufolge unter sonst gleichen Bedingungen (Standort, Düngung) weniger Schnitte einen höheren Ertrag bringen als eine größere Anzahl an Schnitten. Außerdem sind die Kosten für den zweiten Schnitt bei niedrigem Ertrag relativ hoch und die Verbrennungseigenschaften von überständigem Heu besser als von jüngerem (siehe Kapitel 3.2.1). Die Ursache für diese Beobachtung könnte darin liegen, dass zum einen bei Mehreschnittigkeit mehr Phasen auftreten, in denen die Pflanzen aufgrund geringer Blattmasse nach einem Schnitt schlecht assimilieren können und dass zum anderen die höchsten Zuwachsraten beim ersten Aufwuchs gegeben sind. Wenn der erste Aufwuchs allerdings stark überständig wird, lassen die Zuwachsraten nach. Für Streuobstwiesen wird aufgrund des Baumbestandes ein reduzierter Nettoertrag von 3,1 t TM/ha angenommen. Als dritte Variante werden weniger wüchsige Standorte (Magerwiesen) mit einer einschnittigen Nutzung und einem Nettoertrag von 2,5 t TM/ha und Jahr betrachtet.

## Verbrennung in Kleinanlagen

Ausgelöst durch einerseits steigende Heizölpreise und andererseits sinkende Erzeugerpreise für Getreide hat es in der jüngsten Zeit verstärkte Anstrengungen gegeben, um geeignete und an alternative Biobrennstoffe (insbesondere Getreide und Stroh) angepasste Verbrennungstechniken zu entwickeln. Diese neuen Anlagentypen wurden zum Teil auch mit Heu als Brennstoff erfolgreich getestet. Nachfolgend werden die für die thermische Nutzung von Heuballen oder -pellets einsetzbaren Anlagen dargestellt.

### Ganzballenvergaser

Der Vergaserkessel für Ganzballen der Firma Herlt wird in Leistungen von 85 bis 400 kW angeboten und deckt damit den oberen Leistungsbereich für Kleinanlagen und den unteren für mittelgroße Anlagen ab. In Abb. 21 ist der Aufbau des Ganzballenvergasers mit seiner konstruktiven Trennung von Vergaserraum und nach geschalteter Wirbelbrennkammer, die für geringe Verschlackung und niedrige Staubemissionen verantwortlich ist, skizziert.



Quelle: Firma Herlt (2006)

Abb. 21: Aufbau eines Ganzballenvergasers

Der Vergaser wird zunächst mit Scheitholz angeheizt. Erst wenn die Brennkammer durch das Holzfeuer die Betriebstemperatur erreicht hat, wird ein Rundballen mit dem Frontlader aufgelegt (Abb. 22). Wenn ein weiterer Ballen nachgelegt werden kann, wird dies von der Kesselregelung signalisiert. Wird kein weiterer Ballen nachgelegt, geht die Regelung in das Ausbrandprogramm. Da der Kessel weitgehend in Volllast betrieben wird, ist für die Bereitstellung der jeweils nachgefragten Wärme ein ausreichend groß dimensionierter Pufferspeicher notwendig. Die wesentlichen Nachteile des Ganzballenvergasers sind das relativ enge Zeitfenster zum Nachlegen eines Ballens und die Emissionsspitzen, die beim Ballenwechsel stattfinden, sowie die erforderliche Mindestleistungsgröße der Anlage aufgrund des Ballensmaßes. Als Vorteile sind die vergleichsweise einfache Technik für die Brennstoffbeschickung und die im Durchschnitt guten Emissionswerte zu nennen. Mit dieser

Verbrennungstechnologie können, wie eine Feuerungsanlage diesen Typs auf einem Betrieb in Sachsen zeigt, mit Stroh die Grenzwerte der TA Luft eingehalten werden (LFUG 2003). Abbrandversuche mit Heu, in denen annähernd die Grenzwerte der TA Luft erreicht werden konnten (Kiesewalter 2005), bestätigen das gute Emissionsverhalten des Ganzballenvergasers.



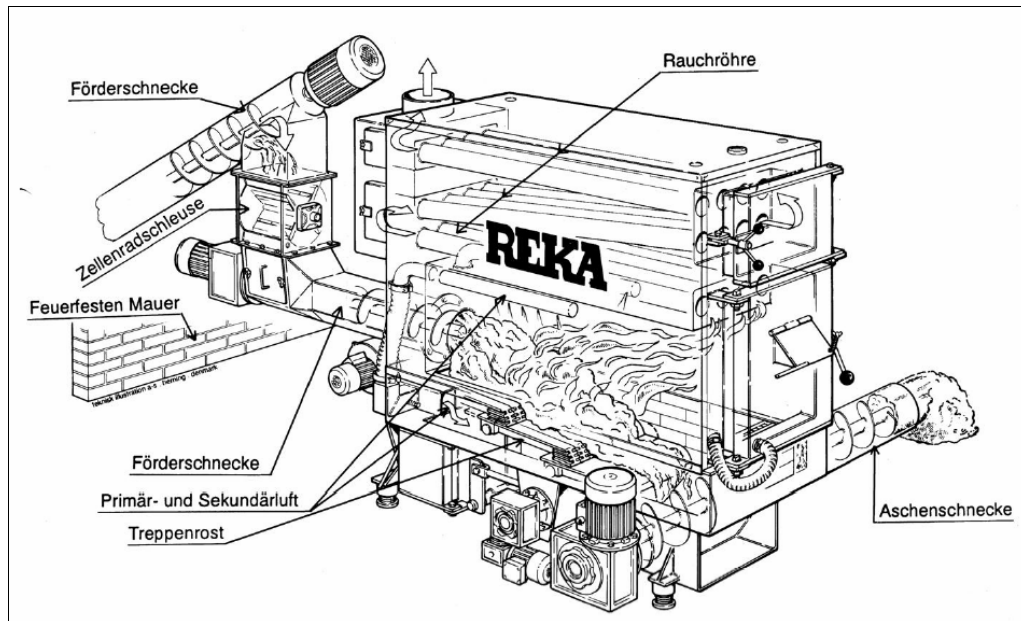
Quelle: Teufel (2005)

Abb. 22: Beschickung und Abbrand des Ganzballenvergasers

### *Hochdruckballen*

Die Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Hohenheim untersucht seit Januar 2005 einen mit Heu befeuerten Kessel der Fa. REKA (Abb. 23). Zur Beschickung der Anlage wird der Heuballen auf ein Förderband gelegt, nach Bedarf automatisch abgerufen, in einem langsam laufenden Zerkleinerer (Cutter) aufgelöst und über eine Zellenradschleuse in die Feuerung dosiert. Ein Treppenrost und eine spezielle Luftführung sollen ein Anbacken von Schlacke verhindern.

Im Betrieb gab es zeitweise Probleme bei der Zerkleinerung der Ballen und mit der „wolligen“ Asche, die anfangs nur schwer aus dem Brennraum befördert werden konnte. Die Verbrennung funktioniert aber gut und es gibt kaum Schlackebildung. Die Emissionswerte liegen für CO und NO<sub>x</sub> im Bereich der TA Luft-Grenzwerte. Die Staubemissionen ohne Filter sind allerdings zu hoch. Mit einem nachgeschalteten Edelstahlfilter der Fa. Winkel können jedoch niedrige Staubemissionen unter 10 mg/m<sup>3</sup> erreicht werden (Oechsner 2006).



Quelle: Firma REKA (2006)

Abb. 23: Schnittbild einer Halmgutfeuerung mit beweglichem Treppenrost

### Heupellets

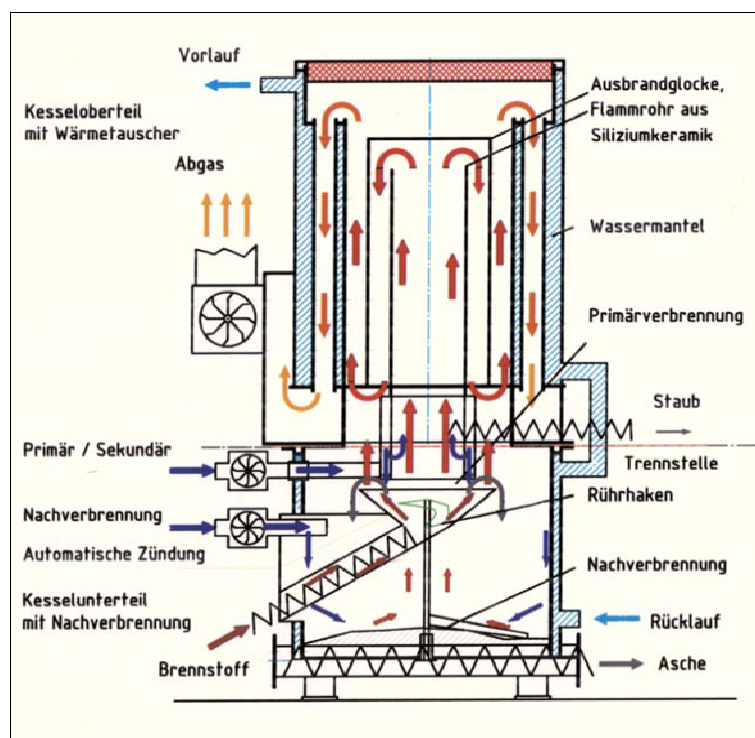
Ein pelletierter Brennstoff hat ein größeres Einsatzspektrum und wird – wie die Entwicklung des Marktes für Holzpellets zeigt – trotz höherer Preise insbesondere von Kleinanlagenbesitzern stark nachgefragt. Die Vorteile von Pellets sind ihre hohe Energiedichte und ihre Rieselfähigkeit, wodurch sie gut handelbar, in der Feuerung gut dosierbar und auch in Heizanlagen mit kleiner Leistung einsetzbar sind. Angesichts dieser Vorteile könnte zukünftig auch die Pelletierung von Heu interessant werden. In mehreren Projekten wurde untersucht, ob durch Beimischungen bei der Pelletierung die Brennstoffeigenschaften verbessert werden können. Die Ergebnisse (Kiesewalter/Röhrich 2003) zeigen, dass z. B. durch die Zugabe von Kalk die Ascherweichungstemperatur erhöht werden kann, gleichzeitig aber die Abriebfestigkeit deutlich reduziert wird. Durch den Einsatz von Stärke bzw. Melasse kann wiederum die Abriebfestigkeit verbessert werden, bei Verbrennungsversuchen zeigten sich aber wenig positive Auswirkungen. Der wesentliche Nachteil der Pelletierung sind die zusätzlichen Kosten, die sich durch den Heutransport zur Pelletieranlage und durch die Pelletierung ergeben.

Geht man davon aus, dass die Kosten für die Herstellung von Heupellets in der gleichen Größenordnung wie die von Strohpellets liegen, so müssen für die Pelletierung Kosten zwischen 50 Euro je Tonne (Keymer 2003, Röhrich 2006, Hering 2006a) und 80 bis 100 Euro je Tonne (Maurer 2002, Kiesewalter 2005) veranschlagt werden. In den Berechnungen wird von Pelletierungskosten von 70 Euro pro Tonne plus Transportkosten ausgegangen. Bei Entfernungen von 80 km zur Pelletieranlage und 100 km zu den Endverbrauchern ergeben sich Kosten von 115 Euro je Tonne für Heupellets frei Feuerungsanlage zuzüglich Rohstoffkosten.

Seit Ende der 1990er Jahre gibt es in Deutschland einen Markt für Holzpellets und Holzpellet-Feuerungstechnik, der aufgrund des Komforts der Anlagen und der Preisvorteile des

Brennstoffs gegenüber Öl und Gas in den letzten Jahren hohe Zuwachsraten verzeichnete. Der Probetrieb mit Getreide und Halmgutpellets in für Holzpellets konstruierten Verbrennungsanlagen zeigte, dass für diese Brennstoffe spezielle, an deren spezifische Eigenschaften angepasste Kessel entwickelt werden müssen. Die Verfeuerung von Getreide und Halmgutpellets in entsprechenden Kesseln wird gegenwärtig von privaten Entwicklern und der Wissenschaft untersucht. Die in neun von der FNR geförderten Projekten erzielten Ergebnisse sind viel versprechend (Hering 2006b). Für mehrere Kessel ist demnach die Verschlackungsgefahr beherrschbar und die Vorgaben der aktuellen 1. BImSchV werden erfüllt. Die Grenzwerte der TA-Luft sowie die geplanten Grenzwerte der novellierten 1. BImSchV liegen teilweise auch ohne nachgeschaltete Filter in Reichweite. Leider liegen bislang nur Emissionsmessungen für die Brennstoffe Getreide und Strohpellets vor, so dass bei den Analysen für Heupellets auf diese Messwerte zurückgegriffen werden muss.

Als Beispiel für eine der neu entwickelten, an die Verbrennung von Getreide und Halmgütern angepassten Techniken wird im Folgenden der Pelletkessel der Fa. Agroflamm verwendet (Abb. 24). Das Besondere an diesem Kessel ist, dass die Entgasung und Nachverbrennung räumlich getrennt ablaufen und eine vollständige Verbrennung erreicht wird. Zur Vermeidung von Schlackeanbackungen wird der Brennstoff ständig in Bewegung gehalten. Der Korrosionsgefahr wird durch Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien vorgebeugt. Durch Beruhigungszonen für die Rauchgase wird eine wirksame Staubabscheidung erreicht. Der Kessel ist für Stroh- und Heupellets zugelassen und erfüllt die Kriterien zur finanziellen Förderung automatisch beschickter Biomasseanlagen (BAFA 2006).



Quelle: Firma Agroflamm (2006)

Abb. 24: Aufbau einer Kleinf Feuerung für Halmgutpellets und Getreide

### Verbrennung in Mittel- und Großanlagen

Bei der Verbrennungstechnik für Mittel- und Großanlagen wurden in jüngster Zeit keine grundlegenden Neuerungen entwickelt. Anlagen zur Strohverbrennung stehen in großer Zahl bereit, die Technik ist in vielen Anlagen im europäischen Ausland im Einsatz. In Deutschland werden allerdings nur sehr wenige Strohfeuerungsanlagen betrieben. Mit Heu als Brennstoff wurde in mehreren Anlagen Feuerungsversuche durchgeführt und die prinzipielle Eignung der Technik zur Heuverbrennung nachgewiesen. Eine Übersicht über die grundsätzlich zur Verfügung stehenden Techniken gibt Tab. 18.

Tab. 18: Techniken zur Verbrennung von Halmgütern in Mittel-/Großanlagen

| Leistung               | Betrieb                                         | Brennstoff-aufbereitung                    | Marktreife                                                                                                | Probleme                                                                                              |
|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| bis 400 kW             | diskontinuierlich                               | Rundballen                                 | Anlage der Fa. Herlt verfügbar                                                                            | Anfeuerung, Bal-lenwechsel                                                                            |
| 500 kW bis circa 30 MW | kontinuierlich, ohne Auflösung                  | Quaderballen                               | viele Anlagen ver-schiedener Hersteller für Stroh verfügbar, in Deutschland nur wenige Anlagen in Betrieb | keine Anlagen mit Heu befeuert, Hinweise auf Probleme mit HCl und NO <sub>x</sub> bei Heu-verbrennung |
|                        | kontinuierlich, mit Auflösung                   | Rund- oder Quaderballen                    |                                                                                                           |                                                                                                       |
|                        | chargenweise, mit Scheibenteiler                |                                            |                                                                                                           |                                                                                                       |
| über 100 MW            | Mitverbrennung in fossil befeuerten Kraftwerken | Pellets, Staub bzw. Brenngas aus Vergasung | einige Anlagen für Stroh in Betrieb (nicht in Deutsch-land)                                               | keine Stromvergü-tung nach EEG, weite Transport-wege für Brenn-stoff                                  |

Die Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken spielt derzeit keine Rolle, da dabei für die Biomasse keine Einspeisevergütung nach EEG bezahlt wird. Trotzdem gibt es aktuell Überlegungen der Stromversorger, speziell Halmgut als leicht mobilisierbaren Brennstoff mit zu verbrennen, um sich die CO<sub>2</sub>-Gutschriften zu sichern.

#### 3.2.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Verbrennung hängt von den Brennstoffkosten, den Investitions- und Betriebskosten der Feuerungsanlage und der jeweiligen Versorgungsaufgabe ab. Im Folgenden sollen die Kosten für den Brennstoff Heu und die Wärmegestehungskosten ab Feuerungsanlage untersucht werden. Dabei wird aus den oben skizzierten Gründen nur der Einsatz in Kleinfeuerungsanlagen betrachtet.

#### Brennstoffkosten

Zunächst werden die für die Brennstoffbereitstellung notwendigen Annahmen erläutert und anschließend die sich daraus ergebenden Brennstoffkosten dargelegt. Betrachtet werden die in Kapitel 3.2.2 vorgestellten Aufbereitungsformen, wobei Hochdruck- bzw. Rundballen für Feuerungsanlagen im Umfeld von landwirtschaftlichen Betrieben und Quaderballen für die Produktion von Heupellets eingesetzt werden sollen.

## Mechanisierung

Die Maschinenkosten werden entsprechend der Vorgehensweise beim Biogas nach KTBL bestimmt. Es wird mit Vollkosten und Eigenmechanisierung gerechnet, nur die Ernte (Pressen) erfolgt durch Lohnunternehmer. Betrachtet werden unterschiedliche Schlaggrößen mit jeweils unterschiedlicher Mechanisierung.

## Pacht, Gemeinkosten, Flächenprämien

Die Pachtkosten werden mit 85 Euro für zweischnittige und 70 Euro für einschnittige Wiesen angenommen. Für Hangflächen mit 25 bis 35 % Hangneigung werden 70 Euro, mit 35 bis 50 % 30 Euro und für Streuobstwiesen 50 Euro unterstellt. Für anteilige Gemeinkosten werden 100 Euro/ha angesetzt. Als Flächenprämien werden die Grünlandprämie mit 72 Euro, die Ausgleichszulage und Maßnahmen nach MEKA berücksichtigt. Da sich die Prämien mit Beginn des Jahres 2007 durch die Fortschreibung des Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum (MEPL II, 2007) ändern, werden bereits die aktuellen Werte verwendet. Im Allgemeinen werden die Ausgleichszulage mit 50 Euro, die extensive Grünlandnutzung mit 40 Euro und der Erhalt Artenvielfalt mit 50 Euro je Hektar berücksichtigt. In Sonderfällen werden zusätzlich Zahlungen für Steillagen über 25 % Hangneigung mit 120 Euro und für Streuobstwiesen mit 100 Euro je Hektar (entsprechend 40 Bäumen pro Hektar) einbezogen. In Berggebieten erhöht sich die Ausgleichszulage auf 150 Euro je Hektar. Für die Bewirtschaftung von Berg- und Flachland-Mähwiesen innerhalb von FFH-Gebieten wird ein Ausgleich von 140 Euro je Hektar gewährt, der allerdings nicht mit extensiver Grünlandnutzung und Artenvielfalt kombiniert werden kann.

## Ergebnisse

In Abb. 25 sind beispielhaft die Kosten für Rundballen frei hofeigener Feuerungsanlage dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Zwei-Schnittwiesen durch Verzicht auf den zweiten Schnitt trotz Ertragseinbußen günstigere Bereitstellungskosten pro Tonne erzielt werden können als bei zweischnittiger Nutzung.

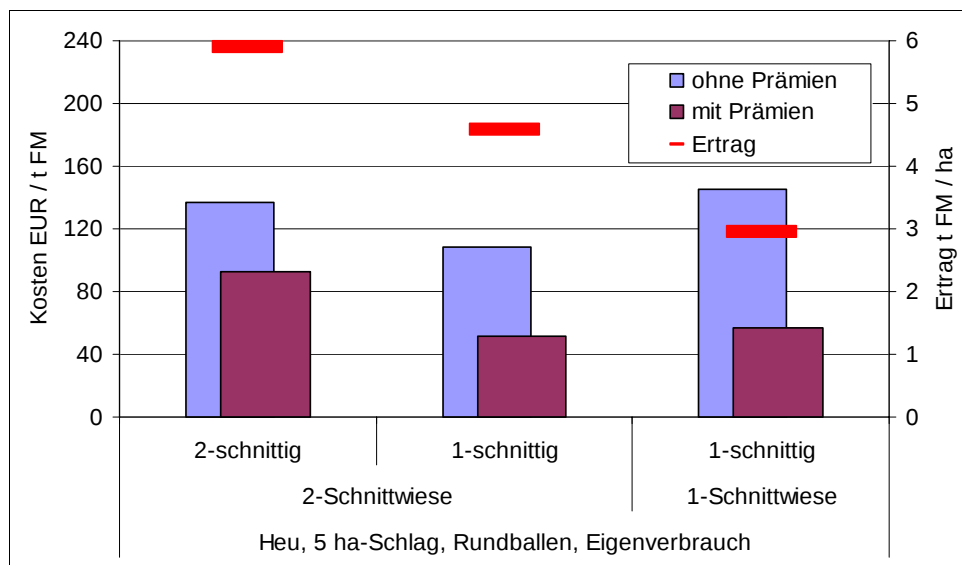


Abb. 25: Kosten für Heu-Rundballen frei hofeigener Feuerungsanlage

Für die Berechnungen werden deshalb nur die einschnittigen Varianten von Zweischnittwiesen verwendet. Deutlich wird auch der große Einfluss der Flächenprämien vor allem bei niedrigen Erträgen, der dazu führt, dass von einschnittigen, ertragsarmen Wiesen Heu zu günstigeren Kosten bereitgestellt werden kann als von zweischnittigen Wiesen mit doppelt so hohem Ertrag.

In Abb. 26 sind beispielhaft für den 1 ha-Schlag die Kosten der Brennstoffbereitstellung für verschiedene Standorte dargestellt. Ohne Berücksichtigung von Prämien ergeben sich erhöhte Kosten pro Tonne für flachere Hänge (um 34 %), für steilere Hänge (um 112 %) und für Streuobstwiesen (um 42 %) gegenüber dem Standard. Bei Berücksichtigung der gewährten Flächenprämien reduzieren sich diese Differenzen bei flacheren Hängen und Obstwiesen auf 22 %. Bei sehr steilen Hängen im Berggebiet erhöht sie sich der Unterschied dagegen auf 116 %. Nur wenn für flachere Hänge die erhöhte Ausgleichszulage aufgrund der Lage im Berggebiet in Anspruch genommen werden kann, ergeben sich ähnliche Kosten wie bei Standardwiesen. Das heißt, dass die gewährten Prämien unter den getroffenen Annahmen in der Regel nicht ausreichen, um den erhöhten Aufwand für die erschwerte Bearbeitung an Hängen und in Streuobstwiesen auszugleichen. Bei Berücksichtigung der Prämien für FFH-Gebiete reduzieren sich die Bereitstellungskosten bei ansonsten gleichen Grundannahmen einheitlich um gut 10 Euro je Tonne.

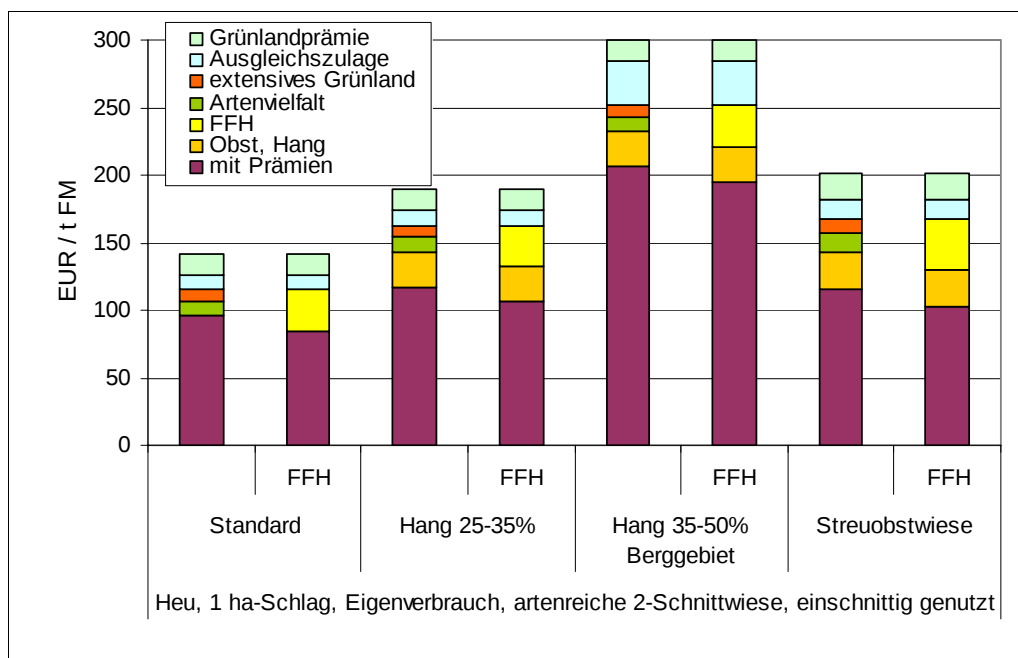


Abb. 26: Brennstoffkosten für unterschiedliche Wiesentypen

In Abb. 27 sind die errechneten Brennstoffkosten je Energieeinheit für unterschiedliche Mechanisierungsgrade jeweils von einschnittig genutzten Zwei-Schnittwiesen den Handelspreisen für als Brennstoff verwendbare Biomassen und Heizöl gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass Heu nur unter günstigen Bedingungen und unter Einbeziehung der agrarpolitischen Flächenprämien zu den derzeit erzielbaren Preisen produziert werden kann. Stroh wird zu 20 bis 30 % günstigeren Preisen gehandelt als Heu (BWagrar 2006). Dagegen sind die Brennstoffkosten für Getreide, Holzpellets und Heizöl bei den angenommenen Preisen gegenüber Heu teilweise deutlich höher. Werden allerdings nur vergleichbar aufbereitete, gut dosierbare

Brennstoffe verglichen, zeigt sich, dass die Bereitstellungskosten von Heupellets deutlich über den Handelspreisen für Getreide liegen. Gegenüber Holzpellets, die in jüngster Zeit einen deutlichen Preisanstieg zu verzeichnen hatten, ergibt sich ein Preisvorteil. Die Preise für Heizöl liegen je nach Marktlage deutlich über den Kosten für Heupellets.

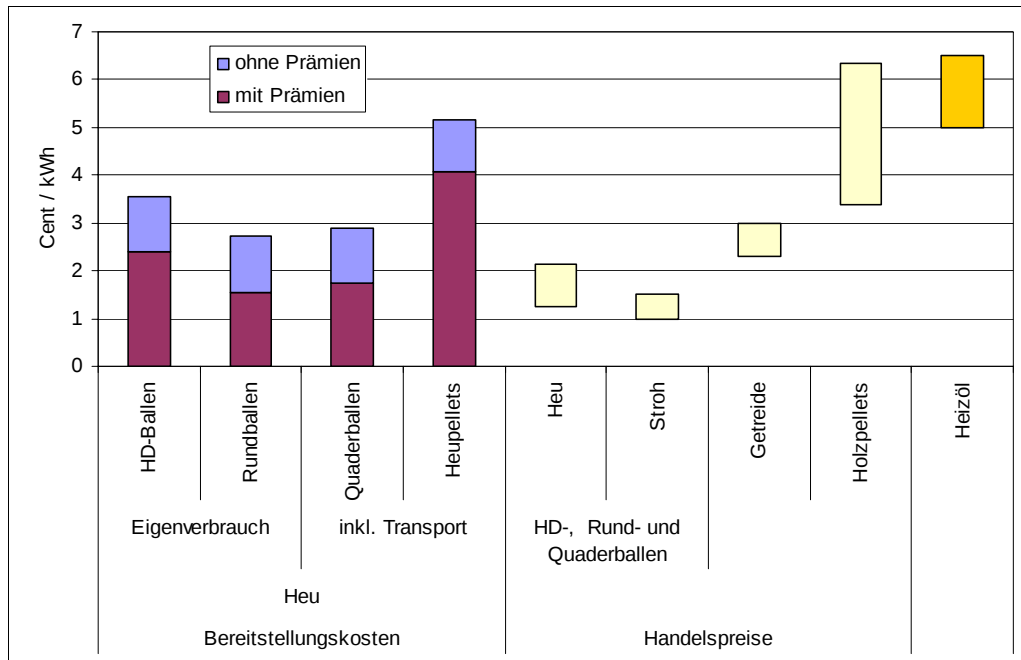


Abb. 27: Bereitstellungskosten für Heu frei Feuerungsanlage und Handelspreise für Biomassebrennstoffe und Heizöl

### Kostenentwicklung

Die angeführten Bereitstellungskosten gelten für das Jahr 2007, zukünftig werden diese jedoch aufgrund allgemeiner Preisentwicklungen steigen. Die zukünftigen Preissteigerungen werden entsprechend den Steigerungsraten der letzten 15 Jahre angenommen. Dabei wird auf den Index der Einkaufspreise landwirtschaftlicher Betriebsmittel (Statistisches Bundesamt 2006) sowie auf Steigerungsraten für Treibstoffe und Löhne gemäß dem Verbraucherpreisindex Baden-Württemberg zurückgegriffen (Statistisches Landesamt 2006b).

Da die Agrarprämien einen erheblichen Einfluss auf die Bereitstellungskosten pro Tonne haben, kommt der Prämienentwicklung eine wesentliche Bedeutung zu. Es wird unterstellt, dass die Grünlandprämie mit Anhebung der Prämie in den Jahren 2010 bis 2013 auf 302 Euro pro Jahr und die Ausgleichszulage fortgeführt werden. Bei der Grünlandförderung über MEKA wird angenommen, dass die Grünlandgrundförderung (extensives Grünland) ab 2013 entfällt, da die dort gestellten Anforderungen in Cross Compliance enthalten sind und damit über die Grünlandprämie abgedeckt werden. Es wird zudem angenommen, dass die Prämien für Grünland mit Artenvielfalt, Hangneigung und Streuobstbeständen weiter gewährt werden.

Abb. 28 zeigt beispielhaft die Kostenentwicklung der Bereitstellungskosten für Heu-HD-Ballen. Deutlich zu erkennen ist der starke Kostenanstieg von 2006 auf 2007, bedingt durch die reduzierten Prämien in MEKA III (2007). Im Jahr 2013 wird durch den Anstieg

der Grünlandprämie nochmals das Niveau von 2005 erreicht. Im Jahr 2024 liegen die Kosten um circa 40 % über den derzeitigen Kosten. Besonders ungünstig schneiden allerdings die steilen Hänge ab. Während die Bereitstellungskosten in 2005 schon doppelt so hoch wie bei Standardgrünland sind, erreichen sie durch Prämienverschlechterung und durch höhere Aufwendungen bis 2024 die 2,5fachen Kosten.

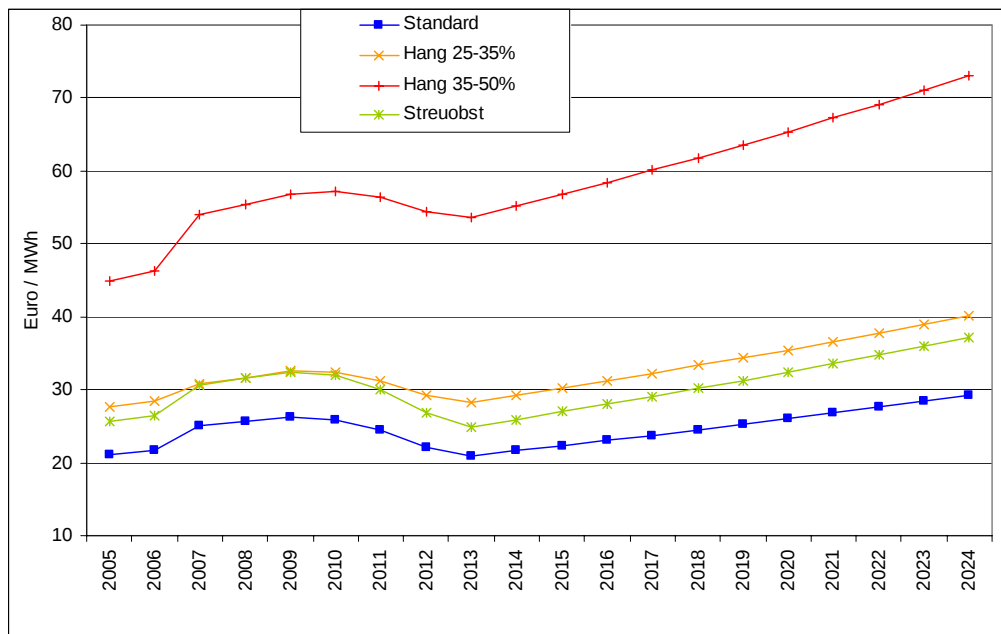


Abb. 28: Entwicklung der Bereitstellungskosten für Heu-HD-Ballen (1 ha-Schlag) auf unterschiedlichen Standorten (inklusive Prämien)

### Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten hängen außer von den Brennstoffkosten vor allem von den Investitionen für die Feuerungsanlage und die dafür notwendigen baulichen Maßnahmen sowie von den Kosten für Wartung und Betrieb der Anlage ab. Je nach Aufbereitungsform des Brennstoffs unterscheiden sich die Feuerungsanlagen und die für den Betrieb notwendigen Zusatzaggregate für z. B. Brennstoffförderung, Brennstoffzerkleinerung, Ascheaustrag, Emissionsminderung und Pufferspeicher in ihrem technischen Aufwand. Ein Vergleich der Investitionskosten der in Kapitel 3.2.2 dargestellten Anlagen ergibt erhebliche Unterschiede. Für einen Ganzballenvergaser der Fa. Herlt ist mit circa 1.000 Euro, für einen Halmgut-Pelletkessel der Fa. Agroflam mit rund 800 Euro und für die Rostfeuerung der Fa. REKA mit rund 1.700 Euro je Kilowatt installierter Leistung zu rechnen. Die hohen Kosten für die REKA-Anlage resultieren vor allem aus dem aufwändigen Verfahren für die Brennstoffförderung und -auflösung sowie dem Filter für die Entstaubung. Würde anstatt der kleinen 30 kW-Feuerung ein 90 kW-Kessel eingesetzt, ergäben sich deutlich günstigere Investitionskosten von rund 1.000 Euro pro Kilowatt. Nicht berücksichtigt sind die je nach Versorgungsaufgabe anfallenden Kosten für die Wärmeverteilung und eventuell notwendige Spitzenlastkessel.

Unter Einbeziehung aller Investitions-, Verbrauchs- und Betriebskosten inklusive Arbeitskosten und bei einer Betriebsdauer von 2.000 Volllaststunden pro Jahr errechnen sich als

Wärmegestehungskosten ab Biomasse-Feuerungsanlage beim Einsatz von Heuballen im Ganzballenvergaser und von Heupellets im Pelletkessel rund 10 Cent/kWh sowie für den Einsatz von Heu-HD-Ballen in der Rostfeuerung rund 15 Cent/kWh. Die gleiche Rostfeuerung mit höherer Leistung liegt beim Einsatz von Rundballen bei rund 9 Cent/kWh (Abb. 29). Diese Kosten sind aber nicht miteinander vergleichbar, da zum einen die Feuerungswärmeleistungen nicht auf gleichem Niveau liegen und keine konkreten Versorgungsaufgaben definiert wurden, die unterschiedliche Eignungen und Zusatzinvestitionen erwarten lassen. Zum andern existieren verschiedene, nicht kostenmäßig erfassbare Randbedingungen. So muss eine Arbeitskraft z. B. beim Ganzballenvergaser nach jedem Ballenabbrand (alle 4 bis 5 Stunden), bei der Ballen-Rostfeuerung je nach Länge des Förderbandes alle ein bis zwei Tage und beim Pelletkessel bei entsprechender Silogröße nur einmal im Jahr zur Verfügung stehen.

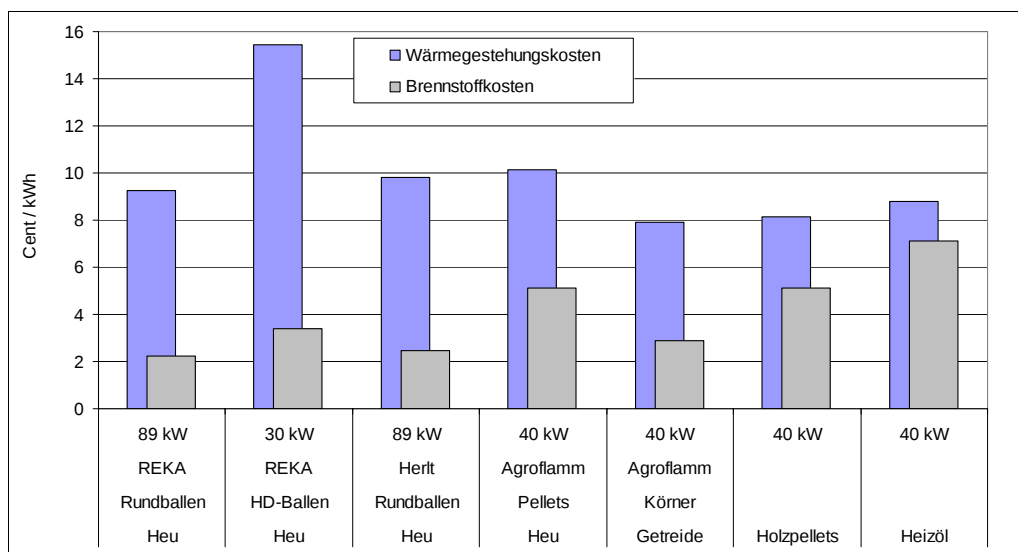


Abb. 29: Wärmegestehungskosten bei Einsatz von Heubrennstoffen sowie vergleichbarer Biomassebrennstoffe und Heizöl

Die Heupelletverfeuerung (10 Cent/kWh) steht in Konkurrenz zu anderen rieselfähigen Biomassen und zu Heizöl. Bei gleichen Rahmenbedingungen ergeben sich beim Einsatz des kostengünstigeren Getreides in demselben Halmgutpelletkessel und beim Einsatz von etwas teureren Holzpellets in einem günstigeren Holzpelletkessel Wärmegestehungskosten von rund 8 Cent/kWh. Zum Vergleich: Bei Heizölpreisen von 60 Cent/l liegen die Wärmegestehungskosten bei circa 8,8 Cent/kWh. Sollte sich die generelle Tendenz zu steigenden Energiepreisen bei konventionellen Energieträgern weiter fortsetzen, würde die Heupelletfeuerung in den wirtschaftlichen Bereich gelangen.

### 3.3 Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen

Der flächenspezifische Biomasseertrag kann erhöht werden, wenn die überschüssigen Grünlandflächen mit schnellwachsenden Baumarten angepflanzt werden. Mit der Anpflanzung und Erforschung schnellwachsender Baumarten wurde in Deutschland schon in den 1930er Jahren begonnen (Joachim 1953). Vor dem Hintergrund der Ölkrise 1973 und 1979 wurden von 1980 bis 1990 in verschiedenen Bundesländern Anbau- und Ernteversu-

che mit unterschiedlichen wiederausschlagsfähigen Baumarten und -sorten (vorrangig Pappeln und Weiden) sowie Umtriebszeiten durchgeführt und Anbauempfehlungen erarbeitet (Hofmann 1998, Röhricht/Ruscher 2004a, Schütte 1999). Im Jahr 1997 ist ein neues Modellvorhaben begonnen worden, bei dem Fragen der Erzeugung von Pappelindustrieholz in kurzen Umtriebszeiten auf 100 ha Fläche in Hessen und Sachsen geklärt werden sollen. Untersuchungen zu Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten finden aber auch in anderen – insbesondere in den skandinavischen – Ländern statt (Raschka 1997, Tubby/Armstrong 2002).

In der Vergangenheit wurden die Bestrebungen zur Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen durch Überschüsse bei landwirtschaftlichen Produkten und die dadurch verursachten hohen Marktordnungskosten angetrieben. Seit 1993 ist in Deutschland der Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen unter Wahrung des Ackerstatus möglich. Für diese Anbaualternative haben sich jedoch nur wenige Landwirte entschieden, so dass insgesamt nur 100 bis 500 ha angepflanzt wurden (Wühlisch 2000). Während in Deutschland so gut wie kein Anbau von schnellwachsenden Baumarten in der Praxis erfolgte, wurden insbesondere in Schweden mehrere Tausend Hektar mit Weiden in Kurzumtriebsplantagen für die energetische Nutzung bestockt. In Baden-Württemberg waren die Anbauversuche mit Pappeln im Kurzumtrieb insgesamt nicht besonders erfolgreich, so dass die Bestände wieder rekultiviert wurden (Textor 2003).

Die nachfolgend verwendeten Informationen und Daten zum Anbau schnellwachsender Pappeln auf umgebrochenem Grünland stammen weitgehend aus Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Begründung der Anlagen von 1992 bis 1998) mit Balsampappel, Aspe, Roterle, Korbweide und Robinie auf circa 35 ha Versuchsflächen in verschiedenen Regionen (Burger 2006a). Die Balsampappel (*Populus trichocarpa*) erwies sich als die am besten geeignete Baumart mit den höchsten Massenleistungen bei relativer Unempfindlichkeit gegenüber Wildverbiss. Sie lieferte im fünfjährigen Umtrieb Trockenmasseerträge von bis zu 13 Tonnen pro Jahr und Hektar. Auch Vetter et al. (2000) sowie Scholz/Hellebrand (2003) kommen in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die Balsampappel sowohl in Süddeutschland als auch in Ostdeutschland das höchste Ertragspotential besitzt. Sie gilt als raschwüchsig, zeigt ein gutes Bewurzelungsvermögen (Voraussetzung für die Vermehrung über Stecklinge) und bringt gute Zuwächse.

Welche Pappelsorte bzw. Sortenmischungen die höchsten Erträge bringen, ist aber noch nicht eindeutig geklärt. Die Ergebnisse eines 25-jährigen Pappelanbauversuchs in Österreich – von 1958 bis 1964 wurden 36 Versuche mit 27 unterschiedlichen Pappelsorten an verschiedenen Standorten angelegt – haben gezeigt, dass einige Pappelsorten auf geeigneten Standorten beachtliche Wuchsleistungen erbringen, während bei manchen Sorten durchgehend schlechte Zuwachsleistungen sowie hohe Ausfallraten zu verzeichnen waren (Rössler 1995). Bei den unterschiedlichen Leistungen der untersuchten Pappelsorten war ein deutlicher Einfluss des Standortes erkennbar, wobei auch eine Wechselwirkung von Sorte und Standort besteht. In jüngster Zeit gibt es Hinweise, dass Sortenmischungen höhere und stabilere Erträge erzielen als sortenreine Bestände.

Die Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass für den erfolgreichen Anbau schnellwachsender Pappeln im Kurzumtrieb hohe Biomassezuwächse eine Grundvoraussetzung sind. Um

diese zu erreichen, sind nährstoffreiche Böden (Bodenpunktzahl 30 bis 50) mit ausreichender Wasserversorgung – die Niederschlagsmenge in der Vegetationszeit sollte mindestens bei 300 mm liegen –, eine rasche Erwärmung im Frühjahr und tiefgründige Durchwurzelbarkeit des Bodens (mindestens 60 cm) sowie windgeschützte Lagen erforderlich (Hofmann 1998, Petzold et al. 2006, Röhrich 2006). Die Anpflanzung von schnellwachsenden Kurzumtriebspappeln auf Grenzertragsböden (Unsel 1999) oder Abraumhalden bzw. Kippsubstraten (Bungart 1999) wurde ebenfalls untersucht. Wie die Ergebnisse zeigen, können in Einzelfällen auch auf sandigen Böden oder bei geringem Niederschlag relativ hohe Erträge realisiert werden, da die Pappeln in der Lage sind, Anschluss an das Grundwasser zu erreichen (Döhner 2004). Voraussetzung ist eine ausreichende Wasserversorgung im Jahr der Pappelanlage, die es den Pflanzen ermöglicht, mit ihren Wurzeln in tiefere Bodenschichten vorzudringen. Auf weniger geeigneten Standorten ist allerdings die Gefahr von Mindererträgen erhöht. So berichtet beispielsweise Textor (2003) von sehr niedrigen Erträgen beim Pappelanbau auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden.

In den Berechnungen wird einerseits von einem Anbau schnellwachsender Pappeln im Kurzumtrieb auf bisher intensiv genutztem überschüssigem Grünland ausgegangen. Andererseits wird die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf einem eher ungünstigen Standort mit niedrigerem Ertragspotenzial analysiert, da sich insbesondere für die ertragsschwachen überschüssigen Grünlandflächen die Frage nach alternativen Nutzungsmöglichkeiten stellt. Für diesen ungünstigen Standort wird als weitere Variante davon ausgegangen, dass sich dieser auf einer hängigen Fläche (Hangneigung 25 bis 35 %) befindet. Nachfolgend werden die der Kalkulation zugrunde liegenden Produktionsschritte (Anlage, Düngung, Ernte, Lagerung und Transport der Biomasse zur Feuerungsanlage sowie Rekultivierung) dargestellt. Dann werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Verkauf und die Verfeuerung der Pappel-Hackschnitzel durchgeführt.

### **3.3.1 Verfahrensbeschreibung**

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Bereitstellung von Grassilage werden zur Berechnung der Maschinenkosten Daten von KTBL verwendet und es wird mit Vollkosten und Eigenmechanisierung gerechnet. Bestimmte Arbeitsschritte (Pflanzenschutz, Ernte und Rekultivierung) erfolgen durch Lohnunternehmer. Betrachtet werden sowohl 1 ha als auch 5 ha große Flächen mit jeweils unterschiedlicher Mechanisierung.

#### **Anlage der Pappel-Kurzumtriebsplantage**

Die Anlage einer Pappel-Kurzumtriebsplantage untergliedert sich meist in die drei Arbeitsschritte Bodenvorbereitung, Pflanzung und Ausbringung eines Voraufmittels. Bei der Bodenvorbereitung wird unterstellt, dass das Grünland im Herbst mit einem Totalherbizid abgetötet und im Winter gepflügt (auf 25 bis 30 cm Tiefe) wird. Im Frühjahr erfolgt dann mit der Kreiselegge die Pflanzbettbereitung. Da die Etablierung der Pflanzung im Anwuchsjahr maßgeblich über die Ertragsfähigkeit des Bestandes entscheidet, wird nach der Bodenvorbereitung ein Voraufmittel eingesetzt, um die Konkurrenzflora zu unterdrücken (Wolf 2004, Döhner 2004). Unter Umständen ist zwischen Grünlandumbruch und Pappelpflanzung sogar ein Jahr Ackernutzung notwendig, um das Grünland zuverlässig zu

beseitigen. Dies wird in den Berechnungen jedoch nicht unterstellt. Die Bedeutung des Pflanzbettes hat folgenden Hintergrund: Nach der Pflanzung brauchen die Stecklinge, abhängig vom Wetter etwa zwei bis drei Wochen bis sie ausschlagen. Es folgt eine Phase relativ schnellen Wachstums von bis zu 10 cm, das aus Nährstoffvorräten bestritten wird, die bereits im Steckling vorhanden sind. Erst danach entwickeln sich die Wurzeln. In dieser Zeit stockt das Wachstum für etwa vier Wochen und es besteht die Gefahr, dass die aufkommende Begleitflora den Pappelstecklingen Wasser und Nährstoffe entzieht.

Als Pflanzmaterial werden so genannte Steckhölzer (Triebstücke von Mutterpflanzen) von 1 bis 2 cm Durchmesser und circa 20 cm Länge in den Boden gesteckt. Gepflanzt werden die bei Vegetationsruhe im Winter gewonnenen Stecklinge entweder per Hand oder mit Pflanzmaschinen. In der Vergangenheit wurden – vorwiegend in Schweden und Dänemark – verschiedene Feldholz-Pflanzmaschinen entwickelt und erprobt, von denen aber nur wenige auf dem Markt verfügbar sind. In der Praxis werden meist konventionelle land- oder forstwirtschaftliche Pflanzmaschinen eingesetzt. Deshalb wird hier angenommen, dass das Pflanzen der Stecklinge mit einer üblichen Gemüsepflanzmaschine erfolgt, bei der entsprechend dem gewünschten Reihenabstand nur einzelne Setzplätze benutzt werden.

Beim Produktionsziel „Energiehackschnitzel“ muss in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen eine hohe Pflanzdichte gewählt werden, um eine hohe Biomasseleistung zu erreichen. Die Stecklingszahl hängt aber auch von den gewählten Ernteintervallen ab: Je kürzer die Nutzungszyklen sind, desto höher muss die Pflanzdichte sein. Bei kurzen Umtriebszeiten von zwei bis drei Jahren werden meist sehr hohe Bestandsdichten von circa 10.000 bis 18.000 Bäumen pro Hektar gewählt (Wilwerding/Rösch 1999, Schwarze/Röhricht 2006). Bei Umtriebszeiten von 8 bis 10 Jahren nimmt die empfohlene Pflanzdichte auf 1.800 bis 3.300 Stecklinge pro Hektar ab (Röhricht/Ruscher 2004a). Nachfolgend wird zum einen von einem fünfjährigen Umtrieb mit 5.000 Stecklingen (LWF 2005) und einem Reihenabstand von 1,5 m und zum anderen von einem zehnjährigen Umtrieb mit 3.000 Stecklingen und einem Reihenabstand von circa 1,8 m (um mehr Standraum für die höher wachsenden Bäume zu erzielen) ausgegangen (Burger 2006b).

Um das Risiko des Krankheitsbefalls mit Pilzen im Pappelbestand nicht zu groß werden zu lassen, wird von der Eigenwerbung des Pflanzmaterials abgesehen und unterstellt, dass die Stecklinge aus der Baumschule bezogen werden. Da Pappelstecklinge noch nicht in nennenswerten Mengen angeboten werden, gibt es für sie auch keinen Marktpreis. Die Prognosen über den Stecklingspreis reichen von 0,08 bis zu 0,18 Euro/Stück. Dem unteren Wert der Spanne liegt die Annahme zugrunde, dass der Preis für das Pflanzmaterial mit Ausweitung der Stecklingsproduktion deutlich sinkt. Für die Kalkulationen werden die Kosten für die Pappel-Steckhölzer mit 0,18 Euro/Stück angesetzt. Nach der Pflanzung wird ein zweimaliges Striegeln der Fläche zur Unkrautunterdrückung angenommen, da die Stecklinge im Pflanzjahr sehr konkurrenzschwach sind (Vetter 2006, Hartmann 2002). Eine Einzäunung der Pappelanlage zur Vermeidung von Wildverbiss wird in der Kostenkalkulation nicht berücksichtigt.

## Düngung

Die Frage, ob und wie viel Dünger in Pappel-Kurzumtriebsplantagen ausgebracht werden sollte, ist auch unter Experten umstritten. Die Empfehlungen reichen von genauen Mengenangaben für verschiedene Nährstoffe (u. a. Kauter et al. 2001, Röhrich 2006) bis hin zur Ablehnung jeder zusätzlichen Düngung, da die zuvor landwirtschaftlich genutzten Böden zum Zeitpunkt der Pflanzung meist einen großen Nährstoffvorrat mitbringen und die Nährstoffentzüge über die Pappelernte gering sind (Hofmann 1998, Schulzke et al. 1990). Nach dem Stand der Forschung wird zumindest eine Stickstoffdüngung auf ehemaligen Ackerstandorten nicht für erforderlich erachtet (Vetter et al. 2000, Scholz/Grundmann 2004). Bei den Berechnungen wird beim Anbau von Kurzumtriebspappeln auf Grünlandflächen davon ausgegangen, dass eine PK-Düngung nach der Ernte erfolgt. Diese könnte theoretisch auch mit Aschen aus der Pappelholzverbrennung durchgeführt und so eine Kreislaufführung dieser Nährstoffe erreicht werden. Allerdings setzt die Nutzung von Verbrennungsaschen als Düngemittel eine Untersuchung der Asche auf Schwermetallgehalte und die Einhaltung der Grenzwerte entsprechend der Düngemittelverordnung voraus.

## Pflanzenschutz

Eine Behandlung der Pappeln oder gar ein prophylaktischer Schutz mit Pflanzenschutzmitteln ist nicht vorgesehen und wäre auch aus ökonomischer wie ökologischer Sicht von Nachteil. Das soll aber nicht bedeuten, dass Pappelkulturen prinzipiell nicht anfällig gegenüber Krankheiten sind. Im Gegenteil: Vor allem der Befall mit Rostpilzen hat immer wieder ernste Probleme bereitet. Die wirtschaftlich bedeutendsten Schäden in Kurzumtriebsplantagen in Schweden sind auf Blattrostpilze (z. B. *Melampsora* sp.) und Bakterien (z. B. *Xantomonas* spp.) zurückzuführen (Christersson et al. 1992). In einigen Schnellwuchsplantagen haben Rostpilze nach sieben bis acht Jahren innerhalb kurzer Zeit den gesamten Bestand vernichtet (Döhner 2004).

Der Anbau von Pappeln als Monokultur hat produktionstechnische Vorteile, begünstigt aber – insbesondere wenn nur ein einziger Klon gepflanzt wird – sowohl das Durchbrechen von Pappelresistenzen als auch die schnelle Ausbreitung des Pilzes. Durch Verwendung von schadresistenten Klonen wird versucht, die Schadanfälligkeit zu minimieren, da Schadorganismen vielfach baumartenspezifisch oder klonspezifisch sind (Bacher 1989). Durch Wahl einer resistenten Sorte, Sortenmischungen und regelmäßiges Austauschen der verwendeten Klone kann das Krankheitsrisiko begrenzt werden (Wolf 2004). Dies schränkt allerdings für den Plantagenbetreiber die Möglichkeit ein, aus seinen eigenen Beständen kostengünstig Stecklingsmaterial zu gewinnen.

## Ernte

Die Ernte erfolgt in den Wintermonaten vor dem Neuaustrieb. Günstig ist die Ernte bei gefrorenem Boden, weil dies die Gefahr von Verletzungen der Wurzelstöcke durch die eingesetzten Erntemaschinen einschränkt. Da die Produktion schnellwachsender Baumarten ein relativ junges Produktionsfeld der Landwirtschaft ist, gibt es nur wenig gesicherte Ergebnisse und Erfahrungen zur optimalen Umtriebszeit und Erntetechnik. Die vorliegenden Ergebnisse stammen vor allem von landwirtschaftlichen Betrieben in Skandinavien

sowie landtechnischen und forstwirtschaftlichen Forschungseinrichtungen in Schweden, Bayern und Brandenburg.

Die Ernteverfahren können grundsätzlich in Stammholz-, Bündel- und Hackgutlinien unterteilt werden, wobei die Bündel- und Hackschnitzellinien vorzugsweise für energetische Zwecke eingesetzt werden. Für die Ernte von Pappeln mit langen Umtriebszeiten steht konventionelle Forsttechnik zur Verfügung. Für die Pappelernte in kürzeren Nutzungsintervallen ist für große Flächen der Einsatz so genannter Gehölzmähhäcksler – Maschinen, die gleichzeitig fällen und hacken – das kostengünstigste und leistungsfähigste Ernteverfahren (Schneider/Kaltschmitt 2002, Vetter 2006). Demzufolge wird in den Berechnungen für größere Flächen (5 ha) der Gehölzmähhäcksler eingesetzt. Bei der Ernte werden die Hackschnitzel vom Feldhäcksler auf einen angehängten Kipper geblasen, im Umhängeverfahren zum Zwischenlager am Feldrand transportiert und dort mit dem Frontlader in Haufenform abgelagert. Nach der Lagerung (ohne Abdeckung) werden die Hackschnitzel mit dem Frontlader aufgeladen und je nach Transportentfernung mit einem Schlepper und zwei Anhängern oder mit Container-Lkws zur Feuerungsanlage transportiert.

Auf kleineren Feldern (1 ha) wird von einer motormanuellen Ernte in zwei Teilschritten ausgegangen. Zuerst werden die Bäume gefällt. Dabei führt ein Arbeiter die Motorsäge, während ein zweiter Arbeiter die Bäume mit einer Schubstange gerichtet zu Fall bringt. Die Arbeiter wechseln sich bei ihrer Tätigkeit in einem selbst gewählten Rhythmus ab. Danach werden die gefällten Bäume mit Schlepper und Rückeanhänger an einen zentralen Lagerplatz gerückt und über den Sommer zwischengelagert. Nach Abtrocknung (bevorzugt August bis September) werden die Stämme mit einem Anbauhacker gehackt, die Hackschnitzel direkt auf einen Hänger geblasen und ins Endlager (Rundholzhalle ohne Fußbodenbefestigung oder Altgebäude) transportiert. Durch den Einsatz eines konventionellen Hackers sind die erzeugten Hackschnitzel auch für Kleinf Feuerungen geeignet.

Nach der ersten Ernte treibt der Pappelbestand wieder neu aus. Da jede Pappel mehrere neue Triebe produziert, könnte die Vielzahl an Trieben im Vergleich zur ersten Umtriebsperiode zu höheren Aufwendungen bei den weiteren Ernten führen. Hierzu liegen jedoch keine belastbaren Informationen vor. Nach Burger (2006b) wird sich meist ein Trieb durchsetzen, so dass die Unterschiede zwischen der ersten und den folgenden Ernten nicht gravierend sein dürften. In den Berechnungen wird deshalb von gleich bleibenden ertragsabhängigen Erntekosten ausgegangen.

Das optimale Ernteintervall ist im Wesentlichen abhängig vom Ertragszuwachs pro Jahr und von der Erntetechnik. Bei Pappeln liegt die optimale Umtriebszeit aus ertragsphysiologischer Sicht bei etwa acht Jahren, danach sinken die jährlichen Ertragszuwächse (Burger 2006b). Aus erntetechnischer Sicht dürfen die Bäume für den Einsatz vollmechanisierter Häcksler allerdings nicht zu dick und hoch sein. Die als Prototyp oder in Kleinserie verfügbaren Feldhäcksler können meist nur bis zu 70 mm dicke Stämme verarbeiten. Der mit einer vertikalen Hackschnecke ausgerüstete Gehölzmähhäcksler eignet sich dagegen für Pappeln bis zu einem Schnittdurchmesser von circa 120 mm, erzielt jedoch aufgrund seines einreihigen Betriebs geringere Flächenleistungen (Burger/Scholz 2004). Weitere Nachteile dieses Häckslers sind, dass dabei nur grobe Hackschnitzel erzeugt werden, die nicht in mit Schnecken beschickten Feuerungen und damit nicht in Kleinf Feuerungen verwendet werden können (Burger 2004).

In den Kalkulationen werden, je nach Ernteverfahren, unterschiedliche Umtriebszeiten angesetzt. Bei voll mechanisierter Ernte wird ein fünfjähriger Umtrieb unterstellt. Da bei manuellen Ernteverfahren die erforderliche Arbeitszeit für das Fällen und Rücken hauptsächlich von der Stückzahl abhängt, wird hier von einer längeren Umtriebszeit (10 Jahre) ausgegangen. Ein wesentlicher Nachteil des zehnjährigen Umtriebs ist der lange Zeitraum bis zur ersten Ernte und damit zum ersten Einkommen. In der Praxis könnte diese Problematik entschärft werden, indem man auf Teilstücken bereits früher mit der Ernte beginnt und jedes Jahr andere Teilstücke erntet.

## Erträge

Wenn beim Pappelanbau im Kurzumtrieb von Erträgen gesprochen wird, so ist damit stets der durchschnittliche jährliche Zuwachs auf Grundlage der Gesamtkulturdauer gemeint. Da in der Anfangsphase die jährlichen Zuwächse deutlich niedriger ausfallen, können die angegebenen Durchschnittserträge nur bei entsprechend langer Standzeit der Plantage erreicht werden. Die Ertragsangaben für Pappel-Kurzumtriebsplantagen liegen je nach Quelle und den zugrunde liegenden Standort-, Klima-, Anbau- und Versuchsbedingungen zwischen rund 2 und 35 t TM pro Hektar und Jahr (Kauter et al. 2001). Die Ertragsleistungen am oberen Ende der Spanne dürften in der Praxis nur schwer zu erreichen sein, weil diese aus Hochrechnungen der Erträge von kleineren Parzellen stammen. In Tab. 19 sind durchschnittliche Erträge von Pappel-Kurzumtriebplantagen dargestellt.

Belastbare Aussagen über den durchschnittlichen jährlichen Zuwachs lassen sich erst treffen, wenn die Wiederaustriebe etablierter Pappel-Kurzumtriebsstöcke in die Ertragsbestimmungen eingehen. Allgemein akzeptierte Erträge für Schnellwuchsplantagen geben Kauter et al. (2001) mit 10 bis 12 t TM pro Hektar und Jahr an. In den Berechnungen wird in Anlehnung an Tab. 19 für intensiv genutzte Grünlandflächen ein jährlicher Nettoertrag von 10 t TM/ha und für extensiv genutzte, ungünstige (teilweise hängige) Standorte ein Nettoertrag von 6 t TM/ha und Jahr angenommen.

Tab. 19: Erträge von Pappel-Kurzumtriebsplantagen

| Quelle                  | Ertrag in t TM/ha und Jahr |
|-------------------------|----------------------------|
| Maier/Vetter (2004)     | 15 (mit Beregnung)         |
| Röhrich/Ruscher (2004a) | 12                         |
| LWF (2005)              | 10 bis 12                  |
| Scholz et al. (2004)    | 9 bis 11                   |
| Vetter et al. (2000)    | 8 bis 17,5                 |
| Textor (2003)           | 5,32                       |
| Werner et al. (2004)    | 4 bis 15                   |

## Rekultivierung

Am Ende der unterstellten Nutzungsdauer von 20 Jahren ist eine Rekultivierung der Pappel-Kurzumtriebsplantage für eine landwirtschaftliche Nutzung vorgesehen. Für die Rekultivierung wird hier zunächst der Einsatz eines starken Traktors mit Bodenfräse zum Zer-

schneiden und Zerreißen der Wurzelstöcke unterstellt. In einem zweiten Arbeitsgang dient ein Mulchgerät zur vollflächigen Bearbeitung des aufgerissenen Bodens. Aufgrund der geringen Anzahl an Datenquellen sind die Rekultivierungskosten mit Unsicherheiten behaftet. Die in den Literaturangaben genannten Rekultivierungskosten für eine vollständige Räumung der Fläche reichen von rund 307 (Röhrich/Ruscher 2004b) bzw. 510 Euro/ha (Hartmann 2002) bis zu 5.100 Euro/ha (Küppers 1999). In den Berechnungen werden Rekultivierungskosten von 1.600 Euro/ha (Burger 2006b) angesetzt.

### **Lagerung**

Eine Lagerung der Hackschnitzel ist erforderlich, da die Ernte bevorzugt im Spätwinter (Februar) stattfindet, die Hackschnitzel aber in der Heizsaison (September bis April) benötigt werden. Bei günstiger Anbindung an ein Heizwerk kann ein Teil der Hackschnitzel (allerdings mit Wassergehalten von circa 55 %) auch direkt geliefert und verwendet werden. Feine und mittelgroße Hackschnitzel erwärmen sich bei der Lagerung in Haufen relativ stark mit der Folge, dass es zu signifikanten TM-Verlusten kommt. Bei der Lagerung von groben Hackschnitzeln ist die Durchlüftung besser und der TM-Abbau geringer.

Bei der motormanuellen Ernte werden die Pappeln im Freien zwischengelagert. Nach einer Sommertrocknung werden sie im Herbst gehackt – je nach Bedarf zu feinen oder mittelgroßen Hackschnitzeln – und unter Dach eingelagert, so dass keine Wiederbefeuchtung stattfindet. Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass der Wassergehalt der Hackschnitzel bei 25 % liegt und die Trocknungsverluste gering ausfallen. In Anlehnung an Scholz et al. (2005a) werden TM-Verluste von 1 % pro Monat während der Lagerung der Ganzbäume (6 Monate) und von 0,5 % während der Hackschnitzellagerung in der Halle (meist drei Monate) unterstellt. Trocknungsverluste (7,5 %) und Erniedrigung des Wassergehalts (von 55 auf 25 %) führen zu einem Energiegewinn von 5,5 % gegenüber der Frischmasse. Der Ertrag verringert sich dabei von 10 auf 9,3 t TM/ha und Jahr. Aufgrund ihres niedrigen Wassergehalts und ihrer Stückigkeit können die Hackschnitzel in Kleinf Feuerungen eingesetzt werden.

Bei der mechanischen Ernte mit dem Gehölzmähhäcksler werden grobe Hackschnitzel erzeugt. Scholz et al. (2005b) bezeichnen sie als Hackstücke, da sie zum Teil bereits außerhalb der Hackschnitzel-Brennstoffnormen, wie beispielsweise der deutschen DIN CEN/TS 14961 oder der österreichischen ÖNORM M 7133, liegen. Trotz Lagerung der Hackstücke im Freien (ohne Abdeckung) sind die Trocknungsverluste durch gute Luftzirkulation und geringe Erwärmung gering (1,7 % pro Monat, neun Monate Lagerzeit) und eine Abtrocknung der Hackschnitzel auf circa 30 % Wassergehalt (bzw. auf 25 % in niederschlagsarmen Gebieten) ist gewährleistet. In niederschlagsreichen Gebieten ist mit einer Vliesabdeckung ebenfalls eine Abtrocknung auf circa 25 % Wassergehalt möglich (Burger/Weissenböck 2006, BWL 2006). In den Berechnungen wird eine Abtrocknung der Hackschnitzel auf 30 % unterstellt. Die Energieverluste über die Lagerzeit betragen 4,7 %. Der TM-Ertrag verringert sich dadurch von 10 auf 8,5 t TM/ha und Jahr.

### **Transport**

Für die mit dem Gehölzmähhäcksler erzeugten Hackschnitzel wird ein Transport zu einem größeren Heizwerk in 20 km Entfernung angenommen. Da bei diesen Entfernungen ein

Umschlag der Biomasse nicht erforderlich und der Schlepper nur wenig langsamer als ein Lkw ist, der Lkw-Transport aber relativ preiswert ist, wird in den Berechnungen ein Transport mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen unterstellt. Die motormanuell geernteten Pappel-Hackschnitzel werden ebenfalls mit Schlepper und Anhänger befördert, da angenommen wird, dass sie in einer hofeigenen Feuerung verbrannt werden. Die Zwischenlagerung erfolgt in einer Halle. Von dort werden die Hackschnitzel mit dem Schlepper (Frontlader) in ein Silo transportiert, aus dem die Feuerungsanlage beschickt wird.

### 3.3.2 Wirtschaftlichkeit

Die Rentabilität der Umwandlung überschüssiger Grünlandflächen in Pappel-Kurzumtriebsplantagen ist von den ökonomischen Rahmenbedingungen abhängig. Diese sind heute viel günstiger zu bewerten als in den 1980er und den frühen 1990er Jahren, wo die gesamtwirtschaftlichen und politischen Voraussetzungen die damaligen Versuche, den Anbau von Kurzumtriebspappeln in Deutschland zu etablieren, scheitern ließen. Sowohl die hohen Marktpreise für fossile Energieträger als auch politische Instrumente auf nationaler (z. B. EEG) und europäischer Ebene (z. B. Biokraftstoffrichtlinie (2003) oder Biomasseaktionsplan (2005)) fördern indirekt die Etablierung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen.

Tab. 20: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen

| Schlaggröße                                                |                  | 1 ha                                                               | 5 ha                       |
|------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Pappelstecklinge                                           | Anzahl           | 3.000                                                              | 5.000                      |
|                                                            | Euro/Stück       | 0,18                                                               |                            |
| Pflanzgutkosten                                            | Euro/ha          | 540                                                                | 900                        |
| Unkrautbekämpfung (Grünland abtöten, Voraufbau, Striegeln) | Euro/ha          | 165/(215)*                                                         |                            |
| Rekultivierungskosten                                      | Euro/ha          | 1.600/(2.400)*                                                     |                            |
| Nutzungsdauer                                              | Jahre            | 20                                                                 |                            |
| Umtriebszeit                                               | Jahre            | 10                                                                 | 5                          |
| Nettoertrag (günstiger Standort)                           | t TM/ha und Jahr | 10                                                                 |                            |
| Nettoertrag (ungünstiger Standort)                         | t TM/ha und Jahr | 6                                                                  |                            |
| PK-Düngung (günstiger Standort)                            | kg/ha und Jahr   | 10/35                                                              |                            |
| PK-Düngung (ungünstiger Standort)                          | kg/ha und Jahr   | 6/21                                                               |                            |
| Ernteverfahren                                             |                  | Motormanuelles Fäll-<br>len, Rücken zum Zwi-<br>schenlager, Hacken | Gehölz-<br>mähhäcksler     |
| Lagerung                                                   |                  | Ganzbäume im Freien,<br>Hackschnitzel in Halle                     | Hackschnitzel im<br>Freien |
| Lagerungsverluste                                          | % TM             | 7,5                                                                | 15,3                       |
| Wassergehalt bei Anlieferung                               | %                | 25                                                                 | 30                         |
| Endtransport                                               | km               | 0,1                                                                | 20                         |

\* Zahlen in Klammern geben die Kosten auf hängigen Flächen (25-30 %) wider.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf Daten von Anbauversuchen oder kleinen Pappelanbauflächen. Da diese Ergebnisse nicht direkt auf die Praxis übertragen werden können, sind sie mit Unsicherheiten behaftet und nicht mit den abgesicherten Daten für

Grünland oder Mais vergleichbar. Die Kalkulationen können deshalb nur Anhaltspunkte über die Pappel-Produktionskosten und die Wirtschaftlichkeit der Wärmeproduktion aus Pappel-Hackschnitzeln von ehemaligen Grünlandflächen geben. Basis für die Berechnungen sind die in Tab. 20 dargestellten Annahmen.

### **Bereitstellungskosten für Pappel-Hackschnitzel**

Die Erntekosten für die in Tab. 20 dargestellten Verfahren werden von Burger/Sommer (2005) übernommen und basieren auf Messungen bei der Ernte von Versuchsfeldern mit einigen Hektar Größe. Die Kosten für Maschinen und Arbeitsstunden werden auf Grundlage von Maschinenringangaben bzw. Lohnunternehmen berechnet. Burger/Sommer (2005) nennen für die Ernte mit dem Gehölmähhäcksler Kosten von rund 28 Euro/t TM. Ausgehend von den in den Berechnungen verwendeten Ertrags- und Lohnannahmen lassen sich daraus Erntekosten von 31 Euro/t TM bzw. 14 Euro/t FM ableiten.

Für die motormanuelle Ernte geben Burger/Sommer (2005) Kosten von rund 37 Euro/t TM an. Davon werden 10 % durch das Fällen, 40 % durch das Rücken und 50 % durch das Hacken der Pappelbäume verursacht. Werden die hier angesetzten Erträge und Löhne verwendet, erhöhen sich die Erntekosten auf circa 42 Euro/t TM bzw. 19 Euro/t FM. Damit ist die motormanuelle Ernte um 11 Euro/t TM teurer als die vollmechanische Pappelernte. Bei einem Ertrag von nur 6 t TM/ha erhöhen sich die Erntekosten auf 55 Euro/t TM bzw. 25 Euro/t FM. Liegt die Pappel-Kurzumtriebsplantage am Hang, erhöhen sich die Erntekosten auf 78 Euro/t TM bzw. 35 Euro/t FM.

Um einen Vergleich mit den anderen Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland zu ermöglichen, werden betriebsindividuelle Kosten und Leistungen, wie z. B. Pacht- und Gemeinkosten sowie Prämienansprüche, in die Berechnungen einbezogen. Die jährlichen Pachtkosten werden – wie bei der Grünlandnutzung zur Erzeugung von Grassilage – mit 105 Euro/ha und Jahr für dreischnittige Wiesen angenommen. Des Weiteren werden anteilige Gemeinkosten von 100 Euro/ha und Jahr unterstellt. Bei Flächen mit niedrigem Ertragspotenzial werden Pachtkosten von 70 Euro/ha und Jahr sowie bei Hanglage (25 bis 35 %) Pachtpreise von 50 Euro/ha und Jahr angenommen. Als jährliche Flächenprämien werden die Grünlandprämie (72 Euro/ha), die Energiepflanzenprämie (45 Euro/ha) und die Hälfte der Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten (25 Euro/ha) berücksichtigt. Für die Energiepflanzenprämie auf nicht stillgelegten Flächen sind repräsentative Erträge einzuhalten. Für Kurzumtriebsplantagen liegen dazu keine Werte vor. Außerdem ist unklar, wie die Prämien bei mehrjähriger Ernte ausgezahlt werden. Trotzdem wird von einem jährlichen Bezug der Prämie ausgegangen. Als Ausgleichszulage wird bei Ackernutzung höchstens die Hälfte der Grünlandprämie gewährt. Deshalb wird bei der Pappel-Kurzumtriebsplantage mit halber Ausgleichszulage gerechnet.

Betrachtet man die Bereitstellungskosten für die Pappel-Hackschnitzel frei Feuerungsanlage (Tab. 21), so verringert sich im Vergleich zu den Erntekosten der prozentuale Kostenunterschied zwischen vollmechanischer und motormanueller Ernte auf weniger als 5 %. Dies hängt mit der besseren Abtrocknung und dem Verzicht auf einen Transport der Hackschnitzel zur Feuerungsanlage beim motormanuellen Verfahren zusammen. Die Kosten für Pappel-Hackschnitzel von ertragsschwachen hängigen Flächen verteuern sich dagegen um

41 % im Vergleich zur vollmechanischen Ernte. Der Ertrag beeinflusst die spezifischen Bereitstellungskosten. Andere Kostenpunkte wie Lagerung und Transport sind aber nicht ertrags-, sondern mengenabhängig. Die Erntekosten sind einerseits mengen- und andererseits flächenabhängig. Insgesamt verteuern sich die Bereitstellungskosten bei niedrigem Ertrag um 19 % bei vollmechanischer Ernte und um 35 % bei motormanueller Ernte bzw. 65 % bei Hanglage (Tab. 21).

Tab. 21: Bereitstellungskosten für Hackschnitzel aus Pappel-Kurzumtriebsplantagen

|                                            |              | Schlaggröße  | 1 ha         |      |      | 5 ha              |      |
|--------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------|------|-------------------|------|
|                                            |              |              | Kein Hang    |      | Hang | Kein Hang         |      |
|                                            |              | Erntetechnik | motormanuell |      |      | Gehölmähähäcksler |      |
| Wassergehalt                               |              |              | 25 %         |      |      | 30 %              |      |
| Ertrag                                     |              | t TM/ha      | 10           | 6    |      | 10                | 6    |
| Bereitstellungskosten frei Feuerungsanlage | ohne Prämien | Euro/t FM    | 82           | 108  | 130  | 74                | 94   |
|                                            |              | Euro/MWh     | 22,3         | 29,3 | 35,1 | 21,8              | 27,7 |
|                                            | mit Prämien  | Euro/t FM    | 71           | 95   | 116  | 62                | 74   |
|                                            |              | Euro/MWh     | 19,2         | 25,8 | 31,6 | 18,4              | 21,9 |

Abb. 30 zeigt die Kosten bei Fortschreibung der Inflationsentwicklung seit 1991 und Anstieg der Grünlandprämie auf das Niveau der Ackerprämie im Jahr 2013 unter Beibehaltung der halben Ausgleichszulage und der Energiepflanzenprämie. Der Anstieg der Flächenprämie hat ab 2010 einen stärkeren Einfluss als die unterstellte Inflationsrate.

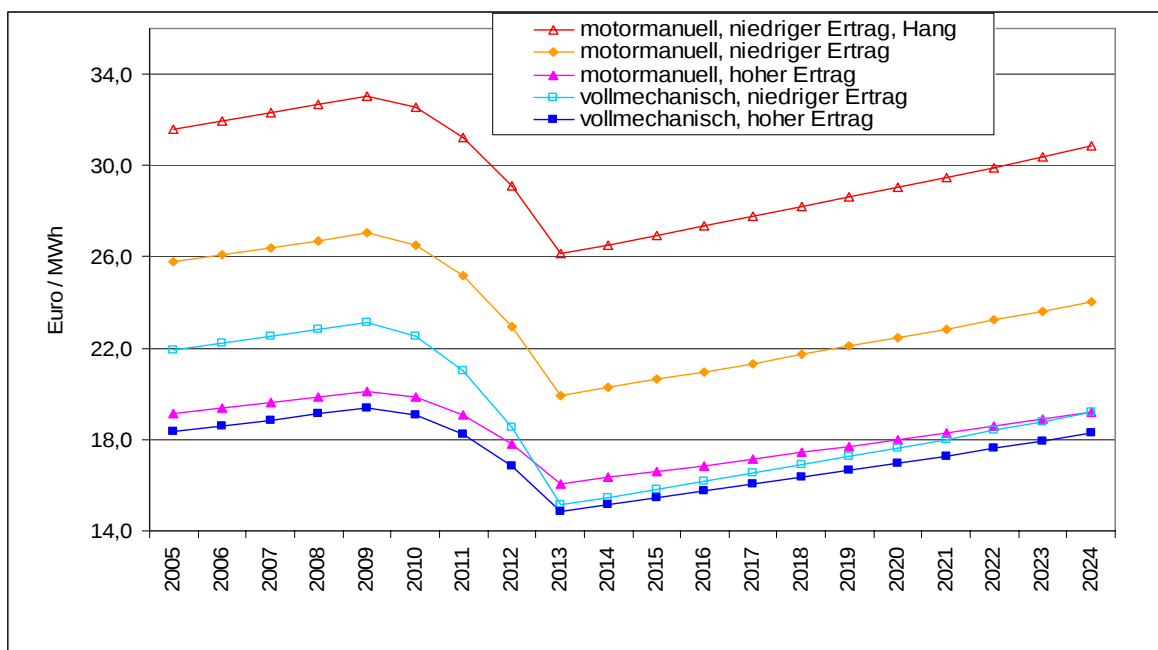


Abb. 30: Entwicklung der Bereitstellungskosten für Pappel-Hackschnitzel

Die Bereitstellungskosten für Pappel-Hackschnitzel sinken deshalb von 2009 bis zur Erreichung der maximalen Grünlandprämie von rund 300 Euro/ha im Jahr 2013 auf bis zu 14,8 Euro/MWh. Danach steigen die Kosten aufgrund der Inflationsrate wieder und erreichen im Jahr 2024 wieder fast das Niveau von 2005.

### **Erlöse aus dem Hackschnitzelverkauf**

Bei der großflächigen Erzeugung von groben Hackschnitzeln mit dem Gehölmähhäcksler wird ein Hackschnitzelverkauf an ein Heizwerk unterstellt. Als Grundlage für die erzielbaren Preise dient die Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln (CARMEN<sup>15</sup> 2006). In 2006 wurden Preise von im Durchschnitt rund 60 Euro/t FM (netto) – die Spanne reicht von 32 bis 117 Euro/t FM – bei 35 % Wassergehalt erzielt. Dies entspricht 19,4 Euro/MWh bzw. einem Heizölpreis von 19,6 Cent je Liter. Die kalkulierten Kosten für Pappel-Hackschnitzel liegen bei 62 Euro/t FM bei einem Wassergehalt von 30 %. Dies entspricht 18,4 Euro/MWh bzw. einem Heizölpreis von 18,3 Cent je Liter.

Den mittleren, von CARMEN erhobenen Preis für 2006 vorausgesetzt, kann durch den Verkauf von Pappel-Hackschnitzeln (5 ha-Schlag) ein Gewinn von rund 50 Euro/ha bzw. eine Entlohnung von 25 Euro/Akh erzielt werden. Dies ist eine vergleichsweise hohe Entlohnung. Aufgrund des geringen Arbeitsbedarfs von 4,7 Akh pro Hektar und Jahr ist der flächenspezifische Einkommenseffekt dieses Verfahrens im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren gering. Werden statt des aktuellen Hackschnitzelpreises die Durchschnittswerte von CARMEN von 2003 bis 2006 herangezogen – dies sind 47,8 Euro/t FM bzw. 15,4 Cent pro Liter Heizöl –, so können die Bereitstellungskosten durch die Hackschnitzelpreise nicht gedeckt werden. Das gleiche gilt, wenn die Pappeln auf ungünstigen Standorten angebaut und nur niedrige Erträge erzielt werden.

In Abb. 31 ist die Entwicklung der Waldhackschnitzelpreise der letzten Jahre den berechneten und für die Zukunft abgeschätzten Kosten für Pappel-Hackschnitzel gegenübergestellt. Es ist erkennbar, dass zum einen die Kosten der Pappel-Hackschnitzel erst im Jahr 2006 durch mittlere Preise für Waldhackschnitzel gedeckt werden, dass sie aber zum andern nicht außerhalb der Spannbreite der Preise der letzten Jahre liegen. Da die Kosten für Pappel-Hackschnitzel durch die Erhöhung der Flächenprämie zukünftig sinken, kann zukünftig von kostendeckenden bzw. gewinnbringenden Preisen ausgegangen werden. Da sich die Anhebung der Flächenprämie bei niedrigem Ertrag viel stärker auf die Kosten pro Tonne auswirkt, gilt dies langfristig auch bei geringeren Erträgen.

Auch in Zukunft ist davon auszugehen, dass Holz ein begehrter Brennstoff bleiben und die Nachfrage nach Holz weiter zunehmen wird. Derzeit produzieren in Deutschland 28 Pelletierwerke rund 300.000 Tonnen Holzpellets. Für die nächsten drei Jahre sind weitere 14 Produktionsstätten geplant. Kapazitätserweiterungen bestehender Pelletierwerke einbezogen, wird das Angebot an Holzpellets in den kommenden Jahren auf über eine Million Tonnen pro Jahr steigen. Bei erfolgreicher Demonstration der Techniken zur Konversion von Holz in Kraftstoffe (Ethanol und BtL-Kraftstoffe aus Lignocellulose) ist langfristig von einer deutlichen Steigerung des Holzbedarfs für energetische Zwecke auszugehen. Vor

<sup>15</sup> Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk

diesem Hintergrund und einer auch international wachsenden Nachfrage könnten die Preise für Holzhackschnitzel langfristig deutlich ansteigen und die Erzeugung von Pappel-Hackschnitzeln für den Verkauf ökonomisch interessant werden.

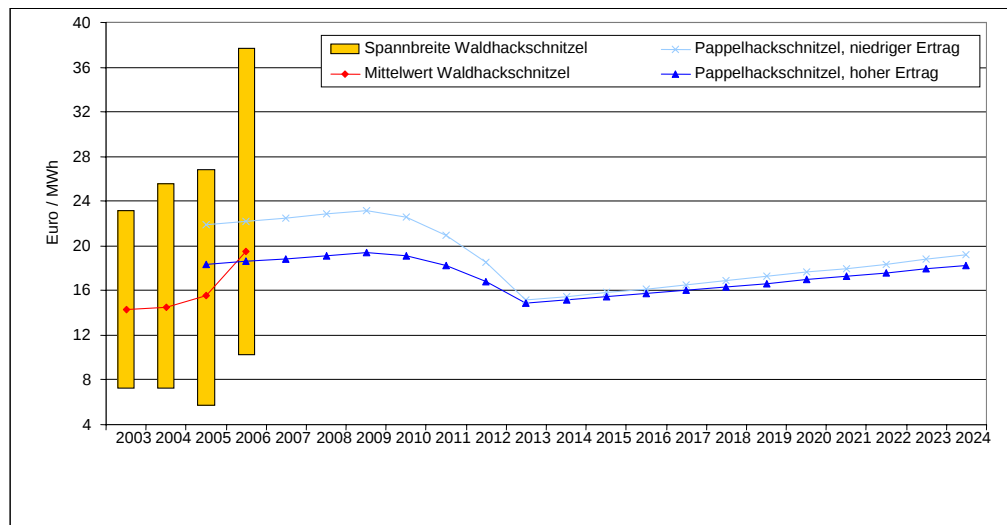


Abb. 31: Entwicklung der Waldhackschnitzelpreise von 2003 bis 2006 (CARMEN 2006) und abgeschätzte Entwicklung der Pappel-Hackschnitzelkosten von 2005 bis 2024

### Erlöse aus der Hackschnitzelverfeuerung

Für die mit motormanuellen Verfahren geernteten Pappeln wird eine Verbrennung in einer handelsüblichen Hackschnitzelfeuerungsanlage zur Wärmeversorgung eines landwirtschaftlichen Betriebs angenommen. Um die Vergleichbarkeit mit der Heuverbrennung zu ermöglichen, wird ein Kessel mit 40 kW Nennleistung eingesetzt und eine Versorgungsaufgabe mit 2.000 Volllaststunden unterstellt. Dafür werden 27,8 t FM Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 25 % pro Jahr benötigt. Je nach Ertragsfähigkeit des Standorts entspricht dies einer Pappel-Anbaufläche von 2,3 bzw. 3,8 ha. Die Wärmegegostehungskosten ab Feuerungsanlage liegen zwischen 6,9 und 8,5 Cent/kWh. Wie Abb. 32 zeigt, sind diese deutlich günstiger als der Einsatz von Heizöl bei einem Preis von 60 Cent/l Heizöl.

Die jährlichen Gesamtkosten der Wärmeerzeugung liegen zwischen 270 Euro (6 t TM/ha und Jahr, Hang) und 1.544 Euro (10 t TM/ha und Jahr) günstiger als bei der Ölheizung. Bezogen auf die Fläche ergibt dies bei Vollkostenrechnung einen Gewinn von 72 bis 685 Euro/ha und Jahr. Bei Berechnung ohne Lohnansatz ergibt sich eine Entlohnung von 20 bis 52 Euro/Akh. Dieser Berechnung liegt ein Arbeitsbedarf für die motormanuelle Brennstoffbereitstellung von 18,5 bis 28,2 Akh pro Jahr (6,9 bis 8,2 Akh/ha) sowie von 23,4 Akh pro Jahr (6,2 bis 10,4 Akh/ha) für die Feuerungsanlage zugrunde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die energetische Nutzung der Pappel-Hackschnitzel in betriebs-eigenen Feuerungsanlagen zur Substitution von Heizöl bei der Wärmeerzeugung trotz höherer Hackschnitzelkosten wirtschaftlicher ist als der Hackschnitzelverkauf. Auch die sich daraus ergebende Entlohnung der Arbeit und die Beschäftigungswirksamkeit sind deutlich höher. Im Wesentlichen resultiert dies aus der Wertschöpfung in der Feuerungsanlage, die beim Landwirt verbleibt. Allerdings ist das erzielbare Einkommen bei dieser Variante begrenzt, da

zur Deckung des betrieblichen Wärmebedarfs in diesem Fall nur rund zwei bis vier Hektar für den Pappelanbau benötigt werden. Theoretisch wäre es jedoch denkbar, dass weitere Flächen angepflanzt werden und nicht die Pappel-Hackschnitzel, sondern die daraus in Einzelfeuerungsanlagen direkt beim Kunden erzeugte Wärme verkauft wird. Dies setzt jedoch eine räumliche Nähe des Wärmeabnehmers voraus.

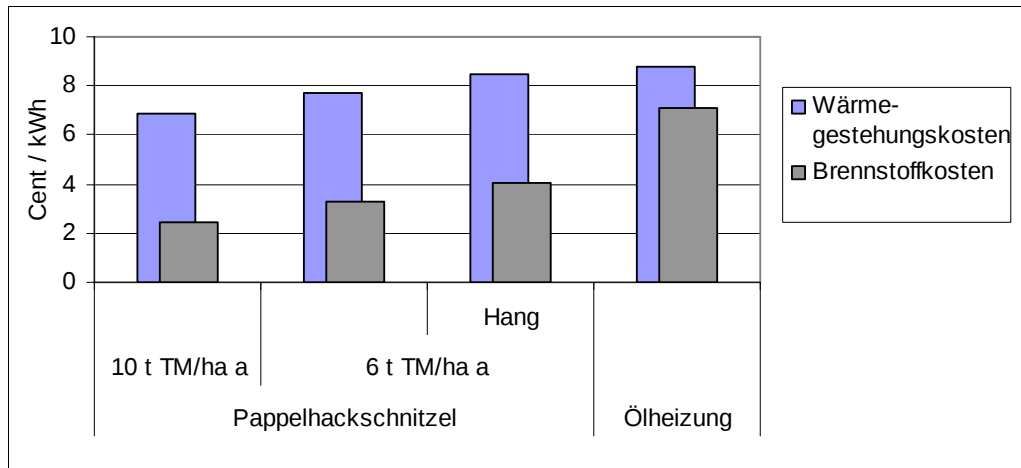


Abb. 32: Wärmegestehungskosten aus Pappel-Hackschnitzeln im Vergleich zu Heizöl

### 3.4 Weitere Nutzungspfade

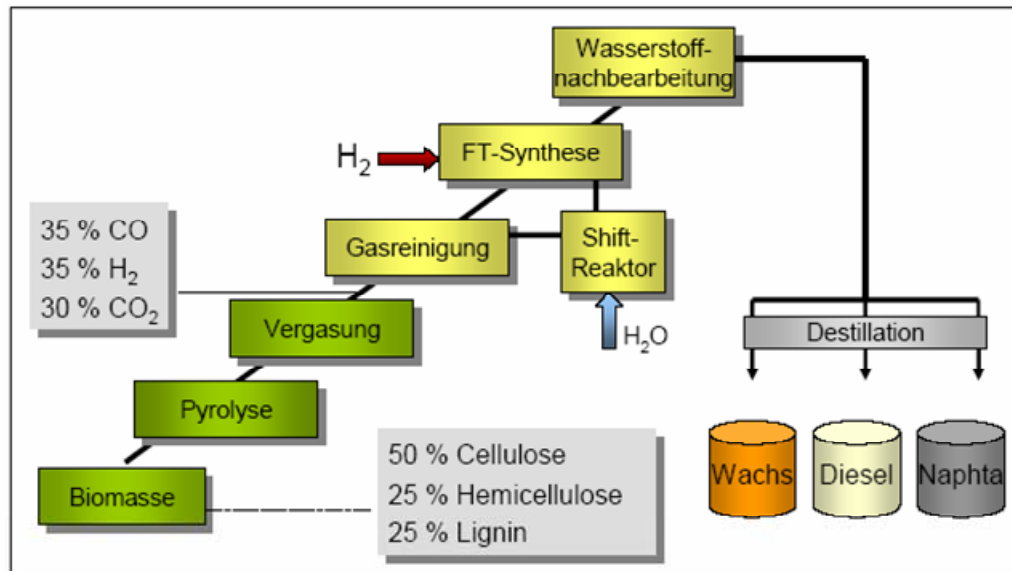
In diesem Kapitel soll kurz auf zwei weitere Möglichkeiten einer energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs eingegangen werden: zum einen die BtL-Verfahren<sup>16</sup> und zum anderen die Bioraffinerie zur Erzeugung von industriellen und chemisch-pharmazeutischen Grundstoffen sowie Energie.

#### 3.4.1 BtL-Anlagen

Grünlandaufwuchs könnte zukünftig ein Rohstoff für die thermo-chemische Vergasung darstellen. Aus den dabei produzierten Synthesegasen lassen sich Strom und Wärme oder nach einer Gasreinigung und -aufbereitung mittels Fischer-Tropsch-Verfahren synthetische Kraftstoffe erzeugen (Abb. 33). In Deutschland gibt es erste Versuchs-, Pilot- und Demonstrationsanlagen, in denen die Synthese von Kraftstoffen aus verschiedenen Biomassen – auch aus Stroh und Heu – getestet werden. Der Betrieb mit sauberem und trockenem Restholz ist bereits demonstriert. Allerdings wird bislang noch keine holzbesockte BtL-Anlage im großtechnischen Maßstab betrieben. Ein aktueller Überblick über die verschiedenen BtL-Verfahren und das insbesondere für halmgutartige Biomassen einsetzbare Karlsruher bioliq®-Verfahren finden sich bei Bohlmann (2005) und Dahmen et al. (2005). Beim Karlsruher Verfahren wird das logistische Problem der Bereitstellung großer Biomasse-mengen bei der BtL-Anlage mit einem Jahresbedarf von rund einer Million Tonnen Biomasse pro Jahr über eine dezentrale Schnellpyrolyse entschärft. Mittels Pyrolyse soll aus der Biomasse ein energiereiches und transportfähiges Öl/Koks-Gemisch (Slurry) erzeugt werden, welches in großen Zentralanlagen vergast und weiter verarbeitet werden

<sup>16</sup> Biomass-to-Liquid

kann. Neben diesem logistischen Vorteil wird durch die Herstellung eines Slurrys auch die Brennstoffzufuhr in den Vergaser erleichtert mit der Folge, dass für die Vergasung ein großtechnisch bewährter Flugstromvergaser verwendet werden kann. Allerdings ist die Schnellpyrolyse von Stroh und Heu noch nicht großtechnisch nachgewiesen. Im Forschungszentrum Karlsruhe ist eine Versuchsanlage zur Schnellpyrolyse in Betrieb genommen worden, wo auch die Pyrolyse halmgutartiger Biomasse untersucht werden soll.



Quelle: Dahmen et al. 2005

Abb. 33: Schematische Darstellung des Biomass-to-Liquid-Prozesses

Zum derzeitigen Zeitpunkt gibt es noch keine belastbaren Erfahrungen hinsichtlich der Kosten einer BtL-Anlage. Für eine Anlage mit einem Durchsatz von einer Million Jahrestonnen an Biomasse werden die Investition je nach Standort, Struktur, Technik und Produktionslinien auf 500 bis 600 Millionen Euro geschätzt. Als Produktionskosten werden zwischen 0,8 und 1,0 Euro pro Liter ab Werk genannt (Bohlmann 2005). Das bedeutet, dass die Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen aus den gegenwärtig preiswertesten Biomassen nur wirtschaftlich wird, wenn der Rohölpreis über 65 \$ pro Barrel steigt und keine Mineralölsteuer auf Biokraftstoffe erhoben wird (Leible et al. 2007).

Im Vergleich zur Nutzung von Grassilage oder Heu zur Strom- und Wärmeerzeugung ist die Synthesegaserzeugung aus Gras deutlich komplexer und aufwändiger. Problematisch für eine großtechnische Nutzung von Heu als BtL-Rohstoff ist der hohe Aschegehalt, der bei thermochemischen Prozessen zu Korrosion, Verklebung und Verstopfung in den technischen Apparaten führen kann. Außerdem ist Heu im Vergleich zu Stroh oder Waldrestholz ein teurer Rohstoff für BtL-Anlagen. Nach Leible et al. (2007) könnte für eine BtL-Anlage mit einem Einzugsradius von 50 bis 60 km die erforderliche Menge an Biomasse zu Preisen von 60 Euro/t TM bei Waldrestholz und 90 Euro/t TM bei Getreidestroh bereitgestellt werden. Die Biomassebereitstellung trägt – je nach Anlagengröße und Biomasse-träger – 50 bis 65 % zu den Kosten des BtL-Kraftstoffs bei. Das bedeutet, dass zur Reduzierung der Gesamtkosten von BtL-Kraftstoffen der Einsatz preiswerter Biomassen entscheidend ist. Angesichts der vergleichsweise hohen Heubereitstellungskosten und der geringen Flächenerträge dürfte die Anpflanzung von schnellwachsenden Pappeln auf um-

gewandeltem Grünland die wirtschaftlich interessantere Alternative zur Bereitstellung eines Rohstoffs für BtL-Anlagen darstellen.

### 3.4.2 Bioraffinerie

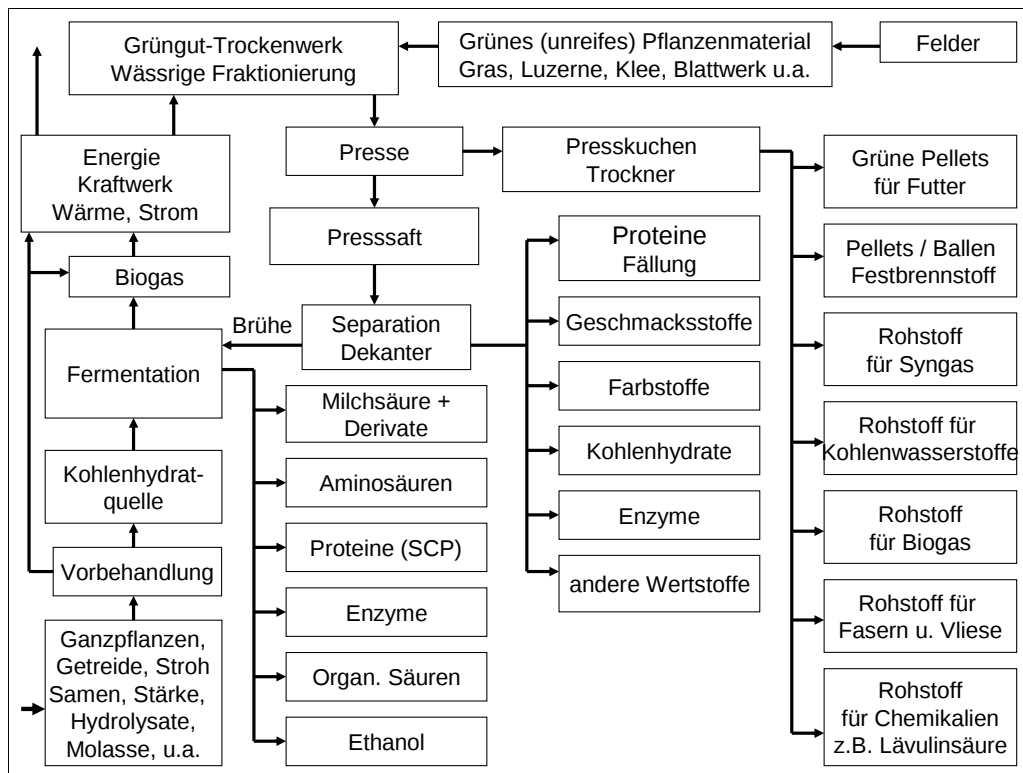
Unter dem Begriff „Bioraffinerie“ versteht man im Allgemeinen ein integratives Gesamtkonzept für die biochemische und thermochemische Konversion von nachwachsenden Rohstoffen zu Chemikalien, Werkstoffen sowie Brenn- und Kraftstoffen unter möglichst vollständiger Ausnutzung der Biomasse. In der Bioraffinerie wird Biomasse zum einen durch chemische oder biochemische Umwandlung (z. B. Fermentation, Biokatalyse) mit angeschlossener Aufbereitung zu Grund- und Feinchemikalien, Pharmaka oder Biopolymeren verarbeitet. Zum anderen wird durch thermo-chemische Konversion ein Synthesegas erzeugt, welches zu Kraftstoffen (Fischer-Tropsch-Benzin/-Diesel, Methanol, Ethanol etc.) veredelt werden kann. Zudem verfügt die Bioraffinerie über eine integrierte Energieerzeugung, die ihren Brennstoff aus Rückständen und Brenngasen des Prozesses bezieht.

Auf Basis von Zellulose, Stärke und Pflanzenölen werden derzeit – aus Gründen der Wirtschaftlichkeit – nur ausgewählte chemische Grundstoffe produziert. Beispiele sind Zitronensäure, Milchsäure, Lävulinsäure, Sorbit, Glycerin, Zellulosederivate und Oleochemikalien. Entgegen der bisherigen industriellen Praxis einer eher punktuellen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen eignen sich diese prinzipiell auch für die Herstellung von chemischen Grundstoffen, die über einen „Stammbaum“ in eine Vielzahl chemisch Verbindungen umwandelbar sind. Weltweit gibt es derzeit Bemühungen, im industriellen Maßstab machbare biobasierte sowie „stammbaumbfähige Building Blocks“, die sich baukastenartig kombinieren lassen, ausfindig zu machen.

Vorstufen von Bioraffinerie-Konzepten (d. h. Fraktionierung und Verarbeitung von Biomasse gemäß ihrer Inhaltsstoffe) gibt es in verschiedenen Bereichen, beispielsweise in Zellstoffwerken, Stärke- und Zuckerfabriken oder Ölmöhlen. Die Entwicklung von Bioraffinerien steckt in Deutschland und Europa dagegen heute noch im Stadium der Grundlagenforschung. Die Umsetzung von Bioraffinerien im größeren technischen Maßstab wird erst in Zukunft realisiert werden können. Expertenschätzungen gehen davon aus, dass dies nicht vor 2030 der Fall sein wird (IFEU 2005). In den USA erwarten die Experten dagegen, dass bis 2020 ein Viertel der derzeitig fossil-basierten organischen Grundstoffe (z. B. Chemikalien wie Propandiol oder Säuren wie die Citronensäure) und 10 % der Öle und Kraftstoffe mittels Bioraffinerie-Technologien produziert werden.

Als Ausgangssubstrate für Bioraffinerien eignen sich unterschiedliche Biomassen. Die hauptsächlich verarbeiteten Rohstoffe in Bioraffinerien lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Lignocellulose (cellulosehaltige Biomasse wie Holz, Stroh und Schilf), Getreide-Ganzpflanzen (z. B. Roggen, Weizen, Triticale, Gerste sowie Mais) und grüne Rohstoffe (z. B. Gras, Luzerne, Klee). Aus diesen Rohstoffen kann eine Vielzahl von Produkten wie Futtermittel, Proteine, Brennstoffe, Chemikalien und über Fermentation auch mikrobiologische Produkte wie organische Säuren, Aminosäuren, Ethanol und Biogas erzeugt werden (IFEU 2005). Ein Übersichtsschema ist in Abb. 34 dargestellt.

Erste Konzepte für eine Bioraffinerie auf der Basis von Grasschnitt zur Erzeugung von Milchsäure oder Lysin sind erstellt worden. Um die Inhaltsstoffe weitestgehend naturbelassen zu isolieren, ist dabei in einer ersten Stufe (Primärraffination) die Trennung des Grünguts in einen faserreichen Presskuchen und einen nährstoffreichen Presssaft vorgesehen. Aus dem Presssaft sollen vor allem Produkte wie Milchsäure und Derivate, Aminosäuren, Ethanol, und Proteine gewonnen werden. Der Presskuchen kann für die Erzeugung von Futterpellets, als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Chemikalien, wie Lävulinsäure oder auch zur Konversion in Synthesegas und Kohlenwasserstoffe genutzt werden. Die Reste der stofflichen Verwertung sind geeignet für die Herstellung von Biogas, um daraus Strom und Wärme zu gewinnen (Biorefinery 2006). Deshalb bieten bestehende Grüngut-trocknungswerke eine gute Möglichkeit der technischen Einbindung von mit Grüngut betriebenen Bioraffinerien.



Quelle: Biorefinery 2006

Abb. 34: Darstellung der möglichen Produktströme einer Grünen Bioraffinerie

Ein Schwachpunkt „Grüner Bioraffinerien“ ist, dass eine schnelle Primärverarbeitung des Grüngutes notwendig ist oder eine zu kontrollierende, da den Rohstoff verändernde Lagerung (Biorefinery 2006). Von Vorteil ist, dass der Lignin-Cellulose-Verbund in Gras nicht so stark ausgebildet ist, wie bei anderen Lignocellulosehaltigen Materialien, wie z. B. Holz. Weitere Ausführungen zum Konzept der mit Gras betriebenen Bioraffinerie (Auswertung praktischer Erfahrungen etc.) finden sich u. a. in Wachter/Mandl (2003) und zu einer Technikbewertung einer Grünen Bioraffinerie in Schidler et al. (2003). Die ersten Verarbeitungsstufen einer mit Gras betriebenen Bioraffinerie werden am Standort der Futtermittelfabrik Selbelang (Havelland, Land Brandenburg) vorbereitet, was sich momentan vornehmlich auf die Nutzung des Trockenwerkes bezieht (Kamm/Kamm 2001). Eine Bioraffinerie-Pilotanlage auf der Basis von Grünschnitt zur Gewinnung von Naturstoffchemi-

kalien (Milchsäure, Aminosäure) wird zurzeit in Österreich (Utzenaich) gebaut (BMVIT 2006). Die bei der Anlage anfallende Rest-Biomasse soll in Biogas umgewandelt und in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden. In Brensbach (Odenwald) ist 2007 eine industrielle Grasveredelungsanlage, die sich an den Prinzipien der Bioraffinerie orientiert, in Betrieb genommen worden. Ziel ist die Herstellung unterschiedlicher Produkte (z.B. Dämmstoffe, Kunststoffe, Futtermittel, Flüssigdünger) für einen direkten Einsatz bzw. die Weiterverarbeitung (Biowert 2007). Die Produktionsanlage, die bis zu 5.000 t Grassilage im Jahr verarbeiten kann, befindet sich in der Nähe einer Biogasanlage, mit der ein Austausch von Produkten bzw. Rückständen erfolgen soll.

### 3.5 Vergleich der Verfahren

In den vorhergehenden Kapiteln wurden Technik und Wirtschaftlichkeit von Verfahren zur Energiegewinnung aus Grünlandaufwuchs (Grassilage bzw. Heu) zur Strom- und Wärme-gewinnung dargestellt. Ergänzend dazu wurden die Stromerzeugung aus Maissilage und die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen betrachtet, da Grünland in begrenztem Umfang in andere Nutzungsformen überführt werden kann. Nachfolgend werden die Verfahren hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen und die Eignung der Grünlandüber-schussflächen zur Erzeugung von Biogassubstrat bzw. Heu für eine thermische Nutzung dargestellt.

#### 3.5.1 Wirtschaftlichkeit

Die Rentabilität der energetischen Nutzung überschüssiger Grünlandflächen bzw. ihrer Um-wandlung in Anbauflächen für Energiepflanzen ist von den ökonomischen Rahmenbedin-gungen abhängig. Diese sind für die Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen seit der Novellierung des EEG als sehr günstig zu bewerten. Die thermische Heunutzung erhält dagegen keine besondere staatliche Förderung – abgesehen von den Prämien für extensive Flächennutzung im Rahmen von MEPL II. Abb. 35 zeigt, dass die bei der Stromproduktion über das EEG bezahlten erhöhten Vergütungen<sup>17</sup> die für die landwirtschaftliche Produktion gewährten Agrarprämien weit übertreffen. Die Wirtschaftlichkeit der thermischen Verfahren wird maßgeblich von den Preisen für fossile Energieträger bestimmt. Aber auch der Biomasseertrag und die Bereitstellungskosten sowie die Brennstoffqualität beeinflussen die Rentabi-lität der Energiegewinnung aus (umgewandeltem) Grünland.

Die Wirtschaftlichkeit der Stromproduktion aus Grassilage wurde für Anlagen ermittelt, die mit Substratmischungen aus 45 % Grassilage, 50 % Maissilage und 5 % Rindergülle betrieben werden (siehe Kap. 3.1.3). Hier zeigt sich, dass in Anlagen ab 500 kW<sub>el</sub> durch die staatliche Förderung (EEG) über die gesamte Laufzeit (20 Jahre) ein Gewinn erzielt werden kann. Kleinere Gemeinschaftsanlagen mit 250 kW<sub>el</sub> sind dagegen bei dieser Sub-stratmischung nur wirtschaftlich, wenn ein nennenswerter Teil der verfügbaren Wärme (mindestens 50 %) genutzt werden kann. Hofanlagen mit 100 kW<sub>el</sub> kommen in die Nähe der Wirtschaftlichkeit, wenn vorhandene Infrastruktur (Betriebsfläche, Silolager, Wasser-

<sup>17</sup> Gegenüber angenommenen Kosten von 4,7 Cent/kWh für den Strom-Mix Deutschland.

und Stromanschluss) und betriebseigene Maschinen verwendet sowie Wohn- und Betriebsgebäude mit Wärme versorgt werden können.

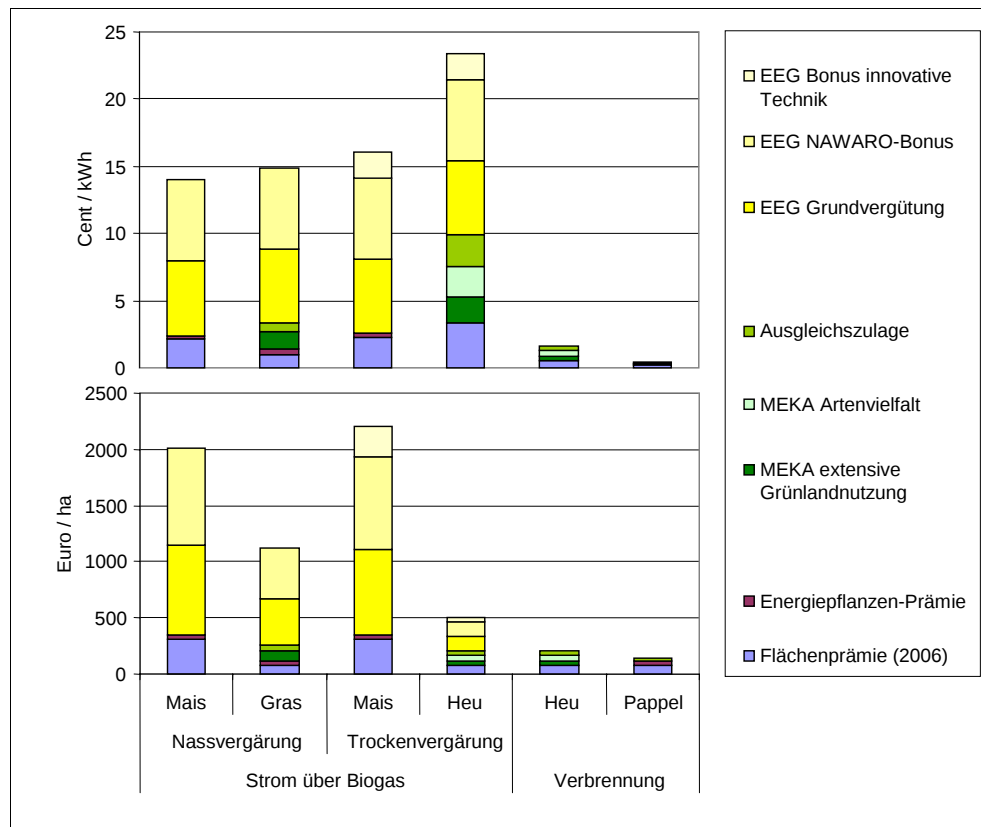


Abb. 35: Vergütungen und Prämien je kWh bzw. je Hektar bei unterschiedlicher energetischer Nutzung

Substratmischungen von Grassilage mit viel Gülle oder mit Maissilage und wenig Gülle sind wirtschaftlich günstiger als die Monovergärung von Grassilage. Mais stellt sich in der Monovergärung nicht wesentlich besser dar als Grassilage, erreicht aber bei Annahme von Ertragssteigerungen die Wirtschaftlichkeitsschwelle. Obwohl Maissilage günstigere Substratkosten aufweist als Grassilage, kann die Kofermentation von Grassilage wirtschaftlich sein, wenn beispielsweise die Anbaufläche für Energiemais aus standörtlichen oder klimatischen Gründen begrenzt ist. Nur mit Grassilage und Gülle betriebene Hofanlagen können ebenfalls annähernd wirtschaftlich betrieben werden, sofern umfangreiche Mengen an kostenfreier Gülle vorhanden sind. Auch in diesem Fall kann durch den Einsatz von Grassilage eine größere Anlagenleistung realisiert werden als bei alleiniger Vergärung der Gülle. Ein weiterer Vorteil von Gras als Koferment liegt in der deutlich größeren zeitlichen Flexibilität bei der Ausbringung des Gärrückstands.

Trotz der um den Technologiebonus erhöhten Einspeisevergütung erreicht auch die Trockenfermentation von Heu (mit Maissilage) erst durch eine Wärmenutzung die Wirtschaftlichkeit. Wird aber eine Wärmenutzung unterstellt, dann ist die Nassvergärung profitabler als die Trockenfermentation. Steht allerdings extensives Heu in ausreichender Menge zur Verfügung, für das keine anderweitige Verwertung vorhanden ist, erscheint ein Einsatz in einer Trockenfermentationsanlage durchaus interessant.

Bis zum Jahr 2024 steigen die Bereitstellungskosten für Biogassubstrate aufgrund von Preissteigerungen an. Dadurch erhöht sich der Anteil der Substratkosten bei Grassilage auf 79 % bzw. bei Maissilage auf 76 % der Einspeisevergütung. Bei Mais könnte dieser Preisanstieg bei den Substratkosten durch den Anbau spezieller Energiemaissorten und Ertragssteigerungen um 4 % pro Jahr nahezu ausgleichen werden. Ob große züchterische Fortschritte erreicht und die erhofften Ertragssteigerungen realisiert werden können, bleibt allerdings abzuwarten. Wie die Statistik zeigt, stagnierte in den letzten 20 Jahren der durchschnittliche Ertrag bei Silomais in Baden-Württemberg ebenso wie der Grünlandertrag, allerdings auf einem deutlich höheren Niveau.

Im Vergleich zur Stromproduktion aus Gras- und Maissilage wird bei den Verfahren zur thermischen Nutzung von Heu oder Pappeln lediglich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Gegenwart durchgeführt. Hier zeigt sich, dass die Kosten der Wärmebereitstellung aus Pappel-Hackschnitzeln in kleinen Feuerungsanlagen je nach Ertrag und Hangneigung zwischen 6,9 und 8,5 Cent/kWh liegen und damit günstiger sind als der Einsatz von Heizöl mit Wärmegestehungskosten von circa 8,8 Cent/kWh (siehe Kap. 3.2.3). Die Verfeuerung von Heupellets in einem Pelletkessel ist mit rund 10 Cent/kWh dagegen bei Einbeziehung aller Investitions-, Verbrauchs- und Betriebskosten inklusive Arbeitskosten und bei einer Betriebsdauer von 2.000 Volllaststunden pro Jahr deutlich teurer als Heizöl. Sie ist bei gleichen Rahmenbedingungen auch teurer als der Einsatz von Getreide bzw. Holzpellets, deren Wärmegestehungskosten bei rund 8 Cent/kWh liegen. Die Heuverbrennung ist damit trotz Einbeziehung von agrarpolitischen Prämien für extensive Grünlandbewirtschaftung ungünstiger als die Verfeuerung von Getreide oder Holzpellets. Die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu Stroh wird fast ausschließlich über die Brennstoffkosten entschieden und auch da stellt sich Heu derzeit schlechter dar.

Zu vergleichsweise sehr hohen Kosten von rund 15 Cent/kWh führt die thermische Nutzung von Heu-HD-Ballen. Dies ist jedoch in erster Linie auf die (zu) geringe Leistung der Anlage (u. a. wegen Ballenauflösung, Staubfilter) zurückzuführen. In diesem Kontext ist anzumerken, dass die Kosten der untersuchten Verfahren zur Wärmebereitstellung aus Heu nur bedingt vergleichbar sind, da unterschiedliche Feuerungswärmeleistungen betrachtet (40 bzw. 89 kW Leistung) und keine konkreten Versorgungsaufgaben definiert werden, die unterschiedliche Eignungen und Zusatzinvestitionen sowie Arbeitsanforderungen erwarten lassen. So liegen beispielsweise die Wärmegestehungskosten der Verfeuerung von Heu-HD-Ballen bei der Rostfeuerung mit höherer Leistung (89 kW) nur noch bei rund 9 Cent/kWh und kommen damit in die Nähe der Wirtschaftlichkeit. Im Vergleich zu Heizöl oder auch zur Stromerzeugung aus Gras- bzw. Maissilage tragen die Kosten für die Heubrennstoffe nur zwischen rund 20 % (Ballen) und 50 % (Pellets) zu den Wärmekosten bei. Analog zur Entwicklung der Bereitstellungskosten für Gras- und Maissilage ist zukünftig auch mit höheren Kosten für Heubrennstoffe durch Preissteigerungen sowie mit reduzierten Flächenprämien für extensiv bewirtschaftetes Grünland im Rahmen von MEPL II zu rechnen. Im Jahr 2024 liegen die Heukosten um circa 40 % über den derzeitigen Kosten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch die konventionellen Energieträger eine Tendenz zur Kostensteigerung haben. Sollte diese Entwicklung schneller fortschreiten als der Kostenanstieg bei den Heubrennstoffen, so rücken diese immer mehr in die Nähe der Wirtschaftlichkeit.

Aufgrund der gewährten Vergütungen und Boni bei der Stromproduktion aus Biomasse schneidet die Nutzung von Grünlandaufwüchsen in Biogasanlagen besser ab als eine thermische Verwertung. Es ist deshalb davon auszugehen, dass Aufwüchse von geeigneten Standorten bevorzugt zur Biogasnutzung verwendet werden. Das betrifft insbesondere intensiv genutzte, bisher für Milchviehfütterung verwendete Flächen. Durch die Vorteile der Biogasnutzung wird auch ein Druck auf bisher weniger intensiv genutzte Standorte erzeugt, auch auf diesen – durch Intensivierung – biogastaugliche Substrate zu produzieren.

Ein Vergleich des Einsatzes extensiver Aufwüchse in einer Trockenfermentation mit der thermischen Verwertung ist systembedingt kaum möglich. Zwar ist die Wirtschaftlichkeit der Trockenfermentation günstiger zu bewerten als die Verbrennung von Heu, allerdings wird diese im Wesentlichen durch den Einsatz von Maissilage erzielt. Durch die Kofermentation von Extensivheu mit Mais verschlechtert sich das Ergebnis im Vergleich zur alternativen Mais-Nassvergärung ohne Heu. Damit steht unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung von extensiven Grünlandaufwüchsen kein wirtschaftliches Verfahren zur Verfügung.

Während der Umbruch zu Ackerland mit anschließendem Maisanbau nur bei günstigen Bedingungen eine höhere Wirtschaftlichkeit erwarten lässt, erscheint die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem Grünland bei den gewählten Annahmen wirtschaftlich vorteilhaft, und das sowohl auf bisher intensiv als auch extensiv genutzten Standorten.

### **3.5.2 Eignung der Grünlandüberschussflächen**

Das nicht für die Tierfütterung benötigte Grünland in Baden-Württemberg ist nicht uneingeschränkt für eine Energiegewinnung nutzbar. Zu den Hemmnissen zählen unter anderem Standortfaktoren. Ein Teil der Flächen befindet sich beispielsweise in Hanglagen, die nur mit einem erhöhten Arbeitsaufwand bewirtschaftet werden können. Bei Flächen von über 25 % Hangneigung können die üblicherweise verwendeten Maschinen nicht mehr eingesetzt werden. Auch zur Bergung des Aufwuchses von mageren Mähwiesen (entsprechend Natura 2000<sup>18</sup>) sowie Nasswiesen und Magerrasen ist ein erhöhter Aufwand an Technik und Arbeitszeit erforderlich bei gleichzeitig relativ niedrigem Ertragsniveau und eingeschränkter Eignung des Aufwuchses zur Energiegewinnung. Da mit zunehmendem Alter der Pflanzenbestände die Biogasausbeute abnimmt, sind extensiv genutzte Überschussflächen nicht geeignet zur Erzeugung von Grassilage. Das bedeutet, dass magere Mähwiesen, Nasswiesen und Magerrasen, aber auch artenreiche Grünlandflächen und Streuobstwiesen nur eingeschränkt für die Biogasgewinnung nutzbar sind.

---

<sup>18</sup> Durch die Implementierung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der EU (FFH-Richtlinie 1992) in nationales und föderales Naturschutzrecht sind großflächig verbreitete Wirtschaftswiesen zu normativen Schutzobjekten geworden. Der baden-württembergische Gebietsvorschlag für „NATURA 2000“ umfasst 414.046 ha FFH-Gebiete (ohne Bodenseefläche); das sind 11,58 % der Fläche Baden-Württembergs. Die Vogelschutzgebiete weisen eine Fläche von 179.770 ha aus; dies entspricht einem Flächenanteil von 4,9 %. Da sich FFH- und Vogelschutzgebiete überlagern, beträgt die Fläche des Natura 2000-Netzes aktuell 468.303 ha (=13,1 %).

Vor dem Hintergrund der technischen Kenngrößen und betriebswirtschaftlichen Berechnungen zu den Verfahren der Energiegewinnung aus dem Grünland wird nachfolgend der für 2015 ermittelte Grünlandüberschuss (siehe Kap. 2.4.2) auf seine Eignung für eine thermische oder fermentative Nutzung bewertet. Dabei wird zunächst für alle Flächen, deren Aufwuchs für eine Biogasnutzung ungeeignet sind, eine thermische Verwertung angenommen, da die Zusammensetzung von Gras, das sich schlecht oder nicht in einem Fermenter umsetzen lässt, am ehesten den Anforderungen an die Substratqualität bei der Verbrennung entspricht. Da es sich bei diesen Flächen häufig um hängige Flächen oder Streuobstwiesen handelt, ist die Bergung des Heubrennstoffs mit einem höheren Ernteaufwand verbunden. Dies fällt jedoch angesichts der im Vergleich zur Grassilierung deutlich niedrigeren Schlagkraft der Mechanisierung sowie der Möglichkeit zur zeitversetzten Ernte bei der Heubergung nicht so stark ins Gewicht. Es wird deshalb angenommen, dass für die schwierig zu befahrenden Flächen in vielen Fällen eine thermische Verwertung möglich ist. Nur auf steilen Hängen über 35 % Neigung und bei einem kleinen Anteil der Streuobst- und Nasswiesen erscheint aus wirtschaftlichen Gründen eine energetische Nutzung nicht realisierbar.

### **Art und Umfang eingeschränkt nutzbarer Wiesentypen**

Das überschüssige Grünland lässt sich in verschiedene Wiesentypen unterteilen. Zu den wichtigsten Kategorien zählen neben dem intensiv genutzten Grünland, das uneingeschränkt für die Erzeugung von Grassilage geeignet ist, verschiedene Arten an Extensivgrünland wie das artenreiche Grünland, Streuobstwiesen, Mähwiesen (nach Natura 2000), Nasswiesen und Magerrasen. Darüber hinaus kann das Grünland unterschieden werden in Flächen, die auf Hängen über 25 % oder 35 % Neigung liegen. Da für die meisten der Wiesentypen als auch für ihre Überschneidung mit Hanglagen keine statistischen Daten zu Flächenumfängen vorliegen, werden diese nachfolgend aus verschiedenen Erhebungen und Statistiken abgeleitet.

Für hängiges Grünland, artenreiches Grünland und Berg- und Flachlandmähwiesen innerhalb von FFH-Gebieten (Natura 2000) wurden Informationen aus dem MEKA-Programm ausgewertet. Da bei MEKA nicht alle Landwirte teilnehmen, wurde über einen Korrekturfaktor die insgesamt vorhandene Fläche abgeschätzt. Hierzu wurde pro Kreis der Anteil des Grünlandes ermittelt, der für die MEKA-Maßnahme B1 „Extensive Nutzung von Grünland“ – eine Art Grundförderung für ordnungsgemäß bewirtschaftetes Grünland – gemeldet wurde, und um den bei der Grundförderung fehlenden Anteil erhöht. Der Anteil liegt im Landesdurchschnitt bei 82 % des gesamten landwirtschaftlich genutzten Grünlands. Tab. 22 zeigt die beantragten und die mit Hilfe des Korrekturfaktors ermittelten Flächen zusammengefasst für Baden-Württemberg.

Für den Umfang an Streuobstwiesen liegen nur ungenaue und z. T. widersprüchliche Daten vor. Nach Angaben des MLR (2005) gibt es in Baden-Württemberg rund 170.000 ha Streuobstwiesen mit 11,4 Millionen Bäumen. In der dort als Quelle genannten Zusammenstellung des Statistischen Landesamts (1992) wird jedoch nur die Anzahl der Bäume dargestellt. Wie der Flächenumfang abgeleitet wurde, bleibt unklar. Die Erhebungen des Statistischen Landesamtes zum Streuobstbestand wurden außerdem als Repräsentativerhebung durchgeführt, eine Zuordnung der Ergebnisse ist hier nur auf Obstlandschaften, aber nicht auf Kreise möglich.

Tab. 22: Flächenumfang hängiger und artenreicher Wiesen sowie Mähwiesen (Natura 2000)

|                                |               | beantragte<br>Flächen | Korrekturfaktor | als vorhanden<br>angenommene<br>Flächen |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| Maßnahme                       | Datenherkunft | ha                    |                 | ha                                      |
| Hang >25 %                     | MEKA 2003     | 36.603                | circa 82 %      | 44.100                                  |
| Hang >35 %                     |               | 17.031                |                 | 20.468                                  |
| Artenvielfalt                  |               | 67.030                |                 | 80.697                                  |
| Natura 2000 (FFH)<br>Mähwiesen | MEKA 2004     | 5.687                 |                 | 7.144                                   |

Im Rahmen von MEKA wird die Erhaltung von Streuobstbeständen (Maßnahme C1) finanziell gefördert. Im Jahr 2004 wurde für 29.882 ha Streuobstwiesen ein MEKA-Antrag gestellt. Da aber MEKA-Maßnahmen nur von Landwirten beantragt werden können, Streuobstbestände sich aber vielfach als „Stückle“ in nicht landwirtschaftlichem Besitz befinden, sagt diese Zahl wenig über den gesamten Streuobstbestand aus. Deshalb werden hier die Angaben aus der Biotopkartierung (1981 bis 1989) von der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU, jetzt LUBW) verwendet, denen zufolge es in Baden-Württemberg rund 74.500 ha Streuobstwiesen gibt (Höll/Breunig 1995). Da in dieser Kartierung jedoch für einige Landschaften und Kreise nur unvollständige Angaben vorliegen<sup>19</sup>, wurden für jeden Kreis die kartierten Angaben mit den korrigierten MEKA-Daten verglichen und der jeweils höhere Wert verwendet. In der Summe ergibt sich so ein Bestand von rund 81.000 ha Streuobstwiesen. Für Nasswiesen und Magerrasen liegen exakte Werte aus der Kartierung der Biotope nach §24a Landesnaturschutzgesetz vor. Diese Kartierung wurde überwiegend in den 1990er Jahren durchgeführt und in den letzten Jahren abgeschlossen<sup>20</sup>. Sie ergab eine Fläche von 10.770 ha für Magerrasen und 7.190 ha für Nasswiesen.

Die Wiesentypen können in unterschiedlichem Maße Überschneidungen untereinander und auch mit den Hangflächen aufweisen. So können z. B. Streuobstwiesen gleichzeitig auch artenreich sein oder Magerrasen auf einer hängigen Fläche liegen. Es mussten deshalb Annahmen getroffen werden, welche Flächen sich mit welchem Prozentsatz überschneiden, um so die berücksichtigten Flächenumfänge der einzelnen Wiesentypen abschätzen zu können. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die genannten Wiesentypen aufgrund schlechter Futterqualität und ungünstiger Bewirtschaftungsmöglichkeit bevorzugt aus der Nutzung zur Tierfütterung ausscheiden und deshalb vermehrt zum Grünlandüberschuss zu rechnen sind. In Tab. 23 sind Angaben zum Umfang der verschiedenen Wiesentypen (nach Berücksichtigung von Überschneidungen) sowie Annahmen, wie groß davon der Anteil ist, der nicht mehr für die Tierfütterung verwendet wird, dargestellt.

Unter den extensiven Wiesentypen haben die Streuobstwiesen den mit Abstand größten Anteil am Grünlandüberschuss. Sie stellen fast die Hälfte (45 %) des Anteils an den genannten Wiesentypen und ein Drittel am gesamten Grünlandüberschuss in 2015. Das arten-

<sup>19</sup> So wurden z. B. für den Kreis Waldshut in der LfU-Kartierung nur 5 ha an Streuobstbeständen aufgenommen, während bei MEKA 623 ha beantragt wurden. Trotz dieser Mängel erscheint die LfU-Kartierung als derzeit beste Grundlage zur Abschätzung des Streuobstbestandes.

<sup>20</sup> Streuobstbestände sind kein Biotoptyp nach §24a und wurden deshalb nicht erfasst.

reiche Grünland umfasst rund 15 % des gesamten Grünlandüberschusses und 20 % des Umfangs extensiver Wiesentypen. Dazu kommen jedoch noch artenreiche Streuobstwiesen und Hangflächen. Betrachtet man die vorhandenen Flächen, zeigt sich, dass es ungefähr genau so viele artenreiche Flächen wie Streuobstwiesen gibt.

Tab. 23: Herleitung der am Grünlandüberschuss beteiligten extensiven Grünlandtypen für 2015

|                                | vorhandene<br>Flächen | berücksichtigte Flä-<br>chen abzüglich Über-<br>schneidungen | Anteil an Grün-<br>landüberschuss | bei Grünlandüber-<br>schuss berücksich-<br>tigte Flächen |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                | ha                    | ha                                                           | %                                 | ha                                                       |
| Hang > 25%                     | 44.100                | 35.668                                                       | 51                                | 18.239                                                   |
| Hang > 35%                     | 20.468                | 18.294                                                       | 70                                | 12.801                                                   |
| Artenvielfalt                  | 80.697                | 44.288                                                       | 56                                | 24.702                                                   |
| Natura 2000 (FFH)<br>Mähwiesen | 7.144                 | 5.715                                                        | 50                                | 2.857                                                    |
| Streuobstwiesen                | 81.068                | 63.956                                                       | 86                                | 54.882                                                   |
| Nasswiesen                     | 7.190                 | 7.190                                                        | 100                               | 7.190                                                    |
| Magerrasen                     | 10.770                | 5.385                                                        | 50                                | 2.692                                                    |
| Summe                          | 251.437               | 180.496                                                      |                                   | 123.363                                                  |

### Nutzbarkeit extensiver Wiesentypen für eine energetische Verwertung

Artenreiches Überschussgrünland eignet sich im Prinzip zur Erzeugung von Grassilage für die Biogasgewinnung. Dies setzt allerdings eine intensivere Bewirtschaftung voraus. In den Abschätzungen wird davon ausgegangen, dass auf circa 70 % des artenreichen Überschussgrünlands aus standörtlichen Gründen eine intensivere Flächennutzung und damit ein höheres Ertragsniveau und eine wirtschaftliche Biogasproduktion möglich sind. Allerdings könnte dies zu einer Veränderung der Schnittzeitpunkte und durch die Ausbringung von Gärrückständen auch der Nährstoffversorgung mit negativen Folgen für die Artenzusammensetzung führen (vgl. Kap. 4.3.7). Dies betrifft allerdings nur einen Teil des artenreichen Grünlands. Von insgesamt rund 80.700 ha (Tab. 23) werden durch die Grassilageproduktion rund 17.300 ha (Tab. 24) intensiviert. Damit verbleiben noch rund 63.400 ha artenreiche Grünlandflächen und rund 7.100 ha FFH-Wiesen (Tab. 23), die nach wie vor extensiv bewirtschaftet werden.

Eine Intensivierung der Flächennutzung zur Grassilageproduktion wäre nicht möglich, wenn es sich bei dem artenreichen Grünland um FFH-Gebiete handeln würde. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, ist dies aufgrund des hohen Bestands an artenreichem Grünlands jedoch nicht der Fall: Die Gebietsmeldungen für die Lebensraumtypen entsprechend Natura 2000 weisen für Baden-Württemberg insgesamt rund 63.390 ha mageres Flachland-Mähwiesen und 3.985 ha Berg-Mähwiesen aus (LUBW 2004). Davon liegen 20.858 bzw. 2.178 ha Mähwiesen innerhalb von ausgewiesenen FFH-Gebieten und unterliegen damit den Vorschriften und Bestimmungen der FFH-Richtlinien, d. h. sie müssen im derzeitigen Zustand erhalten werden. Bei dem Bestand an rund 67.000 ha mageren Mähwiesen dürfte es sich mehrheitlich um die in Tab. 23 dargestellten FFH-Wiesen (rund

7.100 ha) und artenreiches Grünland (rund 80.700 ha) handeln. Wenn vom artenreichen Grünland rund 30.000 ha für die Tierfütterung und rund 24.000 ha für die thermische Verwertung genutzt werden (4.000 ha bleiben ohne Nutzung), sind noch 22.700 ha artenreiches Grünland für FFH-Gebiete verfügbar, zuzüglich der rund 7.100 ha FFH-Wiesen. Damit stehen fast 30 % mehr Mähwiesen zur Verfügung als FFH-Wiesen ausgewiesen sind. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass ein Teil der ausgewiesenen FFH-Wiesen mit für die Tierfütterung genutztem, artenreichem Grünland identisch ist. Für hängige Flächen, FFH-Mähwiesen, Nasswiesen und Magerrasen wird angenommen, dass keine Nutzung des Aufwuchses in Biogasanlagen stattfindet. Für Streuobstwiesen gelten je nach Bestandsdichte und Größe der Obstbäume die gleichen Einschränkungen. Für ein Drittel der Streuobstwiesen wird jedoch unterstellt, dass sie aufgrund großer Baumabstände und relativ intensiver Nutzung zur Biogaserzeugung geeignet sind.

Tab. 24: Aufteilung des Überschussgrünlandes auf Nutzungsformen für 2015

|                       | Gesamtgrünland 2015 | davon Grünlandüberschussflächen |         |                    |        |                    |        |                            |        |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------|---------|--------------------|--------|--------------------|--------|----------------------------|--------|
|                       |                     | insgesamt                       |         | davon geeignet für |        |                    |        |                            |        |
|                       |                     |                                 |         | Biogasnutzung      |        | thermische Nutzung |        | keine energetische Nutzung |        |
|                       |                     | ha                              | %       | ha                 | %      | ha                 | %      | ha                         | %      |
| Standard              | 450.552             | 10                              | 43.502  | 100                | 43.502 | 0                  | 0      | 0                          | 0      |
| Hangneigung 25 - 35 % | 35.668              | 51                              | 18.239  | 0                  | 0      | 100                | 18.239 | 0                          | 0      |
| Hangneigung > 35 %    | 18.294              | 70                              | 12.801  | 0                  | 0      | 0                  | 0      | 100                        | 12.801 |
| Artenvielfalt         | 44.288              | 56                              | 24.702  | 70                 | 17.291 | 30                 | 7.410  | 0                          | 0      |
| FFH-Mähwiesen         | 5.715               | 50                              | 2.857   | 0                  | 0      | 100                | 2.857  | 0                          | 0      |
| Streuobstwiesen       | 63.956              | 86                              | 54.882  | 33                 | 18.111 | 61                 | 33.667 | 6                          | 3.104  |
| Nasswiesen            | 7.190               | 100                             | 7.190   | 0                  | 0      | 70                 | 5.033  | 30                         | 2.157  |
| Magerrasen            | 5.385               | 50                              | 2.692   | 0                  | 0      | 100                | 2.692  | 0                          | 0      |
| Summe                 | 631.048             | 26                              | 166.865 | 47                 | 78.904 | 42                 | 69.898 | 11                         | 18.062 |

Auf der Basis dieser Einschränkungen errechnet sich ein Potenzial von rund 35.400 ha an artenreichem Grünland und Streuobstwiesen, die zur Grassilageproduktion als Biogassubstrat geeignet sind (Tab. 24). Dies entspricht fast der Hälfte (45 %) des insgesamt für eine Biogasnutzung verfügbaren Überschussgrünlands. Das gesamte Biogas-Flächenpotenzial von rund 79.000 ha an überschüssigen Grünlandflächen entspricht einem Anteil von rund 47 % am Grünlandüberschuss. Für rund 70.000 ha bzw. 42 % des Überschussgrünlands kommt dagegen vorwiegend eine thermische Verwertung in Betracht. Bei fast der Hälfte dieser Flächen handelt es sich um Streuobstwiesen (48 %) und bei gut einem Viertel (26 %) um Hangflächen über 25 %. Für circa 18.000 ha bzw. 11 % des überschüssigen Grünlands erscheint aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen keine energetische Nutzung des

Aufwuchses realisierbar. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Steillagen mit mehr als 35 % Hangneigung.

Das für eine Energieerzeugung geeignete Überschussgrünland ist regional unterschiedlich verteilt (Abb. 36). Deutlich über ein Drittel (39 %) der für die Biogasgewinnung nutzbaren Überschussflächen befindet sich in nur fünf Kreisen (Zollernalbkreis, Bodenseekreis, Ravensburg, Konstanz und Schwäbisch Hall). Die Überschussflächen, für die eine thermische Nutzung in Frage kommen, sind dagegen breiter verteilt: In zehn Kreisen<sup>21</sup> liegen 46 % der Flächen. Schwerpunkt ist aufgrund der großen Streuobstwiesenflächen das Albvorland. Dagegen befinden sich die nicht für eine energetische Nutzung geeigneten Flächen überwiegend im südlichen Schwarzwald: Über die Hälfte davon liegen in den Kreisen Breisgau-Hochschwarzwald, Lörrach und Ortenaukreis.

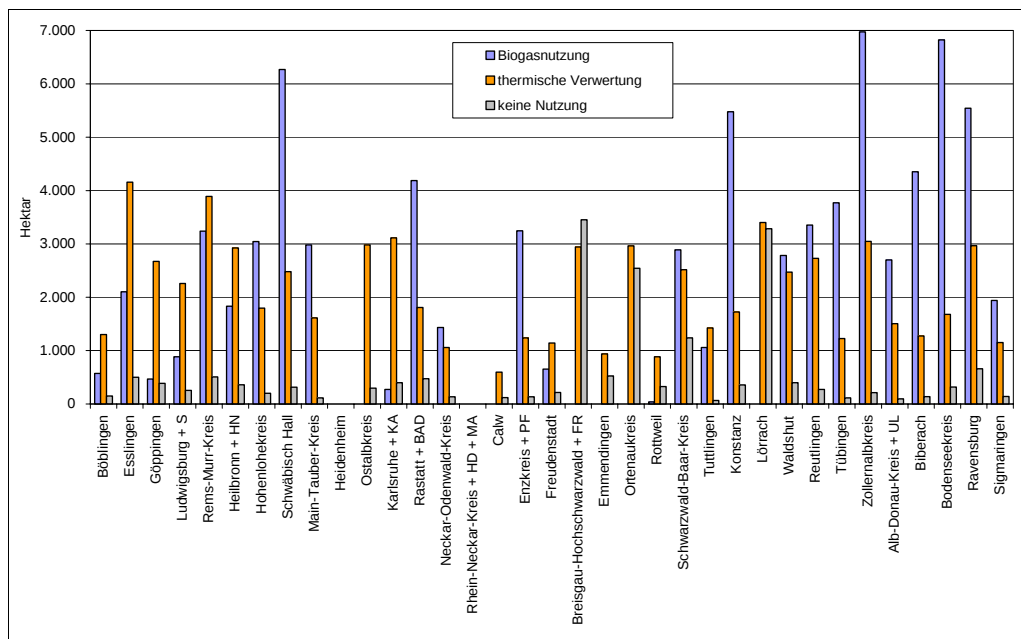


Abb. 36: Verteilung des Überschussgrünlands nach ihrer Nutzbarkeit zur Energiegewinnung auf Kreisebene

## Grünlandumwandlung

Prinzipiell kann überschüssiges Dauergrünland auch umgebrochen und so für einen Biomasseanbau mit höherem Ertrag, besseren Marktchancen oder – bei energetischer Nutzung – besseren Substrateigenschaften genutzt werden. Als Nutzungsalternativen nach Grünlandumwidmung kommen Aufforstung, Ackernutzung oder Umwandlung zu Agroforstsystemen in Frage. Während genehmigte Aufforstungen weiterhin uneingeschränkt möglich sind, lassen die Neueregulungen im Rahmen der EU-Agrarreform eine Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland nur noch begrenzt zu. Das neue Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz sieht vor, dass bei einer Abnahme des Verhältnisses von Dauergrünlandflächen zu landwirtschaftlich genutzten Flächen von mehr als 5 % im Vergleich zum Referenzjahr 2003 der Umbruch genehmigt werden muss. Bei einer Abnahme von

<sup>21</sup> Esslingen, Rems-Murr, Heilbronn, Aalen, Karlsruhe, Freiburg, Ortenaukreis, Lörrach, Zollernalb und Ravensburg.

mehr als 8 % kann, bei mehr als 10 % muss eine Neuansaat bzw. Neuanlage von Dauergrünland vorgeschrieben werden (DirektZahlVerpflG 2004). Bei Ausschöpfung dieser Maximalwerte der Grünlandumwandlung könnten in Baden-Württemberg noch circa 55.000 ha Grünland in Ackerfläche umgewandelt werden.

In dieser Studie werden zwei Varianten der Grünlandumwandlung analysiert und deren Energieertrag, Wirtschaftlichkeit und Auswirkungen auf Nachhaltigkeitskriterien untersucht. Zum einen wird als Ackernutzung der Silomaisanbau zur Biogaserzeugung betrachtet, zum anderen die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln zur thermischen Nutzung. Beide Verfahren liefern höhere Energieerträge als die Grünlandnutzung, weisen aber deutliche Unterschiede in der Produktionsintensität auf: einerseits der Mais als einjährige Art mit hohem Einsatz an Dünger und Pflanzenschutzmitteln und andererseits die Pappel als mehrjährige Art mit langjähriger Bodenruhe und geringem Bedarf an Betriebsmitteln.

Aus standörtlichen Gründen und weil der Mais hohe Ansprüche an die Temperatur, die Wasserversorgung und die Bodenqualität stellt, kann nur ein Teil des Überschussgrünlands in Ackerfläche umgewandelt werden. Wegen des Vorteils von Maissilage gegenüber Grassilage in der Milchviehfütterung ist weiter davon auszugehen, dass von den ackerfähigen Grünlandstandorten bereits in der Vergangenheit ein großer Anteil umgebrochen und für den Maisanbau verwendet wurde. Deshalb wird hier unterstellt, dass ein Umbruch mit nachfolgender Silomaisnutzung nur auf den für Biogasnutzung ausgewählten Flächen – mit Ausnahme Streuobstwiesen – möglich ist und dass davon nur 20 % geeignet sind. Für Baden-Württemberg ergibt sich daraus eine für den Maisanbau nutzbare Grünlandüberschussfläche von rund 12.800 ha. Wie die Verteilung dieser Flächen auf die Kreise (Abb. 37) zeigt, kommen in ungefähr der Hälfte der Kreise größere Flächenumfänge für Grünlandumbruch zu Maisanbauflächen in Frage. In fünf Kreisen (Schwäbisch Hall, Konstanz, Zollernalbkreis, Bodenseekreis und Ravensburg) sind es sogar mehr als 1.000 ha zusätzliche Biogasflächen.

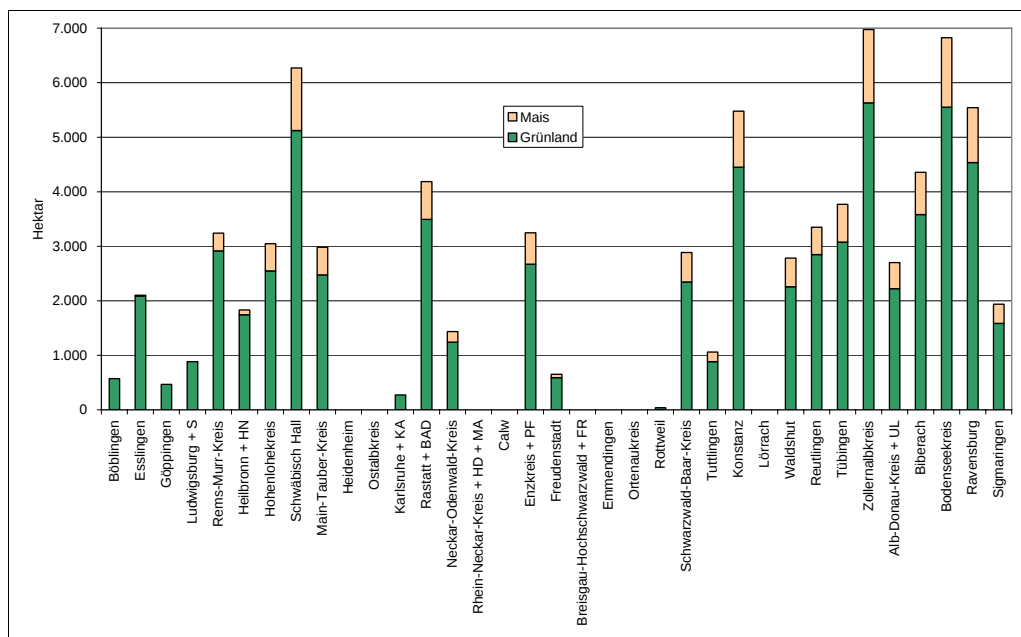
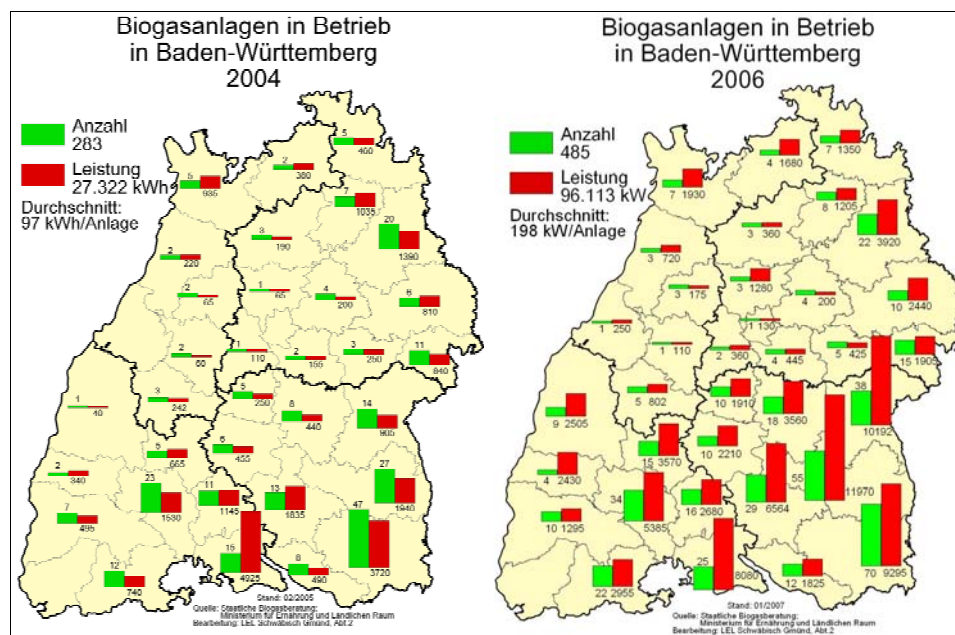


Abb. 37: Für eine Biogasnutzung geeignete überschüssige bzw. in Maisflächen umwandelbare Grünlandflächen (2015)

Wie Abb. 38 zeigt, ist der Bestand an Biogasanlagen in Baden-Württemberg von 2004 bis 2006 stark angewachsen. Die Anzahl an Biogasanlagen nahm von 283 auf 485 zu und die durchschnittliche Leistung der neuen Anlagen stieg von 97 auf 198 kW. Der Schwerpunkt der Biogasproduktion liegt in den Kreisen Biberach, Alb-Donau, Ravensburg und Konstanz. Dort stehen über 40 % der bis 2006 in Betrieb genommenen Anlagenleistung. In diesen vier Kreisen liegt die durchschnittliche Anlagenleistung bei 210 kW pro Anlage. Der Alb-Donau-Kreis weist den größten Zubau an Anlagen und Anlagenleistung sowie mit rund 270 kW die größten Biogasanlagen auf. Der Ausbau der Biogaskapazitäten im Südosten Baden-Württembergs von 2004 bis 2006 korreliert mit den Ergebnissen dieser Studie, da hier Grünlandflächen verfügbar sind, die für eine Biogasnutzung geeignet sind bzw. die umgebrochen und für den Maisanbau genutzt werden könnten.



Quelle: LEL (2005, 2007)

Abb. 38: Regionale Verteilung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg 2004 und 2006

Kurzumtriebspappeln stellen wesentlich geringere Ansprüche an den Standort, weshalb unterstellt wird, dass prinzipiell die gesamte energetisch nutzbare, überschüssige Grünlandfläche – mit Ausnahme der Streuobstwiesen, FFH-Mähwiesen, Nasswiesen und Magerrasen – für eine Pappelanpflanzung geeignet sind. Nach Abzug der nicht geeigneten Überschussflächen verbleiben rund 84.000 ha, die mit Kurzumtriebspappeln bepflanzt werden könnten. Da diese Fläche jedoch die nach EU-Vorgaben zulässige Umwandlung übersteigt, werden die prinzipiell geeigneten Hangflächen mit einer Neigung > 25 % nicht berücksichtigt und bei den für Biogasnutzung geeigneten Flächen nur so große Anteile, bis die zulässige Umwandlungsfläche erreicht ist.

In Baden-Württemberg könnten unter diesen Vorgaben 55.000 ha Grünland mit Pappeln bepflanzt werden, davon circa 35.000 ha auf bislang intensiv genutztem Grünland (Standardgrünland) und circa 20.000 ha auf artenreichem Grünland. Abb. 39 zeigt die Verteilung dieser Flächen auf die Kreise. Bei der Herkunft von artenreichem Grünland wird zusätzlich unterschieden, ob es sich um für Biogasnutzung intensivierbares oder nur für thermische Nutzung geeignetes Grünland handelt. Im ersten Fall wird wie für Standardgrünland ein hö-

herer Pappelertrag (10 t/ha und Jahr) angenommen als für nur extensiv nutzbares artenreiches Überschussgrünland (6 t/ha und Jahr). Ähnlich wie bei Mais ergeben sich nur in etwa der Hälfte der Kreise größere Potenziale für Pappelpflanzungen. Deutlich unterscheidbar sind auch Kreise, in denen überwiegend Standardgrünland (Schwäbisch Hall, Rastatt, Konstanz, Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg) bzw. Kreise, in denen vor allem artenreiches Grünland (Tuttlingen, Waldshut, Reutlingen, Zollernalb) zu Pappel-Kurzumtriebsplantagen umgewandelt wird.

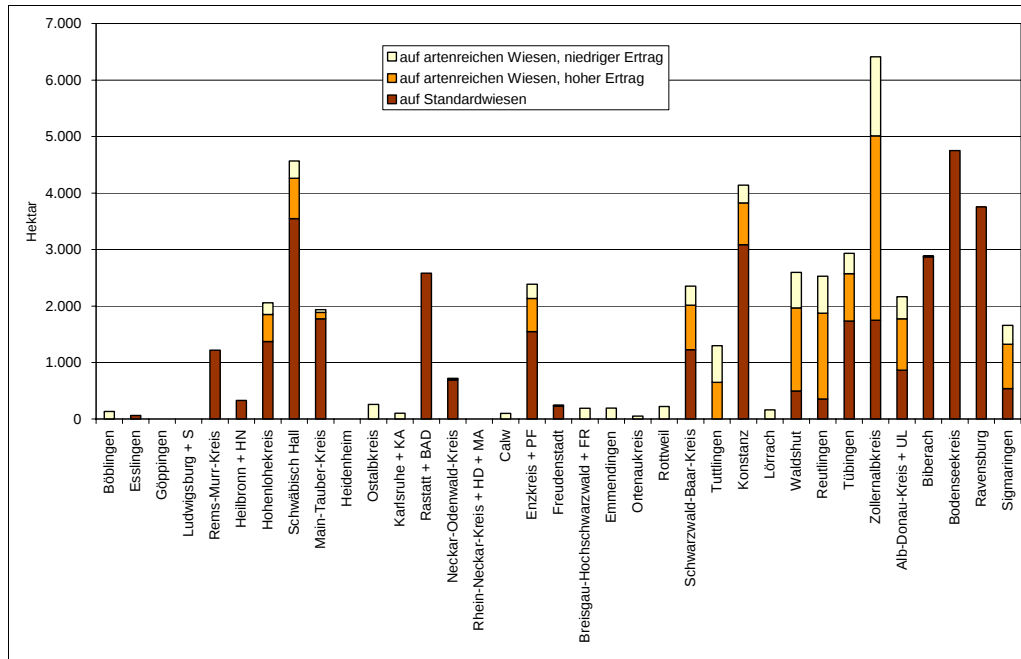


Abb. 39: Regionale Verteilung der Pappel-Kurzumtriebsanbaufläche bei Ausschöpfung der Restriktionen zum Umbruch von überschüssigem Grünland (2015)

### 3.5.3 Energiepotenziale

Wie viel Energie in Baden-Württemberg durch die Nutzung von Überschussgrünland erzeugt werden kann, hängt davon ab, welche Nutzungsstrategien verfolgt werden, d. h. ob eine Grünland erhaltende Nutzung (Grassilage zur Biogasproduktion und Heuverbrennung) oder eine auf maximalen Energieertrag ausgerichtete Verwendung des Grünlands (Umwandlung in Maisanbau- und Pappel-Kurzumtriebsflächen) angestrebt wird.

Bei vollständiger Nutzung des überschüssigen Intensivgrünlandes zur Grassilageproduktion könnten circa 164 Mio. m<sup>3</sup> Methan erzeugt werden. Daraus lassen sich durch Nutzung in BHKW circa 556 GWh<sub>el</sub> pro Jahr gewinnen. Zusätzlich steht Abwärme im Umfang von 655 GWh<sub>th</sub> pro Jahr zur Verfügung. Durch Verfeuerung des Heus von extensiven Grünlandüberschussflächen kann Wärme in Höhe von 909 GWh<sub>th</sub> erzeugt werden. Damit stehen theoretisch 1.564 GWh<sub>th</sub> pro Jahr zur Verfügung.

Abb. 40 zeigt die regionale Verteilung der Energiepotenziale. Sie entspricht weitgehend der Flächenverteilung in Abb. 36. Bedingt durch unterschiedliche kreisspezifische Grünlanderträge gibt es jedoch einige Veränderungen. Der Zollernalbkreis weist beispielsweise trotz des im Vergleich zu den anderen Kreisen größten Umfangs an Überschussfläche

nicht das höchste Energiepotenzial auf. Aufgrund der höheren Biomasseerträge hat stattdessen der Kreis Ravensburg das kreisbezogen höchste Energiepotenzial.

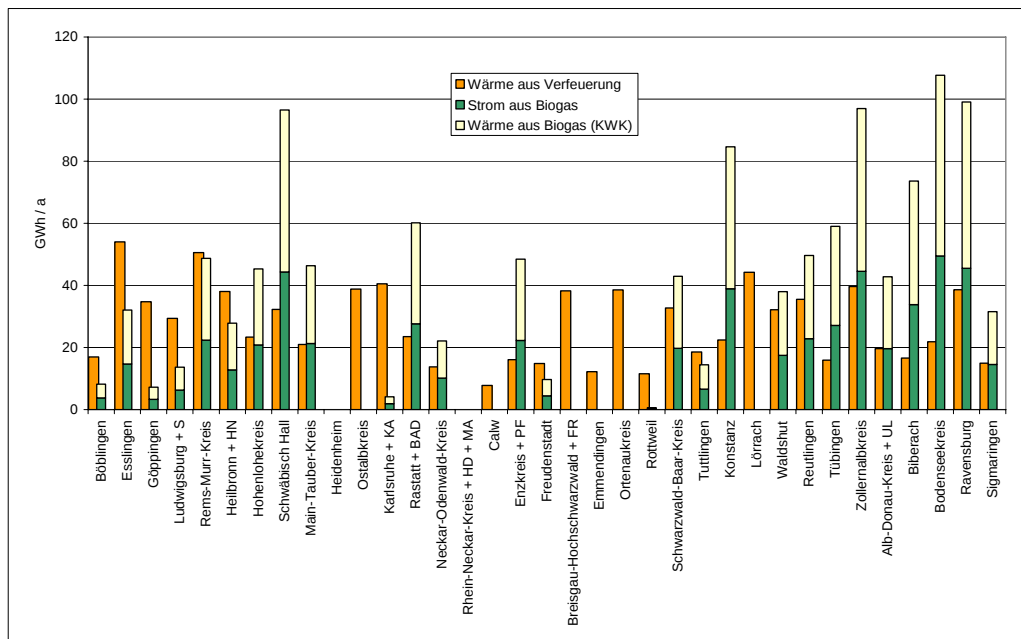


Abb. 40: Energiepotenziale bei energetischer Nutzung des für 2015 ermittelten Überschussgrünlandes auf Kreisebene (ohne Umwandlung)

Durch Grünlandumwandlung und Anbau von Energiepflanzen kann das Energiepotenzial des Überschussgrünlands erhöht werden. Die Anpflanzung von Silomais führt zu einer Erhöhung des Strompotenzials um 21 % (auf 672 GWh<sub>el</sub>/a) und des Wärmepotenzials um 8 % (Abb. 41). Noch höhere Energiepotenziale können durch Pappel-Kurzumtriebsplantagen erzielt werden. Wird der maximal umwandelbare Grünlandüberschuss mit Pappeln bepflanzt, kann dadurch der Gesamtenergieertrag um gut 50 % gesteigert werden. Dabei sind zwei Varianten zu unterscheiden: Bei der Verwertung der Pappel-Hackschnitzel in Feuerungsanlagen sinkt das Strompotenzial um 60 % auf 220 GWh<sub>el</sub>/a, gleichzeitig steigt jedoch das Wärmepotenzial um 90 % auf rund 3.100 GWh<sub>th</sub>/a an. Werden die Pappel-Hackschnitzel dagegen ausschließlich in Heizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt, steigt das Strompotenzial um 8 % auf 598 GWh<sub>el</sub>/a und das Wärmepotenzial um 75 % auf 2.800 GWh<sub>th</sub>. Ein erheblicher Anteil dieser Wärme besteht aus KWK-Wärme, die aber bei wärmegeführten Pappel-Heizkraftwerken wesentlich besser genutzt werden kann als bei stromgeführten Biogas-BHKW.

Zur Einordnung der in Abb. 41 dargestellten Energiepotenziale von Überschussgrünland bei unterschiedlichen Nutzungsstrategien sollen diese nachfolgend in Bezug gesetzt werden zum Biogaspotenzial und zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg.

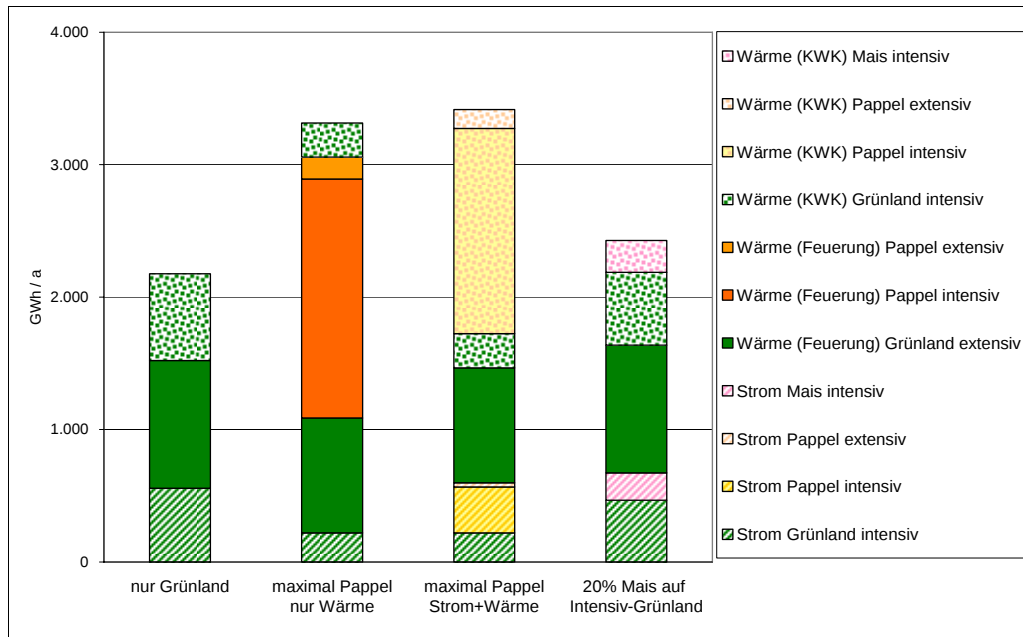


Abb. 41: Energiepotenziale aus dem Grünlandüberschuss bei unterschiedlichen Nutzungsstrategien

Bezieht man das Strompotenzial aus Grünlandüberschuss auf die Brutto-Stromerzeugung in Baden-Württemberg in 2005 (73.400 GWh<sub>el</sub>, UMBW 2006a), so könnten davon bei ausschließlicher Grünlandnutzung 0,75 % bzw. bei Grünlandnutzung und maximaler Umwandlung in Maisanbaufläche 0,9 % ersetzt werden. Werden diese Potenziale nicht auf die gesamte Stromerzeugung, sondern nur auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen bezogen, zeigt sich, dass der Beitrag des Grünlands relevant ist. In Tab. 25 ist die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen aus fester Biomasse und aus Biogas für die Jahre 2000 bis 2005 dargestellt. Von Bedeutung ist vor allem der Anstieg der Stromproduktion aus fester Biomasse und Biogas. Die Potenziale aus den Grünlandüberschussflächen machen circa 7 % des Ausbauzieles 2010 bzw. gut 25 % der Differenz zwischen der Erzeugung in 2005 und dem Ausbauziel für 2010 aus.

Interessant wäre ein Vergleich des Biogaspotenzials überschüssiger Grünlandflächen mit dem gesamten Biogaspotenzial Baden-Württembergs, das sich aus landwirtschaftlichen Ernterückständen, Exkrementen und Energiepflanzen sowie industriellen und kommunalen Reststoffen zusammensetzt. Dazu liegen jedoch keine detaillierten Daten vor, sondern lediglich eine einfache Abschätzung, die für alle Bundesländer durchgeführt wurde (Wuppertal Institut 2005). Dort wird für Baden-Württemberg ein Biogaspotenzial von 451 Mio. m<sup>3</sup> Methan pro Jahr angegeben. Dabei wird allerdings der Aufwuchs von überschüssigem Grünland zur Biogaserzeugung nicht berücksichtigt. Durch Nutzung des Biogaspotenzials aus Grünlandüberschuss (164 Mio. m<sup>3</sup> Methan pro Jahr) könnte das gesamte Biogaspotenzial um ein Drittel gesteigert werden.

Tab. 25: Vergleich der Strom-Energiepotenziale von Überschussgrünland mit der Brutto-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen

|                                          | Strom in GWh <sub>el</sub> /a |       |       |       |       |       |                 |
|------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
|                                          | 2000                          | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | Ausbauziel 2010 |
| erneuerbare Energien                     | 6.259                         | 5.570 | 5.985 | 4.868 | 5.771 | 6.216 | circa 8.400     |
| feste Biomasse                           | 93                            | 96    | 166   | 278   | 505   | 731   |                 |
| Biogas                                   | 37                            | 56    | 80    | 104   | 154   | 282   |                 |
| Potenzial der Grünland-Überschussflächen | 550 - 670                     |       |       |       |       |       |                 |

Quelle: UMBW (2006a)

Der Endenergieverbrauch für Wärme betrug in Baden-Württemberg im Jahr 2005 134.700 GWh<sub>th</sub> (UMBW 2006a). Bei ausschließlicher Energiegewinnung aus überschüssigem Grünland könnten davon 1,2 % ersetzt werden. Dieser Anteil könnte durch die maximale Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem, überschüssigem Grünland auf 2,3 % gesteigert werden. Die Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien (Tab. 26) zeigt eine starke Zunahme seit dem Jahr 2000. Die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträger konnte im Jahr 2005 deutlich gesteigert werden. Dies ist jedoch vor allem auf eine neue Erhebungsmethode bei Brennholz zurückzuführen. Da es kein Ausbauziel für die Wärmeerzeugung gibt, wird das Ausbauziel für Biomasse (circa 2,5 % des Primärenergieverbrauchs) über die dezentrale Nutzung von Biomasse einschließlich Holz (UMBW 2006a) auf die Wärmeerzeugung bezogen. Dieses Ziel von rund 11.100 GWh<sub>th</sub>/a wurde bereits im Jahr 2005 erreicht.

Tab. 26: Vergleich der Wärme-Energiepotenziale aus Überschussgrünland mit der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen

|                                              | Wärme in GWh <sub>th</sub> /a |       |       |       |       |        |                    |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------------|
|                                              | 2000                          | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005   | Ausbauziel<br>2010 |
| erneuerbare Energien                         | 3.932                         | 4.302 | 4.759 | 5.190 | 5.447 | 11.180 |                    |
| Biomasse (Brennholz)*                        | 2.200                         | 2.200 | 2.200 | 2.200 | 2.200 | 7.147  | circa 11.100       |
| Biomasse (Hack-<br>schnittzel und Pellets)   | 351                           | 432   | 566   | 704   | 1.046 | 1.388  |                    |
| Biogas/Deponiegas                            | 13                            | 31    | 50    | 54    | 46    | 49     |                    |
| Potenzial der Grünland-<br>Überschussflächen | 1.600 - 3.000                 |       |       |       |       |        |                    |

\*neue Erhebungsmethodik im Jahr 2005

Quelle: UMBW (2006a)

Die Potenziale der Grünlandüberschussflächen zur Wärmeerzeugung liegen bei ausschließlicher Grünlandnutzung bei rund 15 % des Ausbauziels für Wärme aus Biomasse. Findet ein maximal möglicher Pappelanbau auf umgebrochenen Grünlandflächen statt, so steigt der potenzielle Beitrag auf rund 28 % des Wärme-Ausbauziels für Biomasse an.

## 4 Bewertung im Kontext von Nachhaltigkeit

Die Verfahren zur Energiegewinnung aus Grünlandaufwuchs (Grassilage, Heu) bzw. umgebrochenem Grünland mit Energiepflanzenbau (Mais bzw. Pappel-Kurzumtriebsplantagen) sind, wie die Berechnungen in den vorhergehenden Kapiteln gezeigt haben, in bestimmten Fällen wirtschaftlich oder nicht weit davon entfernt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass Grünland zukünftig stärker als bisher als Lieferant eines „grünen“ Energieträgers genutzt wird. Aufgrund der gegenwärtigen Rahmenbedingungen (novelliertes EEG) ist der Einsatz von Mais- und Grassilage zur Stromerzeugung unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten das interessanteste Verfahren zur Energiegewinnung aus Grünland. Die deshalb zu erwartende Ausdehnung des Maisanbaus kann auch durch Umwandlung von Grünland erfolgen. Dagegen rechnet sich die Erzeugung von Heu als Brennstoff nur in Einzelfällen und ist aufgrund fehlender staatlicher Unterstützung direkt abhängig von der Entwicklung der Preise für fossile Energieträger. Sollte die Tendenz zu steigenden Energiepreisen anhalten, könnte die Heuverbrennung unter günstigen Voraussetzungen in absehbarer Zeit die Wirtschaftlichkeit erreichen.

Obwohl Biomasse im Großen und Ganzen ein gesellschaftlich gut akzeptierter Energieträger darstellt, kann die Erzeugung und Nutzung von Biomasse mit unerwünschten Auswirkungen für Mensch und Umwelt verbunden sein. Außerdem handelt es sich bei der Biomasse um einen begrenzt verfügbaren Energieträger, dessen Herstellung unter anderem mit der Inanspruchnahme von Fläche, Energie, Nährstoffen und Wasser verknüpft ist und Folgen für die Luftqualität, die Biodiversität und die Kulturlandschaft haben kann. Deshalb ist zur Beurteilung der Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland eine umfassende Betrachtungsweise erforderlich. Zur ganzheitlichen Bewertung der Nutzungsalternativen für das Grünland wird in diesem Forschungsprojekt nachfolgend das von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren entwickelte „Integrative Konzept nachhaltiger Entwicklung“ (Kopfmüller et al. 2001, Grunwald et al. 2001, Coenen/Grunwald 2003) angewendet, da es im Vergleich zu anderen Arbeiten zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit<sup>22</sup> die unterschiedlichen Bereiche der Nachhaltigkeit integrativ betrachtet.

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundzüge des Integrativen Nachhaltigkeitskonzeptes vorgestellt<sup>23</sup>. Dazu zählen die generellen Ziele nachhaltiger Entwicklung und die definierten Mindestbedingungen, die erfüllt sein müssen, um diese Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Anschließend wird das Nachhaltigkeitskonzept an den regionalen Rahmen und die Fragestellung des Projektes angepasst, d. h. der Katalog an zu erfüllenden Mindestbedingungen (so genannte Regeln) wird einem Screening unterzogen durch das die für die weitere Bearbeitung relevanten Regeln herausgearbeitet werden. Dann werden für die „betroffenen“ Nachhaltigkeitsregeln Indikatoren definiert, mit denen die Wirkung der Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland auf die Mindestanforderungen abgelesen werden kann. Darüber hinaus werden – sofern vorhanden – für die einzelnen Indikatoren

---

<sup>22</sup> Die im Bereich Landwirtschaft bislang durchgeführten Nachhaltigkeitsanalysen sind meist nur mit einem begrenzten Spektrum an Indikatoren durchgeführt worden, die vor allem aus dem ökologischen Bereich stammen (z. B. Roedenbeck 2004, Schäfer/Illge 2004, Gottschick/Feindt 2003, Meyer-Aurich et al. 2000, MAFF 2000).

<sup>23</sup> Grundlage der Ausführungen sind Jörissen et al. 2005 und Coenen/Grunwald 2003. Zur ausführlichen Darstellung des integrativen Ansatzes siehe Kopfmüller et al. 2001.

Prüfwerte ermittelt. Anhand der ausgewählten Indikatoren und Prüfwerte nachhaltiger Entwicklung werden die verschiedenen Verfahren der Energiegewinnung aus dem Grünland in den Kontext einer nachhaltigen Entwicklung eingeordnet.

#### 4.1 Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung

Nachhaltigkeit wird im Integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung – in Anlehnung an den Bericht der Brundtland-Kommission und die Rio-Dokumente als eine globale Vision für die Entwicklung der menschlichen Zivilisation verstanden. Das Konzept übersetzt die konstitutiven Elemente von Nachhaltigkeit in drei generelle Ziele nachhaltiger Entwicklung:

- Sicherung der menschlichen Existenz
- Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials
- Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten

Ausgehend von dem Postulat der intra- und intergenerativen Gerechtigkeit werden diese Ziele durch Mindestbedingungen einer nachhaltigen Entwicklung konkretisiert, auf deren Gewährleistung alle Mitglieder der globalen Gesellschaft – unter Einschluss kommender Generationen – einen moralischen Anspruch haben. Diese Mindestanforderungen, die als Handlungsleitlinien oder „Regeln“ formuliert sind, beinhalten sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Aspekte (Tab. 27). Sie bilden den normativen Bezugsrahmen, der als Lektorientierung für die Kontextualisierung von Nachhaltigkeitsbetrachtungen dient.

Tab. 27: Substanzielle Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung

| <i>Generelle Nachhaltigkeitsziele</i>                        |                                                                    |                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Sicherung der menschlichen Existenz                          | Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials               | Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten             |
| <i>Mindestanforderungen (Regeln)</i>                         |                                                                    |                                                                    |
| Schutz der menschlichen Gesundheit (1)                       | Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen (6)                    | Chancengleichheit im Hinblick auf Bildung, Beruf, Information (11) |
| Gewährleistung der Grundversorgung (2)                       | Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen (7)              | Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen (12)    |
| Selbstständige Existenzsicherung (3)                         | Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke (8)                       | Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt (13)  |
| Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten (4)      | Vermeidung unvermeidbarer technischer Risiken (9)                  | Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur (14)                  |
| Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede (5) | Nachhaltige Entwicklung des Sach-, Human- und Wissenskapitals (10) | Erhaltung der sozialen Ressourcen (15)                             |

Quelle: Kopfmüller et al. 2001, verändert

Zu den Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung gehören zum einen die 15 substanziellen Mindestanforderungen, die die drei Nachhaltigkeitsziele konkretisieren. Zum anderen gehören dazu Bedingungen, die definieren, unter welchen institutionellen Bedingungen eine Einhaltung der substanziellen Mindestbedingungen möglich ist (Kopfmüller et al. 2001, Coenen/Grunwald 2003). Diese werden hier nicht weiter ausgeführt, da sie aufgrund des regionalen Bezugs des Forschungsvorhabens keine Relevanz haben.

Nachfolgend werden die den drei generellen Nachhaltigkeitszielen zugeordneten Mindestbedingungen kurz erläutert.

### **Sicherung der menschlichen Existenz**

Eine Grundbedingung für die Sicherung der menschlichen Existenz ist, dass die Umweltbedingungen so sein müssen, dass sie zu keinen Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit führen. Das bedeutet, dass anthropogen bedingte Umweltbelastungen, durch die die menschliche Gesundheit gefährdet oder geschädigt werden kann, zu minimieren sind (Regel 1). Diese Forderung betrifft in erster Linie gesundheitsrelevante Einflüsse aus der Umwelt, wie beispielsweise gesundheitsrelevante Schadstoffemissionen, denen alle Teile der Bevölkerung mehr oder weniger stark ausgesetzt sind. Eine zweite Forderung betrifft die Befriedigung der materiellen Grundbedürfnisse, die als unverzichtbare Voraussetzung für eine menschenwürdige Existenz anzusehen ist. Für alle Mitglieder der Gesellschaft muss ein Mindestmaß an Grundversorgung (z. B. Ernährung, Energieversorgung, medizinische Grundversorgung) sowie die Absicherung gegen zentrale Lebensrisiken (z. B. Krankheit) gewährleistet sein (Regel 2).

Ein weiteres Ziel der Sicherung der menschlichen Existenz ist es, allen Gesellschaftsmitgliedern die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten dafür zu schaffen, ihre Existenz – einschließlich Kindererziehung und Altersversorgung – durch eine frei übernommene Tätigkeit zu sichern und ihr Leben in aktiver und produktiver Weise selbst gestalten zu können (Regel 3). Hier geht es darum, die Menschen in die Lage zu versetzen, sich selbst mit allem Nötigen versorgen zu können, statt durch Transferzahlungen oder andere externe Hilfeleistung nur versorgt zu sein. Die Ausfüllung dieser aktiven Rolle dient nicht nur der Erzielung von Einkommen, sondern gewährleistet u. a. Autonomie und Sinnerfüllung und bildet die Basis für die Anerkennung des Einzelnen als vollwertiges Mitglied der Gesellschaft (Kopfmüller et al. 2001).

Die Einlösung der Forderung nach selbstständiger Existenzsicherung setzt voraus, dass der Zugang zu den dafür notwendigen Ressourcen gesichert ist. Eine Mindestbedingung hierfür ist eine gerechte Verteilung der Nutzungsmöglichkeiten an den global zugänglichen Umweltgütern (z. B. Erdatmosphäre, Weltmeere, Wasser, biologische Vielfalt) unter fairer Beteiligung aller Betroffenen (Regel 4). Die Forderung nach Gewährleistung menschenwürdiger Lebensbedingungen und selbstständiger Existenzsicherung impliziert auch, dass extreme Unterschiede in der Einkommens- und Vermögensverteilung möglichst ausgeglichen werden sollen (Regel 5). Die Vermögensverteilung muss zumindest insofern gerecht sein, als extreme Armut, die eine aktive Teilnahme am gesellschaftlichen Leben unmöglich machen und zur sozialen Ausgrenzung führen würde, ausgeschlossen ist.

### **Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials**

Das in einer Generation insgesamt vorhandene Produktivpotenzial muss möglichst ungeschmälert an nachfolgende Generationen weitergegeben werden, wenn eine Entwicklung als nachhaltig eingestuft werden soll. Das Integrative Nachhaltigkeitskonzept geht dabei davon aus, dass Naturkapital in begrenztem Umfang durch künstliches Kapital (z. B. Sachkapital) substituiert werden kann, sofern die grundlegenden Funktionen der Natur erhalten

bleiben. Im Hinblick auf die erneuerbaren Ressourcen wird gefordert, dass deren Nutzungsrate ihre Regenerationsrate nicht übersteigen und die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des jeweiligen Ökosystems nicht gefährden darf (Regel 6). Da auf eine Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen jedoch nicht gänzlich verzichtet werden kann, muss ihr Verbrauch ausgeglichen werden. Das bedeutet, dass die Reichweite der nachgewiesenen nicht erneuerbaren Ressourcen über die Zeit konstant zu halten ist (Regel 7). Diese Mindestbedingung ist nur zu erfüllen, wenn entweder der Verbrauch solcher Ressourcen durch Verhaltensänderungen eingeschränkt oder die Ressourcenproduktivität erhöht wird, nicht erneuerbare Ressourcen durch erneuerbare substituiert oder Reserven erschlossen werden.

Um die für den Menschen unentbehrlichen Regelungs- und Trägerfunktionen der natürlichen Umwelt dauerhaft zu erhalten, wird gefordert, dass die anthropogenen Stoffeinträge die Aufnahmefähigkeit der Umweltmedien und Ökosysteme nicht überschreiten dürfen (Regel 8). Darüber hinaus wird gefordert, dass technische Risiken mit möglicherweise katastrophalen Auswirkungen für Mensch und Umwelt zu vermeiden sind (Regel 9), weil ansonsten das gesellschaftliche Produktivkapital gefährdet würde – ganz abgesehen von den Folgen für Gesundheit und Umwelt.

Das gesellschaftliche Produktivkapital besteht über das natürliche Kapital hinaus auch aus sozialem, ökonomischem und kulturellem Kapital. Dieses Sach-, Human- und Wissenskapital ist so zu entwickeln, dass die wirtschaftliche und gesellschaftliche Leistungsfähigkeit verbessert werden oder zumindest erhalten bleiben (Regel 10). Vor allem bezüglich des Sachkapitals schließt der hier verwendete Begriff der Entwicklung nicht nur die Möglichkeit von Erhaltung oder Anpassung im Sinne von Aufbau oder Umbau ein, sondern ggf. auch den Abbau.

### **Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten**

Dem Integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung zufolge gehören neben den materiellen Lebensgrundlagen auch immaterielle Aspekte, wie Integration in kulturelle und soziale Zusammenhänge oder ästhetische Erfahrungen, zu den Mindestbedingungen nachhaltiger Entwicklung. Bezogen auf den einzelnen Menschen bedeutet dies, dass die individuellen Entfaltungsmöglichkeiten heute und in Zukunft gesichert sein müssen. Eine Mindestbedingung dafür ist, dass alle Mitglieder einer Gesellschaft gleichwertige Chancen in Bezug auf den Zugang zu Bildung, Information, Kultur, beruflicher Tätigkeit, Ämtern und sozialen, politischen und ökonomischen Positionen haben müssen (Regel 11). Der freie Zugang zu diesen Gütern wird als Voraussetzung dafür betrachtet, dass alle Mitglieder der Gesellschaft die gleichen Möglichkeiten haben, ihre eigenen Talente und Lebenspläne zu realisieren.

Eine weitere Mindestbedingung nachhaltiger Entwicklung ist die Möglichkeit für alle Mitglieder einer Gesellschaft zur Partizipation an gesellschaftlich relevanten Entscheidungsprozessen (Regel 12). Hinter dieser Regel steht die Annahme, dass sich eine Gesellschaft nur dann in der gewünschten Weise entwickeln wird, wenn sie ihren Mitgliedern die Chance zur Teilhabe an der gesellschaftlichen Willensbildung einräumt. Die Regel zielt auf die Erhaltung, Erweiterung und Verbesserung demokratischer Formen der Entscheidungsfindung und Konfliktregulierung, insbesondere im Hinblick auf solche Entscheidungen, die für die künftige Entwicklung und Gestaltung der Gesellschaft von zentraler Bedeutung sind.

Weiterhin dürfen in kultureller Hinsicht die heute bestehenden Wahlmöglichkeiten nicht vermindert werden. Eine Mindestbedingung dafür ist, dass das kulturelle Erbe der Menschheit sowie die Vielfalt kultureller, ästhetischer und sozialer Werte erhalten bleiben (Regel 13). Diese Forderung schließt den Schutz der Natur – über ihre wirtschaftliche Funktion als Rohstofflieferant und Senke für Schadstoffe hinaus – mit ein. Das bedeutet, dass Kultur- und Naturlandschaften bzw. Landschaftsteile von besonders charakteristischer Eigenart und Schönheit wegen ihrer kulturellen Bedeutung als Gegenstand kontemplativer, spiritueller, religiöser und ästhetischer Erfahrung zu erhalten sind (Regel 14).

Im Interesse einer langfristig nachhaltigen Entwicklung einer Gesellschaft ist es schlussendlich auch notwendig, dass für die Integration, Sozialisation und Motivation ihrer Mitglieder Sorge getragen wird. Eine Mindestvoraussetzung dafür wird in der Erhaltung der „sozialen Ressourcen“ gesehen. Dies bedeutet, dass Rechts- und Gerechtigkeitssinn, Toleranz, Solidarität und Gemeinwohlorientierung sowie Potenziale der gewaltfreien Konfliktregelung gestärkt werden müssen, um den sozialen Zusammenhalt der Gesellschaft zu gewährleisten (Regel 15).

## 4.2 Nachhaltigkeitsindikatoren

Die Anwendung der vorgestellten 15 konstitutiven Regeln des Integrativen Konzeptes nachhaltiger Entwicklung auf die Themenstellung des Projekts zeigt, dass einige Regeln in dem Projektkontext keine wesentliche Rolle spielen. Ausschlaggebend für den Ausschluss war bei bestimmten Regeln, dass die „Energiegewinnung aus dem Grünland“ keine oder nur unwesentliche Berührungspunkte mit der jeweiligen Nachhaltigkeitsregel aufweisen. Relevante Auswirkungen der Projektfragestellung sind bei diesen sieben Nachhaltigkeitsregeln zu erwarten:

- Schutz der menschlichen Gesundheit (Regel 1)
- Selbstständige Existenzsicherung (Regel 3)
- Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten (Regel 4)
- Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Regel 6)
- Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen (Regel 7)
- Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke (Regel 8)
- Erhalt der kulturellen Funktion der Natur (Regel 14)

Mit diesen – für eine weitere Bearbeitung ausgewählten Mindestanforderungen werden alle drei Nachhaltigkeitsziele angesprochen. Es wird allerdings deutlich, dass die Sicherung der menschlichen Existenz und die Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials den Schwerpunkt bilden. Auswirkungen auf das Ziel der Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten sind dagegen selten und betreffen nur die Mindestanforderung an den Erhalt der kulturellen Funktionen der Natur.

Die sieben Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung werden durch Indikatoren operationalisiert (Tab. 28). Für die Auswahl der Indikatoren ist das Hauptkriterium die Validität, d. h. der Indikator muss die Auswirkungen der „Energieerzeugung aus dem Grünland“ sachgerecht widerspiegeln.

Tab. 28: Ausgewählte Indikatoren zur Operationalisierung der Mindestanforderungen nachhaltiger Entwicklung

| <i>Mindestbedingungen nachhaltiger Entwicklung</i>  | <i>Nachhaltigkeitsindikatoren</i>                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten | Substitution nicht erneuerbarer Energieträger<br>Klimarelevante Emissionen                                                                                  |
| Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen   | Substitution nicht erneuerbarer Energieträger (s.o.)<br>Flächenspezifischer Primärenergieertrag<br>Flächenspezifische Vermeidung klimarelevanter Emissionen |
| Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke            | Klimarelevante Emissionen (s.o.)<br>CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten<br>Eutrophierend wirkende Emissionen<br>Versauernd wirkende Emissionen               |
| Schutz der menschlichen Gesundheit                  | Feinstaubemissionen<br>NO <sub>x</sub> -Emissionen<br>CO-Emissionen<br>Sommersmog<br>Pilzsporen                                                             |
| Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen         | Biodiversität<br>Boden<br>Grund- und Oberflächengewässer                                                                                                    |
| Erhalt der kulturellen Funktion der Natur           | Landschaftsbild                                                                                                                                             |
| Selbstständige Existenzsicherung                    | Beschäftigung<br>Entlohnung                                                                                                                                 |

Als weitere Kriterien wurden die Reliabilität<sup>24</sup> und die Objektivität des Indikators sowie die Datenverfügbarkeit herangezogen. Außerdem muss eine Richtungssicherheit vorhanden sein. Dies bedeutet, dass aus Nachhaltigkeitssicht eindeutig erkennbar sein muss, ob ein Ansteigen des Indikatorwertes positiv oder negativ zu bewerten ist. Bei der Ermittlung der Prüfwerte für die Indikatoren werden möglichst verbindliche Zielwerte verwendet. Wo dies nicht möglich ist, dient die Richtung der zeitlichen Entwicklung als Orientierung für die Nachhaltigkeitsbewertung. Weitere Informationen zu den ausgewählten Indikatoren und den hierfür ggf. verfügbaren Prüfwerten sind den jeweiligen Kapiteln zu entnehmen.

### 4.3 Ergebnisse der Auswirkungsanalysen

Die Auswirkungen der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland wurden für elf der in Tab. 28 aufgeführten 18 Indikatoren nachhaltiger Entwicklung anhand ökobilanzieller Abschätzungen ermittelt. Hierbei handelt es sich um die Indikatoren zur Konkretisierung der nachhaltigen Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen, der Umwelt als Senke und des Schutzes der menschlichen Gesundheit (Ausnahme: Pilzsporen).

Zur Bilanzierung der für die untersuchten Verfahren relevanten Stoff- und Energieflüsse wurde das vom Institut für angewandte Ökologie e.V. entwickelte Lebenszyklusanalyseprogramm GEMIS 4.3 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) – im Weiteren nur als GEMIS ohne Versionsangabe bezeichnet – verwendet. Näheres hierzu ist bei Skarka (2007) dokumentiert. Die in den nachfolgenden Ergebnisdarstellungen untersuchten

<sup>24</sup> Die Reliabilität (Zuverlässigkeit) bezeichnet die formale Genauigkeit.

Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland und ihre Abkürzungen sind in Tab. 29 dargestellt.

Tab. 29: Ökobilanziell abgeschätzte Prozessketten und ihre Abkürzungen

| Kürzel                        | Erläuterung                                                                                                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gras NF 100 kW                | Verstromung von Biogas aus der Nassfermentation von Grassilage in einem 100 kW <sub>el</sub> -BHKW                            |
| Mais NF 100 kW                | Verstromung von Biogas aus der Nassfermentation von Maissilage in einem 100 kW <sub>el</sub> -BHKW                            |
| Heu-Mais TF 100 kW            | Verstromung von Biogas aus der Trockenfermentation von Maissilage und Heu in einem 100 kW <sub>el</sub> -BHKW                 |
| Heu TF 100 kW                 | Für Heu allozierte Ergebnisse aus der Trockenfermentation von Heu und Maissilage in einem 100 kW <sub>el</sub> -BHKW          |
| Mais TF 100 kW                | Für Maissilage allozierte Ergebnisse aus der Trockenfermentation von Heu und Maissilage in einem 100 kW <sub>el</sub> -BHKW   |
| Heu HD, REKA                  | Wärme aus der Verbrennung von Heu-Hochdruckballen in einem Kessel der Firma REKA                                              |
| Heu RB, Herlt                 | Wärme aus der Verbrennung von Heu-Rundballen in einem Kessel der Firma Herlt                                                  |
| Heupellets, Agroflam          | Wärme aus der Verbrennung von Heupellets in einem Kessel der Firma Agroflam                                                   |
| Pappel-HS ext.                | Wärme aus der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln von ehemals extensiven Grünlandflächen in einem durchschnittlichen Kessel |
| Pappel-HS int.                | Wärme aus der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln von ehemals intensiven Grünlandflächen in einem durchschnittlichen Kessel |
| Pappel-HS, int., emissionsarm | Wärme aus der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln von ehemals intensiven Grünlandflächen in einem emissionsarmen Kessel     |

Für die Bewertung der Verfahren werden diese in Relation zu der Situation gestellt, die eintreten würde, wenn für die überschüssigen Flächen keine energetische oder anderweitige Nutzung gefunden würde. In diesem Fall würden die meisten Flächen einmal im Jahr gemulcht, d. h. der Grünlandaufwuchs wird geschnitten und verbleibt auf der Fläche. Für die energetische und emissionsseitige Bewertung wird davon ausgegangen, dass die Energie, die durch die energetische Nutzung des Grünlandaufwuchses ersetzt wird, ansonsten aus fossilen Energieträgern zur Verfügung gestellt würde. Bei einer Reihe von Indikatoren unterscheiden sich die Ergebnisse der Auswirkungsanalysen wenn diese zum einen auf die erzeugte Energieeinheit und zum anderen auf die Fläche bezogen werden. Dieser Effekt resultiert daraus, dass der Verzicht auf Mineraldünger (z. B. bei Grassilage) bei der produktspezifischen Betrachtung positiv zu Buche schlägt. Auf die Fläche bezogen kann dieser Effekt jedoch das Gegenteil bewirken, da die Düngung zu höheren Erträgen führt. Aus diesem Grund werden die Resultate nachfolgend sowohl energie- als auch flächenbezogen dargestellt.

#### 4.3.1 Substitution nicht erneuerbarer Energieträger

Unter den nicht erneuerbaren Ressourcen nehmen die nicht erneuerbaren Energierohstoffe – bestehend aus fossilen Energieträgern (Erdöl, Kohle, Erdgas) und Uran – eine zentrale Rolle ein, da moderne Gesellschaften auf eine hohe Verfügbarkeit von Energie angewiesen sind. Die Reichweiten der Vorkommen an nicht erneuerbaren Energierohstoffen sind je nach Rohstoff unterschiedlich und in der Fachwelt umstritten. Entscheidend für die Reichweitenbestimmung ist, ob nur die Reserven<sup>25</sup> oder auch die Ressourcen<sup>26</sup> in die Betrachtung einbezogen werden. Danach ergeben sich Reichweiten, die beim Mineralöl zwischen 43 und 157 Jahren und bei der Kohle zwischen 203 und 1.345 Jahren liegen (Tab. 30).

Tab. 30: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch und Energieträgerreichweiten

|             | PEV: Welt (1998) |       | PEV: Deutschland (2003) |       | Statische Reichweiten <sup>27</sup> (Jahre) |            |
|-------------|------------------|-------|-------------------------|-------|---------------------------------------------|------------|
|             | EJ               | %     | EJ                      | %     | Reserven                                    | Ressourcen |
| Mineralöl   | 149              | 34,9  | 5,214                   | 36,4  | 43                                          | 157*       |
| Erdgas      | 91               | 21,2  | 3,224                   | 22,5  | 64                                          | 756*       |
| Kohle       | 101              | 23,5  | 3,602                   | 25,1  | 203                                         | 1.345      |
| Uran        | 29               | 6,8   | 1,802                   | 12,6  | 42                                          | 527        |
| Regenerativ | 58               | 13,6  | 0,430                   | 3,0   | unbegrenzt                                  |            |
| Gesamt      | 428              | 100,0 | 14,334                  | 100,0 | –                                           | –          |

PEV = Primärenergieverbrauch, EJ = Exa-Joule, \*einschließlich nicht konventioneller Ressourcen

Quelle: Wittke/Ziesing 2004, BMWA 2003, IEA 2004, BGR 2003

Um in Anbetracht der in Tab. 30 dargestellten Reichweiten die Versorgung zukünftiger Generationen mit nicht erneuerbaren Energierohstoffen nicht zu gefährden, sind eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs und eine Erhöhung des Anteils an regenerativ erzeugter Energie erforderlich.

Als Indikator für den Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger durch die Erzeugung von Energie aus dem Grünland wird der produktspezifische Primärenergieverbrauch für die Bereitstellung einer Energieeinheit als kumulierter Energieverbrauch (KEV) ermittelt. Dabei wird – im Gegensatz zum kumulierten Energieaufwand (KEA) – die stoffliche Nutzung von Energieträgern nicht berücksichtigt. Die Hauptprozesskette umfasst Anbau, Lagerung,

<sup>25</sup> Unter Reserven sind diejenigen Mengen noch nicht geförderter Rohstoffe zu verstehen, die in den Lagerstätten mit großer Genauigkeit erfasst sind und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden können (BGR 2003).

<sup>26</sup> Als Ressourcen werden hingegen Vorkommen bezeichnet, die zwar nachgewiesen sind, bei denen aber die Ausbeutung aus heutiger Sicht entweder technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht lohnend erscheint. Ferner gehören dazu Vorkommen, die auf der Basis von geologischen Indikatoren noch erwartet werden und durch Exploration nachgewiesen werden können. Zwischen beiden Begriffen bestehen fließende Übergänge, da die Klassifikation von wirtschaftlichen Faktoren (derzeitige Preise und zu erwartende Verkaufserlöse), von technischen Entwicklungen (Fortschritte in der Explorations- und Fördertechnik) sowie von politisch-ökonomischen Bedingungen beeinflusst wird. Reserven und Ressourcen zusammengekommen bilden die Gesamtressourcen.

<sup>27</sup> Die statische Reichweite gibt das Verhältnis aus derzeitigen Reserven (bzw. Ressourcen) und der letzten Jahresförderung an, während die dynamische Reichweite auch die zukünftige Entwicklung der Förderung und der Reserven berücksichtigt (BGR 1999).

etwaige Stoffumwandlung, Transport und energetische Nutzung der Biomasse. Eingangsgrößen sind dabei die direkt eingesetzten Betriebsstoffe (Dünger, Pflanzenschutzmittel) und indirekt benötigte Betriebsstoffe für die Bereitstellung von Hilfsenergie (Diesel, Elektrizität). Vor dem Hintergrund begrenzter verfügbarer Fläche für die Erzeugung von Bioenergieträgern wird zusätzlich die Flächeneffizienz der Primärenergieerzeugung betrachtet.

### Produktspezifische Primärenergieerzeugung

Für die Bereitstellung und den Transport von Biomasse zur Energieerzeugungsanlage ist durch den Einsatz von Maschinen und Verkehrsmitteln Energie erforderlich, die meist aus fossilen Quellen gedeckt wird. Wie die Ergebnisse zeigen (Abb. 42), beanspruchen die untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus Grünlandaufwuchs im Vergleich zum jeweiligen Referenzverfahren nur einen geringen Anteil an nicht erneuerbaren Energieträgern. Bei den Verfahren zur Stromerzeugung liegt der Energiebedarf zwischen -1 und 8 % im Vergleich zur Referenzsituation (deutscher Strom-Mix). Besonders gering bzw. in diesem Fall sogar negativ ist der Energiebedarf bei der Trockenfermentation (-1 %), vor allem bedingt durch Düngergutschriften. Diese ergeben sich aus der Annahme, dass das Grünland zur Erzeugung von Extensivheu nicht gedüngt wird und der bei der Trockenfermentation anfallende Gärrückstand als Dünger zur Verfügung steht. Bei den Biogasverfahren ist die Nassfermentation von Maissilage mit einem um etwa 20 % höheren Energieverbrauch verknüpft als die Fermentation von Grassilage. Dies ist hauptsächlich auf die Maisdüngung mit mineralischem Stickstoff zurückzuführen.

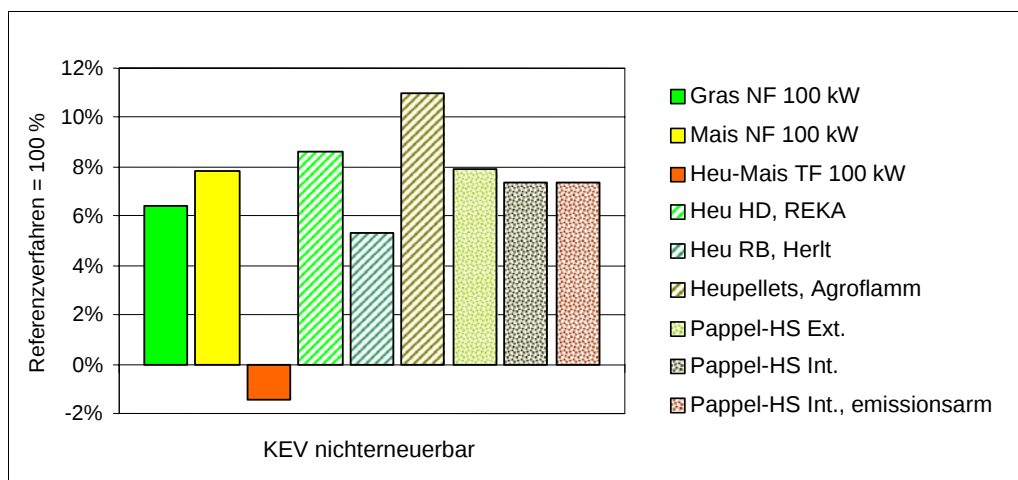


Abb. 42: Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Unter den Verfahren zur Wärmeerzeugung aus Heu ist die Verwendung von Heu-Rundballen in Anlagen der Firma Herlt (Ganzballenvergaser) mit 5 % am energiesparendsten. Aufgrund des energieintensiven Pelletiervorgangs weist die Verwendung von Heupellets mit 11 % den höchsten Energieverbrauch auf. Die Erzeugung von Pappel-Hackschnitzeln liegt mit circa 7 % beim Energieverbrauch höher als die Heu-Rundballen-Linie, aber deutlich unter dem Energiebedarf der HD-Heuballen und der Heupellets.

### Flächenspezifische Primärenergieerzeugung

Vor dem Hintergrund begrenzt verfügbarer Flächen zur Erzeugung von Bioenergie ist in Abb. 43 die Flächeneffizienz der untersuchten Verfahren dargestellt. Die Umwandlung von intensiv genutztem Grünland in Pappel-Kurzumtriebsplantagen und deren Nutzung zur Wärmebereitstellung ist aufgrund des hohen Biomasseertrags mit den höchsten Einsparungen an nicht erneuerbarer Energie verbunden. Damit können rund 45 MWh pro Hektar eingespart werden. Durch Umwandlung von Grünland in Maisanbau und den Einsatz von Mais-silage als Biogassubstrat können mit rund 36 MWh pro Hektar ebenfalls hohe flächenspezifische Energiemengen erzeugt werden. Deutlich geringer sind die Werte bei der Verwendung intensiv genutzter Grünlandflächen zur Erzeugung von Grassilage. Die flächenspezifische Ausbeute liegt hier bei rund 20 MWh pro Hektar oder 54 % des Energieertrags von Mais bzw. 44 % des Energieertrags von Kurzumtriebspappeln.

Auf extensiv genutzten Grünlandstandorten reichen die erzielbaren Netto-Primärenergieeinsparungen von rund 8 MWh pro Hektar durch die Trockenfermentation von Heu bis zu rund 17 MWh pro Hektar bei der Erzeugung und thermischen Nutzung von Heupellets oder Heu-Rundballen. Der trotz des höheren Prozessenergiebedarfs hohe Energieertrag von Heupellets hängt größtenteils mit dem höheren Kesselwirkungs- und Nutzungsgrad zusammen, teilweise jedoch auch mit einem höheren Heizwert durch die Heutrocknung bei der Pelletierung. Der um etwa 10 % geringere Netto-Energieertrag durch das HD-Heuballen-Verfahren ist eine Folge des höheren Energiebedarfs der Anlage (z. B. zur Ballenauflösung und Heubeförderung vom Ballenauflöser zum Kessel). Die höchste Energieeinsparung auf extensiven Grünlandstandorten lässt sich durch die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen erzielen.

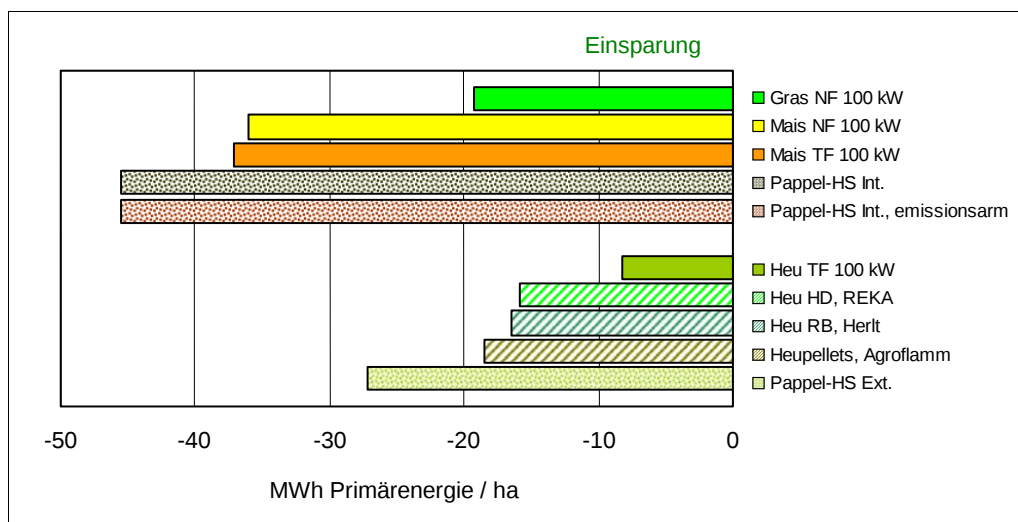


Abb. 43: Flächenspezifische Energieeinsparung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Trotz geringerer Biomasseerträge durch die thermische Nutzung von Heu extensiver Flächen bewegen sich die Energieausbeuten in der gleichen Größenordnung wie die der Grassilage-nutzung, obwohl der Biomasseertrag hier standortbedingt deutlich höher ist. Dies ist eine Folge der vollständigen Energieumsetzung bei der Verbrennung im Gegensatz zur unvollständigen Kohlenstoffkonversion im Biogasreaktor. Des Weiteren wird der extensive Stand-

ort nicht gedüngt, so dass hier keine energetischen Aufwendungen für die Düngerherstellung und -applikation anfallen.

#### 4.3.2 Freisetzung klimarelevanter Gase

Die Forderung nach einer nachhaltigen Nutzung der Umwelt als Senke bezieht sich auf den Erhalt der für den Menschen unentbehrlichen Regulations- und Trägerfunktionen der Natur. Dabei beinhaltet die Regulationsfunktion die Fähigkeit der Umwelt, die essenziellen stofflichen, energetischen und biochemischen Prozesse des Naturhaushalts aufrechtzuerhalten sowie die Folgen anthropogener Eingriffe auszugleichen. Die Nutzung der Umwelt als Senke darf deren Assimilationskapazität für anthropogene Stoffeinträge nicht überschreiten.

Im Falle der zusätzlichen Freisetzung klimarelevanter Gase, insbesondere von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch die Verbrennung fossiler Energierohstoffe, scheinen die Grenzen der Puffer- und Aufnahmefähigkeit der Umwelt bereits erreicht zu sein mit der Folge, dass ein anthropogen verstärkter Klimawandel stattfindet – mit stellenweise dramatischen Auswirkungen (IPCC 2007, IPCC 2001, WBGU 2003, EEA 2004). Die Auswirkungen des Klimawandels, wie etwa die gestiegene globale mittlere Temperatur, die veränderten globalen Niederschlagsverteilungen und das Abschmelzen von Gletschern sowie die Folgeeffekte hiervon, werden von der weit überwiegenden Mehrheit der Experten als eines der zentralen globalen Nachhaltigkeitsprobleme eingestuft.

In Deutschland wurden im Jahr 2003 rund 842 Mio. t CO<sub>2</sub> emittiert. Diese machen fast 88 % der anthropogen bedingten zusätzlichen Treibhausgasemissionen aus (Statistisches Bundesamt 2003). Gemäß Kyoto-Protokoll hat sich Deutschland im Rahmen des „EU Burden Sharing“<sup>28</sup> dazu verpflichtet, die Emissionen des so genannten „Kyoto-Korbs“ (bestehend aus CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>) im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 um 21 % bezogen auf das Basisjahr 1990<sup>29</sup> zu verringern (UBA 2004, Coenen/Sardemann 1998). Andere, vor allem längerfristige Ziele sind in der Diskussion. So erachtet die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ (2002) für 2020 eine Reduzierung um 40 % und für 2050 um 80 % gegenüber 1990 als notwendig. Obwohl die CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in Deutschland in den letzten 13 Jahren um fast 17 % reduziert werden konnten, ist die Erreichung des Kyoto-Ziels in Gefahr, da die Abnahmeraten der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den letzten Jahren nur noch sehr gering waren.

Baden-Württemberg strebt an, die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf unter 70 Mio. t im Jahr 2005 (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 2000) und im Rahmen der Umsetzung des EU Burden Sharing bis 2010 weiter auf 65 Mio. t CO<sub>2</sub> zu reduzieren. Da der CO<sub>2</sub>-Ausstoß 2003 noch bei 77,6 Mio. t gelegen hat (Statistisches Lan-

---

<sup>28</sup> Im „EU Burden Sharing“ ist festgelegt, wie die von der EU im Rahmen des Kyoto-Protokoll-Prozesses insgesamt zugesagte 8 %-Einsparung an Treibhausgasemissionen auf die einzelnen EU-Länder verteilt wird. Danach müssen einige Länder ihre Treibhausgasemissionen deutlich reduzieren, während anderen Ländern noch Erhöhungen ihrer Treibhausgasemissionen, u. a. wegen wirtschaftlichen Nachholbedarfs, zugestanden werden.

<sup>29</sup> Eigentlich handelt es sich um ein gemischtes Basisjahr 1990/1995, da im Kyoto-Protokoll das Basisjahr für die CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen 1990 und für die Emissionen von HFC, PFC und SF<sub>6</sub>, die allerdings ein geringes Gewicht haben, 1995 ist.

desamt 2005b), ist davon auszugehen, dass der Zielwert für 2005 verfehlt wurde und die Erreichung des Wertes für 2010 nicht leicht sein wird. Erschwerend kommt hinzu, dass der beschlossene (aber nach wie vor umstrittene) Ausstieg aus der Kernenergie Baden-Württemberg, wegen seines hohen Kernenergieanteils an der Energieversorgung, vor besondere Aufgaben stellt.

Zur Bestimmung des Potenzials der untersuchten Verfahren zur Verringerung klimarelevanter Gase<sup>30</sup> aus der Energieerzeugung (zusammengefasst in CO<sub>2</sub>-Äquivalente) werden die Klimagasemissionen der betrachteten Verfahren den Emissionen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von Verfahren zur Strom- und Wärmeproduktion aus nicht erneuerbaren Energiequellen gegenübergestellt. Dabei werden die Stromgewinnung aus Biogas mit dem deutschen Strom-Mix und die Wärmebereitstellung über Biogas-BHKW mit dem deutschen Wärme-Mix verglichen. Für die Wärmeerzeugung aus Heu oder Pappel-Hackschnitzeln in Kleinfeuerungsanlagen wird eine in der Leistung vergleichbare Ölheizung als Referenz verwendet.

Die Ergebnisse in Tab. 31 zeigen, dass sowohl durch die Strom- als auch Wärmeerzeugung aus Grünlandaufwuchs erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro erzeugte Energieeinheit eingespart werden können. Dabei handelt es sich um Netto-Werte, bei denen die entlang der untersuchten Prozessketten emittierten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Verbrauch von (in der Regel fossiler) Energie, insbesondere für die eingesetzten Treibstoffe, Dünger und Baustoffe, bereits berücksichtigt sind.

Die CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale bei der Stromerzeugung über die Biogasanlage (Nassfermentation) sind deutlich höher als bei der Wärmeerzeugung und zwar im Durchschnitt um 64 % bei der reinen Stromerzeugung und um 115 % bei der Stromerzeugung mit Wärmenutzung. Dies ist eine Folge der Substitution eines Verfahrens mit deutlich höheren Emissionen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Vergleich zwischen den einzelnen Verfahren weist die ausschließliche Stromerzeugung über die Trockenfermentation die geringsten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale auf. Dies ist auf die relativ hohen Methanemissionen im Konversionsprozess zurückzuführen. Das höchste CO<sub>2</sub>-Minderungspotential besitzt die Nassfermentation von Grassilage.

Bei den Verfahren der Heuverbrennung zur Wärmegewinnung korreliert die Höhe des Ausstoßes klimarelevanter Emissionen mit dem Bedarf an Prozessenergie. Die Heu-HD-Ballenverbrennung erzielt die höchsten Einsparungen an klimarelevanten Gasen – es entstehen nur rund 5 % der Treibhausgase, die die Ölheizung emittiert. Die Heupellettfeuerung hat dagegen den geringsten Einspareffekt (rund 11 %). Das Einsparpotenzial liegt damit zwischen 89 und 95 %.

<sup>30</sup> Der Treibhauseffekt wird über die gängigen Äquivalenzfaktoren nach IPCC (2001) mit einem Zeitbezug von 100 Jahren berechnet. Dabei werden die in Klammern dargestellten Gewichtungsfaktoren verwendet: CO<sub>2</sub> (1), CH<sub>4</sub> (23), N<sub>2</sub>O (296), CF<sub>4</sub> (5.700), C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> (11.900). In der Prozesskette entstehen als relevante Stoffe für diese Kategorie nur CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. In den Vorketten entstehen in sehr geringen Mengen Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW).

Tab. 31: Energie- und flächenspezifische Verringerung der Freisetzung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

|                                        |                      |                             |        | CO <sub>2</sub> -Äquivalente |           |            |       |            |
|----------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------|------------------------------|-----------|------------|-------|------------|
|                                        |                      |                             |        | Emissionen                   | Minderung |            |       |            |
|                                        |                      |                             |        | kg/MWh                       | kg/MWh    |            | kg/ha |            |
|                                        |                      |                             |        |                              | Strom     | mit Wärme* | Strom | mit Wärme* |
| Strom-Mix nicht erneuerbar Deutschland |                      |                             |        | 714                          | -         | -          | -     | -          |
| Wärme-Mix nicht erneuerbar Deutschland |                      |                             |        | 325                          | -         | -          | -     | -          |
| Strom/Wärme aus Biogas                 | Nass-fermentation    | Gras                        | 100 kW | 136                          | 600       | 769        | 4.125 | 5.562      |
|                                        |                      | Mais                        | 100 kW | 178                          | 558       | 727        | 7.211 | 9.853      |
|                                        |                      | Gülle, Mais, Gras           | 100 kW | 152                          | 562       | 731        | -     | -          |
|                                        |                      |                             | 250 kW | 164                          | 550       | 741        | -     | -          |
|                                        |                      |                             | 500 kW | 160                          | 554       | 745        | -     | -          |
|                                        | Trocken-fermentation | Heu                         | 500 kW | 408                          | 306       | 497        | 1.441 | 1.948      |
|                                        |                      | Mais                        |        |                              |           |            | 3.048 | 5.720      |
| Verbrennung                            | Ölheizung            |                             | 40 kW  | 375                          | -         | -          | -     | -          |
|                                        | REKA                 | Heu HD-Ballen               | 30 kW  | 31                           | -         | 344        | -     | 4.407      |
|                                        | Herlt                | Heu Rundballen              | 89 kW  | 20                           | -         | 355        | -     | 4.541      |
|                                        | Agro-flamm           | Heupellets                  | 40 kW  | 40                           | -         | 335        | -     | 5.125      |
|                                        |                      | Pappel-HS, hoher Ertrag     | 40 kW  | 26                           | -         | 349        | -     | 12.486     |
|                                        |                      | Pappel-HS, niedriger Ertrag | 40 kW  | 28                           | -         | 347        | -     | 7.496      |

\*50 % der verfügbaren Wärme werden genutzt

### Flächenspezifische Vermeidung von Klimagasemissionen

Vor dem Hintergrund begrenzt verfügbarer landwirtschaftlicher Nutzfläche ist die flächenbezogene Einsparung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten eine relevante Kenngröße. Infolge der pflanzenspezifischen Ertragsunterschiede erbringt – im Gegensatz zum Produktvergleich – die Stromerzeugung aus Maissilage von ehemals intensiv genutzten Grünlandflächen die höchsten Minderungsleistungen. Bei der Wärmeerzeugung stellt sich die thermische Nutzung von Pappel-Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen flächenbezogen am besten dar (Abb. 44).

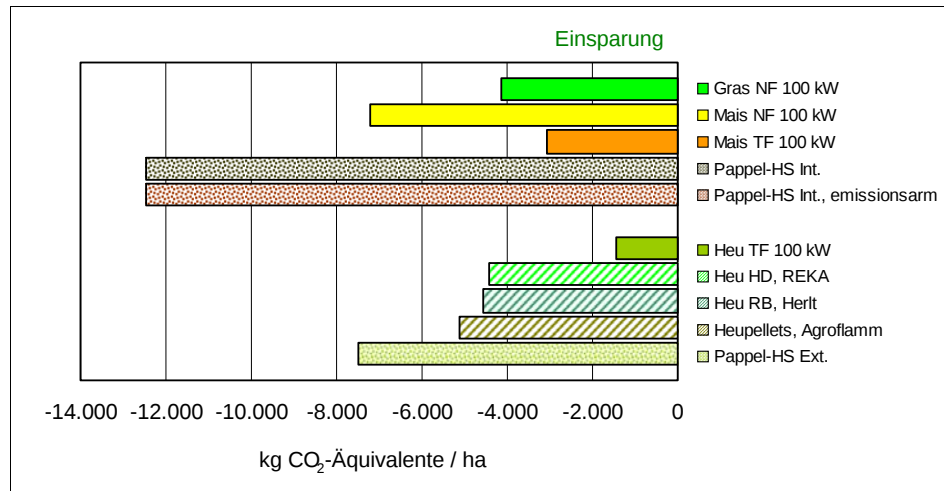


Abb. 44: Flächenspezifische Minderung der Freisetzung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

In Abb. 45 werden die untersuchten Verfahren zur Verstromung von Grünlandaufwuchs über die Biogasanlage mit der Strom-/Wärmeerzeugung über ein Erdgas-BHKW verglichen. Referenz ist in allen Fällen die Freisetzung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus der deutschen Stromproduktion. Dabei werden drei Wärmevarianten unterschieden: keine Wärmenutzung, Nutzung der im Winterhalbjahr verfügbaren Wärme und gesamte Wärmenutzung. Alle in Abb. 45 dargestellten Verfahren zur Verstromung von Grünlandaufwuchs zeigen ein erhebliches Potenzial zur Verringerung der Freisetzung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, das durch Nutzung der verfügbaren Wärme deutlich gesteigert werden kann. Findet keine Wärmenutzung statt – was gegenwärtig meist Praxis ist – so erreicht das Erdgas-BHKW, das in der Regel wärmegeführt gefahren wird, eine Einsparung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, die im Vergleich zur Nassfermentation auf ähnlichem Niveau liegt. Gegenüber der Trockenfermentation ohne Wärmenutzung ist das Einsparpotential wärmegeführter Erdgas-BHKW sogar signifikant größer.

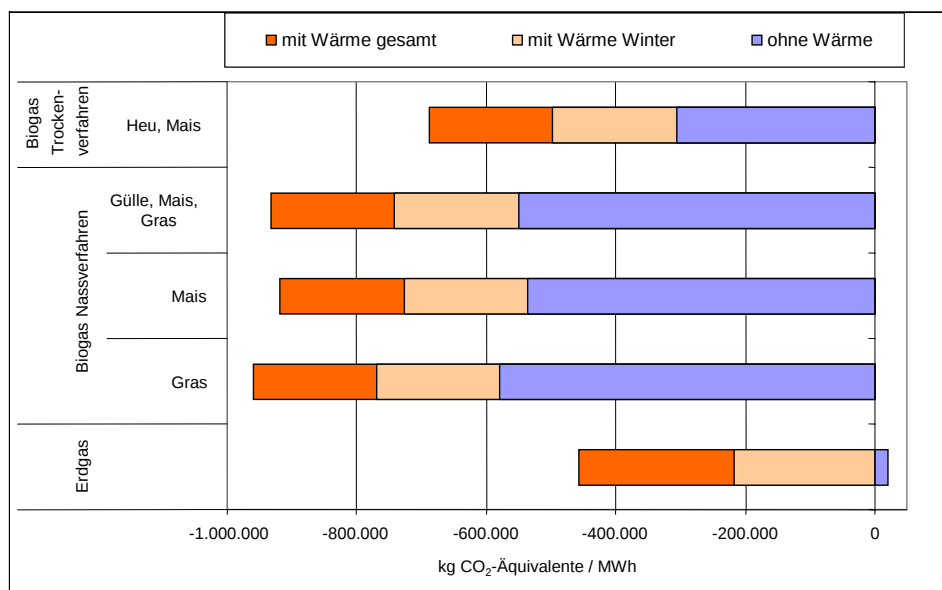


Abb. 45: Minderung der Freisetzung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland zur Strom- und Wärmeerzeugung im Vergleich mit dem deutschen Strom-Mix

## **Einfluss der Verfahren auf den Kohlenstoffvorrat im Boden**

Der Boden hat weltweit gesehen eine große Bedeutung als Kohlenstoffsенке, da in ihm mehr Kohlenstoff gespeichert ist als in der Vegetation und der Atmosphäre zusammen (Brady/Weil 1999). Die Böden landwirtschaftlicher Flächen stellen – je nach Landnutzung und Bewirtschaftungsform – eine Quelle oder Senke für CO<sub>2</sub> dar. Eine Umstellung der Bewirtschaftung oder Landnutzung kann den Kohlenstoffvorrat im Boden erhöhen oder verringern, bis ein neues Gleichgewicht erreicht ist.

Die Höhe der Kohlenstoffspeicherfähigkeit des Bodens hängt dabei mit dem Stickstoffhaushalt und dem Ernteverfahren zusammen. So ist beispielsweise relevant, ob die gesamte Biomasse oder nur Teile davon geerntet werden (Katzensteiner 2003). Bei der Bewertung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland hinsichtlich ihres Beitrags zum Klimaschutz müssten deshalb neben den direkt erzielbaren Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Substitution fossiler Energieträger auch damit möglicherweise verknüpfte Veränderungen des Kohlenstoffvorrats im Boden berücksichtigt werden.

Während in den landwirtschaftlich genutzten Böden in Europa durch Umwandlung von Acker in Grünland im Durchschnitt 100 Tg C (+/- 133) pro Jahr netto gebunden werden, gehen bei einer Umwandlung von Grünland in Ackerland etwa 300 Tg C (+/- 186) pro Jahr verloren (Janssens et al. 2001). Der Grünlandumbruch mit nachfolgendem Maisanbau stellt demzufolge eine relevante biosphärische CO<sub>2</sub>-Quelle dar. Die bis zur Erreichung eines Kohlenstoffgleichgewichts freigesetzten CO<sub>2</sub>-Mengen aus dem Bodenvorrat müssten mit der CO<sub>2</sub>-Einsparung über die Substitution fossiler Energieträger verrechnet werden.

Auch bei der Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen ist aufgrund der Bodenbearbeitung bei der Anpflanzung und der Rekultivierung der Fläche mit einer zusätzlichen Freisetzung an bodengebundenem Kohlenstoff zu rechnen. Wegen der hohen Produktionsleistung und der langfristigen Erhöhung des Kohlenstoffvorrats im Boden werden Pappel-Kurzumtriebsplantagen dennoch als Kulturen mit hoher Kohlenstoffsequestration gesehen (Baral/Guha 2004, Garten 2002). Geht der Pappelanpflanzung dagegen ein Grünlandumbruch voraus, so kommt es zunächst zu einer Verringerung des Kohlenstoffvorrats im Boden. Es kann festgehalten werden, dass unter den untersuchten Verfahren die Umwandlung von Grünland in Maisanbauflächen hinsichtlich der Kohlenstoffsequestrierung schlechter zu bewerten ist als die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln.

Keine Veränderungen in Bezug auf den Kohlenstoffvorrat im Boden treten dagegen bei den Verfahren der energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs auf. Ob die relative Bewertung der untersuchten Verfahren hinsichtlich ihrer Einsparung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Vergleich zur Referenz durch die Berücksichtigung ihres Einflusses auf den im Boden gebundenen Kohlenstoffvorrat deutlich verändert würde, kann hier nicht beantwortet werden, weil dies den Rahmen der Studie sprengen würde. Hierzu bedarf es entsprechender Untersuchungen.

### 4.3.3 Kosten der Reduktion von Treibhausgasen

Zum Vergleich der CO<sub>2</sub>-Vermeidungsleistung der untersuchten Verfahren werden die Einsparung pro Energieeinheit und die damit verbundenen Differenzkosten ermittelt. Dazu werden die Kosten der Energieerzeugung aus Grünlandaufwuchs den Kosten der Strom- und Wärmebereitstellung aus nicht erneuerbaren Energieträgern gegenübergestellt. Agrarpolitische Förderungen und finanzielle Beihilfen für die Landwirte sowie die staatlich festgelegten Einspeisevergütungen für Strom aus Biomasse gemäß dem EEG sind in diesen Berechnungen nicht enthalten.

Die Verfahren zur Stromerzeugung über Biogas weisen mit 120 bis 160 Euro/MWh (Abb. 46) deutlich höhere Differenzkosten<sup>31</sup> pro Energieeinheit auf als die Verfahren zur thermischen Nutzung von Heu (25 bis 85 Euro/MWh). Die thermische Nutzung von Pappel-Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen (hoher Ertrag) ist das einzige Verfahren, das negative Differenzkosten aufweisen kann.

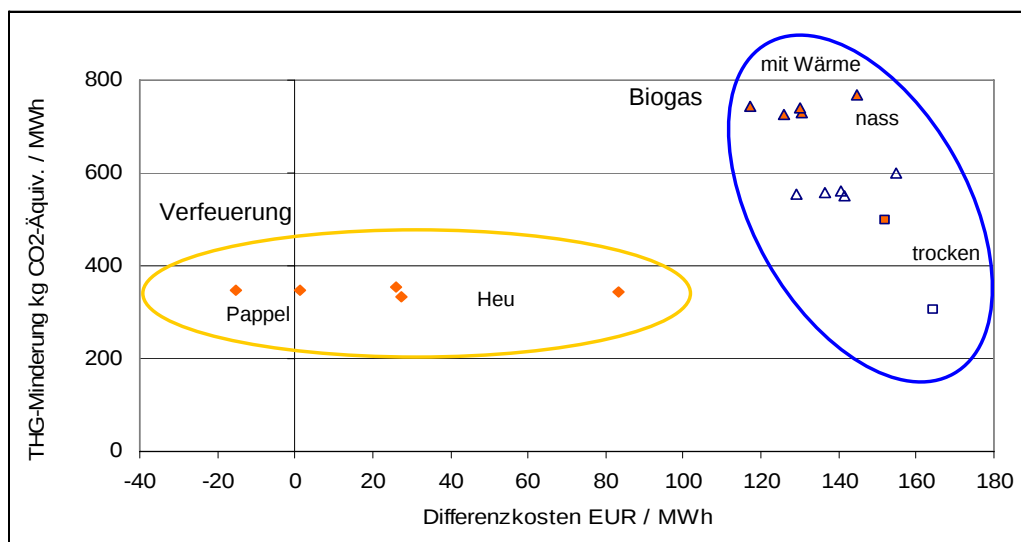


Abb. 46: Treibhausgas-Minderung pro Energieeinheit und Differenzkosten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Angesichts begrenzt verfügbarer Fläche zur Erzeugung von Bioenergie ist neben den spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten auch das flächenspezifische Potenzial der Verfahren zur Einsparung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bewertungsrelevant. Von den untersuchten Verfahren (nur Verfahren ohne Substrat-Mix) besitzt die thermische Nutzung von Pappel-Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen mit hohem Ertrag mit einer Einsparung von über 12 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Hektar das größte flächenspezifische Minderungspotenzial (Abb. 47).

<sup>31</sup> Als Referenz werden für die Stromerzeugung die von Nitsch et al. (2004) genannten 4,7 Cent/kWh (Kraftwerksneubau) angenommen. Für die Wärmebereitstellung wird als Referenz von einer Ölheizung mit 40 kW-Niedertemperaturkessel und Wärmegestehungskosten von 8,8 Cent/kWh ausgegangen.

Das zweitbeste Verfahren – die Nassfermentation von Maissilage mit Wärmenutzung – liegt rund 20 % und ohne Wärmenutzung sogar 40 % niedriger als die Pappelverbrennung. Die Verfahren zur thermischen Nutzung von Heu erzielen – trotz deutlich reduziertem Ertrag auf dem Extensivgrünland – ähnlich große Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten wie die Nutzung von Grassilage zur Stromerzeugung, bei allerdings deutlich niedrigeren Differenzkosten. Die geringsten Einsparpotenziale und gleichzeitig höchsten Differenzkosten entfallen auf das Verfahren der energetischen Nutzung von Heu in der Trockenfermentation.

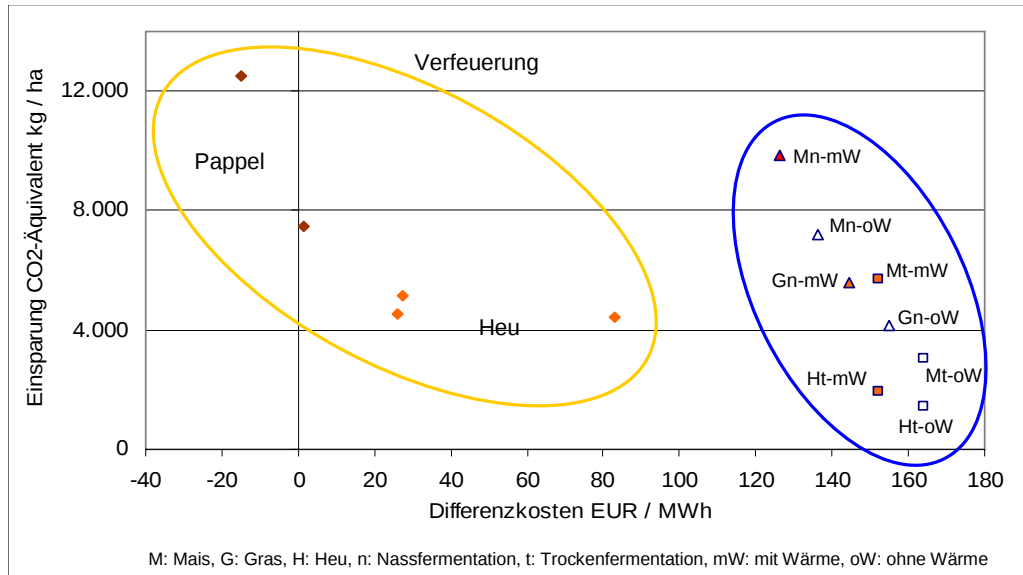


Abb. 47: Treibhausgas-Minderung pro Flächeneinheit und Differenzkosten der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Vergleicht man den erzielbaren Biomasse-Energieertrag pro Hektar, so kann mit dem Anbau von Mais pro Hektar die absolut größte Energiemenge (rund 70 MWh) erzeugt werden (Abb. 48). Trotz dieser hohen flächenbezogenen Biomasseerträge – 35 % mehr als beim Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb – können mit Maissilage nur relativ geringe Treibhausgas-Minderungen pro Hektar erzielt werden.

Grund hierfür sind zum einen die energetischen Verluste im BHKW durch fehlende Wärmenutzung, die deutlich höher sind als die Verluste im Heizkessel. Ein weiterer Energieverlust findet im Fermenter statt, da hier nicht die ganze im Substrat gebundene Energie im Biogas überführt werden kann. Während beim Einsatz von Maissilage noch etwa 61 % der zugeführten Substratenergie im Biogas auffindbar sind, verringert sich dieser Anteil beim Einsatz von Grassilage auf rund 50 % und bei der Verwertung von Heu in der Trockenfermentation auf nur noch 30 %, bedingt durch den hohen Rohfaseranteil, der – vor allem wenn er mit Lignin inkrustiert ist – praktisch nicht umgesetzt wird.

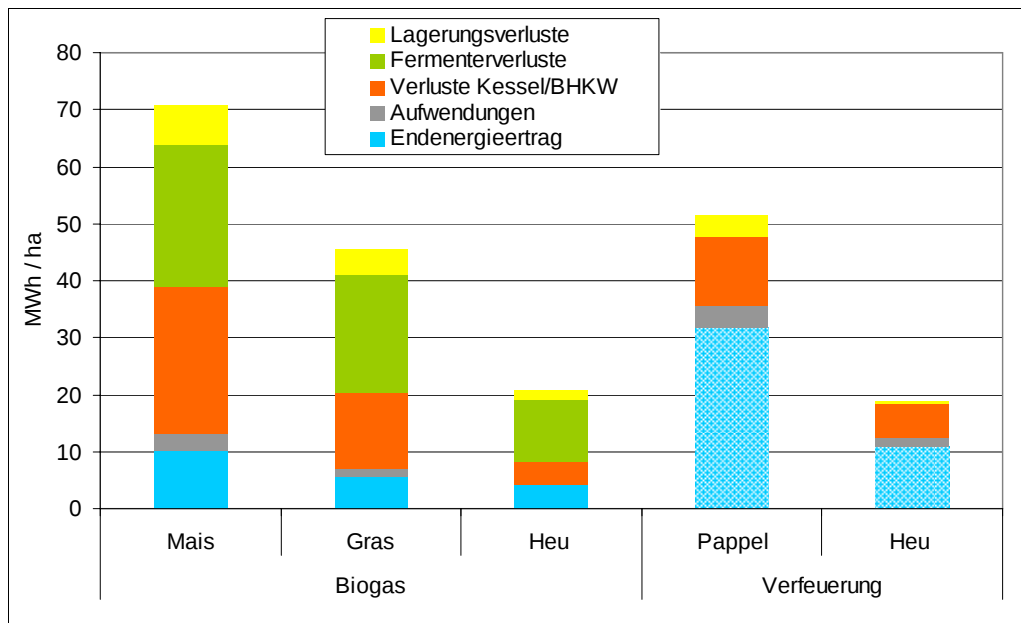


Abb. 48: Flächenbezogener Brutto- und Netto-Energieertrag der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Zur Einordnung der untersuchten Verfahren werden die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten aus den Differenzkosten pro MWh und der Minderung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro MWh berechnet. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Stromerzeugung aus Grassilage (mit bzw. ohne Kombination mit Gülle und Maissilage) liegen im Bereich von 250 Euro/t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, wenn die verfügbare Wärme nicht genutzt wird (Abb. 49). Erfolgt eine Wärmenutzung, so reduzieren sich die Vermeidungskosten auf circa 175 Euro/t CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Die Trockenfermentation von Extensivheu erzielt aufgrund der geringen Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Vergleich zu fossilen Variante fast doppelt so hohe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wie die Nassfermentation von Grassilage. Bei der thermischen Nutzung von Heu ergeben sich mit Ausnahme der schlecht angepassten – und damit zu teuren – HD-Ballenfeuerung wesentlich niedrigere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Sie liegen für Heurundballen und Heupellets zwischen 70 und 80 Euro/t CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Vergleicht man diese CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten mit den Preisen für EU-Emissions-Zertifikate, die an der Energiebörse in Leipzig zu einem durchschnittlichen Wert von 18 Euro/t (2006) mit einem Maximum bei rund 30 Euro/t gehandelt werden, so sind diese Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung heute nicht wirtschaftlich.

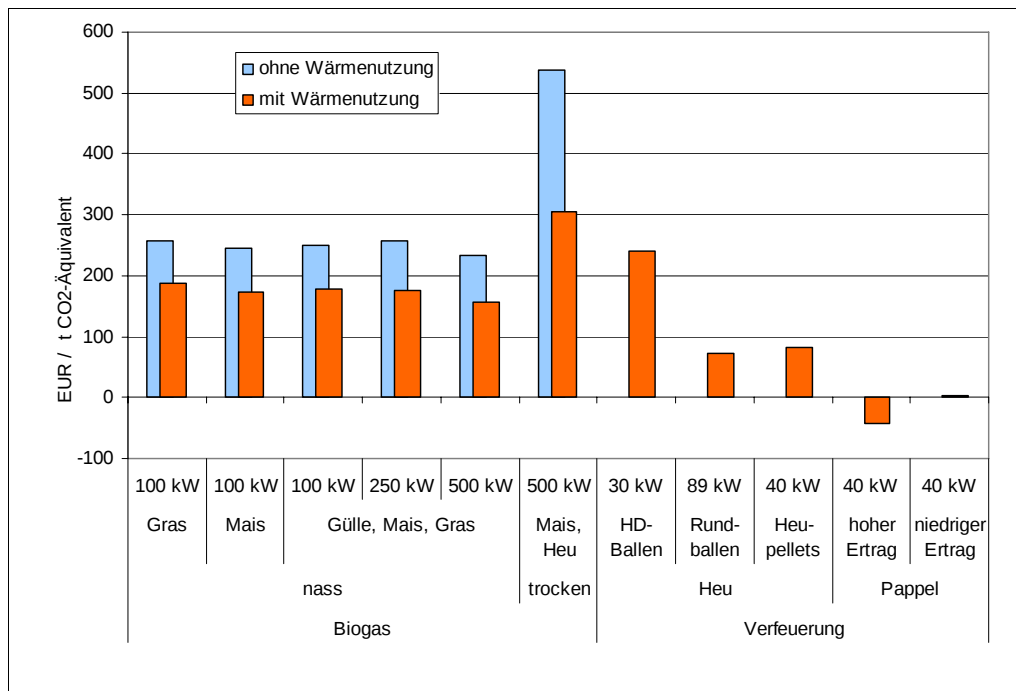


Abb. 49: Kosten der Minderungsmaßnahmen pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Lediglich die Nutzung von Pappel-Hackschnitzeln könnte bei diesen niedrigen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten mit anderen Verfahren und Maßnahmen konkurrieren. In den Berechnungen erzielt die Pappelfeuerung bei hohem Ertrag aufgrund der niedrigeren Wärmege-stehungskosten im Vergleich zur Ölheizung sogar negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten.

#### 4.3.4 Eutrophierung von Gewässern

Die Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen, vor allem an Phosphor und Stickstoffverbindungen, in ein Gewässer (Eutrophierung) erhöht das Nährstoffangebot und fördert so das Wachstum der Algen (Phytoplankton) und des Zooplanktons. Die Folgen der Eutrophierung sind u. a. Veränderungen der Artenzusammensetzung der Gewässerbiozönose. Mit zunehmender Eutrophierung werden die Lebensgemeinschaften oligotropher Gewässer von ubiquitären Arten verdrängt. Dies kann zu einer Bedrohung des Artenbestandes oligotropher Gewässer führen, von denen der überwiegende Teil (81 %) bereits gefährdet ist (UBA 1989).

Die Energiegewinnung aus dem Grünland ist aufgrund der Nährstoffgehalte des Grünland-aufwuchses bzw. der auf umgewandeltem Grünland angebauten Energiepflanzen mit der Freisetzung von stickstoff- und phosphathaltigen Emissionen verbunden. Die Berechnung des Eutrophierungspotenzials der untersuchten Verfahren (Abb. 50) erfolgt auf der Basis der eutrophierenden Einträge aus der Luft. Das Eutrophierungspotenzial (kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Äquivalente/kg) wird nach Nitsch et al. (2004) auf der Basis der NO<sub>x</sub>- und NH<sub>3</sub>-Emissionen mit den Gewichtungen 0,13 und 0,33 berechnet. Nicht berücksichtigt werden eutrophierende Effekte über den Eintrag von Nitrat bzw. Phosphat aus der Düngung, da von einer bedarfsgerechten Düngung ausgegangen wird.

Die untersuchten Verfahren emittieren alle mehr eutrophierend wirkende Verbindungen als die jeweiligen Referenzverfahren. Die Mehremissionen sind bei den Biogasverfahren deutlich höher (zwischen 10- und 23-mal mehr im Vergleich zur Referenz) als bei den Verfahren der thermischen Nutzung von Heu (Abb. 50). Die Freisetzung eutrophierend wirkender Emissionen könnte bei den Biogasverfahren um rund 20 % verringert werden, wenn die Hälfte der verfügbaren Wärme – dies entspricht einem Wärmenutzungsgrad von 20 % am Biogasheizwert – verwertet würde. Die auch dann noch sehr hohen Mehremissionen der Biogasverfahren (Nassfermentation) werden überwiegend durch  $\text{NH}_3$ -Emissionen hervorgerufen, welche auf die Düngerausbringung zurückzuführen sind. Im Unterschied dazu stammt bei der Trockenfermentation von Heu und Maissilage fast jeweils die Hälfte der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Biogasanlage (Gärrückstandslager) und aus der Düngung.

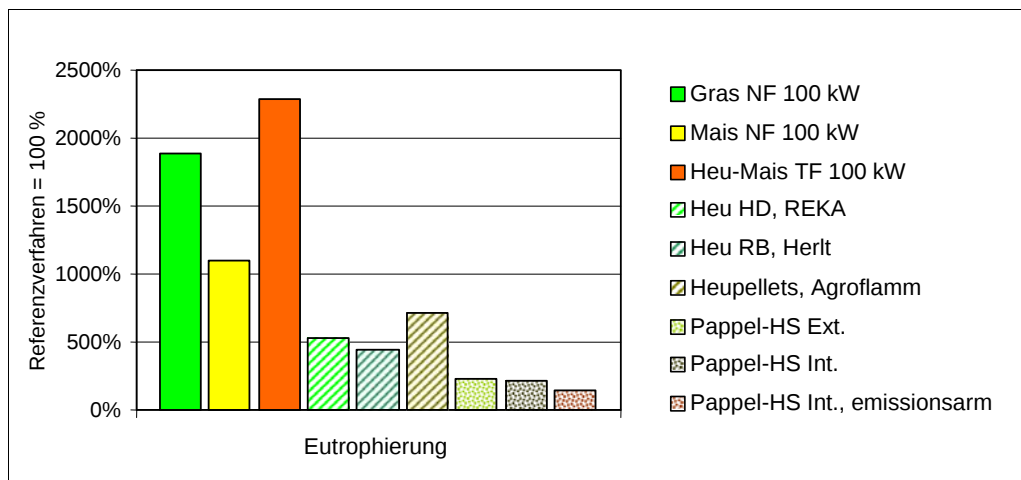


Abb. 50: Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Die Mehremissionen an eutrophierend wirkenden Substanzen aus der Verbrennung von Heu und Pappel-Hackschnitzeln werden ausschließlich durch  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus der Feuerung verursacht. Die geringsten Mehremissionen im Vergleich zum Referenzsystem (136 %) entstehen bei der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln.

Die eutrophierende Wirkung der Biogasverfahren erhöht sich (in Abb. 51 kreuzschraffiert), wenn der Dünger (Gärrückstand) nicht – wie in Abb. 50 unterstellt – mit einer guten, das heißt die Freisetzung von  $\text{NH}_3$  verringern Technik (z. B. Schleppschlauch) und zu einem weniger günstigen Zeitpunkt ausgebracht wird. Unter diesen Bedingungen kommt es im Durchschnitt zu einer annähernden Verdopplung der  $\text{NH}_3$ -Verluste. Besonders stark erhöhen sich die Verluste bei der Erzeugung von Grassilage. Hier steigen die eutrophierend wirkenden Emissionen vom 19-fachen auf das 50-fache des Referenzwerts an. Dies hängt u. a. damit zusammen, dass die Stickstoffverluste bei der Ausbringung des Gärrückstands dann so groß wären, dass eine zusätzliche Düngung mit mineralischem Stickstoffdünger angenommen werden müsste.

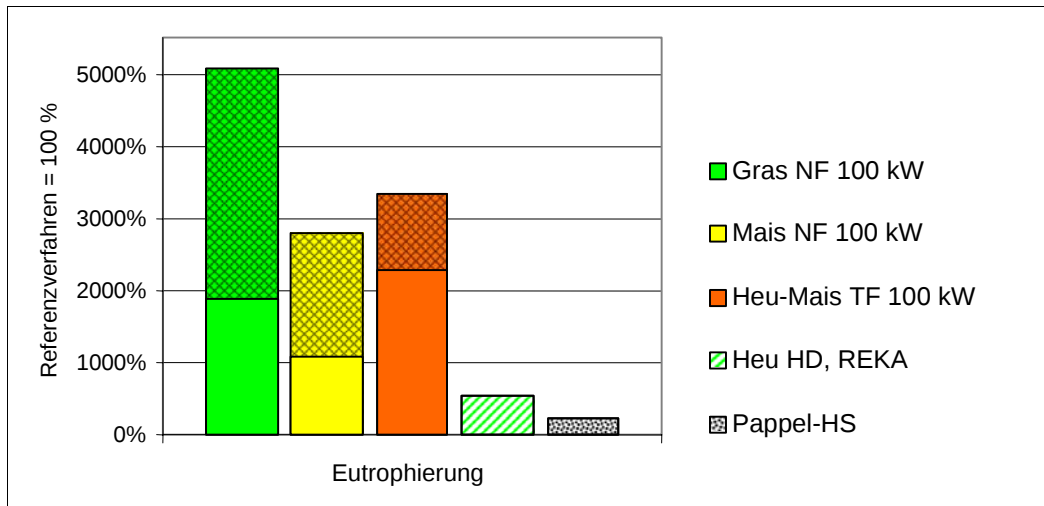


Abb. 51: Erhöhung der Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen durch ungünstige Düngerausbringung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Trockenfermentation von Mais einen fast dreimal so hohen Beitrag zur Eutrophierung leistet wie die Nassfermentation von Mais- oder Grassilage (Abb. 52). Das mit Abstand geringste Eutrophierungspotenzial unter den untersuchten Verfahren ist mit der Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln auf intensiv bzw. extensiv genutzten Grünlandflächen verbunden. Die Verbrennung der Pappel-Hackschnitzel in emissionsarmen Kesseln führt zu einer weiteren Verringerung des Eutrophierungspotenzials.

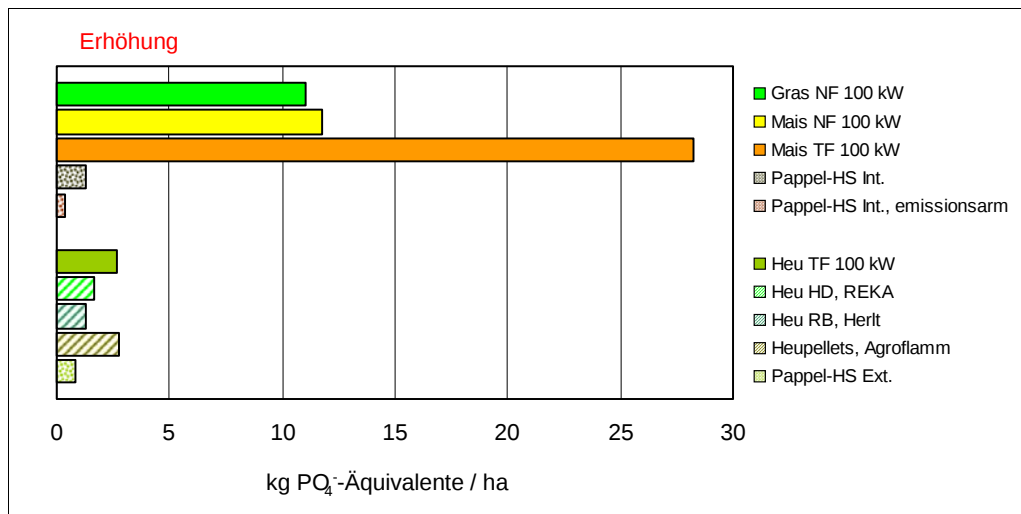


Abb. 52: Flächenspezifische Erhöhung der Freisetzung eutrophierend wirkender Substanzen durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

#### 4.3.5 Versauerung von Böden und Gewässern

Der Eintrag von Ammonium durch organische und mineralische Dünger sowie über die Atmosphäre (als Folge von NH<sub>3</sub>-Emissionen) hat nicht nur eine eutrophierende, sondern auch eine versauernde Wirkung auf Böden und Gewässer. Eine Zunahme der Bodenversauerung kann zu Veränderungen in der Pflanzenpopulation, sinkenden landwirtschaftli-

chen Erträgen, Waldschäden und im Bereich niedriger pH-Werte zu einer steigenden Mobilität toxischer Schwermetalle führen. Wasser, welches durch versauerte Böden sickert, hat ebenfalls einen niedrigen pH-Wert. Das wirkt sich auf die daraus gespeisten Oberflächengewässer aus.

Als Maß für die Versauerung von Böden und Gewässern wird das in  $\text{SO}_2$ -Äquivalenten dargestellte Potenzial zur Protonenbildung herangezogen. Dabei werden folgende Emissionen und Gewichtungsfaktoren (in Klammern) verwendet (GEMIS 2006):  $\text{NO}_x$  (0,70),  $\text{HCl}$  (0,88),  $\text{H}_2\text{S}$  (0,94),  $\text{SO}_2$  (1,00),  $\text{HF}$  (1,60),  $\text{NH}_3$  (1,88). Mit Ausnahme der Pappelvarianten führen die untersuchten Verfahren zu einem höheren Versauerungseffekt im Vergleich zur Referenz. Die Biogasverfahren (Nassfermentation) führen zu einem 6-fach (Mais) bis zu gut 10-fach höheren Versauerungseffekt als die gewählte Referenzsituation (Abb. 53). Die Mehremissionen im Vergleich zur Referenz könnten durch Nutzung der verfügbaren Wärme (Wärmenutzungsgrad 20 % bezogen auf den Biogasheizwert) um rund 20 % verringert werden. Die Verfahren zur Wärmeerzeugung aus Heu emittieren deutlich weniger versauernd wirkende Emissionen als die Biogasverfahren, aber immer noch ungefähr doppelt so viel wie die Referenzverfahren (Abb. 53). Keine Mehremissionen entstehen bei der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln.

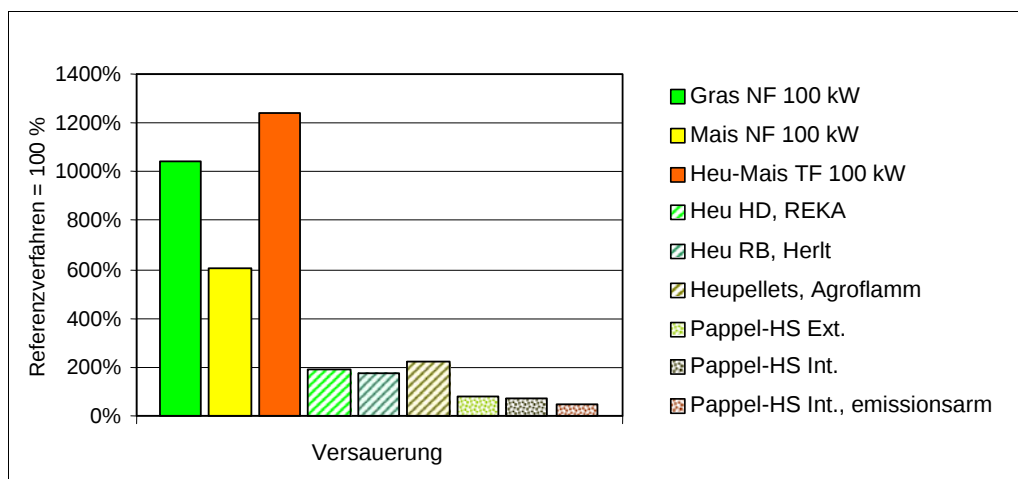


Abb. 53: Freisetzung versauernd wirkender Emissionen der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Bei den Verfahren zur Stromerzeugung werden die Emissionen an versauernd wirkenden Gasen fast ausschließlich durch  $\text{NH}_3$ -Emissionen hervorgerufen, welche auf die Ausbringung von Düngemitteln zurückzuführen sind. Bei den Wärmeverfahren werden diese durch  $\text{NO}_x$ -Emissionen bedingt. Bei den Biogasverfahren würden – wie im Falle der eutrophierend wirksamen Verbindungen – die Mehremissionen noch deutlich höher liegen, wenn der Dünger nicht mit einer guten, das heißt die Freisetzung von  $\text{NH}_3$  verringernden Technik (z. B. Schleppschlauch) und zu einem weniger günstigen Zeitpunkt ausgebracht wird. Die versauernden Emissionen steigen dann besonders stark bei der Grassilage an (vom 10-fachen auf das 30-fache der Emissionen der Referenz).

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Trockenfermentation von Mais einen fast dreimal so hohen Beitrag zur Versauerung leistet wie die Nassfermentation von Mais- oder Grassilage (Abb. 54). Die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf intensiv

bzw. extensiv genutzten Grünlandflächen ist dagegen mit einer Einsparung an freigesetzten versauernd wirkenden Emissionen verbunden.

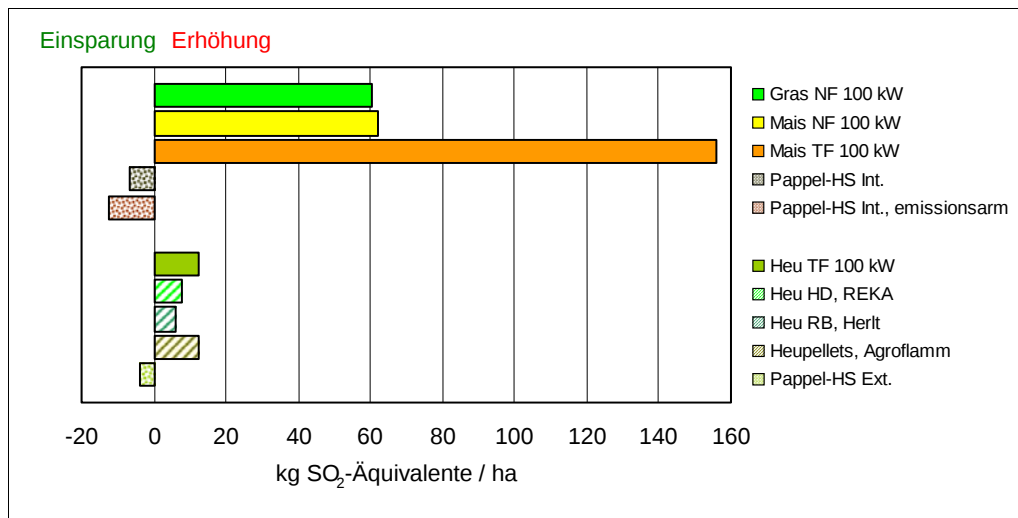


Abb. 54: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung versauernd wirkender Substanzen durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

#### 4.3.6 Gesundheitlich relevante Emissionen

Durch die thermische Umwandlung von Heupellets oder -ballen, aber auch die Verstromung von Biogas können gesundheitlich relevante Schadstoffemissionen auftreten. Die Schadstoffemissionen aus der Heuverbrennung sind im Prinzip vergleichbar mit den Emissionen aus der Verfeuerung von Stroh. Sie sind abhängig vom Zustand des Ausgangsmaterials (z. B. Trocknungsgrad, Chlorgehalt), von der Feuerungstechnik (z. B. Unterschub-, Rostfeuerung), der Prozesssteuerung (z. B. Kontinuität der Brennstoffbeschickung), der Betriebsführung (Vollast bzw. Teillast) und vom Einsatz an Technologien zur Emissionsminderung (Hartmann et al. 2004, Raab et al. 2005). Die wichtigsten gesundheitlich relevanten Luftschadstoffe sowie die aktuellen Grenzwerte sind in Tab. 32 dargestellt.

Halmgutartige Brennstoffe wie Stroh und Heu sind als Regelbrennstoffe in Kleinanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von über 15 kW bis zu 100 kW zugelassen, wenn die gültigen Vorschriften und Emissionsgrenzwerte eingehalten werden können. Feuerungsanlagen in privaten Haushalten, Handwerks- und Gewerbebetrieben müssen zwar nicht genehmigt werden, unterliegen im Betrieb aber den Anforderungen der 1. BImSchV für Kleinfeuerungsanlagen. Bei einer Heuverbrennung in Kleinanlagen ist entsprechend den Vorgaben der 1. BImSchV aus dem Jahre 1988 nur die Freisetzung von Staub und Kohlenmonoxid begrenzt.

Wie im BMU-Eckpunktepapier zur Novellierung der 1. BImSchV dargestellt, ist davon auszugehen, dass die Emissionsgrenzwerte für Staub und Kohlenmonoxid deutlich abgesenkt werden (Tab. 32). Dadurch sollen die Umweltbelastungen durch den zunehmenden Einsatz biogener Brennstoffe in kleinen Feuerungsanlagen begrenzt werden. Für NO<sub>x</sub>-Emissionen besteht bei Anlagen bis 100 kW Feuerungswärmeleistung nach der 1. BImSchV kein Grenzwert. Die Einhaltung des in der Typprüfung vorgesehenen Grenz-

werts von 600 (zukünftig 500) mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> könnte für den Einsatz von Heu-Brennstoffen aufgrund ihres relativ hohen Proteingehalts schwierig werden.

Tab. 32: Grenzwerte gesundheitlich relevanter Schadstoffemissionen bei der energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs

| Feuerungs-<br>wärme-<br>leistung   | relevante<br>Vorschrift | O <sub>2</sub> -<br>Bezugs-<br>wert | Staub      | NO <sub>x</sub> | CO             | NMVOC                    | SO <sub>2</sub> | HCl | Dioxi-<br>ne/<br>Furane |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------|-----------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----|-------------------------|
|                                    |                         | Vol.-%                              |            |                 |                |                          |                 |     | mg/m <sup>3</sup>       |
|                                    | Verbrennung             |                                     |            |                 |                |                          |                 |     |                         |
| 15 - 100 kW                        | 1.BImSchV               | 13                                  | 150        | -               | 4.000          | -                        | -               | -   | -                       |
| 15 - 100 kW                        | 1.BImSchV <sup>1)</sup> | 11                                  | 60<br>(20) | 600*<br>(500)*  | 1.000<br>(400) | -                        | -               | -   | 0,1*                    |
| 0,1 - 1 MW                         | TA Luft                 | 11                                  | 50         | 500             | 250            | 50                       | 350             | 30  | 0,1                     |
| 1 - 50 MW                          |                         | 11                                  | 20         | 400             | 250            | 50                       | 350             | 30  | 0,1                     |
|                                    | Biogas-BHKW             |                                     |            |                 |                |                          |                 |     |                         |
| 1 - 3 MW<br>Gasmotor**             | TA Luft                 | 5                                   | 20         | 500             | 1.000          | 60<br>(Formal-<br>dehyd) | 350             |     |                         |
| 1 - 3 MW<br>Zündstrahl-<br>motor** |                         | 5                                   | 20         | 1.000           | 2.000          |                          |                 |     |                         |

<sup>1)</sup> Eckpunktepapier des BMU zur Novellierung der 1. BImSchV (BMU 2007a), Zahlen in Klammern sind Grenzwerte, die für Anlagen, die nach 2014 errichtet werden, gelten sollen.

\*bei Typprüfung, \*\*die aufgeführten Werte gelten für Anlagen unter 1 MW Leistung als Richtwerte

Quelle: Raab et al. 2005, FNR 2004

Beim Einsatz von Heu in größeren Verbrennungsanlagen oberhalb von 100 kW gilt die 4. BImSchV mit den Emissionsgrenzwerten der TA Luft (Tab. 32). Trotz der erhöhten Proteingehalte im Heu können die NO<sub>x</sub>-Grenzwerte der TA Luft (500 mg/m<sup>3</sup>) in geeigneten Anlagen eingehalten werden. Darüber hinaus kann die Entstehung von NO<sub>x</sub> bei der Verbrennung von Heu-Brennstoffen durch den Einsatz von überständigen, proteinarmen Grünlandaufwüchsen verringert werden.

Ein Hauptproblem von Halmgutfeuerungen sind hohe Feinstaubemissionen. Viele der marktüblichen, vor allem für den Brennstoff Holz entwickelten Feuerungsanlagen überschreiten beim Einsatz von Halmgütern den derzeit gültigen Grenzwert für Staubemissionen von 150 mg/m<sup>3</sup> Rauchgas (1. BImSchV). Da die Staubemissionen zum Großteil aus Feinstaub bestehen, lassen sich diese nur mit sekundären Entstaubungseinrichtungen<sup>32</sup> (z. B. Gewebefilter und kleine Elektrofilter, die mit hohen Investitionskosten verbunden sind) deutlich verringern. Durch technische Neuentwicklungen, wie z. B. der Halmgut-

<sup>32</sup> Da HCl durch Feinstaub adsorbiert wird, kann durch Staubrückhaltemaßnahmen auch die Gefahr der Freisetzung von HCl und anderen Chloremissionen verringert werden. Diese ist bei der Heuverbrennung aufgrund des erhöhten Chlorgehalts im Brennstoff größer als bei fossilen Brennstoffen. Chloremissionen sind besonders in Form von Dioxinen und Furanen schädlich für die Gesundheit.

Pelletkessel der Fa. Agroflamm, sind jedoch auch Kessel ohne sekundäre Entstaubung in der Lage, die bestehenden Grenzwerte deutlich zu unterschreiten bzw. teilweise auch die in der ersten Stufe geplanten verschärften Grenzwerte für Staubemissionen ( $60 \text{ mg/m}^3$ ) einzuhalten.

Angesichts der Bedeutung und der gesundheitlichen Relevanz der bei der Biomasseverbrennung in Kleinf Feuerungsanlagen (FWL von unter 100 kW) freigesetzten Mengen an Feinstaub,  $\text{NO}_x$  und CO werden nachfolgend die Ergebnisse der für diese Stoffe durchgeführten ökobilanziellen Abschätzungen dargestellt. Darüber hinaus werden der Beitrag der untersuchten Verfahren zur Bildung von Sommersmog und die Gefahr der Bildung von Pilzsporen thematisiert.

Unangenehme Gerüche sind zwar nicht gesundheitsschädigend und deshalb nicht Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung. Sie können jedoch das Wohlbefinden und die Lebensqualität stark beeinträchtigen und Ausgangspunkt von Belästigungen bzw. Beschwerden über Biomasse- Energieerzeugungsanlagen sein. Deshalb wird an dieser Stelle kurz auf die Freisetzung von Gerüchen eingegangen. Unter den betrachteten Verfahren kommt es vor allem bei der Biogaserzeugung zur Emission geruchsintensiver Verbindungen (u. a. Ammoniak, organische Säuren, Phenole und Schwefelwasserstoff). Die Intensität der Geruchsemissionen hängt vor allem von der Zusammensetzung der Einsatzstoffe (Gülle, Kof ermente) ab. Obwohl die anaerobe Behandlung von Gülle zu einer deutlichen Verringerung geruchsverursachender Substanzen um rund 30 % führt (Reitberger 2002), kann es bei der Entnahme der Grassilage aus dem Silo, bei Betriebsstörungen mit Gasaustritt und bei Nachgärungen im Gärrückstandslager zu Geruchsbelästigungen kommen. Schwerpunkte der Geruchsbildung sind außerdem häufig Unsauberkeiten im Umgang mit Silosickersaft und im Bereich Vorgruben und Einspülungen (Baumann 2006).

Im Folgenden wird nicht weiter auf die Folgen der Freisetzung unangenehmer Gerüche eingegangen, da unterstellt wird, dass sich die Biogasanlagen größtenteils im Außenbereich von Gemeinden oder auf der grünen Wiese befinden und so Geruchsbelästigungen weitgehend vermieden werden können. Bei der Heuverbrennung können im Teillastbetrieb und beim An- und Abfahren der Anlage ebenfalls Geruchsemissionen auftreten. Diese Geruchsquellen können durch ausreichend große Pufferspeicher und die Vermeidung eines Gluterhaltungsbetriebs weitgehend ausgeschaltet werden.

## **Feinstaub**

Die Feuerungsanlagen der privaten Haushalte und Kleinverbraucher<sup>33</sup> sind nach den Industrieprozessen die zweitgrößte Emissionsquelle für Feinstaub im Bereich der stationären Anlagen in Deutschland. Ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen liegt in derselben Größenordnung wie die motorbedingten Emissionen des Straßenverkehrs, bei allerdings deutlich geringerer Toxizität. Fachleute gehen davon aus, dass Feinstaub aus Feuerungsanlagen um den Faktor fünf weniger toxisch ist als der aus Dieselabgasen, da sie zu einem erheblichen Teil aus Salzen bestehen. Dieselabgase bestehen dagegen fast ausschließlich aus Ruß (Nussbaumer 2007).

---

<sup>33</sup> Rund 95 % der im Jahr 2004 freigesetzten Feinstaubemissionen im Geltungsbereich der 1. BImSchV (insgesamt circa 27.000 t Feinstaub  $\text{PM}_{10}$ ) wurden durch die Holzverfeuerung verursacht (UBA 2006).

Feinstaub, der rund 90 % der Gesamtstaubmasse bei der Biomasseverbrennung ausmacht, besteht aus Partikeln und Tröpfchen, die kleiner als 10 Tausendstel-Millimeter ( $PM_{10}$ ) sind und daher in der Atmosphäre lange Zeit in der Schwebe bleiben. Mit der Umgebungsluft eingeatmeter Feinstaub kann im Körper je nach Korngröße und Eigenschaften der Partikel unterschiedliche Gesundheitsschädigungen verursachen. Besonders schädlich sind Partikel aus Verbrennungsprozessen, da sie mit einer Korngröße von kleiner als einem Tausendstel-Millimeter sehr winzig sind und sich im ganzen Körper verteilen können. Deshalb kann Feinstaub die menschliche Gesundheit erheblich beeinträchtigen. Er wirkt negativ auf die Atemwege – Husten und die Zunahme asthmatischer Anfälle sind die Folge – sowie auf das Herz-Kreislauf-System. Dies kann die Lebenserwartung vermindern. Außerdem sind an Feinstaub anhaftende organische Substanzen aus unvollständiger Verbrennung krebserregend.

Bei der Wärmegewinnung aus Heu können die geltenden Grenzwerte der 1. BImSchV eingehalten werden. Im Vergleich zur fossilen Referenz (Heizöl) kommt es allerdings zu einer deutlichen Erhöhung der Feinstaubemissionen (Abb. 55) um 540 % (Heupellets) bzw. 670 % (Heu-Rundballen). Durch Staubrückhaltemaßnahmen kann eine deutliche Verringerung der Feinstaubemissionen und die Einhaltung des im BMU-Eckpunktepapier vorgesehenen verschärften Grenzwerts für Feinstaub erreicht werden. Die Feinstaubemissionen aus der Verbrennung von HD-Heuballen liegen trotz Einsatz eines Partikelfilters aber immer noch fast doppelt so hoch wie bei der Wärmeerzeugung aus Heizöl (Abb. 55). Die Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln emittiert weniger Feinstaub als die Heuverbrennung ohne Filter. Allerdings liegen die Feinstaubemissionen bei Einsatz eines emissionsarmen Feuerungskessels noch rund 300 % über der Referenz. Auch die Biogasverfahren (Nassfermentation) emittieren mit Werten um 120 % immer noch mehr Feinstaub als die Referenzverfahren. Das beste Ergebnis erzielt die Trockenfermentation, deren Feinstaubemissionen deutlich unter der Referenz liegen. Dies ist eine Folge der Düngergutschriften, da hierdurch Feinstaubemissionen vermieden werden, die bei der Düngerproduktion bzw. beim Düngerumschlag entstehen.

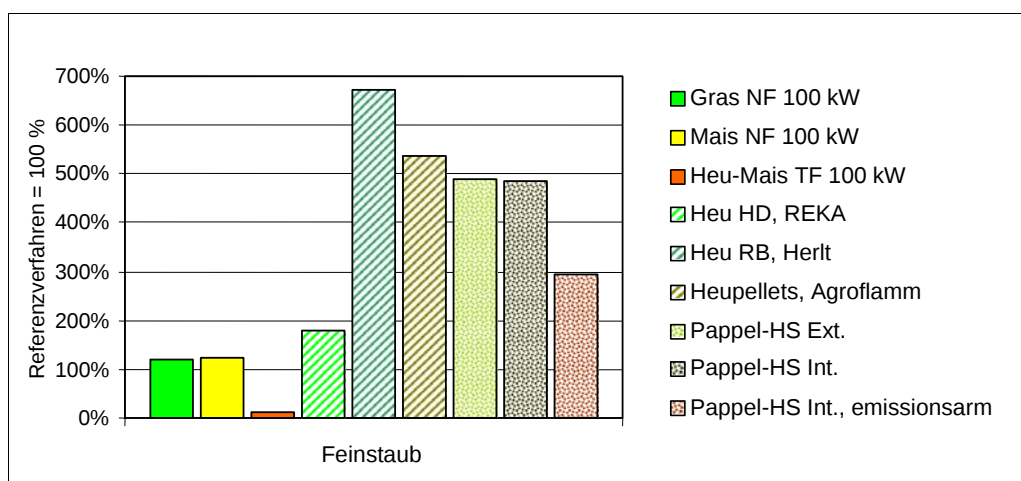


Abb. 55: Freisetzung von Feinstaub der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln auf intensiv genutzten Grünlandflächen mit den höchsten Mehremissionen an Feinstaub ver-

bunden ist (Abb. 56). Die Verbrennung in emissionsarmen Kesseln führt jedoch zu einer deutlichen Reduzierung der Emissionen unter den Wert der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln von extensiven Standorten in Standardkesseln. Die Vergärung von Grassilage, Maissilage und Heu führen alle zu einer deutlich geringeren flächenbezogenen Erhöhung der Feinstaubemissionen als die thermische Nutzung von Pappeln oder Heu. Die Trockenfermentation von Heu kann dabei sogar zu einer Einsparung an Feinstaub beitragen.

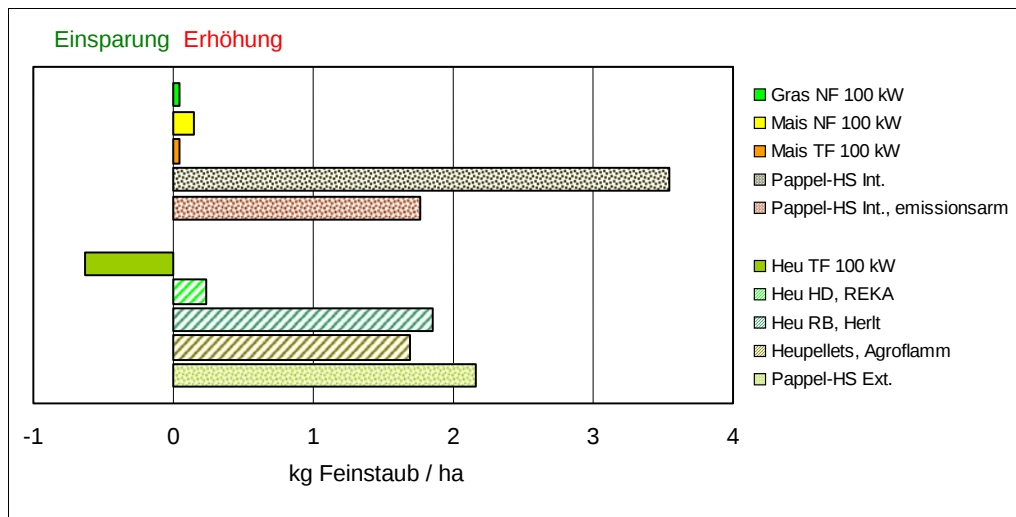


Abb. 56: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Feinstaub durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

## Stickoxidemissionen

Stickoxidemissionen, zu denen vor allem Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) gehören, entstehen hauptsächlich als Nebenprodukt bei Verbrennungsprozessen durch die Oxidation von Luftstickstoff. Sie können zu einer Schädigung der Atemwege und bei längerer Einwirkung höherer Konzentrationen auch zu chronischer Bronchitis oder einer Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Atemwegsinfektionen führen.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der untersuchten Verfahren liegen deutlich über den Referenzverfahren (Abb. 57). Die Biogasverfahren emittieren zwischen 1,6- und 1,8-mal<sup>34</sup> und die Verfahren der Heuverbrennung zwischen 4,5- und 7-mal mehr NO<sub>x</sub>. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Energieeinheit können bei der Biogasnutzung zur Stromgewinnung mit Motoren durch Nutzung von 20 % der verfügbaren Wärme bezogen auf den Biogasheizwert um rund 20 % gesenkt werden. Die niedrigsten Mehremissionen zeigt die emissionsarme Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln.

<sup>34</sup> Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Biogasverbrennung können allerdings sowohl bei Gas- als auch bei Zündstrahlmotoren die Richtwerte der TA Luft überschreiten, wenn die Motoren nicht optimal eingestellt sind (LfL 2005b). Da bei Biogasmotoren aufgrund der im Biogas enthaltenen Begleitstoffe, wie z. B. Schwefelwasserstoff, keine Katalysatoren eingesetzt werden können, kommt zur Minimierung der Stickoxidemissionen nur der Magerbetrieb zur Absenkung der Verbrennungstemperatur in Frage.

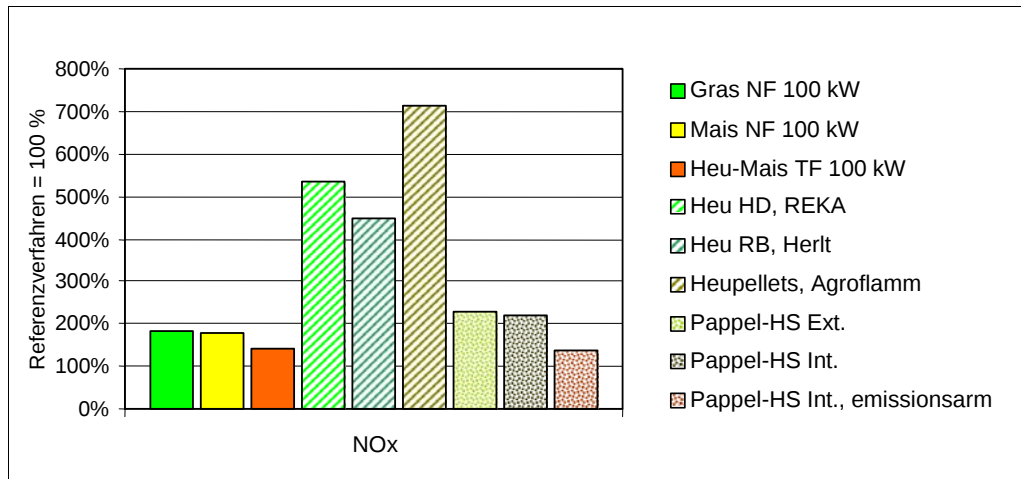


Abb. 57: Freisetzung von Stickoxiden der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Verbrennung von Heupellets extensiv genutzter Grünlandflächen mit den höchsten Mehremissionen an Stickoxiden verbunden ist (Abb. 58). Die Verbrennung von Heuballen und Pappeln hat ebenfalls eine deutliche Erhöhung der Stickoxidemissionen zur Folge. Bei einer Verbrennung in emissionsarmen Kesseln sinken die Mehremissionen der Pappel-Hackschnitzeln jedoch unter das Niveau der Stickoxidemissionen bei der Nutzung von Gras- und Maissilage. Lediglich die Trockenfermentation von Heu kann zu einer Einsparung an Stickoxiden beitragen.

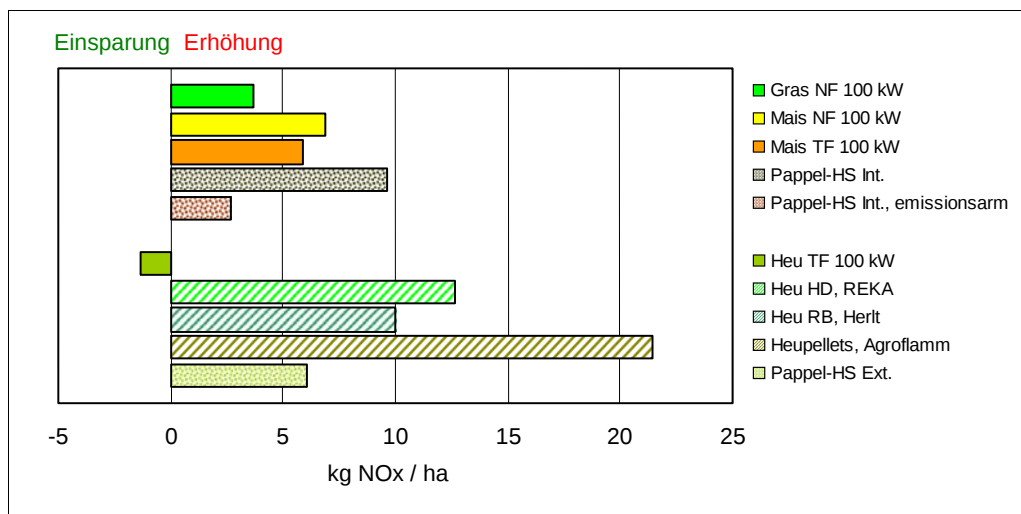


Abb. 58: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Stickoxiden durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

### Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid entweicht in großen Mengen als Luftschadstoff über Abgasemissionen. Es beeinträchtigt als starkes Atemgift den Sauerstofftransport im menschlichen Körper. Die untersuchten Verfahren weisen im Vergleich zur Referenz alle Mehremissionen an Kohlenmonoxid auf. Bei der Stromerzeugung aus Gras- oder Maissilage werden im Vergleich zur Referenz circa 3,5-mal mehr CO-Emissionen freigesetzt (Abb. 59). Die Verbrennung von Heu-Hochdruckballen zeigt unter den Verfahren zur Wärmeerzeugung die höchsten

CO-Werte, die thermische Nutzung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln die geringsten CO-Emissionen im Vergleich zur Referenz.

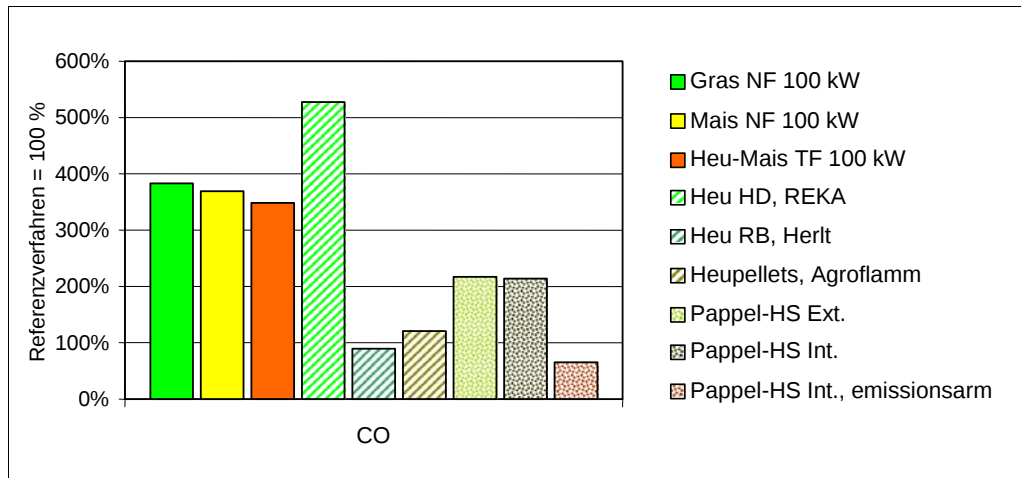


Abb. 59: Freisetzung von Kohlenmonoxid der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Verbrennung von Heu-Hochdruckballen extensiv genutzter Grünlandflächen zur Wärmeerzeugung mit den höchsten Mehremissionen an Kohlenmonoxiden verbunden ist (Abb. 60). Ebenfalls zu einer starken Erhöhung der Kohlenmonoxidemissionen tragen die Verfahren zur Stromerzeugung aus Gras- und Mais-silage bei. Auch Pappel-Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen, die auf umgebrochenen, zuvor intensiv genutzten Grünlandflächen angepflanzt und in Standardkesseln energetisch genutzt werden, führen zu hohen flächenspezifischen CO-Emissionen. Zu einer flächenbezogenen CO-Einsparung kommt es lediglich bei der Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln und bei der Verbrennung von Heu-Rundballen.

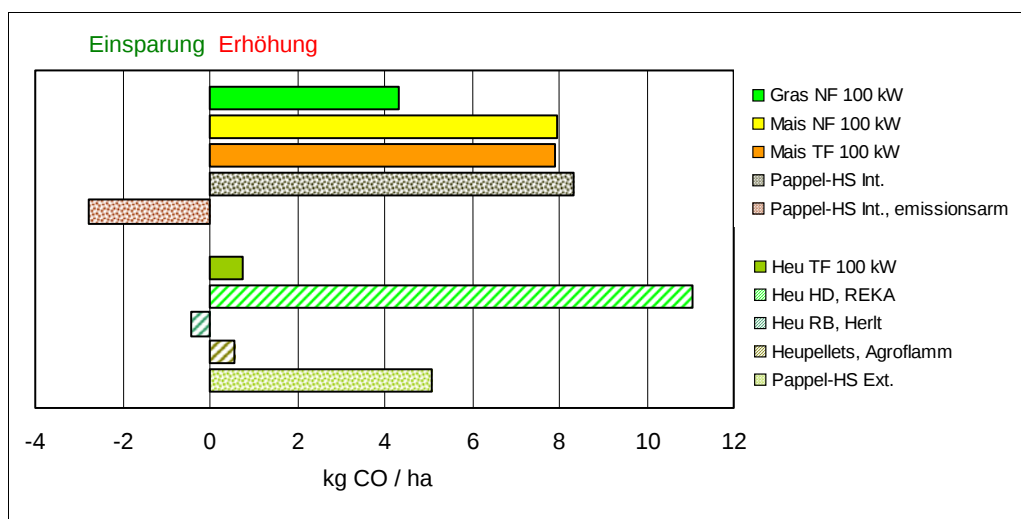


Abb. 60: Flächenspezifische Veränderung der Freisetzung von Kohlenmonoxid durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

### Einordnung der zusätzlichen Emissionen an Feinstaub, NO<sub>x</sub> und CO

In Baden-Württemberg ist die Belastung mit Feinstaub, Stickoxiden und Kohlenmonoxid insgesamt gesehen eher gering. Während im ländlichen Raum die großflächigen Schadstoffgehalte deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten (Tab. 33) liegen, kann es in urbanen Räumen allerdings punktuell zur Überschreitung der Grenzwerte kommen.

Tab. 33: Schadstoffbelastung im ländlichen Raum in Baden-Württemberg

| Schadstoff      | Belastung 2004        | Grenzwert             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| CO              | 0,5 mg/m <sup>3</sup> | 10 mg/m <sup>3</sup>  |
| Staub (PM10)    | 15 µg/m <sup>3</sup>  | 40 µg/m <sup>3</sup>  |
| NO <sub>2</sub> | 10 µg/m <sup>3</sup>  | 40 µg/m <sup>3*</sup> |

\* Zielwert ab 2010

Quelle: Statistisches Landesamt 2005b

Außerdem können Schadstoffemissionen durch Ferntransport die Schadstoffbelastung in Räumen mit bereits hoher Belastung weiter erhöhen. Bei den Feinstaubemissionen wurden beispielsweise die seit dem Jahr 2005 gültigen Feinstaub-Immissions-Grenzwerte an mehreren Orten in Baden-Württemberg überschritten (UMBW 2006b, Höpfner/Gundert-Remy 2005). Für Emissionen an NO<sub>x</sub> und NMVOC ist außerdem zu beachten, dass durch die Verabschiedung der NEC-Richtlinie durch die EU für diese Luftschadstoffe bis 2010 flächendeckend Immissions-Grenzwerte eingehalten werden müssen.

### Sommersmog

Die starke Reizwirkung des „photochemischen Smogs“ auf Augen und Schleimhäute der oberen Atemwege (Nasen-Rachen-Raum) kommt nur zu einem geringen Teil durch Ozon zustande, hauptsächlich aber durch andere Photo-Oxidantien, die als Nebenprodukt der atmosphärischen Ozonbildung entstehen. Für die Berechnung der Auswirkungen der Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland auf die Bildung von Sommersmog wird das troposphärische Ozonbildungspotenzial der emittierten Ozon-Vorläufersubstanzen verwendet<sup>35</sup>. Dabei wurden die folgenden Substanzen und die Gewichtungsfaktoren (in Klammern) von EEA (2000) verwendet: CH<sub>4</sub> (0,014), CO (0,110), NMVOC (1,000), NO<sub>x</sub> (1,220). Die untersuchten Verfahren führen im Vergleich zur Referenz alle zu einer verstärkten Bildung an Sommersmog (Abb. 61). Die höchsten Mehremissionen im Vergleich zur Referenz haben die Verfahren der Heuverbrennung. Die Heu-Rundballen stellen sich dabei allerdings deutlich besser dar als die Heu-Hochdruckballen oder die Heupellets. Am günstigsten schneidet die emissionsarme Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln ab.

<sup>35</sup> Bei der Aggregierung kann nur eine grobe Annäherung erfolgen, da beispielsweise NO<sub>x</sub> in ländlichen Regionen eine verstärkte Ozonbildung bewirken, wohingegen sie im urbanen Bereich zu einem Ozonabbau führen können.

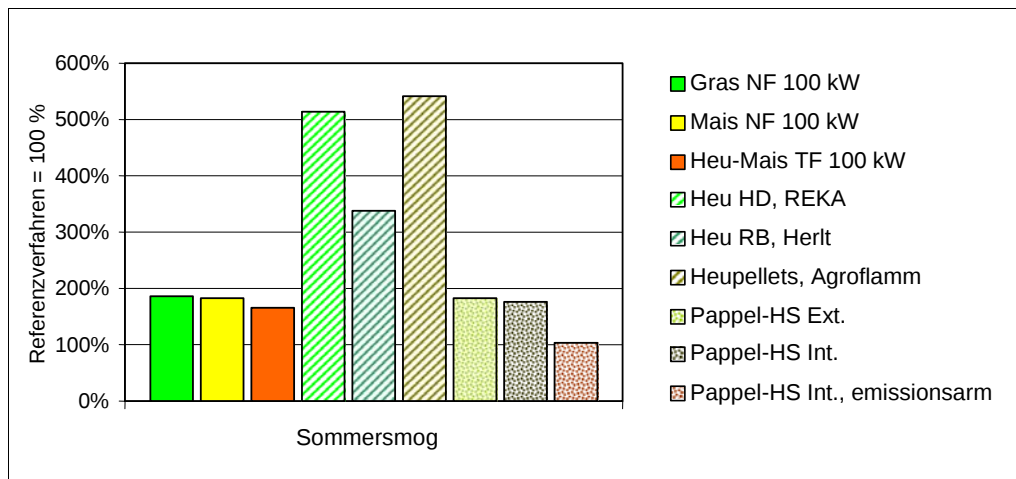


Abb. 61: Bildung von Sommersmog der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Der flächenspezifische Bezug zeigt, dass die Verbrennung von Heupellets extensiv genutzter Grünlandflächen mit den höchsten Beiträgen zur Sommersmogbildung verbunden ist (Abb. 62). Die Verbrennung von Heuballen hat ebenfalls eine deutliche Erhöhung der Beiträge zum Sommersmog zur Folge. Bei einer Verbrennung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln sinkt die zusätzliche Sommersmogbildung bei Pappeln dagegen auf ein sehr niedriges Niveau. Lediglich die Trockenfermentation von Heu kann zu einer Einsparung an Sommersmogbildenden Verbindungen beitragen.

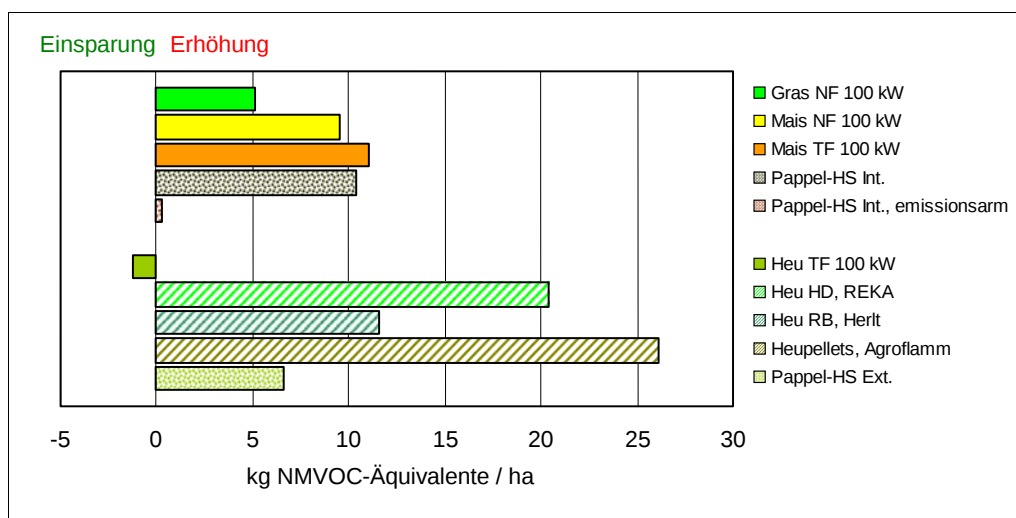


Abb. 62: Flächenspezifischer Beitrag zur Bildung von Sommersmog durch Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

### Gesundheitlich relevante Pilzsporen

Unter den betrachteten Verfahren ist eine gesundheitliche Belastung durch Pilzsporen insbesondere bei der Energiegewinnung aus Pappel-Kurzumtriebsplantagen relevant. Bei der Lagerung der Pappel-Hackschnitzel kann es zum Abbau organischer Substanz und hierdurch zur Erhöhung der Temperaturen im Hackschnitzelhaufen und zu Schimmelpilzbefall in einer arbeitshygienisch bedenklichen Größenordnung kommen. Zu den auf Holzhackschnitzeln auftretenden Schimmelpilzen gehören unter anderem Vertreter der pathogenen,

toxisch und allergen wirkenden Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium* und *Cladsporium* (Scholz et al. 2005a).

In der näheren Umgebung von Holzhackschnitzel-Schüttungen können die Konzentration an Pilzsporen in der Luft die der Umgebungsluft um etwa ein bis zwei Zehnerpotenzen überschreiten. Wie auf dem Holz dominiert auch in der Luft die thermophile Pilzspezies *Aspergillus fumigatus*. Bei der mechanischen Aus- und Umlagerung der Holzhackschnitzel kann die Sporenkonzentration in der Luft kurzzeitig auf sehr hohe Werte ansteigen und den technischen Kontrollwert für biologische Abfallbehandlungsanlagen überschreiten. Dieser Kontrollwert, der für Holzlager keine gesetzliche Verbindlichkeit hat, gilt bei Kontrollen von Schutzmaßnahmen für Personal, das in den Kabinen und Steuerständen biologischer Abfallbehandlungsanlagen arbeitet.

Die Gefahr der Schimmelpilzentwicklung kann durch Wahl der Hackschnitzellänge verringert werden. Bei grobstückigem Hackgut (durchschnittliche mittlere Länge von mindestens 100 mm) ist die Zahl an thermophilen, gesundheitsgefährdenden Schimmelpilzen um den Faktor  $10^3$  bis  $10^4$  niedriger als bei Feinhackschnitzeln (Scholz et al. 2005b). Der Pilz mit der höchsten humanpathogenen Potenz, *Aspergillus fumigatus*, wurde in Versuchen mit feinen und mittelgroßen Hackschnitzeln (HS 16-36) in 93 % und bei groben Hackschnitzeln (HS 63-156) in 76 % der insgesamt analysierten Proben nachgewiesen. Sehr günstig wirkt sich auch eine Abtrocknung des Holzbrennstoffs durch eine Lagerung ganzer Baumstämme aus, da hier die Durchlüftung am besten gewährleistet ist und die Temperaturzunahme am niedrigsten ausfällt.

#### 4.3.7 Erhalt der Biodiversität

Eine wesentliche Voraussetzung nachhaltiger Entwicklung ist, dass die Nutzungsrate sich erneuernder Ressourcen deren Regenerationsrate nicht überschreiten sowie die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des jeweiligen Ökosystems nicht gefährden darf. Diese Forderung betrifft im Kontext der Energiegewinnung aus dem Grünland vor allem den nachfolgend betrachteten Aspekt der Biodiversität sowie die in den folgenden Kapiteln analysierten Bereiche Bodenschutz und Schutz der Grund- und Oberflächengewässer.

Das Grünland gehört zu den artenreichsten Ökosystemen Mitteleuropas und beherbergt über die Hälfte der in Deutschland vorkommenden Pflanzenarten. Extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen kommt dabei eine besondere Rolle zu, weil sie den größten Teil der 870 gefährdeten Pflanzenarten Deutschlands (58 %) aufweisen. Das artenreiche Grünland der mäßig trockenen bis mäßig feuchten Standorte umfasst im Wesentlichen die Glatt- und Goldhaferwiesen. Sie besitzen eine dreifach höhere Artenzahl an Pflanzen. Die in Baden-Württemberg vorkommenden Bestände der Glatthaferwiesen besitzen wegen ihrer Artenausstattung und Ausbildungsmannigfaltigkeit europaweite Bedeutung (Höll/Breunig 1995). Sie tragen mit ihren jahreszeitlich verschiedenen Blühaspekten auch wesentlich zur Belebung des Landschaftsbildes bei und sind charakteristische Bestandteile der Kulturlandschaft.

Während früher die auf Grünland beheimateten Arten vor allem durch Melioration des Standorts (z. B. Drainage) oder Intensivierung der Nutzung gefährdet waren, stellt heute die Aufgabe ertragsschwacher oder schlecht zu bewirtschaftender Grünlandflächen die wich-

tigste Bedrohung der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft dar. Das Zusammenbrechen der traditionellen Futterwiesen- und Heuwirtschaft gefährdet insbesondere die artenreichen Flachland- und Bergmähwiesen. Mangels Nutzungsalternativen werden extensive Grünlandflächen häufig aufgeforstet oder der Sukzession überlassen, was ebenfalls mit einer Artenveränderung und meist auch einem Artenverlust einhergeht und in walddreichen Mittelgebirgslagen oft auch weitere Probleme aufwirft (Lokalklima, Landschaftsbild).

Da die Artenvielfalt von Extensivgrünland bei Umwandlung von Acker- in Grünland und bei Extensivierung von vormals intensiv genutztem Grünland nur über einen sehr langen Zeitraum hinweg wieder herstellbar ist, hat der Erhalt noch vorhandenen Extensivgrünlands erste Priorität. Am besten geschieht dies durch Fortführung der bisherigen Nutzung. Wo dies nicht möglich ist, kann eine Fläche auch alternativ gepflegt werden. Aus Arbeits- und Kostengründen erscheint das reine Mulchen der Flächen (Mähen ohne Verwertung des Aufwuchses) das derzeit beste Verfahren zum Erhalt artenreicher Grünlandflächen zu sein. Die Ansichten über die Wirkung des Mulchens auf die Artenvielfalt sind allerdings kontrovers. Zum einen wird das Mulchen als ökologisch bedenklich eingeschätzt, da es zu einer Nährstoffanreicherung im Boden und zu einer Verarmung der Flora und Fauna führen kann (SRU 2004). Die „Aulendorfer Extensivierungsversuche“ zeigen dagegen, dass sich durch das Mulchen des Grünlands, verglichen mit dem Mähen und Abräumen des Aufwuchses, die floristische Artenvielfalt kaum verändert. Auch Schreiber et al. (2000) sieht im zweimaligen Mulchen pro Jahr eine Alternative zur Wiesennutzung oder zum Mähen mit Abräumen. Jedoch kann es durch das Mulchen zu einer Umschichtung in den Pflanzenbeständen kommen. Dabei nehmen Obergräser zu und Untergräser und viele Kräuter gehen zurück. Den Flächen fehlen dadurch der Kräuterreichtum und die Blütenbuntheit von Mähwiesen (Briemle 2005). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Arens/Neff (1997). Es kann festgehalten werden, dass das Ausmaß der Artenverschiebung durch das Mulchen im Vergleich zum Mähen vom Standort und Schnittzeitpunkt abhängig ist. Die Veränderung des Artenspektrums ist umso größer, je später der Mulchzeitpunkt im Sommer bzw. Herbst liegt.

Einige Grünlandflächen besitzen inzwischen FFH-Status, das heißt sie sind Teil eines europaweiten Gebietsnetzes, in dem bestimmte Lebensräume und ihre Arten erhalten und geschützt werden. Dazu gehören auch die artenreichen Flachland-Mähwiesen und Berg-Mähwiesen, die als ökologische Besonderheit des süddeutschen Raumes gelten. Von dem geschätzten Gesamtbestand dieser Mähwiesen von rund 67.000 ha liegen 23.000 ha in gemeldeten FFH-Gebieten (LUBW 2004). Zur Erhaltung dieser Schutzflächen ist eine ein- oder zweimalige Mahd pro Jahr (mit Abräumen des Mähgutes) zu bestimmten Mahdzeitpunkten und ggf. ein Verzicht auf Düngung erforderlich oder alternativ ein- bis zweimaliges Mulchen pro Jahr. Im Rahmen des flächenorientierten Agrarumweltprogramms MEKA wird zusätzlich der Erhalt artenreicher, extensiv genutzter Grünlandflächen durch ein auflagen- bzw. ergebnisorientiertes Punktesystem finanziell gefördert. Zur Einstufung der Flächen hinsichtlich ihrer Förderfähigkeit dienen 28 Arten bzw. Artengruppen eines so genannten Kennartenkataloges, der die Pflanzengesellschaften des extensiv genutzten Grünlandes repräsentiert.

### **Nutzung von Heu als Brennstoff**

Der Einsatz des Aufwuchses von überschüssigen Grünlandflächen als Brennstoff für Kleinfeuerungsanlagen könnte dazu beitragen, dass bislang nicht verwertbarer Aufwuchs eine neue Form der Verwertung findet und dadurch ein wirtschaftlicher Anreiz entsteht, die extensive Grünlandnutzung zu erhalten. Die Verfahren zur energetischen Nutzung von Heu werden – das zeigen die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennung (siehe Kap. 3.2.3) – aber nicht wie von Naturschutzseite erhofft, den Erhalt extensiver Grünlandflächen und ihrer Artenvielfalt sichern können (NABU 2005). Dazu sind nicht nur die Flächenerträge zu gering. Rund 18.000 ha an überschüssigem Grünland können aufgrund technischer und wirtschaftlicher Restriktionen überhaupt nicht energetisch genutzt werden. Es ist zu vermuten, dass auch bei diesen Flächen ein erheblicher Umfang an artenreichem Grünland enthalten ist.

### **Bereitstellung von Gras- und Maissilage**

Die Erzeugung von Grassilage als Biogassubstrat findet dort statt, wo dies unter den gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich ist. Dies betrifft größtenteils Grünlandflächen, die ein hohes Ertragspotenzial und meist eine geringe Artenvielfalt aufweisen. Daneben gibt es aber auch Grünlandflächen, die, gefördert über das Agrarumweltprogramm MEKA, bislang extensiv bewirtschaftet wurden mit dem Ziel, eine gewisse Artenvielfalt großflächig zu erhalten. Ein Teil dieser Flächen könnte ggf. intensiver bewirtschaftet werden mit dem Effekt, dass sich die Ertragsleistung erhöht und eine Nutzung des Aufwuchses in Biogasanlagen wirtschaftlich wird. Die Abschätzungen über das Flächenpotenzial zur Biogasgewinnung aus überschüssigem Grünland beinhalten deshalb auch artenreiches Grünland (Annahme: 70 % des in MEKA gemeldeten artenreichen Grünlands). Artenreiche Grünlandflächen mit FFH-Status müssen erhalten werden und sind deshalb nicht von der Intensivierung betroffen. Der NABU (2005) beurteilt die Intensivierung extensiv genutzter Grünlandflächen zu Gunsten einer effektiveren Biomassenutzung insgesamt als nachteilig für den Naturschutz. Hierbei ist jedoch zu hinterfragen, auf welche Aspekte sich diese Bewertung bezieht. Hinsichtlich der Artenvielfalt kann dies tatsächlich der Fall sein, insbesondere wenn das Ziel ein flächenorientierter Naturschutz ist (je mehr desto besser). Angesichts der zurückgehenden finanziellen Ausstattung von Agrarumweltprogrammen ist hier unter Umständen zukünftig jedoch eine differenziertere Betrachtung erforderlich.

Eine Intensivierung extensiv genutzter, artenreicher Wiesen zur Erzeugung von Grassilage kann zu einer Verringerung der Artenvielfalt führen, da bestimmte Pflanzenarten nur einen Schnitt oder zwei Schnitte pro Jahr vertragen. Diese Pflanzen werden durch häufigere Schnitte daran gehindert, ausreichende Energiereserven für den zweiten Aufwuchs oder die Überwinterung und den Frühljahrsaustrrieb anzulegen. Je früher im Jahr vor allem die erste Mahd erfolgt, desto ungünstiger wirkt sie sich auf das Regenerationsvermögen der meisten Pflanzen aus (Nowak/Schulz 2002). Die Rückführung des Gärrückstands führt außerdem dazu, dass verstärkt Arten aufkommen, die das verbesserte Nährstoffangebot effektiver ausnützen können als die an ein mageres Nährstoffangebot angepassten Arten.

Ob extensiv genutztes, artenreiches Grünland allerdings erfolgreich intensiviert und zur Erzeugung von Grassilage für Biogasanlagen herangezogen werden kann, ist noch weitge-

hend unerforscht. Erste Untersuchungen zum Methanbildungspotential von Aufwüchsen extensiv genutzter Grünlandbestände deuten darauf hin, dass die Höhe des Biogasertrags von der Qualität des Materials abhängt. Nach Amon et al. (2006) kann mit dem Aufwuchs extensiver Grünlandflächen lediglich ein geringer Methanertrag je Tonne erzielt werden. Dies könnte eine Folge der botanischen Zusammensetzung sein.

Der Umbruch von Grünland mit nachfolgendem Anbau von Mais führt zu einer Zerstörung der Lebensgrundlage von auf Grünland spezialisierten Pflanzen- und Tierarten. Da es sich dabei allerdings um bislang eher intensiv bewirtschaftetes Grünland mit entsprechend geringer Anzahl an ubiquitären Arten handeln dürfte, ist dieser Verlust bezüglich der Biodiversität nicht allzu hoch zu bewerten.

### **Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen**

Allgemein gültige Aussagen zur Entwicklung der Artenvielfalt in Pappel-Kurzumtriebsplantagen sind schwierig, da bislang nur wenige Untersuchungen mit standardisierten Vegetationsaufnahmen und zoologischen Beobachtungen vorliegen und diese meist nicht über ausreichend lange Zeiträume durchgeführt werden konnten. Außerdem hängen die Effekte auf Flora und Fauna von verschiedenen Einflussfaktoren ab, wie z. B. von der angepflanzten Baumart und -sorte, den Umtriebszeiten, der Dichte der Pflanzverbände und der Größe der Anbauflächen. Darüber hinaus wird das Ausmaß der Auswirkungen auch vom Arteninventar am konkreten Standort und der Umgebung bestimmt.

Vielfach wird davon ausgegangen, dass Kurzumtriebsplantagen auf bislang extensiv genutzten Flächen angepflanzt werden und dadurch seltene oder besonders gefährdete Pflanzenarten verdrängen (Ellenberg/Schneider 1988, Weiger 1988). Zu diesen bereits selten gewordenen, für den Naturschutz wertvollen und deshalb erhaltenswerten Lebensräumen gehören auch bestimmte Grünlandtypen, wie z. B. Feuchtwiesen, Heiden sowie Trocken- und Magerrasen (Grabherr et al. 1992). Diese Ansicht vertritt auch der NABU. Er kommt zu dem Schluss, dass „die Bilanz für den Naturschutz negativ ausfällt“, wenn extensives Grünland mit schnellwachsenden Baumarten aufgeforstet wird (NABU 2005).

Die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem, intensivem Grünland führt zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung. Die Anzahl an Pflanzenarten kann in einer Pappel-Kurzumtriebsplantage (145 Arten) deutlich höher sein als die eines Weizenfeldes (17 Arten) oder einer intensiv genutzten Grünlandfläche (Heilmann et al. 1995). In der Regel handelt es sich dabei allerdings um ubiquitäre, nicht besonders schützenswerte Arten. Floristische Untersuchungen in Bayern (Burger 2007) zeigen jedoch, dass die Begleitvegetation von Pappel-Kurzumtriebsplantagen nicht nur eine große Artenvielfalt (111 Arten wurden nachgewiesen), sondern auch seltene Arten (16 Arten der Roten Liste) aufweisen kann. Bei der Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln auf bislang extensiv genutzten, artenreichen Grünlandflächen ist dagegen davon auszugehen, dass es zu einem Verlust an Artenvielfalt kommt. Aufgrund der eher geringen Ertragsleistung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf extensiven Grünlandflächen und der Ausweisung von FFH-Grünlandflächen – hier ist aufgrund des FFH-Bestandsschutzes keine Pappelanpflanzung möglich – dürfte sich die Gefährdung der Artenvielfalt extensiver Grünlandflächen durch Umbruch und Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen jedoch in Grenzen halten.

Die Besiedlung neu angelegter Pappel-Kurzumtriebsplantagen mit Tieren ist – wie bei den Pflanzen auch – vom Artenspektrum der umgebenden Landschaft und deren Ausbreitungspotenzial abhängig (Liesebach/Mulsow 1995, 2003). Die Artenzahl und Siedlungsdichte in Pappelplantagen können sogar höher liegen als in der sie umgebenden Feldflur. Dies zeigen beispielsweise Untersuchungen zum Sommervogelbestand. Während Arten, die in angrenzenden Feldgehölzen oder Hecken ihren Lebensraum haben, bei Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln zunehmen, sinkt die Zahl anderer Arten, wie z. B. der klassischen Freiflächenvogelarten (z. B. Feldlerche und Kiebitz) (Göransson 1994). Auch die Ergebnisse von Burger (2006c) zur Veränderung der Spinnenpopulation zeigen eine Veränderung der Fauna in Richtung Niederwald-Fauna, aber auch dass seltene Arten (Arten der Roten Liste) darunter anzutreffen sind. Im Vergleich zu Grünland bietet die Pappelplantage den Tieren ganzjährige Deckung. In waldarmen Grünlandgebieten können sie die Wirkung von ökologischen Korridoren (Biotopverbund) haben (Londo et al. 2004, Grabherr et al. 1992). Als weiterer Vorteil kommt hinzu, dass der Erntezeitpunkt in den biologisch inaktiven Spätwintermonaten liegt, so dass eine Beeinträchtigung z. B. von Vogelbrut nahezu ausgeschlossen ist.

Ein anderer Aspekt, der einen möglichen Einfluss auf die Biodiversität hat, betrifft die Freisetzung gentechnisch veränderter Pappeln. Durch gentechnische Veränderungen des inzwischen komplett entschlüsselten Pappelgenoms können inzwischen Pappeln gezüchtet werden, die noch schneller wachsen als die üblichen Pappelklone. In Deutschland sind bislang zweimal gentechnisch veränderte Pappelklone freigesetzt worden. Das Risiko, dass sich gentechnisch veränderte Pappeln im Freiland verbreiten und sich ihr Genmaterial mit dem nicht manipulierter Pflanzen vermischt, ist relativ gering, da Pappeln erst im Alter von zehn bis zwanzig Jahren blühen und sich verbreiten. Dennoch bleibt eine gewisse Gefahr, dass sich die gentechnisch veränderten Pappeln – ähnlich wie Hybridpappeln – mit genetisch unveränderten heimischen Bäumen der entsprechenden Art kreuzen können und es so zu Veränderungen der Biodiversität kommt.

#### 4.3.8 Bodenschutz

Der Boden gehört als nicht vermehrbare Ressource zum endlichen Naturkapital der Menschheit. Er ist die Basis für die Produktion von Biomasse und die Bereitstellung von Lebensmitteln, Lebensraum für Flora und Fauna und vieles mehr. Daneben erfüllt der Boden zahlreiche ökologische Funktionen wie die Bindung und Lieferung von Nährstoffen, die Speicherung von Kohlenstoff, die Aufrechterhaltung des Wasserhaushalts und den Abbau von Schadstoffen. Durch diese vielfältigen Funktionen des Bodens für den Naturhaushalt und den Menschen ist der Erhalt des Bodens und seiner Funktionen von großer Wichtigkeit für eine nachhaltige Entwicklung.

Grund und Boden können zwar im eigentlichen Sinne nicht „verbraucht“ werden, wohl aber in einer Weise genutzt werden, die das Spektrum künftiger Nutzungsoptionen erheblich einschränkt. Da das Angebot an Fläche begrenzt und nicht vermehrbar ist, stehen die verschiedenen Nutzungsformen untereinander in Konkurrenz. Auch wenn bestimmte Nutzungen miteinander kompatibel sind – so kann z. B. eine Grünlandfläche gleichzeitig der Produktion von Milch und Fleisch dienen, den Lebensraum für Tiere und Pflanzen bilden und eine Erholungsfunktion für den Menschen erfüllen – schließen sich die meisten Nut-

zungsformen gegenseitig ganz oder teilweise aus. Außerdem tragen viele Arten der Flächennutzung dazu bei, die ökologischen Funktionen des Bodens (Puffer- und Filterkapazität, Regulierung des Wasserhaushalts etc.) schwerwiegend zu beeinträchtigen oder ganz zu zerstören (BVB 2001). Böden können sich im Prinzip erneuern. Da die Neubildung und Regeneration aber äußerst lange Zeiträume beanspruchen, sind viele Schädigungen praktisch irreversibel (Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz 2000).

Die Nutzung von Grünland zur Erzeugung von Grassilage oder Heu schützt den Boden besonders gut vor Erosion, weil damit eine ganzjährige Bedeckung des Bodens einhergeht. Die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem Grünland hat ebenfalls mittelfristig gesehen bodenerhaltende Wirkung (Tiefenbacher 1992, Unseld 1999, Krondorfer 1990, Grabherr et al. 1992). Allerdings kann der Einsatz von Gehölmähähäckseln oder das Rücken der manuell gefällten Pappeln auf druckempfindlichen Böden zu Bodenverdichtungen und hierdurch zu Beeinträchtigungen der Bodenfruchtbarkeit führen, insbesondere wenn der Boden zum Erntezeitpunkt nicht trocken oder gefroren ist.

Die Umwandlung von Grünland in Ackerfläche und deren Nutzung für den Anbau von Mais kann – im Gegensatz zur Anpflanzung von Pappeln – zu einer Verschlechterung des Bodenzustands durch Humusabbau und Erosion führen. Während der langsamen Jugendentwicklung von Mais ist der Boden über einen relativ langen Zeitraum unbedeckt und der Gefahr der Bodenerosion ausgesetzt. Durch Mulch- oder Direktsaat kann die Gefahr von Bodenabschwemmungen unter Mais in Hanglagen verringert, aber nicht beseitigt werden.

#### **4.3.9 Schutz der Grund- und Oberflächengewässer**

Grünlandflächen spielen eine wichtige Rolle im Gewässerschutz, da der Stoffaustrag in Richtung bzw. ins Grundwasser unter Grünland im Vergleich zu Ackerflächen gering ist und die Nitratauswaschung unter Grünland im Durchschnitt ähnlich niedrig ist wie unter Wald. Aufgrund des guten Grundwasserschutzes durch Grünland zahlen in bestimmten Regionen die Wasserversorger den Landwirten einen finanziellen Ausgleich für eine Umwandlung von Ackerflächen in Grünland. Das Grünland schützt aber nicht nur das Grundwasser, sondern auch Oberflächengewässer vor dem Eintrag an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln oder deren Metabolite. In Baden-Württemberg dürfen deshalb geschützte Grünland-Gewässerrandstreifen entlang von Flüssen, Bächen und Seen (rund 50.000 km) nicht umgebrochen werden. Hierdurch soll verhindert werden, dass Nähr- und Schadstoffe in die Gewässer abgeschwemmt werden (UMBW 2005).

Bei der Neuanlage von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem Grünland wird infolge der Zerstörung des unter Grünland entstandenen stabilen Bodengefüges organisch gebundener Stickstoff verstärkt mineralisiert. Dies kann zu einem erhöhten Risiko des Nitrataustrags in Richtung Grundwasser führen. Nach einiger Zeit bauen die Pappelpflanzen allerdings wieder ein stabiles Bodengefüge auf und sind dann in ihrer Schutzfunktion für Grund- und Oberflächengewässer mit der Grünlandnutzung vergleichbar.

Auch beim Umbruch von Grünland mit anschließendem Maisanbau wird das gewachsene stabile Bodengefüge zerstört. Allerdings ist der Mais nicht in der Lage einen dem Grünland vergleichbaren Bodenzustand neu aufzubauen. Darüber hinaus werden nach Maisanbau im Herbst oft hohe Restwerte an Nitrat im Boden gemessen. Ursachen hierfür sind zum einen

die Gülleentsorgung auf Mais, da Mais auf eine Stickstoffüberdüngung weder mit negativen qualitativen Veränderungen noch mit Ertragseinbußen reagiert. Dazu kommt, dass Mais spät mit der Stickstoffaufnahme (Juni bis August) beginnt. Oftmals wird die vom Boden gelieferte Stickstoffmenge bei der Düngung nicht berücksichtigt, was zwangsläufig zu einer Überdüngung und zu einem höheren Auswaschungsrisiko bei Maisanbau führt. In Abhängigkeit von der Auswaschungsgefährdung der Böden gibt es in Nitratproblemgebieten Regelungen für den Anbau von Mais und anderen Ackerkulturen hinsichtlich der Ausbringung organischer Dünger und der Begrünung mit (winterharter) Untersaat.

#### 4.3.10 Kulturelle Funktion des Grünlands

Die Nachhaltigkeitsforderung zum Erhalt der Natur aufgrund ihrer kulturellen Funktion basiert auf eudämonistischen<sup>36</sup> Argumenten (Kopfmüller et al. 2001) und bezieht sich auf die lebensbereichernde Funktion von Grünland als Gegenstand sinnlicher, kontemplativer, spiritueller und ästhetischer Erfahrung. Der eudämonistische Wert von Natur ist nicht für alle Menschen gleichermaßen nachvollziehbar. Dennoch stellt die Naturerfahrung nicht nur eine subjektive Präferenz gewisser Leute dar, sondern wird als eine allgemein zugängliche wesentliche Option eines „guten Lebens“ betrachtet (Seel 1997, SRU 2002). Die Rücksicht auf die Entfaltungsmöglichkeiten jener Menschen, für die das Erleben der Natur einen hohen Wert darstellt, gebietet es, ihre Schönheit und Vielfalt zu erhalten. Moralische Pflichten bestehen dabei nicht gegenüber der Natur, sondern in Ansehung von Natur, d. h. beispielsweise von durch Grünland geprägte Kulturlandschaften, deren Zerstörung für diese Menschen einen großen Verlust darstellen würde (Ott 1998).

Landschaften sind Ausdruck eines gemeinsamen Kultur- und Naturerbes, das seinen vielfältigen kulturellen, sozialen, ästhetischen und ökologischen Funktionen entsprechend erhalten, geschützt und entwickelt werden soll. In einer sehr allgemeinen Form besteht hierüber auch in Baden-Württemberg Übereinstimmung. Dieser gesellschaftliche Grundkonsens liefert jedoch keine Antwort auf die Frage, welche Objekte, Bereiche oder Zustände der Natur unter Schutz gestellt werden sollen. Vielen Menschen gilt in erster Linie der Status quo als der erhaltenswürdige Zustand, der sich jedoch aufgrund der Dynamik von Natur und Kultur und der Wechselwirkungen zwischen naturräumlichen Gegebenheiten und menschlicher Einflussnahme – ein Wesensmerkmal der Kulturlandschaft – prinzipiell nicht konservieren lässt (DRL 2005).

Nicht nur die Kulturlandschaft, sondern auch die Einstellung des Menschen zur Natur hat sich im Laufe der Zeit gewandelt<sup>37</sup>. Die Frage, welche Landschaft bewahrt werden soll, lässt sich deshalb nicht wissenschaftlich entscheiden, sondern bedarf der Bildung eines gesellschaftlichen Konsenses. Das heißt, die Gesellschaft muss sich entscheiden, wo sie eine bestimmte Kulturlandschaft erhalten oder die Landschaft der natürlichen Sukzession und damit der „Verwilderung“ überlassen will. Notwendig ist daher eine offene und öffent-

<sup>36</sup> Eudämonistische Werte (von Griechisch „eudaimonia“ = Glück) beziehen sich auf Erfahrungen im Umgang mit der Natur, die sich für ein wertendes Subjekt „um ihrer selbst willen“ lohnen (Ott 2000).

<sup>37</sup> Vielen Bürgern gelten z. B. die Wacholderheiden auf der Schwäbischen Alb als der Inbegriff einer erhaltenswerten, extensiv bewirtschafteten Kulturlandschaft, die in Wirklichkeit das Ergebnis einer dauerhaften Übernutzung durch den Menschen darstellt. Ohne landschaftspflegerische Maßnahmen, die den historischen Raubbau mit moderner Technik simulieren, würde diese Landschaft ihre charakteristische Eigenart und damit ihren „Heimatwert“ verlieren.

liche Debatte über die weitere Entwicklung der Kulturlandschaft, in der zumindest Konsens über Leitbilder für die regionale und lokale Ebene hergestellt werden sollte (DRL 2005, ähnlich Spanier 2004). Die Bewertung von Landschaften, die Festsetzung landschaftsbezogener Qualitätsziele und ihre Umsetzung durch geeignete Pläne und Programme ist auch Bestandteil der Forderungen der Europäischen Landschaftskonvention (Europäische Landschaftskonvention 2000).

Auch wenn noch wenig über die kausalen Zusammenhänge zwischen Heimat und Kulturlandschaft bekannt ist, kann festgestellt werden, dass es offensichtlich sehr enge Beziehungen zwischen der individuellen Ausprägung von Kulturlandschaft und dem Empfinden von Heimat gibt. Kulturlandschaften sind dabei immer Nutzlandschaften, die die Bedürfnisse, die existenziellen Notwendigkeiten, die gestalterischen und technischen Möglichkeiten sowie die politischen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen der Zeit, in der sie geformt wurden, widerspiegeln (Konold/Reidl 2006). Mit einer über tausendjährigen Tradition bilden die Grünlandflächen darüber hinaus einen Erinnerungswert, d. h. sie sind für einen Teil der individuellen Identität der in Grünlandgebieten beheimateten Menschen von Bedeutung, vermitteln ihnen Geborgenheit und sollten deshalb für kommende Generationen erhalten werden.

Wiesen und Weiden prägen mit ihrer typischen landwirtschaftlichen Nutzung und ihrer Artenvielfalt in einigen Regionen Baden-Württembergs die Kulturlandschaft und tragen wesentlich zu ihrer Eigenart, Vielfalt und Schönheit bei (Nowak/Schulz 2002, Briemle/Elsässer 1997). Sowohl intensiv genutzte Wiesen als auch beweidete (Wachholderheiden) oder gemähte Kalkmagerrasen (Mähder), Streuobstwiesen, Streuwiesen, Borstgrasrasen und Weidfelder sind in Baden-Württemberg traditionelle Elemente der Kulturlandschaft, die ohne Eingriff des Menschen nicht entstanden wären und ohne diesen ihren Wert schnell verlieren würden (Konold/Reidl 2006). Durch die Nutzung von überschüssigem Grünland zur Erzeugung eines Heubrennstoffs könnte insbesondere das gefährdete, weil für die landwirtschaftliche Produktion weitgehend nutzlose, extensive Grünland und damit auch seine kulturelle Funktion erhalten werden. Dies setzt aufgrund der derzeit noch fehlenden Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennung jedoch eine finanzielle Förderung voraus.

Die Effekte von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung werden nach Wolf/Böhnisch (2004) überwiegend negativ beurteilt. Krause (2006) führt dies im Wesentlichen darauf zurück, dass Kurzumtriebsplantagen die Schönheit und Eigenart sowie den Aufbau eines Landschaftsraumes (z. B. Grünlandgürtel), die Sichtbeziehungen (Aussichten, Ein- und Überblicke) und ästhetischen Genüsse (Kontemplation) sowie die Angebote zum Aufenthalt und zur Bewegung in der Landschaft abändern und charakteristische Erlebnisformen eliminiert werden. In bislang intensiv genutzten Grünlandgebieten mit geringem Wald- und Gehölzanteil kann durch begleitende Maßnahmen, wie z. B. Einbindung vorhandener Landschaftselemente (z. B. Feldgehölze), Untergliederung in Teilareale und unterschiedliche Nutzungszyklen, die Einpassung von Kurzumtriebsplantagen in das Landschaftsgefüge unterstützt werden. Die Untersuchungen zum Feldstreifenanbau zeigen, dass Pappelstreifen flexibel an unterschiedliche Landschaftsräume und Feldgrößen angepasst und dadurch die Landschaft beleben können, insbesondere wenn es sich dabei um weitgehend ausgeräumte, von großen Ackerschlägen geprägte Landstriche handelt (Röhrich/Ruscher 2004b). In Regionen mit bereits hohem Anteil an Waldflächen

dürfte die Anpflanzung von Pappelplantagen dagegen meist negativ gesehen werden, insbesondere wenn dort als Folge der Aufgabe von Grünland der Waldanteil in der Vergangenheit bereits angestiegen oder schon relativ hoch ist (Bieling et al. 2006).

Weitere Hinweise auf die Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturschutz und Landschaftsbild wird das Verbundvorhaben „agroforst“ liefern (Konold/Spiecker 2006). Hier soll untersucht werden, in wieweit agroforstliche Bewirtschaftungskonzepte als Alternativen zu den bislang räumlich getrennten land- bzw. forstwirtschaftlichen Nutzungen in Frage kommen. Dabei sollen Gebiete identifiziert werden, in denen aufgrund ihrer standörtlichen und agrarstrukturellen Voraussetzungen Agroforstsysteme von besonderem Interesse sind. Mit Hilfe der Simulationstechnik und einer Landschaftsbildanalyse wird die Akzeptanz dieses neuartigen Elementes im Landschaftsbild geprüft.

Die Umwandlung von Grünland in Maisanbauflächen wirkt sich negativ auf die kulturelle Funktion des Grünlands aus. Auch hier erfährt das Landschaftsbild eine negative Veränderung, allerdings entfällt in bisher ausgeräumten Landschaften das belebende Element, das Pappelanpflanzungen darstellen können.

Der Bestand an Grünland ist nicht nur durch die Umwandlung zu Ackerfläche oder Aufforstung, sondern auch durch die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr gefährdet. Die Flächenumwandlung in Siedlungs- und Verkehrsfläche hat in Baden-Württemberg innerhalb der letzten 100 Jahre um 350.000 Hektar zugenommen und sich damit vervierfacht. Im Durchschnitt der letzten 20 Jahre hat die Siedlungs- und Verkehrsfläche täglich um circa 11 Hektar pro Tag (bzw. 4.000 Hektar pro Jahr) zugenommen. Das im Landes-Umweltplan formulierte Ziel einer „deutlichen Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr“ wird nach Ansicht des Nachhaltigkeitsbeirats Baden-Württemberg mit den bestehenden Instrumenten des Planungsrechts allein nicht erreicht werden können. Die Umwandlung von Grünland in Verkehrs- und Siedlungsfläche und der damit verknüpfte Verlust an Kulturlandschaft werden deshalb anhalten.

#### 4.3.11 Beschäftigung

Die Erfüllung der Nachhaltigkeitsforderung, allen Gesellschaftsmitgliedern die Möglichkeit zu geben, ihre Existenz durch eine frei übernommene Tätigkeit selbst zu sichern, hängt entscheidend von der Arbeitsplatz- und Einkommenssituation ab. Aus diesem Grund wird in diesem Abschnitt der Indikator „Beschäftigung“ und nachfolgend der Indikator „Entlohnung“ zur Operationalisierung des Nachhaltigkeitsziels der selbstständigen Existenzsicherung verwendet. Insbesondere für die nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raums kommt diesen beiden Indikatoren eine zentrale Rolle zu. Die Wichtigkeit einer ausreichenden Einkommenssituation im ländlichen Raum wird u. a. von Ministerpräsident Oettinger vielfach betont (Oettinger 2005a, 2005b). Wie wichtig sie der Landesregierung ist, wird z. B. durch das Entwicklungsprogramm Ländlicher Raum deutlich.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Mit diesem Programm sollen der landwirtschaftliche Strukturwandel abgefedert, der Abwanderung in ländlichen Regionen entgegengewirkt und in Dörfern und Gemeinden des ländlichen Raums die Lebens- und Arbeitsbedingungen erhalten werden.

Obwohl die Situation auf dem Arbeitsmarkt in Baden-Württemberg besser aussieht als in den meisten anderen Teilen Deutschlands, ist die Lage auch hier mit einer Arbeitslosenquote von 6,3 % (2006) nicht nachhaltig<sup>39</sup>. Dank des kräftigen Konjunkturaufschwungs sieht die Arbeitsmarktbilanz für das Jahr 2006 positiver aus als in den vergangenen Jahren. Ersten vorläufigen Berechnungen des Arbeitskreises „Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder“ (Statistisches Landesamt 2007) zufolge stieg die Zahl der Erwerbstätigen in Baden-Württemberg jahresdurchschnittlich um fast 37.000 (bzw. 0,7 %) auf 5,44 Millionen und erreichte nach 2001 erstmals wieder einen neuen Höchststand (2001: 5,43 Mio. Erwerbstätige).

Die Arbeitslosigkeit ist besonders für den ländlichen Raum problematisch, da hier das Arbeitsplatzangebot in der Regel geringer ist als in den Verdichtungsräumen (Brachat-Schwarz 2003). Die Auswirkungen hiervon zeigen sich auch darin, dass die Dynamik sowohl der Bevölkerungsentwicklung als auch die der Beschäftigten im ländlichen Raum hinter den Entwicklungen im Landesdurchschnitt zurückbleiben (Meister-Scheufelen 2005). Die Zahl der Beschäftigten in der Landwirtschaft, die früher den Hauptteil der Beschäftigten im ländlichen Raum ausgemacht haben, ist von 1981 bis 2005 um 41 % auf 207.600 zurückgegangen. Auch wenn sich der Rückgang der Beschäftigten in den letzten Jahren etwas abgeschwächt hat, so ist dennoch davon auszugehen, dass der Strukturwandel in der Landwirtschaft und der damit verbundene Verlust an Arbeitsplätzen anhalten werden.

Durch die Verwertung von Aufwuchs überschüssiger Grünlandflächen in Verbrennungs- oder Biogasanlagen werden, bedingt durch die Nachfrage nach Baumaßnahmen und Anlagentechnik und den Bedarf an Wissenstransfer, Aus- bzw. Weiterbildung, zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten im ländlichen Raum geschaffen. Vor allem kleinere Betriebseinheiten werden – falls sie sich entscheiden, selbst in die Anlagentechnik zu investieren – auf fachliche Unterstützung seitens externer Berater zurückgreifen müssen. Dies werden zum einen fachlich kompetente Mitarbeiter bei überbetrieblichen Einrichtungen (u. a. Maschinenringe) sein, aber auch Berater im Bereich Anlagenbau und Pflanzenproduktion, die sich die notwendigen Kompetenzen gezielt aneignen. Hierdurch können zusätzliche, relativ anspruchsvolle und hoch bezahlte Tätigkeiten im ländlichen Raum entstehen.

Im Vergleich zur reinen Flächenpflege – zur Gewährleistung der Grünlandprämie ist es gemäß Cross Compliance ausreichend, wenn der Aufwuchs einmal pro Jahr gemulcht wird – sind die Verfahren zur energetischen Verwertung von Grünlandaufwuchs mit einem deutlich höheren Arbeitseinsatz verbunden (Abb. 63). Während für das Mulchen einer Fläche nur eine Arbeitskraftstunde (Akh) pro Hektar benötigt wird, sind dies für die Biogaserzeugung aus Grassilage rund 10 Akh/ha. Im Vergleich zur Milchviehhaltung ist der mit der energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs verbundene, flächenbezogene Arbeitszeitbedarf jedoch relativ gering. Am niedrigsten ist der Arbeitszeitbedarf, wenn der Brennstoff (hier die Pappel-Hackschnitzel) nicht selbst energetisch genutzt, sondern verkauft wird.

---

<sup>39</sup> Eine Arbeitslosenquote von 3 % gilt als Vollbeschäftigung (Brandl et al. 2003) und damit als nachhaltig.

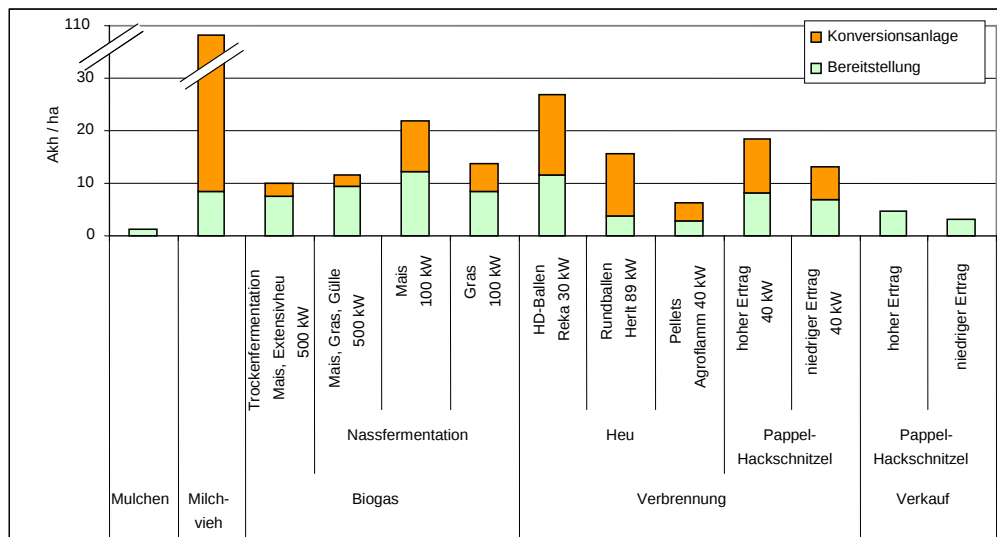


Abb. 63: Flächenbezogener Arbeitszeitbedarf der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

#### 4.3.12 Entlohnung

Die Einkommen, die der Landwirt im Durchschnitt erzielt, bewegen sich im unteren Bereich der Einkommensskala. Etwa 70 % der landwirtschaftlichen Haupterwerbsbetriebe erreichen kein Einkommen entsprechend dem gewerblichen Vergleichslohn (BMVEL 2002). Der Einkommensabstand zwischen der Landwirtschaft<sup>40</sup> und dem gewerblichen Vergleichslohn liegt gegenwärtig bei rund 34 % (DBV 2005) und viele der kleinen und mittleren landwirtschaftlichen Betriebe erwirtschaften lediglich Einkommen im Bereich der Armutsgrenze.

Das Einkommen von Grünlandbetrieben mit Milchviehhaltung wird zu 60 % aus dem Verkauf von Milch erzielt und damit überwiegend über den Milchpreis bestimmt. Dieser unterliegt jedoch starken Schwankungen und ist in den letzten Jahren gesunken. Daran dürfte sich auch in Zukunft wenig ändern, da die im Rahmen der EU-Agrarreform 2003<sup>41</sup> neu eingeführte Milchprämie die zu erwartenden bzw. teilweise bereits eingetretenen Milchpreisrückgänge<sup>42</sup> nicht ausgleicht. Auch von der Marktseite her wird der Milchpreis unter Druck bleiben, da der Milchüberschuss in der EU – 15 % bis 30 % der Milcherzeugung – hoch und der Lebensmittelhandel im Gegensatz zur Milcherzeugung stark konzentriert ist und deshalb insbesondere die Discounter eine starke Verhandlungsposition haben. Weiter sinkende Milchpreise können zur Folge haben, dass die Konzentration der Milchprodukti-

<sup>40</sup> Ein selbstständig tätiger Landwirt verdiente im Jahr 2003/04 im Bundesdurchschnitt 17.600 Euro brutto; dies entspricht einem Monatseinkommen von 1.470 Euro.

<sup>41</sup> Im Mittelpunkt der Reformbeschlüsse zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union steht die Entkopplung der Direktzahlungen von der landwirtschaftlichen Produktion und deren Bindung an die Einhaltung von Umwelt-, Tierschutz-, und Qualitätsvorschriften (Cross Compliance) (Verordnung (EG) Nr. 795/2004). Diese Verpflichtungen umfassen u. a. Regelungen zum Erhalt von Dauergrünland.

<sup>42</sup> Die Milchprämie wird ab 2005 als betriebsindividueller Betrag gewährt, ab 2010 abgeschmolzen und in die Flächenprämie überführt. Die Garantiemengenregelung (Milchquoten) soll bis zum Jahr 2014/15 Bestand haben. Neben der Entkopplung der Prämien von der Produktion und der Einführung von Flächenprämien wurden die Milchquoten ab 2006 um 1,5 % erhöht, die Interventionspreise für Magermilchpulver um 15 % und für Butter um 25 % gesenkt sowie die Interventionsmengen für Butter begrenzt.

on an Standorten mit niedrigen Produktionskosten (im Osten Baden-Württembergs) weiter fortschreitet, zulasten der Milchproduktion in Ungunslagen (z. B. Schwarzwald).

Durch die Einführung der produktionsunabhängigen Grünlandprämie und die Gleichstellung dieses Zahlungsanspruchs mit der Flächenprämie für Acker bis zum Jahr 2013 könnte sich daran allerdings etwas ändern: Milchviehbetriebe an teilweise weniger günstigen Standorten, wie z. B. Mittelgebirgslagen von Baden-Württemberg, die oft hohe Grünlandanteile haben, könnten zukünftig stärker von der Flächenprämie profitieren als intensiv produzierende, flächenarme Milchviehbetriebe. Das Einkommen aus der Milchviehhaltung wird trotz Grünlandprämie insgesamt gesehen weiter zurückgehen und der Strukturwandel in der Milchviehhaltung in Baden-Württemberg – die im Vergleich zu anderen Bundesländern (mit Ausnahme von Bayern) immer noch klein strukturiert ist – anhalten.

Eine zweite Einkommensquelle für Grünlandbetriebe stellen Direktzahlungen aus dem Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsprogramm (MEKA)<sup>43</sup> dar. Die spezifische Einkommenswirkungen der Grünlandförderung im Rahmen dieses von der EU kofinanzierten Agrar-Umweltprogramms lassen sich allerdings nur schwer quantifizieren, da mit der Gewährung von Ausgleichsleistungen meist höhere Aufwendungen oder Nutzungsbeschränkungen, die zu Mindererträgen führen können, verbunden sind. In der neuen Förderperiode 2007 bis 2013 (MEKA III) sind die staatlichen Transferleistungen für Grünland aufgrund des geschrumpften Fördervolumens seitens der EU zurückgegangen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass es für einen Teil der Milchbetriebe zukünftig noch schwerer als bisher wird, aus der Landwirtschaft ein Einkommen zu erwirtschaften, das ausreicht, um den Bestand des Betriebes zu sichern (Dreier 2004).

In bestimmten Regionen Baden-Württembergs mit teilweise hohen Grünlandanteilen stellen Einnahmen aus dem Tourismus eine dritte Einkommensquelle für die Landwirtschaft dar. Insbesondere im Allgäu und im Schwarzwald ist der Landtourismus ein wichtiger Unternehmenszweig geworden, der zur Existenzsicherung beiträgt. Auch Gastronomie, Handel, Handwerk und Freizeiteinrichtungen in der Region profitieren davon. Einen Hinweis darauf, welche Bedeutung der Bauernhoftourismus hat, geben Zahlen aus Bayern. Dort gibt es rund 7.000 Ferienbauernhöfe, die mit einer Million Urlaubern einen Jahresumsatz von rund einer halben Milliarde Euro im ländlichen Raum erwirtschaften (Miller 2005). Zehn Prozent der Anbieter verdienen sich dadurch ihr Haupteinkommen. In Baden-Württemberg dürfte der Bauernhoftourismus ebenfalls eine nennenswerte Rolle spielen.<sup>44</sup>

Die Nutzung von Grassilage zur Stromerzeugung aus Biogas und die Stromeinspeisung ins Netz bieten den Landwirten neue Einkommensmöglichkeiten. Dieses über das EEG erzielbare Einkommen ist im Gegensatz zur Milchproduktion über einen langen Zeitraum gesetzlich gesichert. Die damit erzielbare Entlohnung liegt beim Betrieb einer Biogasanlage mit Grassilage (in Kombination mit Gülle und Maissilage) über einen Zeitraum von 20 Jahren im Durchschnitt zwischen 11 und 38 Euro pro Arbeitskraftstunde (Abb. 64).

---

<sup>43</sup> Im Rahmen des Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichs (MEKA) werden Maßnahmen der Grünlandbewirtschaftung vom Land Baden-Württemberg, kofinanziert durch die EU, gefördert.

<sup>44</sup> In Baden-Württemberg wurden durch den Tourismus rund 200.000 Arbeitsplätze geschaffen. Sein Anteil am Bruttoinlandsprodukt beträgt 5 %. Allein im Schwarzwald erwirtschaftete der Tourismus einen Umsatz von 10 Mrd. Euro (Touristik nördlicher Schwarzwald e.V. 2002). Dabei finden von den Übernachtungen im Tourismus 45 % im ländlichen Raum statt (Kössler 2003).

Im Vergleich zur Milcherzeugung stellt dies eine teilweise deutlich bessere Arbeitszeitverwertung dar. Dies zeigen folgende Zahlen: In Baden-Württemberg verdiente der durchschnittliche Milchviehbetrieb im Jahr 2005 rund 480 Euro pro Kuh und Jahr. Bei einem Arbeitsaufwand von 60 Arbeitskraftstunden (Akh) pro Kuh und Jahr entspricht dies einem Stundenlohn von 8 Euro (LEL 2006)<sup>45</sup>. Bezogen auf das erzielbare Einkommen pro Hektar ist dagegen die Milchproduktion lukrativer, da der Arbeitsbedarf bei der Milchviehhaltung um das fünf- bis zehnfache höher ist als bei der Stromerzeugung aus Biogas (siehe Abb. 63).

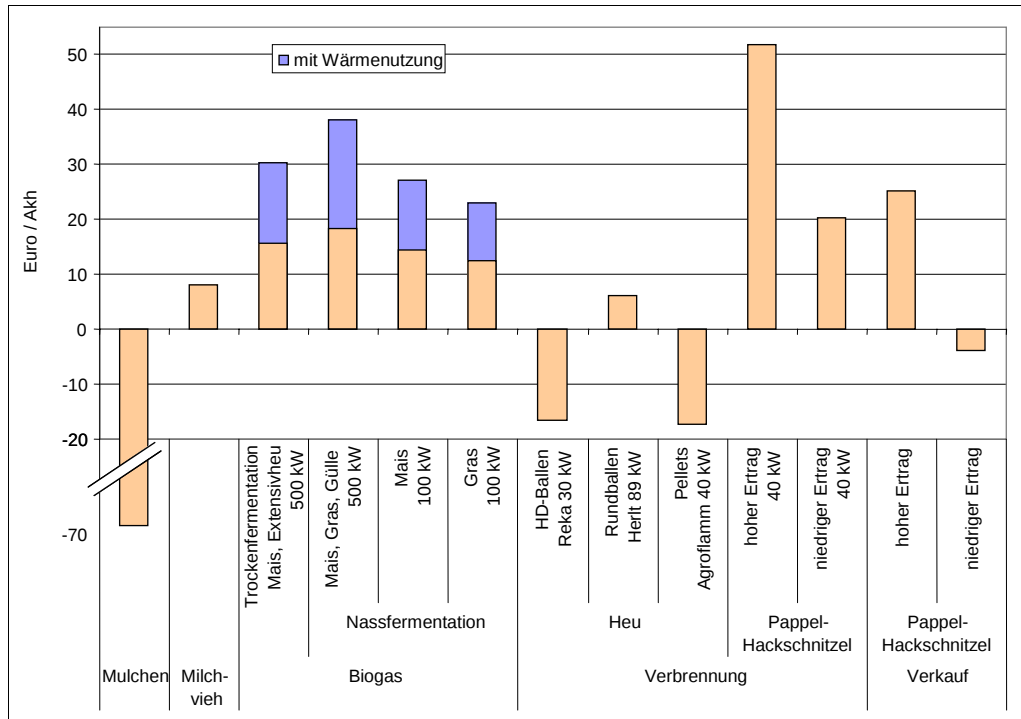


Abb. 64: Entlohnung der Arbeitszeit der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland

Die höchste Entlohnung der Arbeitszeit kann durch die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen an produktiven Grünlandstandorten und Nutzung der Hackschnitzel zur Wärmeerzeugung erzielt werden. Auch der Verkauf der Hackschnitzel kann zu einer guten Entlohnung führen, wenn die Durchschnittspreise von Waldhackschnitzeln erzielt werden. Erfolgt die Produktion dagegen an weniger produktiven Standorten, wird bei einem Verkauf der Hackschnitzel die Entlohnung negativ (Abb. 64). Mit den Verfahren zur Heuverbrennung kann auf Basis gegenwärtiger Heizölpreise (aktuelle Betrachtung) nur für das Rundballenverfahren eine (allerdings niedrige) Entlohnung erzielt werden. Die Erzeugung und Nutzung von Heu-Hochdruckballen oder Heupellets hat dagegen eine negative Entlohnung zur Folge. Die mit Abstand negativste Entlohnung der Arbeitszeit wird mit Mulchen erzielt wenn wie bei den anderen Verfahren eine Vollkostenrechnung (inklusive Pacht- und Gemeinkosten) durchgeführt wird.

Die Umwandlung von Grünland in Pappel-Kurzumtriebsplantagen oder Maisanbauflächen kann im Gegensatz zur Erzeugung von Biogassubstrat oder Heubrennstoffen indirekte Auswirkungen auf das erzielbare Einkommen der Landwirte oder der Region aus touristi-

<sup>45</sup> Das schlechteste Viertel der Betriebe verdiente nur 2,34 Euro je Akh, während die besten 25 % eine Entlohnung von 13,58 Euro je Akh erzielten.

schen Aktivitäten haben, da die Ausstattung und Schönheit von Natur und Landschaft eine wichtige Rolle bei der Auswahl von Reisezielen spielt (Garbe et al. 2005). Grünlandflächen zählen in weiten Teilen des Allgäus, der Schwäbischen Alb und des Schwarzwaldes zu den Kultur- und Naturlandschaften von besonders charakteristischer Eigenart und Schönheit mit hohem touristischem Erlebnis- oder Erholungswert. Da Wiesen und Weiden bei der Beliebtheit der Touristen an vorderer Stelle stehen (Briemle et al. 1996), könnte eine sichtbare Verringerung der Grünlandflächen in bestimmten Regionen zu einem Verlust an touristischer Attraktivität und damit auch zu Einkommensrückgängen in der Region führen (Hutter et al. 2004, Nowak/Schulz 2002, Brenner 1999). Diese Effekte konnten in diesem Forschungsprojekt jedoch nicht untersucht werden.

#### **4.4 Zusammenfassung und Vergleich der Einzelergebnisse**

Die in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Ergebnisse für die untersuchten Verfahren (im Vergleich zur Referenzsituation) sind in Tab. 34 zusammenfassend dargestellt. Referenz bei der Flächennutzung ist das Verfahren „Mulchen“ (Grünlanderhaltung durch Pflege) und bei der Verwendung der Biomasse der jeweils substituierte nicht erneuerbare Energieträger. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander und über die einzelnen Indikatoren hinweg zu verbessern, werden diese in Tab. 34 eingeordnet. Die dabei vorgenommenen Bewertungen beziehen sich zum einen darauf, ob es zu einer Verbesserung (+ bzw. ++) oder einer Verschlechterung (- bzw. --) der Situation im Vergleich zur Referenz (Mulchen und Energieerzeugung aus fossilen Quellen) kommt oder ob diese sich nicht verändert (0). Zum anderen wird die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Verfahren im Vergleich zu den anderen Nutzungsoptionen beurteilt. Hierzu wird eine Rangfolge von 1 (gut) bis 9 (schlecht) gebildet. Bei der vergleichenden Betrachtung der Ergebnisse ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Standorte (extensiv bzw. intensiv nutzbares Grünland) einen Einfluss auf das Ergebnis haben, wie z. B. auf die flächenbezogenen Einsparungen von nicht erneuerbarer Energie oder klimarelevanter Emissionen. Des Weiteren sind hier Verfahren zur Nutzung des Aufwuchses von Grünlandflächen als auch Verfahren dargestellt, die eine Nutzungsänderung (Anpflanzung von schnellwachsenden Baumarten oder Mais) voraussetzen. Dies ist zu berücksichtigen, wenn ein Verfahrensvergleich über Standorte und Nutzungsart hinweg vorgenommen wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Verfahren bei einigen der betrachteten Nachhaltigkeitsindikatoren mit positiven Auswirkungen verbunden sind, bei anderen jedoch zu einer Verschlechterung führen. Durchweg positive Effekte treten bei der Substitution nicht erneuerbarer Energieträger und der Einsparung treibhausrelevanter Emissionen auf. Die höchsten flächenspezifischen Einsparungen in diesen beiden Kategorien erreichen die Pappeverfahren bei gleichzeitig negativen Vermeidungskosten. Die unterschiedliche Reihenfolge bei der Bewertung der Verfahren zum einen bezogen auf die erzeugte Energieeinheit und zum anderen bezogen auf die Fläche resultiert daraus, dass der Verzicht auf Mineraldünger (z. B. bei Gras- gegenüber Maissilage) bei der produktspezifischen Betrachtung positiv zu Buche schlägt. Flächenbezogen kann dieser Effekt jedoch das Gegenteil bewirken, da die Düngung zu höheren Erträgen führt. Eine Rückführung der Aschen bei der thermischen Nutzung wurde nicht unterstellt, würde hier jedoch zu einer Verbesserung der Energie- und Klimabilanz führen, falls dadurch höhere Erträge realisiert werden könnten.

Auch ohne Berücksichtigung dieses Effekts kann die thermische Nutzung von Heu extensiver Flächen eine ähnlich hohe Energieeinsparung aufweisen wie die Biogaserzeugung aus Grassilage, trotz eines deutlich höheren Biomasseertrags intensiver Grünlandflächen (rund 2,5mal so hoch wie bei Heu). Dies ist eine Folge der geringeren Energieumwandlungsrate und der höheren Verluste (fehlende Wärmenutzung) beim Biogasverfahren.

In den Bereichen Eutrophierung und Versauerung schneiden die Verfahren – mit Ausnahme der Pappelvarianten – schlecht ab, wobei die Biogasverfahren besonders ungünstig sind. Dies hängt im Wesentlichen mit den  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei Ausbringung und Lagerung des Gärückstandes zusammen, obwohl in den Berechnungen eine gute Ausbringtechnik (Schleppschlauch) und ein günstiger Ausbringungszeitpunkt unterstellt wurden.

Unterschiede zwischen den Verfahren ergeben sich auch bei der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen. Während sich hier die Verfahren zur thermischen Nutzung von Heu im Vergleich zu Mulchen bei den Auswirkungen auf Boden, Grund- und Oberflächengewässer neutral und auf den Erhalt der Biodiversität positiv zeigen, stellt sich die Umwandlung von Grünland in Mais bei allen hier betrachteten Indikatoren negativ dar. Die Gewinnung von Grassilage gestaltet sich positiv und ist nur in Bezug auf die Biodiversität neutral zu bewerten, wenn artenreiches Grünland verwendet wird und es zu einer Intensivierung der Bewirtschaftung bislang extensiv genutzter Flächen und dadurch zu einem Verlust an Artenvielfalt kommt. Bei den Pappeln können die Veränderungen der kulturellen Funktion je nach Standort negative oder positive Auswirkungen haben. Bei einer Anpflanzung von Pappeln auf bislang extensiv genutzten Grünlandflächen kommt es zu einer Verringerung der Artenvielfalt. Beim Pappelanbau auf Intensivgrünland kann sich dagegen bezogen auf die Referenz eine ähnlich vielfältige Artenzusammensetzung ansiedeln.

Der flächenbezogene Arbeitszeitbedarf der Verfahren ist in allen Fällen deutlich höher als bei Mulchen, jedoch wesentlich geringer als in der Milchviehhaltung. Bei Berücksichtigung indirekter Wirkungen – hier wurden nur die brennstoff- und anlagenbezogenen Arbeiten angerechnet – auf die selbstständige Existenzsicherung (z. B. durch Planung, Bau und Betreuung der Anlagen) würden die Arbeitseffekte im Vergleich zu Mulchen noch deutlicher ausfallen. Dabei spielt die Konversion eine wesentliche Rolle. Beim Verkauf des Brennstoffs (z. B. Pappel-Hackschnitzel) ist der Arbeitszeitbedarf relativ gering.

Die betrachteten Verfahren führen – mit Ausnahme des Heu-HD-Ballen-Verfahrens und der Heupellets bzw. Pappel-Hackschnitzel zum Verkauf – im Gegensatz zu Mulchen zu einer auch im Vergleich zur Milchviehhaltung teilweise hohen Entlohnung der Arbeitszeit.

Tab. 34: Bewertung der untersuchten Verfahren zur Energiegewinnung aus intensiv und extensiv genutztem bzw. umgewandeltem Grünland unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten

|                                                          | Extensive Grünlandflächen |           |                |                         |                      | Intensive Grünlandflächen |                 |             |                   |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|----------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|-------------|-------------------|
|                                                          | Nutzung                   |           |                |                         | Um-<br>wand-<br>lung | Nut-<br>zung              | Umwandlung      |             |                   |
|                                                          | Heu<br>HD                 | Heu<br>RB | Heu<br>Pellets | Heu<br>TF <sup>1)</sup> | KUP<br>ext.          | Gras-<br>silage           | Mais-<br>silage | KUP<br>int. | KUP <sup>2)</sup> |
| <i>Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen</i> |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Primärenergieertrag                                      | ++<br>(7) <sup>3)</sup>   | ++<br>(6) | ++<br>(5)      | ++<br>(8)               | ++<br>(3)            | ++<br>(4)                 | ++<br>(2)       | ++<br>(1)   | ++<br>(1)         |
| <i>Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke</i>          |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Klimarelevante Emissionen                                | ++<br>(6)                 | ++<br>(5) | ++<br>(4)      | ++<br>(8)               | ++<br>(2)            | ++<br>(7)                 | ++<br>(3)       | ++<br>(1)   | ++<br>(1)         |
| CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten                       | –<br>(5)                  | –<br>(3)  | –<br>(3)       | --<br>(6)               | ++<br>(2)            | --<br>(4)                 | --<br>(4)       | ++<br>(1)   | ++<br>(1)         |
| Eutrophierende Emissionen                                | –<br>(5)                  | 0<br>(3)  | –<br>(6)       | --<br>(9)               | 0<br>(2)             | --<br>(8)                 | --<br>(7)       | 0<br>(3)    | 0<br>(1)          |
| Versauernde Emissionen                                   | –<br>(5)                  | 0<br>(4)  | –<br>(6)       | --<br>(9)               | ++<br>(3)            | --<br>(8)                 | --<br>(7)       | ++<br>(2)   | ++<br>(1)         |
| <i>Schutz der menschlichen Gesundheit</i>                |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Feinstaubemissionen                                      | 0<br>(4)                  | –<br>(7)  | –<br>(5)       | ++<br>(1)               | –<br>(8)             | 0<br>(2)                  | 0<br>(3)        | --<br>(9)   | –<br>(6)          |
| NO <sub>x</sub> -Emissionen                              | --<br>(7)                 | --<br>(6) | --<br>(8)      | ++<br>(1)               | –<br>(4)             | –<br>(3)                  | –<br>(5)        | --<br>(6)   | –<br>(2)          |
| CO-Emissionen                                            | --<br>(9)                 | ++<br>(2) | 0<br>(3)       | 0<br>(4)                | –<br>(6)             | –<br>(5)                  | --<br>(7)       | --<br>(8)   | ++<br>(1)         |
| Sommersmog                                               | --<br>(8)                 | –<br>(7)  | --<br>(9)      | ++<br>(1)               | –<br>(4)             | –<br>(3)                  | –<br>(5)        | –<br>(6)    | 0<br>(2)          |
| Pilzsporen                                               | 0<br>(4)                  | 0<br>(7)  | 0<br>(5)       | –<br>(1)                | –<br>(8)             | 0<br>(2)                  | 0<br>(3)        | –<br>(9)    | –<br>(6)          |
| <i>Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen</i>       |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Biodiversität                                            | ++<br>(1)                 | ++<br>(1) | ++<br>(1)      | ++<br>(1)               | –<br>(4)             | 0/–<br>(2)                | --<br>(5)       | 0<br>(3)    | 0<br>(3)          |
| Boden                                                    | 0<br>(1)                  | 0<br>(1)  | 0<br>(1)       | 0<br>(1)                | –<br>(2)             | 0<br>(1)                  | --<br>(3)       | –<br>(2)    | –<br>(2)          |
| Grund- und Oberflächengewässer                           | 0<br>(1)                  | 0<br>(1)  | 0<br>(1)       | 0<br>(1)                | –<br>(2)             | 0<br>(1)                  | --<br>(3)       | –<br>(2)    | –<br>(2)          |
| <i>Kulturelle Funktion der Natur</i>                     |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Landschaft                                               | ++<br>(1)                 | ++<br>(1) | ++<br>(1)      | ++<br>(1)               | +/-<br>(2)           | ++<br>(1)                 | –<br>(3)        | +/-<br>(2)  | +/-<br>(2)        |
| <i>Selbstständige Existenzsicherung</i>                  |                           |           |                |                         |                      |                           |                 |             |                   |
| Beschäftigung                                            | ++<br>(1)                 | ++<br>(4) | ++<br>(8)      | ++<br>(7) <sup>4)</sup> | ++<br>(6)            | ++<br>(5)                 | ++<br>(2)       | ++<br>(3)   | ++<br>(3)         |
| Entlohnung                                               | –<br>(7)                  | ++<br>(5) | –<br>(8)       | ++<br>(6) <sup>4)</sup> | ++<br>(2)            | ++<br>(4)                 | ++<br>(3)       | ++<br>(1)   | ++<br>(1)         |

<sup>1)</sup> Trockenfermentation von Heu zusammen mit Maissilage.<sup>2)</sup> Verbrennung von Kurzumtriebspappeln (KUP) in Kesseln mit emissionsarmer Verbrennung.<sup>3)</sup> +/- geben an, ob das Verfahren im Vergleich zur Referenz (Mulchen, fossile Energieträger) positiv/negativ ist, die Zahlen 1 (gut) bis 9 (schlecht) die Rangfolge der Verfahren verglichen mit den anderen Verfahren.<sup>4)</sup> Diese Angaben gelten für die Co-Fermentation von Extensivheu mit Maissilage.

Die Effekte auf das Einkommen sind, wenn man die Beschäftigungswirkung der Verfahren betrachtet, jedoch erst dann relevant, wenn größere Anlagen betrieben werden. Dies ist jedoch angesichts der Probleme beim Wärmeverkauf nicht einfach zu realisieren. Bei einem Verkauf des Brennstoffs (z. B. von Pappel-Hackschnitzeln) sinkt dagegen die Entlohnung.

Unter den betrachteten Verfahren schneidet für intensive Grünlandstandorte die thermische Verwertung von Pappel-Hackschnitzeln in emissionsarmen Kesseln am besten ab (mit Rang 1 bei der Hälfte der Indikatoren). Eine negative Bewertung im Vergleich zur Referenz erfährt diese Nutzungsoption bei den Emissionen an Feinstaub, NO<sub>x</sub> und Pilzsporen, beim Schutz von Boden, Grund- und Oberflächengewässer sowie bei der Beschäftigungswirkung und teilweise bei der Veränderung des Landschaftsbilds. Im Vergleich zur Pappel erreicht die Maisvariante von Ausnahmen (Beschäftigung, kulturelle Funktion der Natur) abgesehen immer eine schlechtere Bewertung. Anhand dieser Einordnung lässt sich ableiten, dass im Falle eines Grünlandumbruchs die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen nachhaltiger ist als der Maisanbau.

Auf den Extensivstandorten führt die Heunutzung als Brennstoff im Vergleich zur reinen Flächenpflege zu einer besseren Bewertung in den Kategorien Energieeinsparung und Klimaschutz sowie Einkommen und Beschäftigung. Demgegenüber stehen jedoch Mehremissionen, die Umwelt und Gesundheit belasten. Diese Zusatzbelastungen können jedoch durch technischen Fortschritt bei den Konversionsanlagen und Rückhaltmaßnahmen verringert werden. Die Trockenfermentation von Heu mit Mais zeigt im Vergleich zur thermischen Nutzung von Heu wohl Vorteile beim Schutz der menschlichen Gesundheit (geringere Emissionen an Feinstaub, NO<sub>x</sub> und CO sowie weniger Sommersmog), ist jedoch bei den Indikatoren zur nachhaltigen Nutzung der Umwelt als Senke schlechter.

## 5 Stakeholder-Workshops

Die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Meinungs- und Entscheidungsfindung ist ein wesentliches Element nachhaltiger Entwicklung. Partizipative Verfahren sollen das beste verfügbare Wissen mobilisieren für regionale und lokale Entscheidungen und die Wertüberzeugungen der Bevölkerung in der Konkretisierung von Nachhaltigkeit berücksichtigen helfen. Durch die Mobilisierung sozialer Ressourcen dient sie auch einer gerechteren Verteilung von Macht und Einflussmöglichkeiten in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen (Grunwald/Kopfmüller 2006). Außerdem besteht angesichts von Bewertungskonflikten und Prioritätenproblemen (teilweise aber auch aufgrund von Ungewissheiten und Unvollständigkeits des Wissens) die Notwendigkeit der Abwägung. Dies ist wissenschaftlich nur sehr eingeschränkt möglich und muss deshalb von den Beteiligten und Betroffenen geleistet werden. Darüber hinaus bedarf es der aktiven Beteiligung in Form geeigneter Maßnahmen und Strategien, um auf eine nachhaltigere Entwicklung zuzusteuern.

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Öffentlichkeit über Stakeholder-Workshops eingebunden. Unter einem Stakeholder versteht man im Allgemeinen eine Einzelperson, eine Gruppe von Personen oder eine Organisation, die Anteil oder Interesse – in diesem Fall am Grünland – haben und die nachhaltige Entwicklung des Grünlands positiv oder auch negativ beeinflussen können oder aber davon betroffen sind. Typische Stakeholder-Gruppen sind beispielsweise die lokale Bevölkerung, Behörden, Vertretern von Verbänden und Berufsgenossenschaften, Konsumenten und Mitarbeiter. Es wurden insgesamt zwei Stakeholder-Workshops, zum einen im Zollernalbkreis und zum anderen im Kreis Ravensburg, durchgeführt. Der Zollernalbkreis wurde ausgewählt, weil er ein extensiver Grünlandstandort ist und infolge des sehr geringen Tierbestandes den flächenbezogen größten Grünlandüberschuss im Vergleich zu den anderen Kreisen in Baden-Württemberg aufweist, die Nutzung dieser Fläche zur Grassilageproduktion für Biogasanlagen jedoch zu negativen Veränderungen bei der Artenvielfalt führen kann. Der Kreis Ravensburg steht dagegen für eine bereits intensiv genutzte Grünlandregion mit ebenfalls nennenswerten Grünlandüberschüssen und ersten Erfahrung in der Nutzung von Grassilage als Biogassubstrat.

Die Auswahl der Teilnehmer an den Stakeholder-Workshops erfolgte mit Unterstützung der zuständigen Landwirtschaftsämter in den jeweiligen Kreisen. Dabei wurde darauf geachtet, dass Akteure unterschiedlicher Provenienz und Interessensausrichtung berücksichtigt werden. In den Workshops vertreten waren Landwirte, der Heuhandel, landwirtschaftliche Verbände (Fachverband Biogas, Kreisbauernverband, Trocknungsgenossenschaft), Naturschutzverbände (NABU, BUND), Initiativen zur Regionalentwicklung (PLENUM, ProRegio) sowie Vertreter aus der Politik (Landwirtschaftsministerium), der Verwaltung (Landratsamt, Regierungspräsidium) und von Genehmigungsbehörden (Landratsamt). Die Resonanz auf die Einladung zu den Workshops war groß. Im Durchschnitt nahmen jeweils 18 Personen aus unterschiedlichen Interessensvertretungen an den Workshops teil.

## 5.1 Zollernalbkreis

Den Berechnungen zufolge werden im Zollernalbkreis rund 10.000 ha Grünland nicht mehr für die Tierfütterung benötigt und können zur Energiegewinnung genutzt werden. In der Diskussion wurden die bei der Berechnung des Grünlandüberschusses für 2015 angenommenen Zuwächse bei der Anzahl an Mutterkühen, Schafen und Pferden in Frage gestellt. Die Teilnehmer gingen eher von einer Stagnation dieser Tierbestände aus. Unter Berücksichtigung dieser Einschätzung würde der Grünlandüberschuss noch höher ausfallen als in den Berechnungen ermittelt. Wenn die vorgesehene Öffnung des Milchquotenmarktes für alle Bundesländer kommen sollte – was inzwischen durch die Milchquotenreform Realität geworden ist –, würde dies, so die Befürchtung der Anwesenden, zu einem weiteren Anstieg des Grünlandüberschusses im Zollernalbkreis führen.

Traditionell wird im Zollernalbkreis Heu von mehreren Tausend Hektar Grünland verkauft. Der Heuabsatz in die Schweiz ist den Berichten des Heuhändlers zufolge allerdings in den letzten Jahren zum Erliegen gekommen, weil die Schweiz Zölle auf Heu erhebt, um die Erzeugung im eigenen Land zu schützen. Der gegenwärtig praktizierte Heuverkauf nach Österreich und Südtirol geht einer unsicheren Zukunft entgegen, da dieser nur bei guter Heuqualität funktioniert, die Qualitätsanforderungen aber teilweise nicht eingehalten werden können. Analysen zufolge ist die Heuqualität im Zollernalbkreis relativ schlecht. Da davon auszugehen ist, dass nur Landwirte mit vermeintlich besserer Qualität Proben zu Untersuchungen abgeben, dürfte der Heuverkauf zukünftig immer schwieriger werden. Vom Wegfall des Heuverkaufs besonders betroffen sind extensiv genutzte Grünlandflächen, auf denen infolge ihrer Artenzusammensetzung (teilweise nur noch 20 % Gräser) nicht die geforderte hohe Heuqualität produziert werden kann. Dieser Aufwuchs ist allerdings auch für eine energetische Verwertung eher ungünstig. Andererseits wurde berichtet, dass an bestimmten Standorten aus dem Aufwuchs artenreicher Wiesen Grassilage mit guter Qualität erzeugt werden kann.

Kontroverse Meinungen gab es zur Frage der Umwandlung von Grünland in Maisanbauflächen. Einerseits gab es Stimmen, dass das meiste umbruchfähige Grünland schon umgewandelt sei und deswegen zukünftig eher Ackerflächen wieder in Grünland umgenutzt würden als umgekehrt, weil durch die Grünlandprämie auf schlechten Standorten Grünland oder der Klee-grasanbau wirtschaftlich interessanter werden könnten als der Maisanbau. Andererseits wurde argumentiert, dass noch 15 bis 20 % des Grünlands umbruchfähig sind und durch die geringere Vergütung für Grünland über das ländereigene Agrarumweltprogramm (MEKA III) in der neuen Förderperiode (2007 bis 2013) das Interesse an einem Erhalt des Grünlands zurückgeht. Rund die Hälfte der artenreichen MEKA-Flächen (6.000 ha) wird wahrscheinlich nicht mehr zur Förderung angemeldet, weil „bei so wenig Geld“ kein Anreiz besteht, sich auf bestimmte Nutzungsverfahren festlegen zu lassen. Die Enttäuschung der Landwirte über die finanzielle Ausgestaltung von MEKA III ist groß, denn sie haben im Zuge der Ausweisung von FFH-Wiesen mit zusätzlichen Zuschüssen für ihre artenreichen Grünlandflächen gerechnet.

Durch die Verwendung von Grassilage als Biogassubstrat kann, wie die Berechnungen gezeigt haben, eine relativ hohe Arbeitsentlohnung erzielt werden. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit abhängig davon, ob eine über den Eigenbedarf hinausgehende Wärmenut-

zung möglich ist. In der Diskussion zeigte sich, dass im Zollernalbkreis zwar theoretisch ein großer Teil des Überschussgrünlands zur Biogaserzeugung genutzt werden könnte, bislang aber nur einzelne Biogasanlagen existieren. Für eine breitere Ausschöpfung dieses Potenzials sind Standorte mit Wärmenachfrage eine wichtige Voraussetzung. Hier könnten bzw. sollten nach Aussage der Anwesenden die Kommunen und der Landkreis Koordinationsfunktionen übernehmen. Vorstellbar sind Kooperationen zwischen Gemeinden und Landwirten, bei denen beispielsweise die Gemeinde oder ein Investor die Wärmeleitungen finanziert und der Landwirt dafür die Wärme für einen geringen Preis abgibt. Als zusätzlichen Gewinn erhält er den Wärme-Bonus. Die vorgestellten Ergebnisse über die Heuverbrennung wurden mit Interesse aufgenommen. Insbesondere von Seiten des Naturschutzes wurde bedauert, dass sich die Wirtschaftlichkeit nicht besser darstellt. Offensichtlich besteht beim Naturschutz Interesse daran, beispielsweise durch die thermische Heunutzung eine wirtschaftliche Nutzungsoption für extensive Grünlandflächen, die für den Naturschutz besonders interessant sind, zu haben.

Bei der Bewertung der Verfahren gab es Kritik daran, dass die kulturelle Funktion der Natur von Grünland auf das „Offenland“ reduziert wurde. Nach einiger Diskussion gab es jedoch Zustimmung, dass es sehr schwierig sei, die Schutzwürdigkeit einzelner Landschaftsaspekte zu bestimmen, da Landschaft immer auch dynamisch ist. Beispielsweise war das „Grüne Allgäu“ im vorigen Jahrhundert nicht grün, sondern blau wegen des dort in großem Umfang betriebenen Flachsbaus. Unterschiedliche Meinungen gab es auch zur Veränderung der Artenvielfalt bei unterschiedlichen Nutzungen des Grünlands. Es wurde – im Gegensatz zu den vorgestellten Ergebnissen – die Erfahrung wiedergegeben, dass sich im Zollernalbkreis das Mulchen relativ gut darstellt und die Artenvielfalt hierbei nicht abnimmt, sondern teilweise sogar ansteigt. Unklar blieb jedoch, ob sich diese Aussage auf ein- oder zweimaliges Mulchen pro Jahr bezieht. Die Grassilageerzeugung auf bislang extensiv genutzten Wiesen kann zu einer Intensivierung der Flächennutzung und dadurch zu einer Verringerung der Artenvielfalt führen. Der Aufwuchs von Flächen mit Naturschutzaufgaben kann eher durch die Verbrennung energetisch genutzt werden. Die Heuverbrennung ist bislang allerdings nur unter besonders günstigen Voraussetzungen wirtschaftlich. Aus Umweltsicht problematisch sind hier vor allem die Feinstaubemissionen.

Ein halbes Jahr nach dem Stakeholder-Workshop plant nun die Stadt Geislingen im Zollernalbkreis den Bau einer Anlage zur Verbrennung von Heupellets, Holzpellets oder Holzschnitzeln mit einer Heizleistung von 810 kW zur Wärmeversorgung öffentlicher Gebäude (Schule, Halle, Schloss) mit einem Bedarf von 960 MWh/a (Stadt Geislingen 2007). Inwieweit in diese Entscheidung die Ergebnisse dieses Projekts und des Stakeholder-Workshops eingegangen sind, ist nicht bekannt. Jedoch ist anzunehmen, dass ein gewisser Einfluss stattgefunden haben dürfte.

## **5.2 Kreis Ravensburg**

Den Kalkulationen zufolge werden im Kreis Ravensburg im Jahr 2015 rund 9.000 ha Grünland nicht mehr für die Tierfütterung benötigt. Nach den Einschätzungen der Workshopteilnehmer liegt der Grünlandüberschuss mit rund 10.000 ha sogar höher als berechnet. Es wurde die Befürchtung geäußert, dass der Anteil an Überschussfläche zukünftig

noch höher ausfallen wird, wenn ab Mitte 2007 zwei nationale Quotenhandelsplätze eingerichtet werden. Dann könnte Milchquote aus Ravensburg abfließen, weil hier der Quotenpreis im Vergleich zu den anderen Bundesländern am unteren Ende der nationalen Preisspanne für Milchquoten liegt.

Es wurde darauf hingewiesen, dass es sich bei den überschüssigen Grünlandflächen größtenteils um wenig ertragreiche, klein parzellerte, schlecht mechanisierbare und zerstreut liegende sowie zum Teil auch um nasse Grünlandflächen handelt. Diese Ungunstflächen werden zurzeit noch von überwiegend kleinen Landwirten (größtenteils ohne Hofnachfolger) bewirtschaftet. Nach Aussage des Vertreters von ProRegio hat der Trend zu überbetrieblicher Ernte von Grünlandaufwuchs mit großen leistungsstarken Erntemaschinen (Schmetterlingsmäher mit 12 m Arbeitsbreite, Großraumladewagen), die nur an großflächigen, arrondierten Standorten eingesetzt werden können, zur Folge, dass in Ravensburg auf rund 20.000 ha, wo diese Erntetechnik nicht anwendbar ist, eine wirtschaftliche Nutzung immer schwieriger wird. Für diese Ungunststandorte suchen Landwirtschaft und Naturschutz Nutzungsalternativen. Derzeit werden rund 1.500 ha Grünland, die nicht mehr wirtschaftlich genutzt werden können, durch finanzielle Förderung erhalten. Die Fläche kann möglicherweise auch zukünftig erhalten werden, aber eine Ausdehnung dieses Flächenanteils ist nicht möglich. Neue, wirtschaftlich darstellbare Nutzungskonzepte für extensives Grünland sind deshalb dringend gefragt.

Die Verringerung der Vergütung von Bewirtschaftungsauflagen für extensiv genutztes, artenreiches Grünland im Rahmen von MEKA III wird, so die Teilnehmer, dazu führen, dass einige Landwirte sich zukünftig nicht mehr an dem Programm beteiligen werden. Dies hätte einen verstärkten Umbruch oder die Aufforstung von Grünland zur Folge. Auf den guten Grünlandstandorten dürfte es nach Ansicht der Teilnehmer dagegen keine Überschussflächen geben. Hier wird es zukünftig eher zu einer Flächenkonkurrenz zwischen Biogasanlagenbetreibern und Milchviehhaltern kommen mit der Folge, dass die Pachtpreise steigen und sich die Wirtschaftlichkeit für beide Grünlandnutzer schlechter darstellt. Andere Teilnehmer waren dagegen der Ansicht, dass der Einsatz von Grassilage in Biogasanlagen im Vergleich zu anderen Substraten nur unter besonders günstigen Bedingungen wirtschaftlich ist („Wenn sie nichts kostet und gut ist, dann bringt sie was, ansonsten ist Maissilage besser“) und deshalb die Pachtpreise für Grünland durch den Bau von Biogasanlagen nicht nach oben getrieben werden.

Der Verkauf von Heupellets funktioniert, wenn die Qualität stimmt, oft wird aber Material produziert, das den geforderten Proteingehalt nicht erreicht. Der Umbruch überschüssiger Grünlandflächen zu Maisanbauflächen ist im Kreis Ravensburg relevant, insbesondere wenn die Nachsaat des Grünlands vernachlässigt wird und durch witterungsbedingte Trockenheit auf „ungepflegten“ Grünlandflächen der Ertrag nachlässt. In der Vergangenheit wurde der Trend zur Aufforstung unrentabler Grünlandflächen durch die MEKA-Flächenprämien aufgehalten. Dies könnte sich zukünftig ändern.

Für viele Landwirte ist die Nutzung von Grassilage zur Biogasproduktion interessant, da hierdurch ein langfristig gesichertes Einkommen erzielt werden kann. Allerdings wurde von Seiten des Naturschutzes bemängelt, dass die Vergütungssätze im EEG für eine klein strukturierte Landwirtschaft wie sie in Baden-Württemberg noch relativ häufig anzutreffen ist, nicht ausreichend sind, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Hier wäre

eine höhere Vergütungsstufe für kleinere Anlagen (z. B. 75 kW<sub>el</sub>) wünschenswert. Die Teilnehmer zeigten insgesamt eher wenig Interesse an den Projektergebnissen zum Einsatz von Grassilage in Biogasanlagen. Dies mag damit zusammenhängen, dass es im Kreis Ravensburg bereits viele Biogasanlagen gibt und in einigen davon auch Grassilage von guten Grünlandstandorten als Substrat eingesetzt wird. Der Aufwuchs von schlechten Grünlandstandorten ist dagegen nur sehr eingeschränkt für eine Biogasproduktion geeignet. Deshalb wird nach Alternativen gesucht, um den Grünlandaufwuchs, der nicht für die Erzeugung von Grassilage bzw. guter Heuqualität geeignet ist, verwerten zu können.

Die Teilnehmer können sich vorstellen, dass es in der Region angesiedelte Unternehmen mit einem hohen Prozesswärmebedarf, wie beispielsweise bestimmte Produktionsanlagen (z. B. ein Spanplattenwerk in Leutkirch), Heutrocknungsanlagen, Tierkörperbeseitigungsanlagen und Zement-/Kalkwerke ihren Brennstoffbedarf teilweise auch mit Überschussheu decken könnten. Für Verbrennungsanlagen und zukünftig möglicherweise auch Biomasse-Vergasungsanlagen, so die Hoffnung einiger Teilnehmer, könnte der Brennstoff Heu zunehmend interessanter werden je größer die generelle Nachfrage nach Biobrennstoffen wird. Angesichts des noch nicht ausgeschöpften Potenzials an verbrennungstechnisch besseren und preiswerteren Brennstoffen wie Holz und Stroh ist eine solche Entwicklung mittelfristig jedoch nicht erkennbar. Um mit Holzpellets konkurrieren zu können, dürften Heupellets nur rund 110 Euro/t kosten. Gegenwärtig liegen jedoch die Bereitstellungskosten für Heupellets bei 175 Euro/t; davon sind rund 70 Euro Pelletierungskosten.

Die thermische Nutzung von Heu in Kleinanlagen (100 kW) zur Deckung des Eigenbedarfs landwirtschaftlicher Betriebe ist aufgrund des damit verbundenen geringeren Heubedarfs (zwei bis fünf Hektar) nur bedingt in der Lage, den Aufwuchs des frei werdenden Grünlands zu verwerten. Des Weiteren ist angesichts der geplanten Verschärfung der Grenzwerte der 1. BImSchV die Heuverbrennung in Kleinanlagen nur mit Staub-Rückhaltemaßnahmen möglich, die zu höheren Investitionen führen und die Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennung verschlechtern. Vor dem Hintergrund steigender Heizölpreise, eines technischen Fortschritts bei der Verbrennungstechnik und einer möglichen finanziellen Förderung der Heuverbrennung aus Gründen des Naturschutzes wird die lokale thermische Nutzung des vor Ort gewachsenen Heus von den Teilnehmern des Workshops dennoch als eine interessante Nutzungsoption gesehen. Von Seiten des Naturschutzes wurde dagegen die Hoffnung geäußert, dass die Heuverbrennung zur Finanzierung der Landschaftspflege beitragen kann. Als Vorteil der Heuverbrennung gegenüber der Biogasproduktion wurden der geringere Landschaftsverbrauch und der Erhalt des Landschaftsbildes genannt. Da bislang keine Erfahrungen mit der Heuverbrennung vorliegen, äußerten die Teilnehmer den Wunsch nach einem wissenschaftlich begleiteten Demonstrationsprojekt zur thermischen Nutzung von Heu.

In der Diskussion um die Bewertung der Verfahren unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten wurde betont, dass die Gesellschaft festlegen muss, aus welchen Gründen (Artenschutz, Schutzfunktion für Boden und Wasser, Landschaftsbild) sie wie viel Grünland erhalten will und dies dann auch honorieren sollte. Bislang, so ein Teilnehmer, würde die Multifunktionalität des Grünlands zwar immer lobend erwähnt, aber nicht ausreichend gewürdigt. Finanzielle Anreize gibt es bislang lediglich für den Erhalt der Artenvielfalt. Nur wenn die Landwirte mit der Nutzung von Grünland Geld verdienen können, werde dies

erhalten („schützen durch nützen“). Die reine Pflege (Mulchen) wird von den Teilnehmern als wenig geeignet erachtet, um das Grünland und seine Artenvielfalt langfristig zu erhalten. Ohne gezielte Steuerung durch die Gesellschaft wird sich die Landschaft weiter verändern. Angesichts sowohl positiver als auch negativer Effekte der Nutzungsverfahren auf die Nachhaltigkeitsindikatoren wurde von den Teilnehmern gefragt, wer die Gewichtung vornimmt (Politik oder Gesellschaft?). Es wurde angeregt, in möglichst vielen der betroffenen Kommunen Diskussionen über die zukünftige Grünlandnutzung zu führen, weil die Frage nach der Gestaltung der Landschaft von den Betroffenen vor Ort mit entschieden werden sollte.

## 6 Handlungsempfehlungen

Im Folgenden wird ausgehend von den Ergebnissen dieses Forschungsprojekts aufgezeigt, wo Handlungsbedarf im Bereich Forschung und Entwicklung von Techniken zur energetischen Nutzung von Aufwuchs überschüssiger Grünlandflächen besteht. Die Schwerpunkte dabei liegen bei der Biogasproduktion aus Grassilage, der Verfeuerung von Heubrennstoffen und der Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen. Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels werden Maßnahmen zur Förderung der Diffusion der Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland dargestellt.

### Forschungsbedarf Biogas aus Grasschnitt

Die in der Literatur beschriebenen Untersuchungen zur Eignung von Grasschnitt zur Biogaserzeugung geben Hinweise darauf, dass die Methanausbeuten je nach Herkunft des Materials und Schnittzeitpunkt stark variieren können. Allerdings steht die Forschung hier noch ganz am Anfang und die wenigen Ergebnisse reichen nicht aus, um die von der Praxis geforderten belastbaren Aussagen machen zu können. Um die bestehenden Wissensdefizite beim Einsatz von Grassilage beseitigen zu können, erscheinen folgende Forschungsaktivitäten empfehlenswert:

- Systematische Untersuchungen zur Eignung von Grünlandaufwuchs unterschiedlicher Herkunft und Qualität für die Fermentation
- Analyse des Einflusses von Schnittzeitpunkt und -häufigkeit, Artenzusammensetzung und Nährstoffmanagement auf die Eignung von Grasschnitt als Biogassubstrat
- Untersuchung des Biogas- und Methanertrags unterschiedlicher Mischungen von Grassilage und anderen Substraten
- Erhebung und Auswertung von Erfahrungen der Praxis zum Einsatz von Grassilage als Biogassubstrat
- Erstellung eines Leitfadens zur Nutzung von Grünlandaufwuchs als Biogassubstrat mit wirtschaftlich-technischen und ökologischen Kenngrößen

### Forschungsbedarf Heuverbrennung

Die Verbrennung von Heu und anderen halmgutartigen Brennstoffen in kleineren und mittleren Anlagen ist bislang noch wenig untersucht. Deshalb musste in dieser Studie teilweise auf Angaben aus der Strohverbrennung zurückgegriffen werden. Angesichts des großen Interesses an der Heuverbrennung sowie der teilweise positiven Bewertung der thermischen Nutzung von Heu extensiv genutzter Flächen wäre eine Verbesserung der Konversionstechnik bei Kleinanlagen und eine Prüfung des Heueinsatzes bei innovativen Verfahren, die auch mit so genannten schwierigen Brennstoffen umgehen können, wünschenswert. Forschungsbedarf wird bei folgenden Punkten gesehen:

- Entwicklung geeigneter Techniken und Verfahren zur Verbrennung von Heuballen und Heupellets
- Untersuchung von Maßnahmen zur Minderung oder Rückhaltung von Staubemissionen bei der Heuverbrennung in kleinen Feuerungsanlagen

- Errichtung von Demonstrationsanlagen zur Heuverbrennung
- Analyse der Asche und Prüfung ihrer Verwendungsmöglichkeiten im Rahmen der Düngemittelverordnung
- Identifizierung der Bedeutung von extensivem Grünland für das Landschaftsbild, die touristische Attraktivität und Wertschöpfung in einer Region sowie das Heimatgefühl der Bevölkerung

### **Forschungsbedarf Pappelkurzumtriebsplantage**

Wie die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung gezeigt haben, ist nach einem Grünlandumbruch die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen vorteilhafter als der Maisanbau. Demgegenüber wird über die Erzeugung von Pappelholz bislang wenig geforscht. Anfang der 1990er Jahre wurden in Deutschland fast alle Züchtungsaktivitäten eingestellt und einige Flächen mit Kurzumtriebspappeln umgebrochen (z. B. auch die Fläche in Niedereschbach im Schwarzwald-Baar-Kreis). Seitdem gibt es nur noch Sortenprüfungen und einige wenige Anbauversuche, vor allem in Sachsen und Bayern. Die dort erzielten Ergebnisse geben Hinweise auf die Ausgestaltung des Pappelanbaus, können aber eigene Untersuchungen in Baden-Württemberg nicht ersetzen. Forschungsbedarf lässt sich für folgende Bereiche ableiten:

- Charakterisierung der schnellwachsenden Baumarten und deren Sorten nach Anforderungen bezüglich Standort, Düngung, Pflanzenschutz sowie Anbau- und Ernte-technik
- Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanz des Bodens bei der Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf umgebrochenem Grünland
- Erstellung eines Leitfadens für Kurzumtriebsplantagen mit wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Kenngrößen
- Ausarbeitung einer Standortkarte für den Pappelanbau mit Hilfe eines Boden-/Klima-Modells und eines betriebswirtschaftlichen Modells
- Klärung des rechtlichen Status von Pappelplantagen bezüglich Flächen- und Energiepflanzenprämie
- Untersuchung der Akzeptanz zur Umwandlung von Grünland in Pappel-Kurzumtriebsplantagen
- Analyse der Wirkung von Pappelplantagen auf die floristische und faunistische Artenzusammensetzung

### **Maßnahmen- und Entwicklungsplan für das Grünland**

Das Grünland könnte durch Verfahren zur energetischen Nutzung seines Aufwuchses erhalten werden. Allerdings sind diese Verfahren trotz Einbezug der agrarpolitischen Prämien für Grünland in den meisten Fällen nicht wirtschaftlich und bedürfen finanzieller Unterstützung. Die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln auf umgebrochenem Grünland stellt sich dagegen sowohl bei ökonomischer als auch ökologischer Betrachtung teilweise sehr positiv dar. Vor diesem Hintergrund wird folgender Handlungsbedarf gesehen:

- Erstellung eines Maßnahmen- und Entwicklungsplans für das Grünland. Dieser sollte ausweisen, an welchen Standorten Grünland wegen seiner Bedeutung für den

Arten-, Boden- und Wasserschutz, den Tourismus und das Landschaftsbild erhalten werden sollte, wo es durch eine andere Bewirtschaftungsintensität verändert, und wo es in andere Nutzungsarten (Umbruch mit nachfolgendem Energiepflanzenanbau) überführt werden kann.

- Anpassung bestehender Förderinstrumente und –maßnahmen zur Umsetzung eines Entwicklungsplans Grünlands.

### **Förderung der Anwendung und Diffusion von Verfahren zur energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs**

Es gibt verschiedene Wege, die Diffusion von Verfahren zur energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs durch Maßnahmen der öffentlichen Hand zu fördern. Zuvor sollten jedoch die offenen Forschungsfragen weitgehend beantwortet werden und Bewertungskonflikte, die aufgrund der bei allen Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland anzutreffenden positiven als auch negativen Auswirkungen auf Nachhaltigkeitsindikatoren, entstehen, gelöst sein. Hierzu könnte z. B. auch die Anregung aus dem Kreis Ravensburg aufgegriffen werden, die Verfahren und ihre Bewertung in regionalen Workshops zu diskutieren.

Eine Möglichkeit, die Diffusion der Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland zu unterstützen, besteht darin, die Markteinführung durch einen Investitionszuschuss für innovative Produktionsverfahren oder durch eine spezifische Vergütung im Rahmen des EEG den Einsatz von Grassilage als Biogassubstrat zu fördern. Im Bereich der Heuverbrennung sind nach einer breiten Etablierung der Technik am Käufermarkt als Folge einer entsprechenden Förderpolitik signifikante Kostensenkungen durch Serienproduktionen von Verbrennungsanlagen mit ausreichend hohen Stückzahlen denkbar. Bei einem weiter steigenden Heizölpreis könnte sich dann ein Preisniveau einstellen, das in Relation zum erwarteten Nutzen eine selbst tragende weitere Marktdurchdringung ermöglicht. Auf der anderen Seite können auch Maßnahmen zur Verteuerung von konventionellen Brennstoffen zur Wärmeerzeugung zu einer verstärkten Nutzung von Grünlandaufwuchs führen.

Ein anderer Weg, die Einführung, Verbreitung und Etablierung von Heuverbrennungsanlagen zu fördern, stellen Pilotprojekte in der landwirtschaftlichen Praxis dar. Dabei ist darauf zu achten, dass bei einer Eignung des Verfahrens nach Abschluss der Pilotprojekte die Fortführung der Anlagen in den Betrieben gewährleistet ist. Von großer Bedeutung für eine Ausbreitung der Techniken ist die öffentlichkeitswirksame Verbreitung relevanter Erfahrungen mit der Heuverbrennung, so dass diese von weiteren Betrieben übernommen werden können. Um die Zukunftsaussichten mittel- bis langfristig zu verbessern, sollte die Wissensvermittlung jedoch nicht auf Betriebsebene beschränkt bleiben. Das Wissen sollte in der Meisterausbildung und der studentischen Ausbildung an Hochschulen fest verankert werden.

Auch im Bereich der landwirtschaftlichen Beratung und Weiterbildung besteht Handlungsbedarf zur Förderung der Kenntnisse über die Verfahren zur energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs. Um die Verfahren praktizieren zu können, müssen zum Teil neue Kenntnisse erworben werden. Mit der Förderung von zielgerichteten, regional organisierten Qualifizierungsmaßnahmen könnte deshalb eine wirksame Unterstützung zum Wissenstransfer geleistet werden. Ein Verfahren zur aktuellen und entgeltfreien Vermittlung von Information ist das Internet. Hier können eine Vielzahl an Informationen auf einer Plattform gebün-

delt und für jedermann zugänglich bereitgestellt werden. Die Förderung eines Informationssystems im Internet wäre ein wirkungsvoller Beitrag zur Förderung und Verbreitung des Wissens über energetische Alternativen der Nutzung von Grünlandaufwuchs.

## 7 Zusammenfassung und Diskussion

Grünland prägt in vielen Regionen Baden-Württembergs das Landschaftsbild und übernimmt wichtige Funktionen im Bereich Boden-, Wasser- und Naturschutz. Seine Nutzung zur Raufuttererzeugung ist jedoch aufgrund des züchterischen und technischen Fortschritts in der Rinderhaltung und des Strukturwandels in der Milchviehhaltung rückläufig. Der Vergleich der Tierbestände mit der Grünlandfläche zeigt, dass in Baden-Württemberg 21 % der Grünlandfläche nicht mehr für die Fütterung von Rindern, Pferden und Schafen benötigt werden. Bis zum Jahr 2015 wird der Futterüberschuss aus Grünland auf rund 167.000 ha bzw. 26 % der gesamten Grünlandfläche ansteigen. Den absolut höchsten Grünlandüberschuss weist mit rund 10.000 ha der Zollernalbkreis auf. Die Kreise Ravensburg, Schwäbisch-Hall und der Bodenseekreis verfügen dagegen über die bezogen auf den Grünlandanteil höchsten relativen Grünlandüberschüsse. Aufgrund aktueller Entwicklungen könnte der Grünlandüberschuss zukünftig höher ausfallen als in dieser Studie berechnet, da es ab Juli 2007 infolge der Reform der Milchquotenbörse bundesweit nur noch zwei Übertragungsgebiete gibt und angenommen wird, dass Milchquote aus Baden-Württemberg abwandert<sup>46</sup>. Außerdem ist der Pferdebestand den neusten Erhebungen zufolge rückläufig, während in den Berechnungen von einem weiteren Anstieg ausgegangen wird.

Die Ergebnisse der Berechnungen auf der Basis statistisch verfügbarer und erhobener Daten zum Grünlandüberschuss werden den über zwei Umfragen bei den Landwirtschaftsämtern erhobenen Einschätzungen zum Grünlandüberschuss gegenübergestellt. Dadurch sollen die berechneten Ergebnisse validiert und Hinweise auf abweichende Einschätzungen gewonnen werden. Die Angaben, die in der zweiten Umfrage von 26 Kreisen gemacht wurden, liegen um 17 % niedriger als die berechneten Ergebnisse und bestätigen damit die Größenordnung der Kalkulationen zum Grünlandüberschuss. Den Umfragen zufolge wird auf einem Teil der Überschussflächen Heu für den überregionalen Handel erzeugt. Der Absatzmarkt ist allerdings begrenzt und starken Schwankungen unterworfen. Außerdem wird der Heuverkauf aufgrund steigender Qualitätsanforderungen zunehmend schwieriger. Deshalb besteht in der Landwirtschaft großes Interesse daran, neue Wege zur Nutzung des Grünlands zu erschließen.

Zu den möglichen Alternativen gehört die extensive Beweidung. Durch diese traditionelle Grünlandnutzung kann die Landschaft in ihrer bekannten Ausprägung erhalten werden. Gleichzeitig wird dabei ein hochwertiges Produkt für den Lebensmittelmarkt erzeugt und ein Beitrag zur Erhaltung alter Nutztierassen geleistet. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Weidehaltung sind jedoch mindestens 40 bis 50 ha arrondierte Weideflächen (Luick/Schneider 2004). Da die überschüssigen Grünlandflächen teilweise zerstreut liegen, klein parzelliert sind und unterschiedlichen Besitzern bzw. Pächtern gehören, erfordert ihre Nutzung als Weide eine gemeinsame Bewirtschaftung. Fehlende Akzeptanz zur Kooperation kann dazu führen, dass eine Beweidung der Überschussflächen nicht realisierbar ist. Sie kann aber auch scheitern, weil in Baden-Württemberg aus futtermaschinellen Gründen nur unter optimalen Rahmenbedingungen eine ganzjährige Freilandhaltung von Rindern möglich ist.

---

<sup>46</sup> Bei der Milchquotenbörse des Übertragungsbereichs West am 02.07.2007 wanderten rund 38 Mio. kg Milch von Baden-Württemberg in andere Bundesländer (vor allem Niedersachsen) ab.

Das nicht für die Futtererzeugung oder die Weidehaltung genutzte Grünland könnte zur Produktion von Grassilage für Biogasanlagen oder Heu-Brennstoffen verwendet werden. Noch nicht Stand der Technik, aber mittelfristig möglicherweise interessante Konversionsverfahren für Grasschnitt stellen die Biomass-to-Liquid- sowie die Bioraffinerie-Verfahren dar. Das überschüssige Grünland ist allerdings nicht uneingeschränkt für alle Verfahren der Energiegewinnung nutzbar. Ungefähr zwei Drittel der Flächen sind Hanglagen, magere Mähwiesen (Natura 2000), Nasswiesen, Magerrasen, artenreiches Grünland und Streuobstwiesen. Die Bewirtschaftung dieser relativ ertragsschwachen Flächen ist mit einem erhöhten Aufwand an Technik und Arbeitszeit verbunden, der eine wirtschaftliche Verwertung des Aufwuchses als Energieträger erschwert. Welches Verfahren der Energieerzeugung technisch und wirtschaftlich anwendbar ist, hängt entscheidend vom Grünlandtyp und von der Qualität des Grünlandaufwuchses ab.

Bislang intensiv genutztes Grünland ist für die Erzeugung von Grassilage für die Biogasanlage geeignet. Aber auch der Aufwuchs von artenreichem Extensivgrünland und Streuobstwiesen kann teilweise als Biogassubstrat verwendet werden. Insgesamt sind in Baden-Württemberg rund 79.000 ha bzw. 47 % des überschüssigen Grünlands zur Produktion von Grassilage nutzbar. Bei rund der Hälfte dieser Fläche handelt es sich um Grünland mit hoher Artenvielfalt oder um Streuobstwiesen. Diese Flächen müssten allerdings für die Grassilageproduktion intensiver bewirtschaftet werden als dies bislang der Fall ist. Über ein Drittel (39 %) der Überschussflächen, die zur Produktion von Biogassubstrat geeignet sind, befindet sich in den Kreisen Zollernalb, Bodensee, Ravensburg, Konstanz und Schwäbisch Hall. Eine Verwertung des Grünlandaufwuchses als Festbrennstoff wäre auf rund 70.000 ha bzw. 42 % des Überschussgrünlands möglich. Bei fast der Hälfte dieser Flächen handelt es sich um Streuobstwiesen und bei gut einem Viertel um Hangflächen mit 25 bis 35 % Neigung. Fast die Hälfte (46 %) der Fläche befindet sich in zehn Kreisen. Aufgrund der großen Fläche an Streuobstwiesen befindet sich ein bedeutender Teil des Grünlandüberschusses, der als Brennstofflieferant genutzt werden könnte, im Albvorland.

Für rund 18.000 ha bzw. 11 % der überschüssigen Grünlandflächen bieten die Verfahren zur Energiegewinnung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen keine Nutzungsalternative. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Steillagen mit mehr als 35 % Hangneigung. Die Flächen befinden sich überwiegend im südlichen Schwarzwald, die Hälfte davon in den Kreisen Breisgau-Hochschwarzwald, Lörrach und Ortenaukreis. Ob auf diesen Problemflächen eine Verwilderung verhindert und eine Offenhaltung gewährleistet werden kann, erscheint angesichts der Verringerung der Flächenprämien für die Bewirtschaftung steiler Hanglagen im Rahmen von MEKA III fraglich.

Nicht für die Futterproduktion erforderliches Grünland kann auch umgebrochen und für einen Anbau von Energiepflanzen mit höherem Ertrag oder besseren energetischen Eigenschaften genutzt werden. In Baden-Württemberg könnten noch rund 55.000 ha Grünland umgebrochen werden, ohne gegen die Regelungen des Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetzes zu verstoßen. In dieser Studie werden deshalb neben den Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Grünland auch der Silomaisanbau sowie die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln auf umgebrochenem Grünland untersucht. Diese Energiepflanzen wurden ausgewählt, weil beide hohe Biomasseerträge mit guten energetischen Qualitäten erzeugen, aber unterschiedliche Bewirtschaftungsintensitäten aufweisen und deshalb differenzierte

Auswirkungen auf ökonomische und ökologische Kriterien erwarten lassen. Eine Pappelanpflanzung wäre theoretisch auf der gesamten umwandlungsfähigen Grünlandfläche möglich. Der Silomaisanbau ist dagegen aufgrund seiner Anforderungen an Temperatur, Wasserversorgung und Bodenqualität auf circa 12.800 ha Grünland begrenzt.

Die Höhe des Beitrags, den überschüssiges Grünland zur Energieversorgung leisten kann, hängt davon ab, ob als prioritäres Ziel der Erhalt des Grünlands oder ein möglichst hoher Energieertrag pro Fläche angestrebt wird. Bei einer Grünland erhaltenden Ausrichtung können über die Nutzung von Biogas aus Grassilage pro Jahr circa 556 GWh<sub>el</sub> und 655 GWh<sub>th</sub> sowie durch die Verfeuerung von Heu 909 GWh<sub>th</sub> erzeugt werden. Durch Grünlandumbruch und Maisanbau kann der Stromertrag um 21 % und der Wärmeertrag um 8 % erhöht werden. Die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln und die Verfeuerung der Hackschnitzel in Heizkraftwerken würden zu einer Erhöhung des Stromertrags um 8 % führen und den Wärmeertrag um 75 % steigern. Die dargestellten Energiepotenziale von Grünlandüberschussflächen sind nicht unerheblich, wie folgender Vergleich mit den baden-württembergischen Ausbauzielen für erneuerbare Energieträger zeigt: Mit dem Überschussgrünland könnten circa 7 % des Ausbauzieles für den Anteil an erneuerbaren Energien an der Stromproduktion in 2010 bzw. gut 25 % der Differenz zwischen der aktuellen Erzeugung (2005) und dem Ausbauziel für das Jahr 2010 realisiert werden. Zur Erreichung des Ausbauziels „Wärme aus Biomasse“ könnte das Überschussgrünland ohne Umbruch rund 15 % und bei maximalem Umbruch mit Pappelanpflanzung sogar rund 28 % beisteuern.

Die Ausschöpfung der möglichen Beiträge von Grünland zur Energieversorgung setzt voraus, dass es Verfahren gibt, mit denen eine wirtschaftliche Umwandlung von Grünlandaufwuchs in Nutzenergie möglich ist. In der Studie werden insgesamt neun Verfahren der Energieerzeugung aus Gras- und Maissilage, Heu und Pappel-Hackschnitzeln auf einzelbetrieblicher Ebene untersucht. Dabei handelt es sich um kleine Hof- oder Gemeinschafts-Biogasanlagen mit 100 bis 500 kW<sub>el</sub> bzw. Feuerungsanlagen zur Deckung des Eigenbedarfs an Wärme mit 30 bis 90 kW<sub>FWL</sub>. Die untersuchten Verfahren sind auf dem Markt verfügbar, aber unterschiedlich weit entwickelt und erprobt. Die Nassfermentation von Grassilage in Kombination mit Maissilage und Gülle ist ein praxisrelevantes Verfahren. Über den Einsatz von Grassilage in Baden-Württemberg liegen keine Angaben vor. Grassilage dürfte aber wie in Bayern oder Österreich nach Mais- und Granzpflanzensilage das am häufigsten verwendete Biogassubstrat sein (Göbel/Zörner 2006, Walla et al. 2006). Die Trockenfermentation ist ebenfalls marktreif, aber der Einsatz von Heu und Maissilage ist noch wenig erforscht. Auf die Darstellung einer Monovergärung von Grassilage wurde verzichtet, da diese aus technischen Gründen (Stickstoffgehalt, pH-Wert) als problematisch angesehen wird. Die thermische Nutzung von Heu in Form von Ballen (HD- und Rundballen) oder Pellets ist bislang nur wenig untersucht worden. Deshalb musste bei den Berechnungen teilweise auf Angaben aus der Strohverbrennung zurückgegriffen werden.

Wie die Ergebnisse der einzelbetrieblichen Vollkostenanalysen über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren zeigen, ist die Nutzung von Grassilage in Biogasanlagen über 500 kW<sub>el</sub> wirtschaftlich, wenn das Substrat auf eigenen Flächen erzeugt wird und agrarpolitische Prämien (flächenbezogene EU-Prämie, Beihilfe für den Energiepflanzenanbau, Ausgleichzulage, MEKA-Förderung) in die Berechnungen einbezogen werden. Sensitivitätsanalysen weisen darauf hin, dass die Wirtschaftlichkeit durch Ertragssteigerungen bei Mais von 2

bis 4 % pro Jahr deutlich verbessert werden kann. Unter dieser Prämisse würde auch die Stromgewinnung aus Maissilage in 100 kW<sub>el</sub>-Anlagen rentabel werden. Ertragszuwächse im Grünland, die zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen könnten, sind dagegen nicht zu erwarten. Mit Blick auf die in Baden-Württemberg seit 20 Jahren stagnierenden durchschnittlichen Silomaiserträge bleibt allerdings abzuwarten, ob die prognostizierten Ertragssteigerungen bei Mais erreicht und in der Praxis realisiert werden können.

Unabhängig vom eingesetzten Substrat lässt sich die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen verbessern, wenn die Energieeffizienz der Anlage beispielsweise durch Vermeidung von Methanemissionen oder Optimierung der Prozessbiologie gesteigert wird. Positiv auf die Rentabilität der Energieerzeugung aus Grassilage wirkt sich auch der Verkauf der bei der Biogasverstromung erzeugten Wärme aus, weil hierdurch zusätzliche Einnahmen erzielt werden können. Wenn die Hälfte der verfügbaren Wärme verkauft werden kann, können auch Biogasanlagen mit einer niedrigen Leistung wirtschaftlich betrieben werden. Dies setzt jedoch voraus, dass Wärmeabnehmer mit hohem, möglichst ganzjährigem Wärmebedarf in der Umgebung angesiedelt sind und die erforderlichen Investitionen in Wärme- oder Biogasmikronetze finanziert werden können. Standorte für Biogasanlagen, die in nicht allzu weiter Entfernung (bis zu 2 km) eine ganzjährige Wärmeabnahme durch Unternehmen oder Kommunen ermöglichen, sind jedoch nicht überall vorhanden. Für Baden-Württemberg liegen keine Angaben zur Nutzung der Wärme von Biogasanlagen vor. Ein Blick nach Bayern zeigt, dass dort im Durchschnitt weniger als 20 % der erzeugten Wärme genutzt werden (Göbel/Zörner 2006). Meist beschränkt sich die Wärmenutzung auf den Bereich des landwirtschaftlichen Anwesens und liegt bei wenigen Prozent der verfügbaren Wärme. Nur wenige Biogasanlagen können 50 % oder mehr der verfügbaren Wärme verkaufen. In Baden-Württemberg dürften die Verhältnisse ähnlich sein. Eine Verbesserung der Wärmenutzung erfordert höhere finanzielle Anreize, beispielsweise durch eine Erhöhung des KWK-Bonus im EEG. Eine Umsetzung dieser auch von anderen Wissenschaftlern ausgesprochenen Empfehlung könnte erfolgen, denn das BMU (2007a) fordert eine Anhebung des KWK-Bonus von bisher 2 auf 3 Cent/kWh bei gleichzeitiger Absenkung der Grundvergütung. Darüber hinaus sind neue Konzepte der Biogasnutzung erforderlich. Für größere Entfernungen zwischen Biogaserzeugung und Wärmebedarf könnte die Aufbereitung des Biogases zu einem Gas mit Erdgasqualität und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz ein geeignetes Verfahren darstellen<sup>47</sup>.

Die Substratkosten inklusive Agrarprämien sind für Grassilage (27 bis 30 Euro/t FM) höher als für Maissilage (25 Euro/t FM). Wenn Gras- oder Maissilage zugekauft werden muss, steigen durch den Wegfall der flächenbezogenen Agrarprämien die Substratkosten von Grassilage auf 37 bis 40 Euro und von Maissilage auf 33 Euro je t FM an. Ein Vergleich dieser Bereitstellungskosten mit Literaturwerten zeigt, dass es sowohl höhere als auch niedrigere Kostenangaben gibt. Die LfL (2006) nennt beispielsweise Bereitstellungskosten für Grassilage von 45 Euro/t FM und für Maissilage von 30 Euro/t FM. Walla et al. (2006) geben dagegen Preise von im Durchschnitt 25 Euro/t FM Grassilage (bei einer Spanne von 13 bis 58 Euro) und von 26 Euro/t FM Silomais an. Obwohl Maissilage immer deutlich günstigere Substratkosten aufweist als Grassilage und Gülle meist entgeltfrei zur Verfügung steht, kann

<sup>47</sup> Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG hat im Juni 2007 in Burgrieden die erste Biogas-Einspeisungsanlage in Baden-Württemberg errichtet. Soll im Frühjahr 2008 ihren Betrieb aufnehmen.

der Einsatz von Grassilage zur Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage beitragen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Maisanbaufläche aus standörtlichen oder klimatischen Gründen begrenzt ist und durch den Einsatz von Grassilage aus eigener Produktion größere und damit wirtschaftlichere Biogasanlagen ohne Substratzukauf betrieben werden können. Ein anderes Beispiel ist der Einsatz von Grassilage in Biogasanlagen, die nur mit Gülle betrieben werden. Wenn umfangreiche Mengen an Rindergülle (300 GV) kostenfrei zur Verfügung stehen, können in einer 100 kW<sub>el</sub>-Hofanlage erhebliche Mengen an Grassilage (90 ha) mit Gewinn in Strom umgewandelt werden.

Mit der thermischen Nutzung von Heu in Kleinfeuerungsanlagen kann bei den gegenwärtigen Heizölpreisen unter Einbeziehung agrarpolitischer Prämien für extensive Grünlandbewirtschaftung in bestimmten Fällen ebenfalls ein Gewinn erzielt werden. Allerdings ist die Heuverbrennung wirtschaftlich ungünstiger als die Verfeuerung anderer Biobrennstoffe mit teilweise deutlich besseren Brennstoffeigenschaften wie Holzpellets, Getreide oder Stroh. Bei zukünftig weiter steigender Nachfrage nach Pellets aus Biomasse könnten jedoch auch die Erzeugung und der Verkauf von Heupellets zur energetischen Nutzung interessant werden.

Die Verfeuerung von Pappel-Hackschnitzeln in betriebseigenen Heizanlagen (40 kW<sub>FWL</sub>) führt im Vergleich zu Heizöl zu einer Einsparung von rund 270 Euro (bei 6 t TM pro Hektar und Jahr, Hang) bis 1.540 Euro (bei 10 t TM pro Hektar und Jahr) bzw. einen Gewinn von 72 bis 685 Euro pro Hektar und Jahr. Ohne Lohnansatz errechnet sich daraus ein Verdienst von 20 bis 52 Euro pro Arbeitskraftstunde (Akh). Im Vergleich dazu ist die Entlohnung über den Einsatz von Grassilage (als Koferment) in einer Biogasanlage mit 11 bis 38 Euro/Akh über einen Zeitraum von 20 Jahren deutlich schlechter. Noch ungünstiger ist die Vergütung der Arbeitsleistung bei den Verfahren zur Heuverbrennung, die bestenfalls bei 6 Euro/Akh liegt bzw. sogar negativ ist. Der Verkauf von Pappel-Hackschnitzeln ist ebenfalls nicht gewinnbringend: Mit den Preisen, die in 2006 im Durchschnitt erzielt wurden, können gerade die Produktionskosten gedeckt werden. Dies könnte sich zukünftig jedoch verändern, weil die Kosten zur Bereitstellung von Pappel-Hackschnitzeln durch die steigende Flächenprämie sinken werden und bei weiter zunehmender Nachfrage nach Bioenergie höhere Preise für Pappel-Hackschnitzel zu erzielen sein dürften.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen nur einige der untersuchten Verfahren der Nutzung von Grassilage oder Heu bzw. des Anbaus von Energiepflanzen auf umgebrochenem Grünland die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreichen. Die Erschließung des Grünlands als Energieressource sollte allerdings nicht nur den Prinzipien des Marktes überlassen werden, sondern zielgerichtet gestaltet werden. Dazu bedarf es konsensfähiger Leitvorstellungen über die Entwicklung des Grünlands. Ein allgemein anerkanntes prospektives Leitbild für eine wünschenswerte Zukunft ist das Nachhaltigkeitskonzept. Eine Analyse der Verfahren zur Energiegewinnung aus Grünland anhand dieses Leitbilds ermöglicht es, Systemzusammenhänge zu erkennen und Verfahren zu identifizieren, die nicht der (wirtschaftlichen) Teilmaximierung, sondern der Optimierung des Gesamtsystems der Energiegewinnung aus dem Grünland dienen. Zur vergleichenden Einordnung werden in der Studie die Verfahren hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Verbrauch nicht erneuerbarer und erneuerbarer Ressourcen, die Nutzung der Umwelt als Senke, die Gefährdung der menschlichen Gesundheit, die selbstständige Existenzsicherung und die

kulturelle Funktion der Natur untersucht. Die Bewertung der Verfahren im Vergleich zur Referenz Mulchen und Strom-/Wärmeerzeugung aus nicht erneuerbaren Energieträgern erfolgt auf der Basis von insgesamt 18 Nachhaltigkeitsindikatoren. Zur Ermittlung der verfahrensspezifischen Auswirkungen auf die Indikatoren werden bei mehr als der Hälfte der Indikatoren Stoff- und Energieflüsse mit dem Lebenszyklusprogramm GEMIS bilanziert.

Den Auswirkungsanalysen zufolge liegen die Vorteile der Verfahren im Wesentlichen in der Erhaltung des Grünlands sowie in der Einsparung nicht erneuerbarer Energieträger und treibhausrelevanter Gase. Die höchste flächenspezifische Einsparung bei gleichzeitig negativen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten erreicht allerdings die Wärmegewinnung aus Pappel-Hackschnitzeln von umgebrochenem Grünland. Die thermische Nutzung von Heu extensiver Flächen kann – trotz eines deutlich niedrigeren Biomasseertrags – eine ähnlich hohe Energieeinsparung erzielen wie die Biogaserzeugung aus Grassilage von intensiv genutzten Grünlandflächen. Dies hängt damit zusammen, dass bei der Stromgewinnung aus Grassilage nur zwischen 15 und 20 % der erzeugten Energie genutzt werden. Wenn die bei der Stromerzeugung aus Biogas anfallende Wärme genutzt wird, verbessert sich die Energieeffizienz. Dann reduzieren sich auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von rund 250 Euro auf circa 175 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Bei der thermischen Nutzung von Heu ergeben sich wesentlich niedrigere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten als bei der Biogasgewinnung aus Grassilage: Sie liegen für Heurundballen und Heupellets zwischen 70 und 80 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Preis für EU-Emissionszertifikate in 2006 (18 Euro pro t CO<sub>2</sub>) ist jedoch auch die Heuverbrennung derzeit nicht konkurrenzfähig. An den niedrigen Preisen für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate dürfte sich kurzfristig wenig ändern. Im Gegenteil: Das Recht, in der laufenden Handelsperiode eine Tonne CO<sub>2</sub> zu emittieren, kostet weniger als ein Euro (CO<sub>2</sub>-Handel.de 2007). Auch die Notierungen für die kommende Handelsperiode, die 2008 beginnt, sind kontinuierlich gesunken und liegen derzeit bei rund 23 Euro pro t CO<sub>2</sub>, obwohl die EU-Kommission für eine deutliche Verknappung der Zertifikate in der zweiten Handelsperiode gesorgt hat.

Die Trockenfermentation, deren Ziel die Verbesserung der Energieeffizienz von Biogasanlagen ist, zeigt beim kumulierten Energieverbrauch relativ günstige Werte. Dies ist aber kein Effekt, der auf den im Vergleich zur Nassfermentation geringeren Prozessstrombedarf zurückgeht, sondern ist eine Folge der hohen Düngergutschriften bei den untersuchten Verfahren. Bei den Klimagasemissionen schneidet dagegen die Trockenfermentation deutlich schlechter ab als die Nassfermentation. Im Vergleich zu den anderen Verfahren weist die Trockenfermentation mit rund 530 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äquivalent die höchsten Klimagasreduktionskosten auf. Ursache dafür sind die Methanemissionen bei der diskontinuierlichen Beschickung und Entnahme des Gärsubstrats. Durch einen Methan oxidierenden Biofilter und bei geschlossener Lagerung des Gärrests mit Anschluss an den Biofilter könnten die Methanemissionen der Trockenfermentation unter das Emissionsniveau von Nassfermentationsanlagen – in den Berechnungen wurde bei der Nassfermentation von einer Abdeckung des Nachgärbehälters zur Minimierung der Methanemissionen ausgegangen – gesenkt werden. Dessen technische und wirtschaftliche Machbarkeit muss allerdings erst noch erforscht werden. Die Ergebnisse zur Trockenfermentation weisen darauf hin, dass die Nachhaltigkeitsziele durch die Regelungen, wie sie im EEG festgeschrieben sind, nicht optimal erreicht werden. Eine Förderung auf der Basis von Energieeffizienz und Klimagasbilanzen könnte zu einer konsistenteren Nutzung der begrenzt verfügbaren Biomasse-

ressourcen beitragen und gewährleisten, dass die Nachhaltigkeitsanforderungen an die Energiegewinnung aus Biomasse besser als bisher erfüllt werden. Dies würde auch die Akzeptanz für Biogasanlagen in der Öffentlichkeit verbessern.

Hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Versauerung und Eutrophierung führen – mit Ausnahme der Verfeuerung von Kurzumtriebspappeln – die untersuchten Verfahren im Vergleich zur Referenz zu einer Verschlechterung. Bezogen auf die Freisetzung von Gesundheitsbelastenden Substanzen (NO<sub>x</sub>- und CO-Emissionen, Sommersmogbildung) fällt die Bewertung für alle Verfahren ebenfalls negativ aus. Die Mehrbelastung an Feinstaub ist bei den thermischen Verfahren besonders hoch, jedoch können die Emissionen durch Rückhaltemaßnahmen deutlich reduziert werden. Dies führt jedoch zu einem Anstieg der ohnehin schon vergleichsweise hohen Kosten für Energie aus Heu. Beim Boden- und Gewässerschutz stellen sich die Verfahren mit vorausgehender Grünlandumwandlung deutlich schlechter dar als die Verfahren zur Grünland erhaltenden Nutzung. Dabei schneidet der relativ intensive Maisanbau deutlich schlechter ab als die Anpflanzung von extensiv bewirtschafteten Pappel-Kurzumtriebsplantagen.

In Bezug auf den Erhalt der Artenvielfalt erhält die Heuverbrennung teilweise sogar eine etwas bessere Bewertung als die Referenz (Mulchen). Dagegen kann die Nutzung von artenreichem Grünland zur Grassilagegewinnung durch die damit einhergehende Intensivierung der Bewirtschaftung zu einem Verlust an Artenvielfalt führen. Dieser veränderten Flächennutzung durch die Grassilageproduktion auf rund 23.000 ha (dies entspricht fast 30 % des artenreichen Grünlands) stehen allerdings noch rund 57.000 ha artenreiches Grünland (und rund 7.000 ha FFH-Wiesen), die nach wie vor extensiv bewirtschaftet werden, gegenüber. Das bedeutet, dass die Grassilageproduktion auf artenreichem Überschussgrünland nicht in Konflikt kommt mit dem FFH-Ziel, die innerhalb von ausgewiesenen FFH-Gebieten liegenden 20.858 ha Flachland-Mähwiesen bzw. 2.178 ha Bergland-Mähwiesen in ihrem bisherigen Zustand zu erhalten. Die Umwandlung von Grünland in Mais- bzw. Pappelflächen führt zu einer Veränderung des Artenspektrums im Vergleich zu Grünland. Dabei führt der Maisanbau zu einer Verringerung der Artenvielfalt, während die Anpflanzung von Pappeln je nach Standort ebenfalls zu Veränderungen führt, die aber weniger negativ ausfallen als beim Maisanbau, da sich hier eine neue Flora und Fauna ausbildet, der auch gefährdete Arten angehören können.

Das Grünland prägt in einigen Regionen Baden-Württembergs die Kulturlandschaft und trägt wesentlich zu ihrer Eigenart und Attraktivität sowie zum Erholungswert und Heimatgefühl der dort lebenden Menschen bei. Diese kulturelle Funktion von Grünland wird durch den Grünlandumbruch und die Anpflanzung von Silomais beeinträchtigt. Durch die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen kommt es ebenfalls zu einem Verlust an offener Kulturlandschaft mit Folgen unter anderem für den Wohnwert, die Erholungseignung und den Tourismus in der Region. Während in Gebieten mit hohem Waldanteil mit negativen Auswirkungen zu rechnen ist, können in intensiv genutzten Grünlandgebieten mit geringem Gehölzanteil auch positive Effekte auftreten.

Zur Bewertung der sozio-ökonomischen Nachhaltigkeitsaspekte der Verfahren zur Nutzung von Grünland als Energieressource werden die Auswirkungen auf den Arbeitszeitbedarf und die Entlohnung der Arbeitszeit untersucht. Hier zeigt sich, dass der Arbeitszeitbe-

darf der Verfahren – mit Ausnahme des Verkaufs von Pappel-Hackschnitzeln – deutlich höher ist als beim Mulchen der Fläche, jedoch wesentlich geringer als in der Milchviehhaltung. Die Verfahren führen – von wenigen Ausnahmen abgesehen – zu einer Vergütung zwischen 6 und über 50 Euro pro Arbeitskraftstunde. Trotz der teilweise hohen Entlohnung kann über die Verbrennung von Heu oder Pappeln in betriebseigenen Feuerungsanlagen nur ein begrenztes Einkommen erzielt werden, weil zur Deckung des durchschnittlichen betriebseigenen Wärmebedarfs nur eine vergleichsweise kleine Fläche erforderlich ist, beispielsweise nur zwei bis vier Hektar bei der Verfeuerung von Pappel-Hackschnitzeln. Das bedeutet, dass die thermischen Verfahren unter den gegenwärtigen Kosten-/Preis-Verhältnissen nur zur Erzielung eines Zusatzeinkommens geeignet sind. Über die Biogas-erzeugung aus Grassilage als Koferment in großen Anlagen kann aufgrund der Einspeisevergütung durch das EEG dagegen ein Haupteinkommen erzielt werden.

Da keines der betrachteten Verfahren nur positive, sondern immer auch negative Auswirkungen auf die betrachteten Indikatoren nachhaltiger Entwicklung aufweist, ist ein zusammenfassendes Urteil darüber, welches Verfahren die nachhaltigste energetische Nutzungsoption für das Grünland darstellt, auf Basis wissenschaftlicher Bewertungsverfahren nur sehr eingeschränkt möglich. Außerdem besteht angesichts von Bewertungskonflikten und Prioritätenproblemen – teilweise aber auch aufgrund von Ungewissheiten und Unvollständigkeiten des Wissens – die Notwendigkeit der Abwägung. Dies muss von den Beteiligten und Betroffenen geleistet werden. Sie müssen über die Auswahl der relevanten Indikatoren und deren Gewichtung (z.B. nach Zielentfernung) entscheiden. Auch in den zwei Stakeholder-Workshops, die am Ende der Projektlaufzeit im Zollernalbkreis und im Kreis Ravensburg durchgeführt wurden, bestand Konsens darüber, dass letztendlich die Gesellschaft entscheiden muss, wie viel Grünland sie aufgrund der damit verbundenen positiven Auswirkungen auf Artenvielfalt, Boden, Wasser und Erholungswert erhalten möchte und wie viel sie dafür zu zahlen bereit ist. Ohne eine gezielte Steuerung der Grünlandnutzung wird der Anteil an Grünland weiter zurückgehen und sich die Landschaft verändern. Wie die Nachhaltigkeitsanalysen zeigen, ist der Grünlandumbruch mit nachfolgendem Anbau von Pappel-Kurzumtriebsplantagen nicht nur verbrennungstechnisch und wirtschaftlich, sondern teilweise auch hinsichtlich der ökologischen Bewertung vorteilhafter als die Verfeuerung von Heubrennstoffen. Zukünftig könnte also in manchen Regionen Grünland durch Pappel-Kurzumtriebsplantagen ersetzt werden.

Werden die betrachteten Nachhaltigkeitsindikatoren gleich gewichtet, so ergibt sich für bislang intensiv genutzte Grünlandflächen eine Präferenz für die Anpflanzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen und die emissionsarme Verfeuerung von Pappel-Hackschnitzeln. Grund dafür sind die hohen Beiträge dieses Verfahrens zur Schonung der Energieressourcen und Reduktion von Klimagasen sowie die vergleichsweise gute Bilanz bei den im Vergleich zur fossilen Referenz zusätzlichen Emissionen an belastenden bzw. schädigenden Verbindungen. In Relation zu Pappeln schneidet die Umwandlung von Grünland in Silomais in fast allen Kategorien schlechter ab. Daraus lässt sich ableiten, dass im Falle eines Grünlandumbruchs die Anpflanzung von Kurzumtriebspappeln dem Maisanbau vorzuziehen ist, da hierdurch auf relativ umweltverträgliche Weise ein vergleichsweise großer Energieertrag erzeugt werden kann. Allerdings fehlen Langzeiterfahrungen über die Entwicklung von Schädlingsbefall und Krankheiten in Pappel-Kurzumtriebsplantagen. Außerdem gibt es bislang keine spezielle Förderung für die Pappelanpflanzung zur Überbrückung der einkommenslosen Zeit

bis zur ersten Biomasseernte und die Brennstoffpreise müssten noch weiter steigen, damit der Verkauf von Pappel-Hackschnitzeln wirtschaftlich wird. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Pappelplantagen gut in das bestehende Landschaftsbild integriert werden, weil es sonst zu Akzeptanzproblemen kommen kann.

Die Erzeugung von Grassilage zur Biogasproduktion hat im Vergleich zur Referenz (Mulchen und fossile Energieerzeugung) – abgesehen von belastenden und schädigenden Mehrmissionen – positive Auswirkungen auf ökologische als auch sozio-ökonomische Indikatoren. Allerdings sind die Kosten der Energieerzeugung und Klimagasreduktion über die Stromgewinnung aus Grassilage relativ hoch. Diese könnten jedoch durch Steigerung der Energieeffizienz der Anlage, Vermeidung von Methanemissionen und Verwertung der verfügbaren Wärme verringert werden. Auf extensiv genutzten Grünlandstandorten ist die Aussage weniger eindeutig. Die thermische Nutzung von Heu besitzt vor allem Vorteile bei der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen und dem Erhalt der Landschaft. Demgegenüber stehen allerdings teilweise deutliche Mehrmissionen, die zu einer nicht nachhaltigen Nutzung der Umwelt als Senke und Gefährdung der menschlichen Gesundheit führen können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die dezentrale Nutzung von Grünlandaufwuchs in betrieblichen Biogas- bzw. Feuerungsanlagen – das haben auch die Diskussionen im Rahmen der Stakeholder-Workshops gezeigt – Alternativen zur Milchviehhaltung bzw. reinen Grünlandpflege bietet. Allerdings bestehen hier im Hinblick auf eine insgesamt nachhaltige Entwicklung des Grünlands noch erhebliche Herausforderungen. Hierzu gehören die fehlende Verwertung der verfügbaren Wärme und die Verminderung der Freisetzung von Methanemissionen bei der Energieerzeugung aus Grassilage sowie die zusätzlichen Emissionen an gesundheits- und umweltbelastenden Substanzen bei der thermischen Nutzung von Heu im Vergleich zur fossilen Energieproduktion. Wenn diese Probleme überwunden werden und Akzeptanz für Verfahren der Energieerzeugung aus dem Grünland geschaffen werden kann, besteht berechtigte Hoffnung, dass durch die energetische Nutzung von Grünlandaufwuchs der weitere Rückgang des Grünlandanteils in Baden-Württemberg verlangsamt und hierdurch ein Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt und Kulturlandschaft sowie zum Schutz von Boden, Wasser und Klima geleistet werden kann. In der Zukunft könnten andere Verfahren, wie die Nutzung von Grasschnitt als Substrat für BtL-Anlagen oder Bioraffinerien interessant werden. Allerdings wird der Landwirt bei diesen großtechnisch ausgelegten Verfahren nur Rohstoffproduzent sein und einen vermutlich eher kleinen Anteil an der Wertschöpfung haben.

## Literatur

- Anonym (2006): Deutschlandweit erstmalig Einspeisung von veredeltem Biogas ins Erdgasnetz erfolgt. URL: <http://www.aufwind.com/deutsch/aktuell/einspeisung-von-veredeltem-biogas.html>
- Anonym (2007): Quotenpreise im Sinkflug. BWagrar 14/2007, S. 5
- Amon, T. (2003): Nutzung der Grünlandbiomasse für die Biogasproduktion. In: Ökosozielles Forum Österreich, Wintertagung, S. 181-192
- Amon, T. (2004): Vorbehandlungsmaßnahmen von biogenen Substraten zur Steigerung des Methanertrags. In: Tagungsband 13. Jahrestagung Biogas und Bioenergie in der Landwirtschaft, 12/2004, Wolpertshausen
- Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, B.; Ramusch, M.; Milovanovic, D.; Bodiroza, V.; Sapik, R.; Zima, J.; Machmüller, A.; Zollitsch, W.; Knaus, W.; Friedel, J.; Hrbek, R.; Pötsch, E.; Gruber, L.; Steinwider, A.; Pfundtner, E.; Wagentristsl, H. (2006): Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hg.), Wien
- Arens, R.; Neff, R. (1997): Versuche zur Erhaltung von Extensivgrünland: Aus dem wissenschaftlichen Begleitprogramm zum F+E-Vorhaben des BfN „Renaturierung des NSG Rotes Moor/Hohe Rhön“. Bundesamt für Naturschutz (Hg.): Angewandte Landschaftsökologie, Heft 13, 176 S.
- Bacher, H. (1989): Abschätzung von Forstschutzproblemen in Energieholzplantagen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien. 113 S.
- BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2006): Automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse – Liste förderbarer Anlagen. URL: [http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare\\_energien.php](http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare_energien.php) (Zugriff: Juni 2006)
- Baral, A.; Guha, G. S. (2004): Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs. carbon benefit. Biomass and Bioenergy 27, S. 41-55
- Baumann, T. (2006): Wenn Biogas aufstößt – Mit der Zahl der Anlagen nehmen die Akzeptanzprobleme zu. BLW 35/2006, S. 43-45
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 1999): Begrenztheit von Ressourcen fossiler Energieträger. Gutachten im Auftrag des deutschen Bundestages. Hannover
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2003): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002. In: Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien 28. Hannover
- Bieling, C.; Höchtl, F.; Konold, W. (2006): Waldzunahme versus Offenhaltung der Landschaft – Raum-Zeit-Prozesse, ökologische Auswirkungen, politische Lösungsansätze. Vortrag beim Statuskolloquium des BWPLUS 2006 im Februar 2006 in Karlsruhe
1. BImSchV (1997): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom März 1997. URL: [http://www.umwelt-online.de/recht/luft/bimschg/vo/1bv\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/recht/luft/bimschg/vo/1bv_ges.htm) (Zugriff: August 2006)
  4. BImSchV (1997): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 14. März 1997. URL: [http://www.umwelt-online.de/regelwerk/luft/bimschg/vo/4bv\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/regelwerk/luft/bimschg/vo/4bv_ges.htm) (Zugriff: August 2006)
- Biomasseaktionsplan (2005): Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Aktionsplan für Biomasse (SEK(2005) 1573). URL: [http://www.bmelv.de/cln\\_044/nn\\_754188/SharedDocs/downloads/04-Landwirtschaft/NachwachsendeRohstoffe/BiomasseAktionsplan,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BiomasseAktionsplan.pdf](http://www.bmelv.de/cln_044/nn_754188/SharedDocs/downloads/04-Landwirtschaft/NachwachsendeRohstoffe/BiomasseAktionsplan,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BiomasseAktionsplan.pdf) (Zugriff: Januar 2006)

- Biokraftstoffrichtlinie (2003): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. URL: [http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/de\\_final.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/de_final.pdf)
- Biorefinery (2006): Die stoffliche industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Gutachten der biorefinery.de GmbH in Potsdam im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) in Berlin
- Biowert (2007): Presseinformation. URL: <http://www.biowert.de/presse.html> (Zugriff: Mai 2007)
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Hg.) (2005): Repräsentative Erträge für Baden-Württemberg: Energiepflanzen auf nicht stillgelegten Flächen. URL: <http://www.ble.de/data/000A5DEC48141332B78A6521C0A8D816.0.pdf> (Zugriff: September 2005)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007a): Eckpunkt Papier Novellierung 1. BImSchV
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007b): Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) gemäß § 20 EEG. BMU-Entwurf. Kurzfassung vom 05.07.2007
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Hg.) (2002): Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2002. Berlin
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Hg.) (2004): Agrarreform ist perfekt. URL: <http://www.verbraucherministerium.de> (Zugriff: September 2004)
- BMWA (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2003): Zahlen und Fakten. Energiedaten 2003. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin
- Bohlmann, J. (2005): Biokraftstoffe der zweiten Generation: Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten. Vortrag auf der Tagung „Mobil mit Biomasse“ am 27.09.2006 in Stuttgart. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1197627/alr\\_270906\\_5\\_Bohlmann.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1197627/alr_270906_5_Bohlmann.pdf) (Zugriff: Dezember 2006)
- Brachat-Schwarz, W. (2003): Zur Struktur und Entwicklung des Ländlichen Raumes in Baden-Württemberg. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, H. 9/2003, S. 53-56
- Brady, N. C.; Weil, R. R. (1999): The Nature and Properties of Soils. Prentice-Hall Inc., New Jersey. 881 S.
- Brandl, V.; Kopfmüller, J.; Sardemann, G. (2003): Arbeitslosigkeit. In: Coenen, R.; Grunwald, A. (Hg.): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien. Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 5. Sigma Verlag, Berlin, S. 97-100
- Brenner, J. (1999): Urlaubsregion ländlicher Raum? In: Brenner, J.; Nehring, M.; Steierwald, M. (Hrsg.): Tourismus – ein Beitrag zur wirtschaftlichen und strukturellen Entwicklung für Baden-Württemberg? Arbeitsbericht der TA Akademie, Nr. 129. Stuttgart. S. 71-77
- Briemle, G. (1999): Die wichtigsten Ergebnisse aus dem „Aulendorfer Extensivierungsversuch“: 10 Jahre Grünlandausmagerung. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1114443\\_11/index1113831145171.html](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1114443_11/index1113831145171.html) (Zugriff: September 2005)
- Briemle, G. (2005): Effekte einer Grünland-Mindestpflege nach „Cross-Compliance“. Berichte über Landwirtschaft, Heft 83, S. 376-387
- Briemle, G.; Elsässer, M. (1997): Die Funktionen des Grünlandes. In: Berichte über Landwirtschaft, 75. S. 272-290
- Briemle, G.; Elsässer, M.; Jilg, T.; Müller, W.; Nußbaum, H. (1996): Nachhaltige Grünlandbewirtschaftung in Baden-Württemberg. In: Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Berlin, Heidelberg, New York. S. 215-256

- Briemle, G.; Jilg, T.; Nussbaum, H. (1998): Zur Ausmagerbarkeit von Wirtschaftsgrünland verschiedener Standorte und die Auswirkungen auf Konservierbarkeit und Futterwert. URL: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/LVA/Gruenland/Fachinformation> (Zugriff: August 2005)
- Briemle, G.; Rück, K. (2005): Aulendorfer Extensivierungsversuch. Erkenntnisse aus 15 Jahren Grünland-Ausmagerung. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg 75, S. 187-212, Karlsruhe
- Brümmer, B.; Loy, J.-P. (2007): Milchquoten – Was die Reform der Börse bringt. In: top agrar 5/2007, S. 40-43
- Buchgraber, K.; Resch, R.; Blaschka, A. (2003): Entwicklung, Produktivität und Perspektiven der österreichischen Grünlandwirtschaft. 9. Alpenländisches Expertenforum 27.-28. März 2003 der BAL Gumpenstein
- Buchgraber, K. (2004): Energetisch und stofflich nutzbare Biomasse aus dem österreichischen Grünland. Tagungsbeitrag 10. Alpenländisches Expertenforum 18./19.03.2004 der BAL Gumpenstein. URL: <http://www.gumpenstein.at/publikationen/experten2004/buchgraber.pdf> (Zugriff: Dezember 2005)
- (BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Wien, 2006): Grüne Bio-raffinerie in Oberösterreich. Presseaussendung des BMVIT vom 20.11.2006. URL: <http://www.bmvit.gv.at/presse/aktuell/mai/2006/1120OTS0099.html> (Zugriff: Dezember 2006)
- Bungart, R. (1999): Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere unter besonderer Berücksichtigung der Nährelementversorgung und des Wasserhaushaltes. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Band 7. Cottbus, 159 S.
- Burger, F. (2004): Technologie und Ökonomie des Anbaus und der Ernte von Feldholz. Bornimer Agrartechnische Berichte, 35/2004
- Burger, F. (2006a): Kurzumtriebswälder: Potenziale, Techniken, Kosten. Vortrag auf dem 6. Industrieform Pellets am 10./11. Okt. 2006 in Stuttgart
- Burger, F. (2006b): mündliche Mitteilung, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- Burger, F. (2006c): Nachhaltige Hackschnitzelerzeugung in Pappel-Energiewäldern. URL: [http://www.lwf.bayern.de/imperia/md/content/lwf-internet/veroeffentlichungen/lwf-wissen/52/lwf\\_wissen\\_52\\_12.pdf](http://www.lwf.bayern.de/imperia/md/content/lwf-internet/veroeffentlichungen/lwf-wissen/52/lwf_wissen_52_12.pdf) (Zugriff: Dezember 2006)
- Burger, F. (2007): Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb (ST-Projekt). URL: <http://www.lwf.bayern.de/forschungsprojekte/st1/2005-04-05-15-28.php> (Zugriff: Januar 2007)
- Burger, F.; Scholz, V. (2004): Stand der Technik bei der Ernte von Energiewäldern. Holzzentralblatt 46/2004
- Burger, F.; Sommer, W. (2005): Erntetechnik für Energiewälder. Forst & Technik 4/2005
- Burger, F.; Weissenböck, J. (2006): Hackschnitzeltrocknung mit Kompostiervlies. Forstmaschinenprofi 6/2006
- BVB (Bundesverband Boden e.V., 2001): Bodenschutz in der Bauleitplanung: Vorsorgeorientierte Bewertung. BVB-Materialien, Bd. 6. Berlin
- BWagrar (2006): Orientierungspreise für Raufutter, 9/2006
- BWL (2006): Hackschnitzel unter Vlies trocknen? BWL 43/2006
- CARMEN - Centrale- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (2006): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. URL: <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html> (Zugriff: November 2006)

- Christersson, L.; Ramstedt, M.; Forsberg, J. (1992): Pests, diseases and injuries in intensive short-rotation forestry. In: C.P. Mitchell et al. 1992: Ecophysiology of short rotation forest crops. Elsevier Science Publisher. London, S. 185-215
- CO<sub>2</sub>-Handel.de (2007): Das Portal zum Emissionshandel und Klimaschutz. URL: [http://www.co2-handel.de/article102\\_3814.html](http://www.co2-handel.de/article102_3814.html) (Zugriff: Mai 2007)
- Coenen, R.; Grunwald, A. (Hg.) (2003): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien. Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 5. Sigma Verlag, Berlin
- Coenen, R.; Sardemann, G. (1998): Kyoto: Quantitative Bewertung der Verhandlungsergebnisse. Atomwirtschaft 43, 6/1998, S. 397-401
- Dahmen, N.; Dinjus, E.; Henrich, E. (2005): Das Karlsruher bioliq® -Verfahren – Stand und Entwicklung. Vortrag auf der Tagung „Mobil mit Biomasse“ am 27.09.2006 in Stuttgart. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1197629/alr\\_270906\\_7\\_Dinjus.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1197629/alr_270906_7_Dinjus.pdf) (Zugriff: Dezember 2006)
- DBV (Deutscher Bauernverband, 2005): Situationsbericht 2005. Bonn
- DIN CEN/TS 14961: Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen; Deutsche Fassung CEN/TS 14961:2005. URL: <http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+CEN%2FTS+14961/72656853.html> (Zugriff: Oktober 2006)
- Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz (2004): Gesetz zur Regelung der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen durch Landwirte im Rahmen gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über Direktzahlungen. In: Gesetz zur Umsetzung der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik. BGBl. I 2004, 38, S. 1763–1775
- Döhrer, K. (2004): Interview mit Forstdirektor i. R. Karl Döhrer, ehemaliger Leiter des Forstamts Diemelstadt, aufgezeichnet am 28.04.2004. In: Pallast, G.; Breuer, T.; Holm-Müller K. (2005): Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum?. Discussion Paper 2005:3. URL: [http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/publ/disap/download/disap05\\_03.pdf](http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/publ/disap/download/disap05_03.pdf) (Zugriff: Juli 2006)
- Dreier, H. (2004): Gewinnsturz im Kuhstall. Agrarreform: Vielen Milcherzeugern drohen bis 2013 hohe Einbußen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 25.09.2004, S. 48f.
- DRL (Deutscher Rat für Landschaftspflege, 2005): Landschaft und Heimat – ein Resümee. In: Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege, H. 77, S. 5-16
- Edelmann, W. (2001): Biogaserzeugung und -nutzung. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hg.): Energie aus Biomasse. Springer Verlag, Leipzig
- EEA (European Environment Agency, 2000): Umweltsignale 2000 – Regelmäßiger Indikatorbericht. URL: [http://reports.eea.europa.eu/signals-2000/de/signals\\_de.pdf](http://reports.eea.europa.eu/signals-2000/de/signals_de.pdf) (Zugriff: August 2006)
- EEA (European Environment Agency, 2004): Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. In: EEA Report, No 2/2004
- EEG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 29. März 2000. BGBl I 2000, 305. URL: <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eeg/gesamt.pdf> (Zugriff: Juli 2005)
- EEG (2004): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien. BGBl I 2004, 1918
- Ellenberg, H.; Schneider, T. W. (1988): Ökologische Bewertung der Bodennutzung in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität. In: Agrarspectrum Schriftenreihe Band 14, S. 257-270
- Elsässer, M. (2003): Möglichkeiten der Verwendung alternativer Verfahren zur Verwertung von Grünlandmärgut: Verbrennen, Vergären, Kompostieren. Berichte über Landwirtschaft 81, S. 512-526

- Elsässer, M. (2005): Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung – Grünland, Wiesen, Weiden, Düngung. Düngung von Wiesen und Weiden. Nr. 13 (3. Auflage), Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf (Hg.)
- Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ (2002): Endbericht. BT-Drucksache 14/9400. Berlin
- Ernst, P. (2001): Weidemanagement für Jungrinder und Milchkühe. URL: <http://www.riswick.de/pdf/gruenland/weidemanagement.pdf> (Zugriff: Dezember 2005)
- Europäische Landschaftskonvention (2000): The European Landscape Convention. URL: [http://www.coe.int/t/e/Cultural\\_Co-operation/Environment/Landscape/](http://www.coe.int/t/e/Cultural_Co-operation/Environment/Landscape/) (Zugriff: August 2006)
- Fachverband Biogas (2005): Biogas in Deutschland 2005. URL: <http://fachverband-biogas.de/> (Zugriff: Juli 2006)
- FFH-Richtlinie (Fauna-Flora-Habitatrichtlinie, 1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. URL: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/naturschutz/downloads/rechtsgrundlagen/eurecht/ffh-richtlinie.pdf> (Zugriff: Mai 2006)
- Firma Agroflamm (2006): Infobroschüre Agro 40. URL: [http://www.agroflamm.de/agroflamm\\_06\\_07/downloads\\_pdf/A4\\_12Seiter.pdf](http://www.agroflamm.de/agroflamm_06_07/downloads_pdf/A4_12Seiter.pdf) (Zugriff: November 2006)
- Firma Herlt (2006): Aufbau eines Ganzballenvergasers. Werkbild. URL: <http://www.herlt.eu/HSVdetail.html> (Zugriff: November 2006)
- Firma REKA (2006): REKA Kessel. URL: <http://www.reka.com/Produkte/HKRST-FSK%20D.htm> (Zugriff: Januar 2006)
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Hg.) (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 232 S., Gülzow
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Hg.) (2006): Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer FuE-Bedarf. Gülzower Fachgespräche, Band 24, Gülzow
- Garbe, C.; Pröbstel, U.; Meyer, M.; Räth, B. (2005): Natura 2000 und nachhaltiger Tourismus in sensiblen Gebieten. Bonn
- Garten, Jr. C. T. (2002): Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA. Biomass and Bioenergy 23, S. 93-102
- GEMIS (2006): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3. Öko-Institut e.V., Darmstadt
- Göransson, G. (1994): Bird fauna of cultivated energy shrub forests at different height. Biomass and Bioenergy 6 (1/2), S. 49-52
- Göbel, A.; Zörner, W. (2006): Feldstudie „Biogasanlagen in Bayern“ im Auftrag des Kuratoriums Bayersicher Maschinenring- und Betriebshilfsringe e.V., Neuburg an der Donau
- Gottschick, M.; Feindt, P. H. (2003): Agrar-Nachhaltigkeitsindikatoren und Partizipation. Entscheidungsunterstützung für Betrieb und Region. In: BIOGUM-Forschungsbericht/BIOGUM-Research Paper FG Landwirtschaft Nr. 5. Hamburg
- Grabherr, G.; Forstner, M.; Grimm, K.; Kumpfmüller, M.; Seltenhammer-Malina, E.; Wirth, J. (1992): Expertengutachten Energiewaldforschung. Endbericht. Forum Österreichischer Wissenschaftler für den Umweltschutz, 109 S.
- Greimel, M.; Handler, F.; Blumauer, E. (2002): Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft. URL: [http://www.blb.bmlf.gv.at/projekte/BLT\\_992273/BLT\\_992273.htm](http://www.blb.bmlf.gv.at/projekte/BLT_992273/BLT_992273.htm) (Zugriff: Juli 2005)

- Gruber, L.; Steinwider, A.; Guggenberger, T.; Schauer, A.; Häusler, J.; Steinwender, R.; Steiner, B. (2000): Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein
- Grunwald, A.; Kopfmüller, J. (2006): Nachhaltigkeit. Reihe: Einführungen. Campus Verlag, Frankfurt/Main, 190 S.
- Grunwald, A.; Coenen, R.; Nitsch, J.; Sydow, A.; Wiedemann, P. (Hg.) (2001): Forschungswerkstatt Nachhaltigkeit. Wege zur Diagnose und Therapie von Nachhaltigkeitsdefiziten. In: Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 2. Sigma Verlag, Berlin
- Härdtlein M.; Eltrop, L.; Thrän, D. (Hg.) (2004): Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe, Münster
- Hartmann, H. (2002): Kosten der Energiegewinnung aus Biomasse. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 3, Münster
- Hartmann, H.; Hering, T. (2004): Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: Härdtlein, M.; Eltrop, V.; Thrän, D. (Hg.): Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe, Münster
- Hartmann, H.; Schmid, V.; Link, H.; von Puttkamer, T.; Unterberger, S.; Hering, T.; Pilz, M.; Thrän, M.; Härdtlein, M. (2004): Verbrennung. In: Härdtlein, M.; Eltrop, V.; Thrän, D. (Hg.): Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Münster
- Hartmann, S. (2006): Mündliche Mitteilung
- Heilmann, B.; Makeschin, F.; Rehfuess, K. E. (1995): Vegetationskundliche Untersuchungen auf einer Schnellwuchsplantage mit Pappeln und Weiden nach Ackernutzung. Forstw. Centralblatt 114 (1995), S. 16-29
- Hering, T. (2006a): Mündl. Mitteilung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- Hering, T. (2006b): Stand der Felduntersuchungen bei Halmgutkleinfeuerungsanlagen. Vortrag auf der Seminarveranstaltung „Alternative Biobrennstoffe“ am 11.05.2006 in Berlin
- Hofmann, M. (1998): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten. Merkblatt 11, Hann. Münden
- Höll, N.; Breunig, T. (1995): Biotopkartierung Baden-Württemberg. Ergebnisse der landesweiten Erhebungen 1981 bis 1989. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg, Heft 81, S. 1-544
- Höpfner, U.; Gundert-Remy, U. (2005): Emission und Immission von Partikeln (PM 10). In: Der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg, (Hg.) Statusbericht 2005 zum Umweltplan Baden-Württemberg. Stuttgart. S. 67-70
- Hutter, C.-P.; Konold, W.; Link, F.-G. (2004): Beweidung mit großen Wild- und Haustieren. Bedeutung für Offenland und Markt. In: Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Bd. 36. Stuttgart
- IE (Institut für Energetik und Umwelt, 2005): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 1. Zwischenbericht im Auftrag des BMU
- IEA (International Energy Agency, 2004): Key World Energy Statistics 2004. Paris
- IFEU (2005): Ökologische Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen: Bewertungsrahmen und Ergebnisse. Gutachten des Instituts für Energie- und Umweltforschung in Heidelberg im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) in Berlin

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001): Climate Change 2001. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge
- IPCC ((Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007): Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge
- Janssens et al. (2001) zitiert in: Fuhrer, J.; Leifeld, J. (2004): Kohlenstoff-Senken und -Quellen landwirtschaftlicher Flächen und Böden. URL: [http://www.sysecol.ethz.ch/Senkentagung/pdf/Fuhrer\\_29jun04.pdf](http://www.sysecol.ethz.ch/Senkentagung/pdf/Fuhrer_29jun04.pdf) (Zugriff: Dezember 2006)
- Jilg, T.; Briemle, G. (1992): Streuwiesenheu als Strohersatz nur mit futterhygienischen Vorbehalten in der Rinderfütterung verwertbar! URL: [http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/-s/1khru7wodo09918v1d391iqbigkw4rnys/menu/1040681\\_11/index1057583835130.html](http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/-s/1khru7wodo09918v1d391iqbigkw4rnys/menu/1040681_11/index1057583835130.html) (Zugriff: Januar 2006)
- Joachim, H. J. (1953): Untersuchungen über die Wurzel Ausbildung der Pappel und Standortansprüche von Pappelsorten. Wissenschaftliche Abhandlungen, Band 7; Deutsche Akademie der Landwirtsch. Wiss. zu Berlin, 208 S.
- Jörissen, J.; Coenen, R.; Stelzer, V. (2005): Zukunftsfähiges Wohnen und Bauen. Herausforderungen, Defizite, Strategien. In: Global zukunfts-fähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 7. Sigma Verlag, Berlin
- Kamm, B.; Kamm, M. (2001): Biobasierte industrielle Produkte und Bioraffinerie-Systeme – Ein Weg in die industrielle Zukunft des 21. Jahrhunderts? URL: [http://www.umweltchemie\\_gdch.de/PDF/bioraf.pdf](http://www.umweltchemie_gdch.de/PDF/bioraf.pdf), (Zugriff: August 2005)
- Katzensteiner, K. (2003): Ökologische Aspekte der energetischen Nutzung von Biomasse aus Wäldern. Aktuelle Herausforderungen an die Österreichische Forstwirtschaft und die Universität für Bodenkultur, Vortrag auf der Fachsenatstagung am 4./5. Sept. 2003 in Ossiach
- Kauter, D.; Lewandowski, I.; Claupein, W. (2001): Pappeln in Kurzumtriebswirtschaft: Eigenschaften und Qualitätsmanagement bei der Festbrennstoffbereitstellung – ein Überblick. In: Pflanzenbauwissenschaften, 5 (2), S. 64-74
- Keymer, U. (2003): Wirtschaftlichkeit der Verbrennung von Energiegetreide und Strohpellets in Kleinanlagen. In: KTBL (Hg.): Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen, Darmstadt
- Kiesewalter, S. (2005): Aufbereitung und Verbrennung halmgutartiger Biomasse. Vortrag auf der Baulehrschau Fachtag „Biomasse – Heizenergieträger im ländlichen Raum“ am 2.12.2005 in Köllitsch
- Kiesewalter, S.; Röhricht, Ch. (2003): Pelletierung von Stroh mit Zuschlagstoffen und Bindemitteln. In: KTBL (Hg.): Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen, Darmstadt
- Kleinhanss, W.; Hüttel, S. (2004): Auswirkungen der MTR-Beschlüsse im Milchbereich. Berichte über Landwirtschaft 82, S. 529-550
- Konold, W.; Spiecker, H. (2006): Verbundvorhaben Agroforst. URL: <http://www.agroforst.uni-freiburg.de/projekt.php> (Zugriff: Dezember 2006)
- Konold, W.; Reidl, K. (2006): Kulturlandschaft in Baden-Württemberg. Entstehung und Bedeutung, Überlegungen zu Pflege und Entwicklung. Fachdienst Naturschutz. Naturschutz-Info 1/2006, S. 44-49
- Kopfmüller, J.; Brandl, V.; Jörissen, J.; Paetau, M.; Banse, G.; Coenen, R.; Grunwald, A. (2001): Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet. Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren. In: Global zukunfts-fähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 1. Sigma Verlag, Berlin

- Kössler, R. (2003): Tourismus in Baden-Württemberg weiterhin vom Ländlichen Raum geprägt – Städtetourismus gewinnt an Bedeutung. In: Statistische Monatshefte Baden-Württemberg, H. 9/2003, S. 41-46
- Krause, C. (2006): Landschaftsästhetische Wirkungen von Bäumen zur Holzproduktion in der Kulturlandschaft. In: Bemann, A.; Franke, E. (Hg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Tagungsband zur 1. Fachtagung am 6./7.11.2006 in Tharandt, Sachsen, S. 41-50
- Kriebitzsch, W.-U. (2005): Waldökosysteme als Quellen und Senken für CO<sub>2</sub>-Prozesse und Bilanzierung. In: Weigel H.-J.; Dämmgen, U. (Hg.): Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 280 (2005), S. 15-26
- Krondorfer, M. (1990): Auswirkungen von Energieholzplantagen auf chemische und physikalische Bodeneigenschaften. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien, 79 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Hg.) (2002): Taschenbuch Landwirtschaft 2002/2003 – Daten für betriebliche Kalkulationen in der Landwirtschaft. Darmstadt
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Hg.) (2004): Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05 – Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Darmstadt
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Hg.) (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darmstadt
- Küppers, J. G. (1999): Ökonomische Betrachtung von Pappel-Kurzumtriebsflächen. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 13, S. 433-454
- Latacz-Lohmann, U.; Hemme, T. (2007): Die Folgen des Ausstiegs. DLG-Mitteilungen 5/2007, S. 14-19
- Landwirtschaftsamt Bodenseekreis (2004): Futteruntersuchungsergebnisse des Jahres 2004. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/s/1gus7t01hyirp3t23zsr9qsgsh1m1gk11/menu/1044444\\_11/index1104853324960.html](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/s/1gus7t01hyirp3t23zsr9qsgsh1m1gk11/menu/1044444_11/index1104853324960.html) (Zugriff: Oktober 2004)
- Leible, L.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Proplesch, P.; Wintzer, D.; Fürniß, B. (2007): Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – eine systemanalytische Untersuchung. FZKA 7170, Karlsruhe
- LEL (Landesanstalt für die Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume, 2003): Rinderreport Baden-Württemberg 2003. Ergebnisse der Rinderspezialbetrachtung in Baden-Württemberg. Wirtschaftsjahr 2002/2003. Schwäbisch Gmünd
- LEL (Landesanstalt für die Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume, 2005): Staatliche Biogasberatung. Informationen des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum. Schwäbisch Gmünd
- LEL (Landesanstalt für die Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume, 2006): Rinderreport Baden-Württemberg 2005. Ergebnisse der Rinderspezialbetrachtung in Baden-Württemberg. Wirtschaftsjahr 2004/2005. Schwäbisch Gmünd
- LEL (Landesanstalt für die Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume, 2007): Staatliche Biogasberatung. Informationen des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum. Schwäbisch Gmünd
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2004): Kosten der Mais- und Grassilage in Bayern – Auswertung der Futterkosten 2002 mit dem PC-Programm FUWI. URL: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/pflanze/05722/> (Zugriff: September 2004) (Zugriff: Oktober 2004)
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005a): Kalkulationsdaten zur Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung. URL: <http://www.stmlf-design2.bayern.de/lba/db/> (Zugriff: Oktober 2005)

- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005b): Emissionsminderung und Effizienzsteigerung von stationären Biogas-Verbrennungsmotoren zur Stromerzeugung. URL: [http://www.lfl-neu.bayern.de/publikationen/daten/informationen\\_url\\_1\\_64.pdf](http://www.lfl-neu.bayern.de/publikationen/daten/informationen_url_1_64.pdf) (Zugriff: November 2005)
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006a): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Mastrinder, Schafe und Ziegen. URL: [http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/linkurl\\_0\\_4.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/linkurl_0_4.pdf) (Zugriff: Januar 2006)
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006b): Biogas – Was kosten Substrate frei Fermenter? LfL-Information November 2006. URL: [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/lfl\\_info\\_ilb\\_02neu2006.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/lfl_info_ilb_02neu2006.pdf)
- LFUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2003): Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen an der Strohfeuerungsanlage der Wiesenburger Land e. G., Wiesenburg
- Liesebach, M.; Mulsow, H. (1995): Zur Bedeutung des Biotops Kurzumtriebsplantage für den Sommervogelbestand. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 29 (1), S. 32-35
- Liesebach, M.; Mulsow, H. (2003): Der Sommervogelbestand einer Kurzumtriebsplantage, der umgebenden Feldflur und des angrenzenden Fichtenwaldes im Vergleich. Die Holzzucht 54, S. 27-31
- LLM (Landesstelle für landwirtschaftliche Marktkunde, 2004): Material aus der Ernährungswirtschaft des Landes Baden-Württemberg – Vieh und Fleisch 2003. Schwäbisch Gmünd
- Londo, M.; Roose, M.; Dekker, J.; DeGraaf, H. (2004): Willow short-rotation coppice in multiple land-use systems: evaluation of four combination options in the Dutch context. Biomass and Bioenergy 27, S. 205-221
- Loock (2006): Ingenieurbüro Loock Consultants: schriftliche Mitteilungen
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2004): Die Umsetzung der FFH-Richtlinie in Baden-Württemberg. Info 1/2004. URL: [http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/inf04\\_1/inf04\\_10007.html](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/inf04_1/inf04_10007.html) (Zugriff: Oktober 2004)
- Luick, R.; Schneider, T. (2004): Studie zur Konkretisierung von Modellgebieten zur Einführung großflächiger extensiver Weidesysteme als Strategie des biotop- und Artenschutzes für extensives Wirtschaftsgrünland. Stiftung Naturschutzfonds beim Ministerium für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg
- LWF (2005): Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Merkblatt 19: Anbau von Energiewäldern. URL: [http://www.waldwissen.net/themen/holz\\_markt/holzenergie/lwf\\_merkblatt\\_19\\_2005.pdf](http://www.waldwissen.net/themen/holz_markt/holzenergie/lwf_merkblatt_19_2005.pdf) (Zugriff: Oktober 2005)
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Hg., 2000): Towards Sustainable Agriculture. A Pilote Set of Indicators. London
- Maier, J.; Vetter, R. (2004): Erträge und Zusammensetzung von Kurzumtriebs-Gehölzen. Bornimer Agrartechnische Berichte, 35/2004
- Maurer, K. (2002): Thermische Verwertung von Heu aus der Pflege von Naturschutzflächen. Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Projektstudie im Auftrag des Zollernalbkreises
- Meister-Scheufelen, G. (2005): Entwicklung der Bevölkerung im Ländlichen Raum erstmals mit weniger Dynamik. Presseerklärung vom 29.07.2005. Stuttgart
- MEKA II (2000): Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich – Richtlinie des Ministeriums Ländlicher Raum zur Förderung der Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft und von Erzeugungspraktiken, die der Marktentlastung dienen. URL: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1048664/MEPL%20Marktentlastungs-%20und%20Kulturlandschaftsausgleich%20%28MEKA%29.pdf> (Zugriff: November 2005)

- MEKA III (2007) : MEKA-Neuerungen unter Vorbehalt – Überblick über die angebotenen Maßnahmen. BWagrar 2/2007, S. 5-8. URL: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1200171/MEKA%20Ausgleichszulage%202007.pdf> (Zugriff: Februar 12007)
- MEPL (2000): Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum des Landes Baden-Württemberg für den Zeitraum 2000 – 2006 gemäß Art. 41 der Verordnung (EG) Nr. 1257/1999): Förderschwerpunkt II Agrarumwelt und Forstwirtschaft: Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA), S. 163-191. URL: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1048664/MEPL%20Marktentlastungs-%20und%20Kulturlandschaftsausgleich%20%28MEKA%29.pdf> (Zugriff: November 2005)
- MEPL II (2007): Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum 2007-2013 (MEPL II) gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER). Förderschwerpunkt II Agrarumwelt und Forstwirtschaft: Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA)
- Meyer-Aurich, A.; Osinski, U.; Matthes, K.; Weinfurtner, K.; Gerl, G. (2000): Ein Ziel- und Indikatorensystem zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Landwirtschaft im Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM). In: VDLUFA-Schriftenreihe, Bd. 53/2000
- Miller, J. (2005): Auf nach Bayern – zum Urlaub auf dem Bauernhof. Pressemitteilung. URL: <http://www.stmlf.bayern.de/presse/2005/10728/index.php> (Zugriff: Oktober 2005)
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hg., 2000): Umweltplan Baden-Württemberg. URL: <http://www.umweltplan.baden-wuerttemberg.de/> (Zugriff: Januar 2004)
- MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, 2005): Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse Baden-Württemberg Wirtschaftsjahr 2004/2005, Heft 54
- NABU (Naturschutzbund Deutschland, 2005): Nachwachsende Rohstoffe und Naturschutz: Argumente des NABU an einen naturverträglichen Anbau. NABU Positionspapier 04/2005. URL: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/1.pdf> (Zugriff: Oktober 2005)
- Natura 2000: Europäisches ökologisches Netz "Natura 2000". URL: [http://www.umwelt-online.de/regelwerk/natursch/laender/nds/natura\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/regelwerk/natursch/laender/nds/natura_ges.htm) (Zugriff: September 2005)
- Nitsch, J.; Krewitt, K.; Nast, M.; Viebahn, P.; Gärtner, S.; Pehnt, M.; Reinhardt, G.; Schmidt, R.; Uihlein, A.; Barthel, C.; Fishedick, M.; Merten, F.; Scheuerlen, K. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. BMU-Studie. URL: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nutzung\\_ee\\_lang.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nutzung_ee_lang.pdf)
- Nowak, B.; Schulz, B. (2002): Wiesen. Nutzung, Vegetation, Biologie und Naturschutz am Beispiel der Wiesen des Südschwarzwaldes und Hochrheingebietes. In: Naturschutzspectrum Themen, Bd. 93. Heidelberg, Ubstadt-Weiher, Basel
- Nussbaumer, Th. (2007): Feinstaub aus Holzfeuerungen: Bildung, Relevanz und Minderung. Vortrag auf Info-Veranstaltung des MLR und UM zur Novellierung der 1. BImSchV am 17. Jan. 2007 in Stuttgart
- Oechsner, H. (2006): Sauber heizen mit Landschaftspflegeheu. Energiepflanzen 5/2006, S. 18-20
- Oechsner, H.; Lemmer, A. (2002): Gras vergären: Eine Alternative für Restgrünland? In: topagrar (Hg.): Biogas – Strom aus Gülle und Biomasse. Landwirtschaftsverlag Münster, S. 92-96
- Oettinger, G. (2005a): Fördermittel für Leistungen. In: BWagrar, H. 27/2005, S. 7f
- Oettinger, G. (2005b): Oettinger sucht den Dialog. In: BWagrar, H. 41/2005, S. 4f

- ÖNORM M 7133 (1998 02 01): Holzhackgut für energetische Zwecke – Anforderungen und Prüfbestimmungen. URL: <http://www.on-norm.at/publish/2439.html> (Zugriff: November 2006)
- Ott, K. (1998): Naturästhetik, Umweltethik, Ökologie und Landschaftsbewertung: Überlegungen zu einem spannungsreichen Verhältnis. In: Theobald, W. (Hg.): Integrative Umweltbewertung. Theorie und Beispiele aus der Praxis. Berlin, S. 221-248
- Ott, K. (2000): Umweltethik: Einige vorläufige Positionsbestimmungen. In: Ott, K.; Gorke, M. (Hg.): Spektrum der Umweltethik. Marburg, S. 13-39
- Petzold, R.; Feger, K.-H.; Siemer, B. (2006): Standortliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. In: AFZ Der Wald 16/2006, S. 855-875
- Prochnow, A., Heiermann, M., Idler, C., Linke, B., Mähnert, P., Plöchl, M. (2007): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. In: Gas aus Gras und was noch? Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, Berlin, 1/2007, S. 11-22
- Raab, K.; Jahraus, B.; Heinrich, P. (2005): Rechtliche Rahmenbedingungen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow
- Raschka, H. D. (1997): Forstliche Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. Abschlußbericht des Forschungsprojektes P/2/24 „Versuche für die Produktion forstlicher Biomasse – Kurzumtriebsversuche“. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 97, 29 S.
- Reinhold, G. (2005a): Eigenschaften und Einsatz der Gärreste in der Pflanzenproduktion. Vortrag auf dem KONaRo-Fachgespräch am 25.10.2005 in Bernburg
- Reinhold, G. (2005b): Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Langfassung der Veröffentlichung Reinhold, G.: „Genau bilanzieren“. Neue Landwirtschaft, 12/2005, S. 68-72
- Reitberger, F. (2002): Emissionsminderungsmöglichkeiten bei Biogasanlagen entlang der Prozesskette der Biogaserzeugung. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hg.): Biogasanlagen – Anforderungen zur Luftreinhaltung, S. 58-71
- Roedenbeck, I. (2004): Bewertungskonzepte für eine nachhaltige und umweltverträgliche Landwirtschaft. Fünf Verfahren im Vergleich. In: BIOGUM-Forschungsbericht/BIOGUM-Research Paper FG Landwirtschaft Nr. 8. Hamburg
- Röhrich, Ch. (2006): Mündliche Mitteilung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Röhrich, Ch.; Groß-Ophoff, A. (2003): Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der LfL 5 (2)
- Röhrich, Ch.; Ruscher, K. (2004a): Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/858\\_1.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/858_1.pdf) (Zugriff: August 2004)
- Röhrich, Ch.; Ruscher, K. (2004b): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landschaftsgestaltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. Bornimer Agrartechn. Berichte, 35/2004 URL: [http://www.atb-potsdam.de/Hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt3/Mitarbeiter/scholz/pdf\\_files/Heft35.pdf](http://www.atb-potsdam.de/Hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt3/Mitarbeiter/scholz/pdf_files/Heft35.pdf) (Zugriff: Juli 2005)
- Rössler, G. (1995): Abschlußbericht "Zuwachsuntersuchung an Pappel und Weide". Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 39 S.
- Schäfer, M.; Illge, L. (2004): Kriterienraster zur Erfassung des Beitrags der ökologischen Land- und Ernährungswirtschaft zu zukunftsfähigem Wohlstand. In: Diskussionspapier der Forschungsgruppe „Regionaler Wohlstand – neu betrachtet“, Bd. 2. Berlin
- Schidler, S.; Adensam, H.; Hofmann, R.; Kromus, St.; Will, M. (2003): Technikfolgenabschätzung der Grünen Bioraffinerie. Band I (Endbericht) und Band II (Materialiensammlung), Wien

- Schneider, S.; Kaltschmitt, M. (2002): Ökonomische Aspekte. Kurzumtriebsplantagenholz (Pappeln). In: Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Heft 3 der Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe der FNR, Gülzow
- Scholz, V.; Grundmann, P. (2004): Energiepflanzen im Vergleich – Energiegewinn und Produktionskosten. Energiepflanzen 5/2004
- Scholz, V.; Hellebrand, H. J. (2003): Ökologische Vorzüge des Anbaus schnellwachsender Baumarten. Tagungsband zum Symposium „Holz vom Feld für die energetische und stoffliche Nutzung“ am 12.06.2003 in Köllitsch
- Scholz, V.; Hellebrand, H. J.; Höhn, A. (2004): Energiepflanzen im Vergleich – Ertrag und Umweltverträglichkeit. Energiepflanzen 4/2004
- Scholz, V., Idler, Ch., Daries, W., Egert, J. (2005a): Lagerung von Feldholzhackgut – Verluste und Schimmelpilze. Agrartechn. Forschung 11/2005, Heft 4, S. 100-113
- Scholz, V.; Idler, Ch.; Daries, W.; Egert, J. (2005b): Schimmelpilzentwicklung und Verluste bei der Lagerung von Holzhackschnitzeln. In: Holz als Roh- und Werkstoff (2005) 63, S. 449-455
- Schreiber (2001): 25 Jahre Landschaftspflegemaßnahmen in den Bracheversuchsflächen in Baden-Württemberg: NZH Akademie-Berichte 2, S. 5-42. zitiert nach Briemle in: Berichte über Landwirtschaft 83 (3), 2005, S. 376-387
- Schreiber, K.-F.; Broll, G.; Brauckmann, H.-J.; Jacob, H.; Krebs, S.; Kahmen, S.; Poschold, P. (2000): Methoden der Landschaftspflege – eine Bilanz der Bracheversuche in Baden-Württemberg. URL: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1071612/Bracheversuche%20In%20BaW%FC.pdf> (Zugriff: September 2006)
- Schulzke, R.; Lange, O.; Weisgerber, H. (1990): Pappelanbau. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V. (Hg.), AID-Heft 1226, Bonn
- Schütte, A. (Hg., 1999): Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“. Zusammenfassender Abschlussbericht. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 13, Münster
- Schwarz, F. J.; Gruber, L. (1999): Futteraufnahme – Einflussfaktoren und Abschätzung. In: Fütterung der 10.000 Liter-Kuh. Arbeiten der DLG, Band 196, S. 171-191
- Schwarze, H.; Röhricht, Ch. (2006): Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. URL: [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/2006\\_11\\_07\\_Fachtagung\\_Anbau\\_u\\_Nutzung\\_vBaeumen\\_auf\\_lw\\_Flaechen\\_Vortrag.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/2006_11_07_Fachtagung_Anbau_u_Nutzung_vBaeumen_auf_lw_Flaechen_Vortrag.pdf) (Zugriff: Dezember 2006)
- Seel, M. (1997): Ästhetische und moralische Anerkennung der Natur. In: Krebs, A. (Hg.): Natur-ethik: Grundtexte der gegenwärtigen tier- und ökoethischen Diskussion. Frankfurt am Main, S. 307-330
- Segger, V. (2004): Entkopplung und Kombimodell – Auswirkungen auf unterschiedliche Betriebsformen und Standorte. DLG-Unternehmertage 2004 in Mannheim, URL: <http://download.dlg.org/pdf/uta04/segger.pdf> (Zugriff: Juli 2005)
- Seitz, P. (2005): Attraktive Quotenpreise für Bayern. BLW 6/2005, S. 11
- Skarka, J. (2007): Ökobilanzielle Abschätzung der Bereitstellung von Bioenergie. Strom und Wärme aus Gras-, Maissilage, Heu und Pappel-Hackschnitzeln. Diplomarbeit am ITAS, FZK und Institut für Geographie und Geoökologie an der Uni Karlsruhe
- Spanier, H. (2004): Betrachtungen zu Natur und Kultur. In: Brickwedde, F.; Weinmann, A. (Hg.): Nachhaltiger Schutz des kulturellen Erbes – Umwelt und Kulturgüter. 9. Sommerakademie St. Marienthal. Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 59. Berlin, S. 125-142
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, 2002): Für eine Stärkung und Neuorientierung des Naturschutzes. Sondergutachten, Juni 2002

- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, 2004): Umweltgutachten 2004 – Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Band 1, S. 223. URL: [http://www.keinegentechnik.de/bibliothek/naturschutz/studien/sru\\_umweltgutachten\\_langf\\_040501.pdf](http://www.keinegentechnik.de/bibliothek/naturschutz/studien/sru_umweltgutachten_langf_040501.pdf) (Zugriff: November 2006)
- Stadt Geislingen (2007): Öffentliche Ausschreibung. URL: <http://www.stadt-geislingen.de/de/index.html?start.html> (Zugriff: Januar 2007)
- Statistisches Bundesamt (2003): Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellen zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (2006): Index der Einkaufspreise landwirtschaftlicher Betriebsmittel (Ausgabenindex) Deutschland. URL: <http://www.destatis.de/indicators/d/ekp210jd.htm> (Zugriff: Januar 2006)
- Statistisches Landesamt (1992): Zur Situation im Obstanbau. Mit Ergebnissen der repräsentativen Streuobsterhebung 1990. Statistische Monatshefte 9/1992, S. 445-453
- Statistisches Landesamt (2004a): Datenreihen und Sonderauswertungen des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg
- Statistisches Landesamt (2004b): Viehbestände in den Stadt-/Landkreisen Baden-Württembergs 2003 nach Bestandsgrößenklassen. Endgültige Ergebnisse der allgemeinen Viehbestandserhebung am 03. Mai 2003. Statistische Berichte Baden-Württemberg. URL: [http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Statistische\\_Berichte/3418\\_03001.pdf#search=%22Viehbest%C3%A4nde%20und%20Viehhalter%202003%22](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Statistische_Berichte/3418_03001.pdf#search=%22Viehbest%C3%A4nde%20und%20Viehhalter%202003%22) (Zugriff: Mai 2005)
- Statistisches Landesamt (2005a): Last oder Lust mit der Milch? Statistisches Monatsheft 10/2005, S. 40-44. URL: [http://www.statistik-portal.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag05\\_10\\_10.pdf](http://www.statistik-portal.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag05_10_10.pdf) (Zugriff: Dezember 2005)
- Statistisches Landesamt (2005b): Daten zur Umwelt – Umweltindikatoren 2005. Stuttgart
- Statistisches Landesamt (2006a): Strukturen der baden-württembergischen Landwirtschaft 2005. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 3/2006
- Statistisches Landesamt (2006b): Verbraucherpreisindex Baden-Württemberg und Deutschland und Index der Einzelhandelspreise in Deutschland (Basis 2000 = 100) seit 1968. URL: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Indexzahlen/indices.asp> (Zugriff: Januar 2006)
- Statistisches Landesamt (2007): Zahl der Erwerbstätigen im Land stieg im Jahr 2006. Pressemitteilung vom 18.01.2007, Nr. 018. URL: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Pressemitt/2007018.asp?ArbeitsmErwerb> (Zugriff: Januar 2007)
- Stiegler, P. (2006): Mündliche Mitteilung. Energiewerkstatt, Technisches Büro und Verein zur Förderung erneuerbarer Energie
- STMLF (Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg., 2003): Grünlandwirtschaft in Bayern. Status- und Entwicklungsbericht. München
- TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002 (GMBI. Nr. 25 - 29 vom 30.7. 2002 S. 511). URL: [http://www.umwelt-online.de/regelwerk/luft/bimschg/ta\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/regelwerk/luft/bimschg/ta_ges.htm) (Zugriff: August 2006)
- Teufel, R. (2005): Das Beispiel „Wärmegewinnung aus Stroh“ – Die Strohvergasungsanlage der Wiesenburger Land e. G.. In: Landesamt für Umwelt und Geologie des Landes Sachsen (Hg.): Tagungsband: Erneuerbare Energien – Potenziale für den Umwelt- und Klimaschutz und den ländlichen Raum. URL: <http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfuginternet/documents/Tagungsband-7-Fachsymposium.pdf> (Zugriff: November 2006)
- Textor, B. (2003): Anbau, Bereitstellung und energetische Nutzung von Pappeln im Kurzumtrieb. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

- Tiefenbacher, H. (1992): Energieholzanbau – eine ökologische Alternative. *ÖFZ* 7, S. 21-22
- Touristik nördlicher Schwarzwald e. V. (2002): Geschäftsbericht 2002. Freudenstadt
- Tubby, I.; Armstrong, A. (2002): Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Practice Note. URL: <http://www.forestry.gov.uk> (Zugriff: Dezember 2006)
- UBA (Umweltbundesamt, 1989): Daten zur Umwelt 1988/89. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt, 2004): Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2001. Nationaler Inventarbericht 2004. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Ressortabstimmung. Berlin
- UBA (Umweltbundesamt, 2006): Feinstaub aus Kaminen und Holz-Öfen verringern. UBA-Nachricht vom 10.03.2006
- UMBW (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2005): Wasserhaushaltsgesetz und Wassergesetz für Baden-Württemberg. URL: [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/3187/Wasserhaushaltsgesetz\\_und\\_Wassergesetz%20.pdf?command=downloadContent&filename=Wasserhaushaltsgesetz\\_und\\_Wassergesetz%20.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/3187/Wasserhaushaltsgesetz_und_Wassergesetz%20.pdf?command=downloadContent&filename=Wasserhaushaltsgesetz_und_Wassergesetz%20.pdf) (Zugriff: Juli 2006)
- UMBW (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2006a): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2005. URL: [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/15036/Erneuerbare\\_Energien.pdf?command=downloadContent&filename=Erneuerbare\\_Energien.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/15036/Erneuerbare_Energien.pdf?command=downloadContent&filename=Erneuerbare_Energien.pdf) (Zugriff: Juli 2006)
- UMBW (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2006b): Zahlreiche Grenzwertüberschreitungen bei der Feinstaubbelastung. Pressemitteilung vom 01.02.2006. Stuttgart
- Unsel, R. (1999): Kurzumtriebsbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden. Biomasseproduktion und bodenökologische Auswirkungen verschiedener Baumarten. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau. Shaker-Verlag, Aachen, 193 S.
- Verkaufsstelle für Milch-Referenzmengen in Baden-Württemberg (2005): Informationen über den Milchquotenhandel in Baden-Württemberg von 2002 bis 2004. Service Marketing Gesellschaft Landesbauernverband Baden-Württemberg mbH, Stuttgart
- Verordnung (EG) Nr. 795/2004 der Kommission vom 21. April 2004 mit Durchführungsbestimmungen zur Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen, zur Modulation und zum Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem nach der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates. URL: [http://www.bmelv.de/nn\\_754188/SharedDocs/downloads/04-Landwirtschaft/Foerderung/Direktzahlungen/VO\\_28EG\\_29796\\_\\_2004/VOEGNr796\\_\\_2004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/VOEGNr796\\_2004.pdf](http://www.bmelv.de/nn_754188/SharedDocs/downloads/04-Landwirtschaft/Foerderung/Direktzahlungen/VO_28EG_29796__2004/VOEGNr796__2004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/VOEGNr796_2004.pdf) (Zugriff: Juni 2006)
- Vetter, A. (2006): Energiepflanzenanbau für BtL-Prozesse: Vortrag auf dem 2. Internationalen BtL-Kongress am 12./13.10.2006 in Berlin
- Vetter, A.; Werner, A.; Reinhold, G. (2000): Leitlinie zur umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- Vogelschutzrichtlinie (1979): Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (79/409/EWG). URL: [http://www.bmu.de/files/gesetze\\_verordnungen/eg-vo\\_eg-richtlinien/application/pdf/vogelschutz\\_richtlinie\\_79409ewg.pdf](http://www.bmu.de/files/gesetze_verordnungen/eg-vo_eg-richtlinien/application/pdf/vogelschutz_richtlinie_79409ewg.pdf) (Zugriff: Januar 2007)
- Wachs, S.; Steinhöfel, O. (2003): Grünlandnutzung bei sinkenden Tierbeständen im Freistaat Sachsen. Infodienst 10/2003, S. 55-60
- Wachter, B.; Mandl, M. (2003): Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion. Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen des vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BM:VIT) initiierten Programms „Fabrik der Zukunft“, Projektnummer 804137, Joanneum Research, Juni 2003

- Walla, Ch.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, T.; Schneeberger, W. (2006): Ökonomisches Monitoring von Biogasanlagen in Österreich. URL: [http://www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H73/H733/pub/Biogas/2006\\_Kosten\\_Biogasanlagen\\_Walla\\_et\\_al.pdf](http://www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/_/H73/H733/pub/Biogas/2006_Kosten_Biogasanlagen_Walla_et_al.pdf) (Zugriff: Februar 2007)
- Walter, K.; Bockisch, F.-J.; Ohrtmann, J.; Thomsen, J. (2005): Entwicklung der Milchleistung, des Kraftfuttereinsatzes und der Grundfutterqualität. *Landbauforschung Völkenrode* 2/2005 (55), S. 119-126
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2003): Über Kyoto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert, Sondergutachten. Berlin
- Weiger, H. (1988): Anbau schnellwachsender Laubbaumarten in Kurzumtrieben – Beurteilung aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes. *Forstarchiv* 59, S. 135-139
- Weiland, P. (2006): Biogas – Stand und Perspektiven der Erzeugung und Nutzung in Deutschland. Vortrag auf der DAF-Tagung „Energie aus Biomasse“ am 25./26.10.2006 in Braunschweig. URL: [http://daf.zadi.de/download/PPT\\_Weiland.pdf](http://daf.zadi.de/download/PPT_Weiland.pdf) (Zugriff: November 2006)
- Weiss, D.; Thomet, P. (2004): Mit Weide Kosten senken. *BLW* 43/2004, S. 31–32
- Weiss, D.; Thomet, P. (2005): Niedrige Kosten durch Vollweidehaltung. *BLW* 15/2005, S. 27–28
- Wenzler, J.-G. (2005): Landesschafzuchtverband Baden-Württemberg, mündliche Mitteilung
- Werner, A.; Vetter, A.; Hering, Th. (2004): Ergebnisse des 10jährigen Energieholzbaus in Thüringen. *Bornimer Agrartechn. Berichte*, 35/2004
- Wilwerding, A.; Rösch, C. (1999): Anbau, Bereitstellung und energetische Nutzung holzartiger Biomasse von Kurzumtriebsflächen aus ökologischer und ökonomischer Sicht – Demonstration und Analyse einer Verfahrenskette in der Praxis. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 10, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, 79 S.
- Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU (2000): Wege zum vorsorgenden Bodenschutz. Fachliche Grundlagen und konzeptionelle Schritte für eine erweiterte Boden-Vorsorge. Bodenschutz und Altlasten, Bd. 8. Berlin
- Wittke, F.; Ziesing, H.-J. (2004): Stagnierender Primärenergieverbrauch in Deutschland. In: *Wochenbericht des DIW Berlin* 7/04
- Wittmann, F. (2006): Biogas aus Gras. *BLW* 37/2006, S. 39-40
- Wolf, H. (2004): Interview mit Dr. Heino Wolf, Referatsleiter des Referats Forstgenetik im Landesforstpräsidium Sachsen, Graupa, aufgezeichnet am 30.04.2004. In: Pallast, G.; Breuer, T.; Holm-Müller K. (2005): Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum?. Discussion Paper 2005:3. URL: [http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/publ/disap/download/disap05\\_03.pdf](http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/publ/disap/download/disap05_03.pdf) (Zugriff: Juli 2006)
- Wolf, H.; Böhnisch, B. (2004): Verbundvorhaben „Pappelanbau für die Papierherstellung“, Teilvorhaben „Anbau von Pappeln und Aspen auf potentiellen landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte“. Abschlußbericht, Landesforstpräsidium, Pirna
- Wühlisch, G. von (2000): Bericht über Aktivitäten bei dem Anbau und der Nutzung von Pappeln, Aspen und Weiden in der Bundesrepublik Deutschland. Bericht der Pappelkommission der BRD
- Wuppertal Institut (2005): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Bd. 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. URL: [http://www.bgw.de/pdf/0.1\\_resource\\_2006\\_1\\_13\\_3.pdf](http://www.bgw.de/pdf/0.1_resource_2006_1_13_3.pdf) (Zugriff: Januar 2006)
- ZMP (Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, 2006): Entspannung am Milchmarkt. Anlieferung im April trotz Quotenaufstockung geringer als im Vorjahr. In: *BWagrar* 20 / 2006, S. 42