



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung

Machbarkeitsstudie



Schriftenreihe

4

2011

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ländliche Strukturentwicklung,
Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
Menzinger Straße 54, 80638 München
E-Mail: Agraroeconomie@LfL.bayern.de
Telefon: 089 17800-111

1. Auflage: Juli 2011

Druck: Druckerei Beck, 85399 Hallbergmoos

Schutzgebühr: 15,00 Euro



Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung

Machbarkeitsstudie

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|----------|
| Zusammenfassung | 1 |
| Ergebnisse der aktualisierten Grünlandstudie | 1 |
| Auswahl repräsentativer Grünlandgrenzstandorte | 1 |
| Pflanzenbauliche Bewertung repräsentativer Grünlandgrenzstandorte..... | 1 |
| Bauliche und technische Konzepte für die Biogasanlagen..... | 3 |
| Biomasse-Erntelogistik..... | 4 |
| Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte | 4 |
| Betriebswirtschaftliche Bewertung | 4 |
| 1 Einleitung | 6 |
| 1.1 Auftrag | 6 |
| 1.2 Projektgrenzen..... | 6 |
| 1.3 Projektbearbeitung | 6 |
| 2 Ergebnisse der aktualisierten Grünlandstudie..... | 7 |
| 2.1 Entwicklung der Bestände an Raufutterfresser | 7 |
| 2.1.1 Entwicklung der Rinderbestände | 7 |
| 2.1.2 Entwicklung der sonstigen Raufutterfresser..... | 8 |
| 2.2 Veränderung der Hauptfutterfläche..... | 8 |
| 2.3 Entwicklung der Milcherzeugung und Milchleistung..... | 9 |
| 2.4 Abschätzung des Umfanges der nicht mehr durch Raufutterfresser verwerteten Futterflächen..... | 10 |
| 2.4.1 Ermittlung der Erträge im Futterbau | 10 |
| 2.4.2 Lieferung der Grundfutter-TM..... | 14 |
| 2.4.3 Futterbedarf | 16 |
| 2.4.4 Gegenüberstellung von Grundfutterbedarf und Grundfutterlieferung | 16 |
| 2.4.5 Abschätzung der nicht mehr in der Viehhaltung benötigten Flächen | 18 |
| 2.5 Prognosen bis zum Jahr 2020..... | 22 |
| 2.5.1 Veränderung der Milcherzeugung und der Zahl der Milchkühe..... | 22 |
| 2.5.1.1 Milcherzeugung..... | 22 |
| 2.5.1.2 Zahl der Milchkühe | 23 |
| 2.5.2 Veränderung der Bestände der übrigen Raufutterfresser | 24 |
| 2.5.2.1 Übrige Rinderbestände | 24 |
| 2.5.2.2 Bestände der sonstigen Raufutterfresser | 27 |
| 2.6 Entwicklungsszenarien der Fütterung und des Futterbaus..... | 28 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.6.1 | Szenario 1: Identische Grundfütterration im Ist und Ziel..... | 28 |
| 2.6.2 | Szenario 2: Freisetzung des Standardgrünlandes nach Ertragsklassen | 31 |
| 2.7 | Futterflächen für eine alternative Verwertung | 32 |
| 3 | Auswahl repräsentativer Grünlandgrenzstandorte | 33 |
| 3.1 | Datengrundlage | 33 |
| 3.2 | Vorgehensweise | 33 |
| 3.3 | Ergebnisse | 34 |
| 3.4 | Diskussion der Ergebnisse | 36 |
| 4 | Pflanzenbauliche Bewertung repräsentativer Grünlandgrenzstandorte | 36 |
| 4.1 | Aufgabenstellung und Vorgehensweise | 37 |
| 4.2 | Ergebnisse und Diskussion..... | 40 |
| 4.2.1 | Standort Raisting | 40 |
| 4.2.2 | Standort Hinterschmiding | 49 |
| 4.2.3 | Standort Sandberg/Rhön | 57 |
| 5 | Bauliche und technische Konzepte für die Biogasanlagen | 66 |
| 5.1 | Aufgabenstellung und Vorgehensweise | 66 |
| 5.1.1 | Aufgabenstellung | 66 |
| 5.1.2 | Vorgehen | 66 |
| 5.2 | Besondere Anforderungen an die Anlagentechnik, prinzipielle Machbarkeit..... | 67 |
| 5.3 | Prinzipielle Verfahren und Bauarten..... | 68 |
| 5.3.1 | Diskontinuierliche Vergärungsverfahren | 68 |
| 5.3.2 | Kontinuierliche Vergärungsverfahren mit hydraulischer Durchmischung (Verdrängung, Umpumpen) | 69 |
| 5.3.3 | Kontinuierliche Vergärungsverfahren mit mechanischer Durchmischung | 70 |
| 5.4 | Technische Besonderheiten der kontinuierlichen Nassvergärung von Gras | 70 |
| 5.4.1 | Einbringung | 71 |
| 5.4.2 | Zerkleinerungstechnik | 73 |
| 5.4.3 | Rührwerkstechnik..... | 74 |
| 5.4.4 | Pumpentechnik | 75 |
| 5.4.5 | Fermenter, Überlauf und Gärrestlager..... | 75 |
| 5.4.6 | Gasspeicher | 76 |
| 5.5 | Definition von Anlagenvarianten für die Vergärung von Gülle und/oder Grünlandaufwuchs einschließlich der Abschätzung der Anschaffungskosten | 76 |
| 5.5.1 | Grundlagen und Methode zur Dimensionierung | 76 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.5.1.1 | Leistungsdaten und Gasspeicherkapazität..... | 76 |
| 5.5.1.2 | Substrateigenschaften..... | 77 |
| 5.5.1.3 | Substratmengen..... | 77 |
| 5.5.1.4 | Gärtemperatur..... | 78 |
| 5.5.1.5 | Raumbelastung..... | 78 |
| 5.5.1.6 | Spezifischer Faulraum..... | 81 |
| 5.5.1.7 | Verweilzeit..... | 81 |
| 5.5.1.8 | Fermenter und Gärrestlager..... | 81 |
| 5.5.1.9 | Silo und Vorgrube..... | 81 |
| 5.5.2 | Beschreibung der Anlagenkonzepte..... | 82 |
| 5.5.2.1 | Übersicht der Behälteranordnung..... | 82 |
| 5.5.2.2 | Anlagenkonzept <100kW _{el} : 75kW _{el} | 83 |
| 5.5.2.3 | Anlagenkonfiguration 100 – 200 kW _{el} : 190kW _{el} | 84 |
| 5.5.2.4 | Anlagenkonfiguration 500 kW _{el} | 86 |
| 5.5.2.5 | Biomethananlage mit einem Volumenstrom von 600 - 700 m ³ Biomethan pro Stunde..... | 88 |
| 5.5.2.6 | Benötigte Ressourcen und Hektarerträge..... | 88 |
| 5.5.2.7 | Elektrischer Prozessenergiebedarf..... | 89 |
| 5.5.2.8 | Thermischer Prozessenergiebedarf..... | 89 |
| 5.5.3 | Wärmenutzungskonzept..... | 89 |
| 5.5.4 | Investment der Anlagenkonzepte..... | 91 |
| 5.6 | Prozessüberwachung und -steuerung..... | 92 |
| 5.6.1 | Steuerung des Prozesses im Regelbetrieb..... | 92 |
| 5.6.2 | Prozessindikatoren und Maßnahmen zur Prozesssicherung..... | 94 |
| 5.7 | Zusammenfassung und Fazit..... | 96 |
| 5.8 | Anhang Anlagenkonzepte..... | 99 |
| 6 | Biomasse-Erntelogistik..... | 100 |
| 6.1 | Darstellung der derzeit verfügbaren Verfahrenstechnik zur Grünfütterernte (Grassilage) mit ihren Vor- und Nachteilen..... | 100 |
| 6.1.1 | Werbung..... | 102 |
| 6.1.1.1 | Übersicht der Mähverfahren..... | 102 |
| 6.1.1.2 | Mähen mit Aufbereiter und Schwadzusammenlegung am Mähwerk..... | 104 |
| 6.1.1.3 | Zetten..... | 105 |
| 6.1.1.4 | Schwaden..... | 105 |
| 6.1.2 | Bergetechnik..... | 107 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.1.2.1 | Häcksler..... | 108 |
| 6.1.2.2 | Ladewagen | 109 |
| 6.1.2.3 | Ballenpresse | 111 |
| 6.1.2.4 | Vergleich der Bergeverfahren | 113 |
| 6.1.3 | Transporttechnik..... | 114 |
| 6.1.3.1 | Transportfahrzeuge der Häckselkette | 115 |
| 6.1.3.2 | Transport bei Ballenpressen | 118 |
| 6.1.3.3 | Vergleich der Lade- und Einlagerungsverfahren | 119 |
| 6.1.4 | Konservierung | 119 |
| 6.1.4.1 | Einlagerung von Grünlandaufwuchs im Flachsilo | 119 |
| 6.1.4.2 | Wickeln | 121 |
| 6.1.4.3 | Folienschlauchverfahren | 122 |
| 6.1.4.4 | Vergleich der Silierungsverfahren..... | 122 |
| 6.1.5 | Qualifizierte Interviews zum derzeitigen und künftigen Technikeinsatz bei der Grassilageernte und zum Anteil an Grassilage für Biogasanlagen | 124 |
| 6.2 | Vorschläge für optimierte Grünland-Erntelogistikketten für Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Ressourceneffizienz | 129 |
| 7 | Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte | 131 |
| 7.1 | Modellierung der Anlagenkonzepte | 131 |
| 7.2 | Datengrundlage | 131 |
| 7.3 | Bilanzen der Anlagenlagenvarianten..... | 132 |
| 7.4 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen | 134 |
| 8 | Betriebswirtschaftliche Bewertung..... | 135 |
| 8.1 | Ermittlung der Kosten auf der Basis von regionsspezifischen ÜMV- Ketten bzw. LU-Angeboten für landwirtschaftliche Unternehmen | 135 |
| 8.1.1 | Standortbeschreibung im Hinblick auf die Erntelogistik | 135 |
| 8.1.1.1 | Sandberg..... | 135 |
| 8.1.1.2 | Hinterschmiding | 137 |
| 8.1.1.3 | Raisting..... | 137 |
| 8.1.2 | Regional verfügbare Maschinen und Verrechnungspreise..... | 138 |
| 8.1.2.2 | Raisting..... | 140 |
| 8.1.3 | Substratbereitstellungskosten frei Eintrag..... | 140 |
| 8.1.3.1 | Ergebnisse der Berechnungen | 141 |
| 8.1.4 | Gärrest-Ausbringung | 143 |

| | | |
|---------|--|------------|
| 8.2 | Vergleichende Bewertung der Anlagenkonzepte hinsichtlich ihrer Faktoransprüche und der ökonomischen Effizienz | 143 |
| 8.2.1 | Anschaffungs- und Betriebskosten von Pilotanlagen mit Grasvergärung..... | 144 |
| 8.2.2 | Vergleichende Bewertung der Anlagenkonzepte | 145 |
| 8.2.2.1 | Kalkulationsgrundlagen | 145 |
| 8.2.2.2 | Ergebnisse | 150 |
| 8.2.2.3 | Diskussion der Ergebnisse | 155 |
| 8.3 | Ableitung von Empfehlungen für eine Anpassung des EEG | 158 |
| 8.3.1 | Anlagensplitting | 158 |
| 8.3.2 | NawaRo-Bonus | 159 |
| 8.3.3 | Gülle-Bonus | 159 |
| 8.3.4 | Landschaftspflege-Bonus | 160 |
| 8.3.5 | Ökologie-Bonus | 161 |
| 8.4 | Vergleichende ökonomische Bewertung der Anlagenkonzepte unter Berücksichtigung der Empfehlungen für eine Anpassung des EEG | 163 |
| 8.4.1 | Grasvergärungsanlagen mit Gülle- und Ökologie-Bonus | 163 |
| 8.4.2 | Grasvergärungsanlagen nur mit Ökologie-Bonus | 164 |
| | Literatur | 169 |
| | Anhang zu Kap. 8.1 | 178 |

Abbildungsverzeichnis

| | Seite |
|--|-------|
| Abb. 1: Veränderung der Zahl der Milchkühe, der Rinder und der sonstigen Raufutterfresser in Bayern von 2003 bis 2008..... | 7 |
| Abb. 2: Veränderung der Futterflächen für Raufutterfresser in Bayern von 2003 bis 2008 | 8 |
| Abb. 3: TM-Ertrag des Standardgrünlandes 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt von 65,82 dt/ha netto | 12 |
| Abb. 4: TM-Ertrag des Silomais 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt von 140,5 dt/ha netto | 13 |
| Abb. 5: Anteil des TM-Grundfutterbedarfs an der Lieferung (%) 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns..... | 18 |
| Abb. 6: Nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Dauergrünlandfläche 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns | 20 |
| Abb. 7: Nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Silomaisfläche 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns..... | 21 |
| Abb. 8: Lieferung der Grundfutter-TM nach Futterflächen in Prozent in Bayern 2008 | 29 |
| Abb. 9: Übergang zum Weilheimer Moos, teilweise ist noch Ackernutzung möglich..... | 45 |
| Abb. 10: Arrondierte Flächen. gutes Wegenetz mit größtenteils geteerten Feldwegen, jedoch schmale Zufahrten zu den Flächen im Weilheimer Moos..... | 45 |
| Abb. 11: Kaum gedüngte, krautreiche Extensivflächen in der Nähe von Raisting..... | 46 |
| Abb. 12: Ruchgras – Anzeiger für magere Standorte mit extensiver Nutzung | 46 |
| Abb. 13: Extensive Grünlandnutzung am Übergang zum Weilheimer Moos..... | 47 |
| Abb. 14: Artenvielfalt auf engstem Raum | 47 |
| Abb. 15: Fuchsschwanzwiesen im Weilheimer Moos – Intensivierung wäre prinzipiell möglich, jedoch ist die Anzahl der Überfahrten aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen häufig eingeschränkt..... | 48 |
| Abb. 16: Mooswiesen – Probleme mit Vernässung, Befahrbarkeit, Narbenverletzung | 48 |
| Abb. 17: Blick auf Hinterschmiding –Zentrale Lage mit guter Verkehrsanbindung..... | 54 |
| Abb. 18: Eine Nutzungsintensivierung (mehr als 3 Schnitte) ist problematisch – Lückenbildung und überhöhter Kräuteranteil wären zu befürchten..... | 54 |
| Abb. 19: Erhaltene Strukturelemente (Terrassen) bei Vorderfreundorf..... | 55 |
| Abb. 20: Flächen mit sehr extensiver Nutzung in Bereich Haidmühle-Phillippsreuth | 55 |
| Abb. 21: Extensivste Bewirtschaftung – der 2. Aufwuchs bleibt liegen..... | 56 |
| Abb. 22: Standorttypisches Wirtschaftsgrünland mit Wiesenfuchsschwanz, Goldhafer und Knautgras als Hauptbestandsbildner bei 3 Schnitten – Fläche bei Hohenau | 56 |
| Abb. 23: Artenreiches Extensivgrünland in der Rhön – hier ist Arterhaltung Ziel (Biosphärenreservat), eine Intensivierung der Düngung wäre kontraproduktiv | 62 |
| Abb. 24: Extensivgrünland in der Hochrhön – nur 1-2 Nutzungen (Bergheu für Export) sind pro Jahr möglich, viele Flächen sind überhaupt nicht silagefähig | 62 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 25: Wo Grünland jedoch nicht genutzt wird, erfolgt Sukzession..... | 63 |
| Abb. 26: Ein- bis zweischürige Wiese in der Hochrhön prägen die Grünlandnutzung | 63 |
| Abb. 27: Blick auf Sandberg – Steile Grünlandflächen, schwierige Bewirtschaftung | 64 |
| Abb. 28: Ungünstige Infrastruktur – schmale Straßen, starke Höhenunterschiede..... | 64 |
| Abb. 29: Die ertragreichen Wiesen im Saaletal umfassen höchstens einen Anteil von 10 Prozent der Gesamteinzugsfläche | 65 |
| Abb. 30: Wiesen im Saalegrund: Milchviehgrünland mit ca. 70 dt/ha TM Jahresertrag bei drei möglichen Schnitten – solche Flächen sind jedoch kaum verfügbar..... | 65 |
| Abb. 31: links: Vorlagebehälter auf Basis der Futtermischwagentechnik, ca. 10 m ³ Fassungsvolumen mit vertikaler Schnecke; rechts: Greifschaufel zur Siloentnahme und Befüllung | 71 |
| Abb. 32: links: Vorlagebehälter 50 m ³ ; rechts: Großer Vorlagebehälter mit Abschiebetechnik | 71 |
| Abb. 33: links: Auflöseschnecken in einer robusten Einbringung, rechts: Mischaggregat mit Schneiden in einem Futtermischer | 72 |
| Abb. 34: Einbringsschnecke seitlich in den Fermenter mit großem Durchmesser..... | 72 |
| Abb. 35: Verstärkungsblech an einem Futtermischwagen-Vorlagebehälter..... | 73 |
| Abb. 36: links: Paddelrührwerk; Quelle: Agrikomp GmbH; rechts: Langachsührwerk mit großen Flügeln, Quelle: Streisal GmbH..... | 74 |
| Abb. 37: Vertikale Paddelrührwerke; Quelle: Agraferm Technologies AG..... | 75 |
| Abb. 38: Übersicht der Behälteranordnungen für die Anlagenkonzepte | 82 |
| Abb. 39: Beispielhafte Jahresdauerlinie für den Wärmebedarf einer Wohnbebauung, nach [29]..... | 91 |
| Abb. 40: Anteil des freien Ammoniak an der gesamten ammoniakalischen Stickstoffkonzentration (NH ₄ ⁺ + NH ₃) in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur | 95 |
| Abb. 41: Standorte interviewter Betriebe in Bayern unter Angabe der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Dauergrünland (verändert nach Halama, LfL Agrarökonomie 2010) | 124 |
| Abb. 42: Treibhausgasbilanz der sechs Anlagenkonzepte ohne Gutschrift für Stromeinspeisung („Null-Szenario“). | 133 |
| Abb. 43: Detaillierter Blick auf die Emissionen der Grünlandbewirtschaftung für die sechs Anlagenkonzepte | 133 |
| Abb. 44: Sankey-Diagramm der Klimagasemissionen von Anlagenkonzept 1 (75 kW _{el} , 5 % Gülle) | 134 |
| Abb. 45: Sankey-Diagramm der Klimagasemissionen von Anlagenkonzept 6 (500 kW _{el} , 35 % Gülle) | 134 |
| Abb. 46: Vorgehensweise | 135 |

Tabellenverzeichnis

| | Seite |
|--|-------|
| Tab. 1: Entwicklung der Milcherzeugung in den Agrargebieten von 1991 – 2008 | 9 |
| Tab. 2: Entwicklung der Milchleistung pro Kuh | 10 |
| Tab. 3: Durchschnittlicher TM-Ertrag der Futterflächen in dt/ha (netto) in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns (Ø 2005–2007) | 11 |
| Tab. 4: Dauergrünland- und Futterflächen in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns 2008 | 15 |
| Tab. 5: Bedarf an Futtereinheiten (TM) aus dem Grundfutter | 16 |
| Tab. 6: TM-Bedarf und TM-Lieferung 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns | 17 |
| Tab. 7: Nicht mehr für die Raufutterfresser benötigte TM (netto) 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns | 19 |
| Tab. 8: Prognose der durchschnittlichen Milchleistung pro Kuh in den Agrargebieten | 22 |
| Tab. 9: Veränderung der Zahl der Milchkühe durch Leistungssteigerung in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 23 |
| Tab. 10: Veränderung der Zahl der Milchkühe durch Leistungssteigerung und Quotentransfer in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 24 |
| Tab. 11: Veränderung der Zahl der Mutterkühe in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 25 |
| Tab. 12: Veränderung der Zahl der Mastbullen in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 25 |
| Tab. 13: Veränderung der Zahl der weiblichen Rinder in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 26 |
| Tab. 14: Veränderung des Gesamtrinderbestandes in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 27 |
| Tab. 15: Veränderung der Zahl der übrigen Raufutterfresser in den Agrargebieten von 2008 bis 2020 | 28 |
| Tab. 16: Grünland – Veränderung des TM-Bedarfes (netto) in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1 | 29 |
| Tab. 17: Ackerfutter – Veränderung des TM-Bedarfes (netto) in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1 | 30 |
| Tab. 18: Grünland – Veränderung des Futterflächenbedarfes in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1 | 30 |
| Tab. 19: Ackerfutter – Veränderung des Futterflächenbedarfes in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1 | 31 |
| Tab. 20: Durchschnittliche TM-Erträge des Standardgrünlandes nach LSK-Klassen in Bayern | 32 |
| Tab. 21: Grünland – Veränderung des Bedarfes an Standardgrünland nach Ertragsklassen der LSK in den Agrargebieten im Zeitraum von 2008 bis 2020 – Szenario 2 ^{*)} | 32 |
| Tab. 22: Bedarf an Hauptfutterfläche in Bayern bei den zwei Szenarien im Zieljahr 2020 | 33 |
| Tab. 23: Bedarf an Hauptfutterfläche in Bayern bei den zwei Szenarien im Zieljahr 2020 | 33 |
| Tab. 24: Vorgaben für die Standortauswahl | 34 |
| Tab. 25: Standort Raisting im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 2.3 – Oberbayerisches Moränen-Hügelland | 35 |

| | |
|---|----|
| Tab. 26: Standort Hinterschmiding im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 5.3 – Innerer Bayerischen Wald..... | 35 |
| Tab. 27: Standort Sandberg im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 9.4 – Rhön..... | 36 |
| Tab. 28: Gemeinden in den Modellgebieten, deren mittlere Entfernung zum Standort der Anlage und durchschnittliche Ertragsklasse ihrer Grünlandflächen nach Agrarleitplan sowie erste Kalkulationen (unvalidiert) zur möglicherweise verfügbaren Substratmenge aus Dauergrünlandflächen für die Anlage (Daten: LfL/ILB)..... | 38 |
| Tab. 29: Vergleich der Nährstoffversorgung der Grünlandflächen – dargestellt am prozentualen Anteil der Bodenproben mit suboptimaler Kalk, Phosphor und Kaliversorgung für Bayern, Regierungsbezirke und Landkreise (Datenquelle: LfL/IAB)..... | 39 |
| Tab. 30: Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: 90 Bestandsaufnahmen)..... | 40 |
| Tab. 31: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Raisting – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 90 Bestandsaufnahmen (fett: Arten > 5 % Ertragsanteil und >70 % Häufigkeit)..... | 41 |
| Tab. 32: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe in den Landkreisen Weilheim-Schongau, Starnberg und Landsberg/Lech (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort, interne Auswertung 2003)..... | 42 |
| Tab. 33: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010)..... | 42 |
| Tab. 34: Futteruntersuchungen von Grassilagen im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittelwerte der Jahre 2005 – 2009)..... | 43 |
| Tab. 35: Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: 24 Bestandsaufnahmen)..... | 49 |
| Tab. 36: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Hinterschmiding – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 24 Bestandsaufnahmen (fett: Arten mit einem Ertragsanteil > 5 % bzw. Häufigkeit > 70 %)..... | 50 |
| Tab. 37: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe im Landkreis Freyung-Grafenau (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort, interne Auswertung 2003)..... | 50 |
| Tab. 38: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010)..... | 51 |
| Tab. 39: Futteruntersuchungen von Grassilagen im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittel der Jahre 2005-2009)..... | 51 |
| Tab. 40: Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: 30 Bestandsaufnahmen)..... | 57 |
| Tab. 41: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Sandberg – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 30 Bestandsaufnahmen (fett: Arten mit einem Ertragsanteil > 5 % bzw. Häufigkeit > 70 %)..... | 58 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 42: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe in den Landkreisen Rhön-Grabfeld und Bad Kissingen, (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, interne Auswertung 2003) | 58 |
| Tab. 43: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010) | 59 |
| Tab. 44: Futteruntersuchungen von Grassilagen und Heu im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittelwerte 2005–2009) | 59 |
| Tab. 45: Leistungsdaten der BHKW | 76 |
| Tab. 46: Substratdaten | 77 |
| Tab. 47: Vergleich der Betriebstemperaturen von Biogasanlagen mit Grassilage als Hauptsubstrat (Quelle: eigene Befragungen 2010) | 78 |
| Tab. 48: Maximale beobachtete Raumbelastung von Praxisanlagen mit hohem Grasanteil | 79 |
| Tab. 49: Maximale erreichte Raumbelastung (B_R) bei Technikumsversuchen zur Grassilagevergärung in Rührkessel-ähnlichen Fermentern | 80 |
| Tab. 50: Leistung, Substrat, Gasproduktion (75kW_{el}) | 83 |
| Tab. 51: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (75kW_{el}) | 83 |
| Tab. 52: Separation und Gärrest (75kW_{el}) | 84 |
| Tab. 53: Silo und Vorgrube (75kW_{el}) | 84 |
| Tab. 54: Leistung, Substrat, Gasproduktion (190kW_{el}) | 85 |
| Tab. 55: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (190kW_{el}) | 85 |
| Tab. 56: Separation und Gärrest (190kW_{el}) | 85 |
| Tab. 57: Silo und Vorgrube (190kW_{el}) | 86 |
| Tab. 58: Leistung, Substrat, Gasproduktion (500kW_{el}) | 87 |
| Tab. 59: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (500kW_{el}) | 87 |
| Tab. 60: Separation und Gärrest (500kW_{el}) | 87 |
| Tab. 61: Fahrsilo und Vorgrube (500kW_{el}) | 88 |
| Tab. 62: Benötigte Fläche an Grünland | 88 |
| Tab. 63: Erforderliche Menge an Gülle | 89 |
| Tab. 64: Durchschnittliche thermische Leistungen für die Anlagenkonzepte | 89 |
| Tab. 65: Wärmenutzungen | 90 |
| Tab. 66: Preisspannen aus Recherchen und Annahmen für die spezifischen Investitionskosten der Anlagenkonzepte | 92 |
| Tab. 67: Stell- und Regelgrößen des Biogasprozesses | 93 |
| Tab. 68: Hinweise zur Bestimmung grundlegender Stell- und Regelgrößen für den Biogasprozess | 94 |
| Tab. 69: Hinweise zu Prüfintervallen und Warnwerten für wichtige Prozessindikatoren | 96 |
| Tab. 70: Bewertung der derzeit gängigen Mähtechnik für die Ernte von Grassilage | 102 |
| Tab. 71: Technische Kenndaten rotierender Mähwerke [51] | 103 |
| Tab. 72: Bewertung der technischen Geräte zum Zetten, Wenden und Schwaden | 106 |
| Tab. 73: Technische Kenndaten der Schwader [55] | 107 |
| Tab. 74: Bewertung der Bergekette mit dem Häcksler [87] | 109 |
| Tab. 75: Bewertung der Bergekette mit dem Ladewagen [87] | 111 |
| Tab. 76: Bewertung der Verfahrenstechnik der Ballenkette | 113 |
| Tab. 77: Bewertung der Bergetechnik anhand der ausgewerteten Literatur | 113 |
| Tab. 78: Verfahrensvergleich der Bergetechnik | 114 |

| | |
|--|-----|
| Tab. 79: Transportfahrzeuge der Häckselkette [verändert nach 67]..... | 117 |
| Tab. 80: Verfahrensvergleich der Parallelfahrssysteme Häckselwagen und LKW [verändert nach 114]..... | 118 |
| Tab. 81: Gegenüberstellung der Einlagerungsverfahren im Flachsilo | 120 |
| Tab. 82: Technische Kenndaten der Ballenkette | 121 |
| Tab. 83: Vergleich der Silierungsverfahren..... | 123 |
| Tab. 84: Bewertung der Einsilierungsverfahren anhand der ausgewerteten Literatur | 123 |
| Tab. 85: Ergebnisse der qualifizierten Interviews bei Biogas-Pilotbetrieben der LfL, Landwirten mit Milchviehhaltung und Lohnunternehmern (Teil 1: Allgemeine Betriebsangaben, Mähen, Zetten, Schwaden)..... | 125 |
| Tab. 86: Ergebnisse der qualifizierten Interviews bei Biogas-Pilotbetrieben der LfL, Landwirten mit Milchviehhaltung und Lohnunternehmern (Teil 2: Bergung, Transport, Konservierung) | 127 |
| Tab. 87: Bewertung der Befragungen zur Nutzung von Grünland für Biogasanlagen | 128 |
| Tab. 88: Zielstellungen und Ansatzpunkte für Verbesserungsvorschläge..... | 130 |
| Tab. 89: Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung | 132 |
| Tab. 90: Abschätzung der Ernteerträge am Standort Hinterschmiding..... | 137 |
| Tab. 91: Abschätzung der Ernteerträge am Standort Raisting | 138 |
| Tab. 92: Technik und Verrechnungspreise Hinterschmiding | 139 |
| Tab. 93: Technik und Verrechnungspreise Raisting..... | 140 |
| Tab. 94: Durchschnittliche Substratbereitstellungskosten frei Eintrag – ortsübliche überbetriebliche Ernteverfahren und Verrechnungspreise | 142 |
| Tab. 95: Vergleich der Substratbereitstellungskosten frei Silo gewalzt – ortsübliche überbetriebliche Ernteverfahren und KTBL-Planungsdaten | 142 |
| Tab. 96: Kosten Gärrest-Ausbringung..... | 143 |
| Tab. 97: Substrate und ihre Qualitätsparameter | 145 |
| Tab. 98: Vergütungssätze 2011 | 148 |
| Tab. 99: Arbeitszeitbedarf für die Betreuung von NawaRo-Biogasanlagen (ohne Entnahme und Beschickung) | 150 |
| Tab. 100: Arbeitszeitbedarf für Substratmanagement | 150 |
| Tab. 101: Kalkulationen mit Gülle-Bonus – Erlöse | 151 |
| Tab. 102: Kalkulationen mit Gülle-Bonus – Kosten und Gewinn | 152 |
| Tab. 103: Kalkulationen ohne Gülle-Bonus – Erlöse | 153 |
| Tab. 104: Kalkulationen ohne Gülle-Bonus – Kosten und Gewinn..... | 154 |
| Tab. 105: Sensitivitätsanalyse – Grasvergärungsanlagen mit Gülle-Bonus..... | 155 |
| Tab. 106: Finanzierung 75 kW _{el} -Anlage | 156 |
| Tab. 107: Finanzierung 190 kW _{el} -Anlage | 156 |
| Tab. 108: Finanzierung 500 kW _{el} -Anlage | 157 |
| Tab. 109: Mindestgüllemengen für die Inanspruchnahmen des Gülle-Bonus (Beispiele)..... | 160 |
| Tab. 110: Kennwerte für die Ableitung des Standard-Biogasertrages von Landschaftspflegematerial und des Aufwuchses von extensiv genutztem Dauergrünland..... | 161 |
| Tab. 111: Standardstromerträge und Bonushöhe für Landschaftspflegematerial und Extensivgrünland | 163 |
| Tab. 112: Kalkulationen mit geändertem Gülle- und neuem Ökologie-Bonus – Erlöse..... | 165 |

| | |
|--|-----|
| Tab. 113: Kalkulationen mit geändertem Gülle-Bonus und neuem Ökologie-Bonus – Kosten und Gewinn..... | 166 |
| Tab. 114: Kalkulationen mit neuem Ökologie-Bonus – Erlöse | 167 |
| Tab. 115: Kalkulationen mit neuem Ökologie-Bonus – Kosten und Gewinn | 168 |
| Tab. 116: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Häckselkette..... | 178 |
| Tab. 117: Bereitstellungskosten in Raisting – Häckselkette | 180 |
| Tab. 118: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Ladewagen..... | 182 |
| Tab. 119: Bereitstellungskosten in Raisting – Ladewagen | 184 |
| Tab. 120: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Pressen | 186 |
| Tab. 121: Bereitstellungskosten in Raisting – Presse..... | 188 |
| Tab. 122: Kosten Gärrestausbringung Hinterschmiding | 190 |
| Tab. 123: Kosten Gärrestausbringung Raisting..... | 190 |
| Tab. 124: Kosten Häckselkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten..... | 191 |
| Tab. 125: Kosten Häckselkette Raisting – KTBL Planungsdaten | 192 |
| Tab. 126: Kosten Ladewagenkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten..... | 193 |
| Tab. 127: Kosten Ladewagenkette Raisting – KTBL Planungsdaten | 194 |
| Tab. 128: Kosten Ballenkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten..... | 195 |
| Tab. 129: Kosten Ballenkette Raisting – KTBL Planungsdaten | 196 |
| Tab. 130: Kosten Gärrestausbringung ab Biogasanlage Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten | 197 |
| Tab. 131: Kosten Gärrestausbringung Raisting – KTBL Planungsdaten..... | 197 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|---|
| °C | Grad Celsius |
| a | Annus (Jahr) |
| AB | Arbeitsbreite |
| AELF | Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten |
| AKh | Arbeitskraftstunden |
| ALP | Agrarleitplanung |
| AUM | Agrarumweltmaßnahme |
| Balis | Bayerisches landwirtschaftliches Informationssystem |
| BEE | Besonderen Ernteermittlung |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| B _R | Raumbelastung Fermenter |
| CH ₄ | Methan |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| d | Dies (Tag) |
| dt | Dezitonne |
| EEG | Erneuerbare Energien Gesetz |
| FM | Frischmasse |
| FOS | Flüchtige organische Säuren |
| GV | Großvieheinheit |
| h | Hora (Stunde) |
| H ₂ | Wasserstoff |
| ha | Hektar |
| HI-Tier | Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere |
| hPa | Hektopascal |
| HRT | hydraulische Verweilzeit (hydraulic retention time) |
| IAB | Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz |
| IEM | Institut für Ernährung und Markt |
| IFBB | Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse |
| ILB | Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrar-informatik |
| ILT | Institut für Landtechnik und Tierhaltung |
| InVeKoS | Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem |
| IPZ | Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung |

| | |
|------------------------------|--|
| ITE | Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft |
| °K | Grad Kelvin |
| KBM | Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e. V. |
| kg | Kilogramm |
| km | Kilometer |
| KTBL | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. |
| KuLaP | Kulturlandschaftsprogramm |
| kW _{el} | Kilowatt elektrisch |
| kWh | Kilowattstunde |
| kWh _{el} | Kilowattstunde elektrisch |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| l | Liter |
| LfL | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft |
| LfStaD | Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung |
| LKV | Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. |
| LSK | Landwirtschaftliche Standortkartierung |
| LU | Lohnunternehmen |
| LVG | Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation |
| m | Meter |
| m ² | Quadratmeter |
| m ³ | Kubikmeter |
| ME | Metabolische Energie |
| mg | Milligramm |
| MJ | Megajoule |
| mm | Millimeter |
| m _{oTS} | Masse organisches Material |
| MÜSB | Milchquotenübertragungsstelle Bayern |
| MWh | Megawattstunde |
| MWh _{therm} | Megawattstunde thermisch |
| NH ₃ | Ammoniak |
| NH ₄ ⁺ | Ammoniumionen |
| Nm ³ | Normkubikmeter |
| N ₂ O | Lachgas |
| oTM | Organische Trockenmasse |
| RiGV | Rinder-Großvieheinheit |

| | |
|-------|--|
| SKZ | Stromkennzahl |
| t | Tonne |
| TAC | Totales anorganisches Carbonat |
| Ti | Tilgung |
| TM | Trockenmasse |
| TS | Trockensubstanz |
| ÜMV | Überbetriebliche Maschinenverwendung |
| VNP | Vertragsnaturschutzprogramm |
| V_R | Arbeitsvolumen Fermenter (Gärbehälter) |
| V_S | Zugeführtes Substratvolumen |
| W | Watt |

Zusammenfassung

Aufbauend auf die Grünlandstudie Bayern werden in der vorliegenden Arbeit die Szenarien anhand aktueller statistischer Zahlen fortgeschrieben und die Machbarkeit von Biogasanlagen diskutiert, die Grünlandaufwuchs von ertragsschwächeren Standorten verwerten sollen, der über den Tiermagen wahrscheinlich nicht mehr zu veredeln ist.

Ergebnisse der aktualisierten Grünlandstudie

Die Aktualisierung der Grünlandstudie dient der Abschätzung, in welchem Umfang Dauergrünland im Jahre 2020 (Zieljahr der Prognose) noch über Raufutterfresser verwertet werden kann.

Steigt die durchschnittliche Milchleistung, wie prognostiziert, auf knapp 7.500 kg pro Kuh und Jahr, sind im Zieljahr nur noch rund 1,0 Million Milchkühe erforderlich, um dieselbe Milchmenge zu erzeugen wie im Basisjahr 2008. Dem entsprechend ist in den nächsten zehn Jahren ein Rückgang des Kuhbestands um 228.000 Tiere oder 18,5 %, bezogen auf das Basisjahr, zu erwarten. In den ackerbaubetonten Agrargebieten, insbesondere in den Gäugebieten, im Tertiär-Hügelland Nord und auf den Fränkischen Platten wird mit einer deutlich überdurchschnittlichen Abnahme gerechnet. Die Gesamtzahl der Rinder wird im selben Zeitraum um knapp 650.000 oder 18,8 % zurückgehen. Mit einer Bestandsminderung von fast 360.000 Tieren werden die Agrargebiete Tertiär-Hügelland Süd und Nord und das Nordbayerischen Hügelland besonders betroffen sein. Die Bestände der sonstigen Raufutterfresser werden sich in toto nur wenig verändern.

Verändern sich die Rationszusammensetzungen nicht wesentlich, sinkt der Grundfutterbedarf im Prognosezeitraum um ca. 1,9 Mio. Tonnen. Je nach Szenario werden im Zieljahr rund 165.000 ha bis 200.000 ha Grünland und knapp 71.000 ha Ackerfutterfläche für die Versorgung der Raufutterfresser nicht mehr benötigt und stehen für eine alternative Nutzung zur Verfügung.

Auswahl repräsentativer Grünlandgrenzstandorte

Die Auswahl der Grünlandgrenzstandorte im Bayerischen Wald, im Alpenvorland und in der Rhön erfolgte auf der Grundlage der Grünlandstudie Bayern. Zusätzlich wurden vor der endgültigen Festlegung der Gebiete die jeweils zuständigen Fachberater für Landtechnik, Umwelt und Energie um eine Einschätzung der Standorteignung für die Biogaserzeugung gebeten. Die ausgewählten Standorte sind „Raisting“ (Oberbayerisches Moränen-Hügelland), „Hinterschmiding“ im Inneren Bayerischen Wald und „Sandberg“ in der Rhön. Von der ursprünglich ausgewählten Gemarkung „Hoher Peißenberg“ wurde wegen der großen regionalen Nachfrage nach Flächen und des trotz deutlicher Bewirtschaftungserchwernisse hohen Pachtpreinsniveaus Abstand genommen. Im nahegelegenen Raisting zeichnet sich die Verwertung von Restgrünland bereits als Problem ab. An keinem Grenzstandort reichen die Grünlandflächen in einem Radius von zehn Kilometern aus, eine größere Biomethananlage mit Substrat zu versorgen.

Pflanzenbauliche Bewertung repräsentativer Grünlandgrenzstandorte

Im Einzugsgebiet von Raisting sind häufig Weidelgraswiesen (ca. 25 % aller Aufnahmen) und ähnlich leistungsfähige Bestände anzutreffen, welche von Deutschem Weidelgras, teilweise Bastard-Weidelgras, Wiesenschwingel, Knaulgras und Weißklee dominiert wer-

den. Eine große Rolle spielen auch Wiesen mit dem Leitgras Wiesenfuchsschwanz. Die Kräuter bestimmen zwar botanische Diversität überwiegend, der Ertrag wird jedoch in erster Linie durch die Gräser gebildet. Durchschnittlich konnten 22 Pflanzenarten bestimmt werden. Diese Anzahl kann als typisch für mittel- bis intensiv genutztes Grünland in Bayern angesehen werden. Die 90 Einzelaufnahmen im Einzugsgebiet weisen darauf hin, dass viele Bestände schnitt- und düngungsverträglich sind und damit prinzipiell bei drei bis vier möglichen Nutzungen ein hohes Ertragspotenzial und eine befriedigende bis gute Futterqualität erwarten lassen. Der vergleichsweise hohe Anteil an Gemeiner Rispe im Aufwuchs lässt jedoch darauf schließen, dass durchaus im Einzelfall noch Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Bewirtschaftung bestehen.

Für das Einzugsgebiet Hinterschmiding beträgt die mittlere Ertragsklasse, grob gemittelt, nur ca. 1,7. Viele Grünlandflächen des Inneren Bayerischen Waldes sind im Hinblick auf eine leistungsorientierte, grobfutterbasierte Milchviehhaltung als Grenzstandorte der Grünlandnutzung zu bewerten. Die Nährstoffversorgung des Wirtschaftsgrünlandes ist häufig suboptimal. Rund drei Viertel der Grünlandböden im Landkreis Freyung-Grafenau sind mehr oder weniger stark kalkbedürftig, rund 60 % der Fläche weisen eine suboptimale Phosphatversorgung auf. Die Ursachen dafür sind zum einen geogen bedingt (saure Urgebirgsböden), zum anderen in einer vergleichsweise extensiven Bewirtschaftung zu vermuten. Im Mittel zeigen sich die Bestände artenreicher als in der Gegend um Raisting. Die Kräuter nehmen in den Höhenlagen des Inneren Bayerischen Waldes mit rund 24 % einen deutlich höheren Masseanteil ein als in Raisting (18 %). Aus den botanischen Aufnahmen in Hinterschmiding ergibt sich folgendes Bild: Auf extensiveren Standorten (1 – 2 Nutzungen pro Jahr) findet man häufig ertragsarme Rotstraußgras-Rotschwengel-Wiesen. Auf den etwas besseren, zwei- bis dreischürigen Standorten treten Glatthafer-Wiesen auf, die mit zunehmender Meereshöhe vom Typus der Goldhaferwiese abgelöst werden, so dass in der Region der Goldhafer als Leitgras nach dem Wiesenfuchsschwanz die wichtigste Rolle spielt. Wiesen mit hohen Anteilen an Fuchsschwanz, z. T. vergesellschaftet mit Knaulgras, erlauben drei Nutzungen pro Jahr und sind auch in gewissem Masse intensivierungsfähig, so dass teilweise auch drei bis vier Schnitte erzielt werden können.

Im Einzugsgebiet von Sandberg sind viele Grünlandflächen als Grenzstandorte anzusprechen. Die Ertragsmesszahlen der Gemeinden reichen von 1,7 bis 2,1 und liegen – grob gemittelt – mit 1,9 deutlich unter dem bayerischen Durchschnitt (2,6). Die Nährstoffversorgung des Wirtschaftsgrünlandes reicht häufig nicht, das Ertragspotenzial auszuschöpfen. Mit rund 28 gefundenen Arten pro 25 m²-Aufnahme weist das Grünland um Sandberg von allen drei Modellgebieten im Mittel den größten Artenreichtum auf. Der Anteil der Kräuter in der Frischmasse liegt etwas höher als in Hinterschmiding und deutlich höher als in Raisting. Im Untersuchungsgebiet findet man auf sauren Böden meist Pflanzenbestände, welche von Rotschwengel und Rotem Straußgras, einem wichtigen Futtergras von Bergwiesen, Bergweiden und Magerrasen, dominiert werden. Auf den besseren Böden treten oft Glatthaferwiesen auf. In den Tallagen findet man dagegen Fuchsschwanz- und ausgesprochene Feuchtwiesen, erkennbar z. B. an dem Vorkommen von Mädessüß, Großem Wiesenknopf, Seggenarten und Wiesenknöterich. Überwiegend wird das Grünland nur einmal, höchstens zweimal im Jahr genutzt. Vorherrschend in den Berggebieten der hohen Rhön ist die (geförderte) Schafbeweidung. Das Heu der artenreichen, kräuterbetonten Bestände der Hochlagen wird als „Bergheu“ v. a. nach Holland verkauft. Zudem sind viele Flächen nicht zu intensivieren und für die Silagegewinnung ungeeignet.

Bauliche und technische Konzepte für die Biogasanlagen

Neben dem Rührkesselverfahren sind verschiedene Alternativen für die Grassilagevergärung auf dem Markt, wie z. B. Propfenstromfermenter, Verfahren mit hydraulischer Durchmischung oder diskontinuierliche Feststoffvergärungsverfahren mit Garagenfermentern. Allerdings gibt es in der Regel nur wenige Referenzanlagen und kaum Daten, die eine unabhängige Bewertung erlauben würden. Für kontinuierliche Rührkesselverfahren liegen vergleichsweise die meisten Daten vor. Das konventionelle Rührkesselverfahren kann daher bei sachgemäßer Ausführung und Prozessüberwachung gegenwärtig als Stand der Technik für die Grasvergärung gelten und wurde den Anlagenkonzepten in dieser Machbarkeitsstudie zu Grunde gelegt. In solchen Anlagen werden häufig bis zu ca. 50 % Grassilage eingesetzt, Anlagen mit überwiegendem Graseinsatz (70 % und mehr) sind noch sehr selten.

Die Ergebnisse aus Messprogrammen zeigen, dass bei entsprechender Ausrüstung und intensiver Prozessüberwachung eine gute Abbaueffizienz und Arbeitsausnutzung bei Gras basierter Vergärung zu erzielen ist. Das Risiko von Ausfallzeiten auf Grund mechanisch-hydraulischer oder gärbioologischer Probleme steigt im Vergleich zu Mais basierter Vergärung mit zunehmendem Grasanteil an. In kontinuierlichen Rührkesselanlagen müssen im Vergleich zu Mais- oder Gülle-basierter Vergärung bei überwiegendem Graseinsatz robustere und speziell dimensionierte Förder- und Durchmischungsaggregate sowie Rohrleitungen verwendet werden. Die Anforderungen an die Substratqualität sind vom eingesetzten System abhängig. Gras aus dem Rotor-Ladewagen ist ohne weitere Zerkleinerung oder/und Desintegration nicht problemlos verwertbar. Gehäckseltes Gras lässt sich in der Regel unter Berücksichtigung der oben genannten Ausstattungsdetails ohne Schwierigkeiten verarbeiten. Jeder weitergehende Aufschluss beschleunigt den Abbau und verringert den Rührenergiebedarf. Ob der zusätzliche Energiebedarf für den Substrataufschluss durch die Reduzierung des Stromverbrauchs und des Verschleißes für das Fördern und Rühren des Gärgemisches ausgeglichen werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

Die Raumbelastung ist bei sehr hohen Grasanteilen durch den TM-Gehalt im Gärgemisch und den Ammoniumgehalt beschränkt. Aus prozessbiologischer Sicht ist bei der Grasvergärung das Risiko einer Hemmung durch Ammoniak stark erhöht. Daher ist eine intensive Prozessüberwachung erforderlich, wobei als Prozessindikatoren der pH-Wert, der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt, die Konzentration niederer Fettsäuren und der FOS/TAC-Wert beobachtet werden sollten. Für die Auslegung der Anlagenkonzepte (75 kW_{el}, 190 kW_{el}, 500 kW_{el}) wurden die empfohlenen Mindestverweilzeiten für den Emissionsschutz nach VDI 3475 Blatt 4 berücksichtigt. Die Raumbelastung wurde aus Gründen der Prozessstabilität limitiert. Die spezifischen Gesamtkosten für die Errichtung der Anlagen sind mit 6.000,- EUR/kW_{el} für die kleinste, 5.500,- EUR/kW_{el} für die mittlere und 4.500,- EUR/kW_{el} für die größte Anlage angenommen.

Die Recherchen im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie haben gezeigt, dass einerseits erheblicher Forschungsbedarf für eine Verbesserung der Stabilität und Effizienz der Grasvergärung besteht und andererseits keine ausreichende Datengrundlage für eine Bewertung der am Markt verfügbaren Verfahrensalternativen existiert. Der Handlungs- und Forschungsbedarf lässt sich wie folgt konkretisieren:

Bewertung von Vergärungsverfahren im volltechnischen Maßstab:

Für aussagekräftige Bewertungen von Anlagenkomponenten und alternativen Verfahren wären längerfristige Untersuchungen (Anlagen-Monitoring) an Praxisanlagen mit Gras-basierter Vergärung notwendig.

Grundlegende Untersuchungen zur Optimierung des Gärprozesses von Gras:

Die Beschränkung der Raumbelastung bei der Grasvergärung ist wirtschaftlich nachteilig. Die Mechanismen der Hemmung des Gärprozesses durch Ammoniak sind noch nicht abschließend geklärt. Zudem gibt es Hinweise, dass neben dem Ammoniak weitere Inhaltsstoffe im Gras eine Hemmwirkung haben könnten. Diese Fragestellungen sollten unter kontrollierten Bedingungen im Labor- oder halbtechnischen Maßstab untersucht werden. Dabei sind unbedingt mikro-/molekularbiologische Fragestellungen und Untersuchungsmethoden mit einzubeziehen.

Biomasse-Erntelogistik

Das Kapitel gibt einen profunden Überblick über die derzeit verfügbare Verfahrenstechnik zur Grünfütterernte (Grassilage), diskutiert die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren und macht Vorschläge für optimierte Grünland-Erntelogistikketten für Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Ressourceneffizienz.

Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte

Im Vergleich zum fossilen Referenzsystem vermeiden alle Anlagenvarianten erhebliche Mengen an klimaschädlichen Emissionen. Die Einsparungen betragen zwischen 582 und 627 g CO₂-Äq•kWh_{el}⁻¹. Gegen Null bilanziert – also ohne Berücksichtigung der fossilen Referenz für die Strombereitstellung – ergeben sich Emissionen von 197 bis 242 g CO₂-Äq•kWh_{el}⁻¹. Für die betrachteten Anlagenkonzepte ergibt sich unter den dargestellten Annahmen eine für die Stromproduktion aus Biogas vergleichsweise ungünstige Treibhausgasbilanz. Hauptursachen hierfür sind der relativ hohe Stickstoffumsatz beim Einsatz von Grassilage, der zu hohen Lachgasemissionen von der Fläche führt, die aufwendige Ernte von Grünland sowie der relativ hohe Strombedarf der Anlagen, der aus dem Stromnetz gedeckt wurde. Die Treibhausgasbilanz lässt sich effektiv verbessern, indem die verfügbare Wärme möglichst weitgehend effizient genutzt wird und der Strombedarf der Anlage durch die Eigenstromproduktion gedeckt wird. Die vorliegende Treibhausgasbilanz reicht nicht aus, um die Umweltwirkungen der sechs Anlagenkonzepte umfassend zu bewerten, da bei Grünlandnutzung auch Aspekte wie Bodenschutz, Wasserschutz, Erhaltung des Landschaftsbildes oder Biodiversität berücksichtigt werden sollten.

Betriebswirtschaftliche Bewertung

In den drei ausgewählten Regionen wurden Maschinenringe, Lohnunternehmen und Berater zu den gängigsten bzw. verfügbaren Verfahren der Grünfütterernte sowie zu regionalen Besonderheiten befragt und die Verrechnungspreise für einzelne Arbeitsgänge erfasst. Für den Standort Sandberg in der Rhön ergaben die Erhebungen vor Ort, dass die Versorgung einer Biogasanlage mit Gras bzw. Grassilage aus dem näheren Umfeld mit einer schlagkräftigen Mechanisierung kaum sinnvoll realisierbar ist. Für die beiden Standorte Raisting und Hinterschmiding schien es auf Grund der geringen Kostenunterschiede gerechtfertigt, für beide Standorte die durchschnittlichen Substratbereitstellungskosten frei Eintrag sowohl für die Häckselkette als auch für die Ladewagenkette mit 75 €/t TM anzusetzen. Ballensilage ist in der Regel keine ökonomisch sinnvolle Option der

Silagebereitung für die Biogaserzeugung. Grünlandaufwuchs, der wegen seines hohen Trockenmassegehalts nur noch in Form von Ballensilage sicher zu konservieren ist, verursacht Substratbereitstellungskosten frei Eintrag von rund 114 €/t TM. Eventuell notwendige zusätzliche Arbeitsgänge zum Auflösen der Ballen und das weitere Zerkleinern des Materials sind in den Berechnungen noch nicht enthalten. Für die Ausbringung des Gärrestes konnten Kosten in Höhe von 10 €/t TM ermittelt werden.

Unter den getroffenen Annahmen erweisen sich die Modellanlagen zur Grasvergärung, ökonomisch gesehen, als relativ stabil, sofern sie nach den Rahmenbedingungen des EEG 2009 neben dem Gülle-Bonus auch den Landschaftspflege-Bonus erhalten. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass mehrere negative Faktoren zusammenkommen müssen, um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu gefährden. Die den Berechnungen zu Grunde liegenden verfahrenstechnischen Parameter sind allerdings anspruchsvoll und lassen sich nur bei einem überdurchschnittlich guten Anlagenbetrieb erreichen. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit sind die Substratbereitstellungskosten. Mit dem Einsatz schlagkräftiger, überbetrieblicher Verfahren sind die Möglichkeiten der Kostensenkung nach dem derzeitigen Stand der Technik weitgehend ausgeschöpft. Es wird nicht einfach sein, die Substratbereitstellungskosten in Höhe von rund 30 €/t FM bzw. 85 €/t TM einschließlich Gärrestausbringung und der Festkosten für den beanspruchten Siloraum dauerhaft zu erreichen. Der Spielraum für die Bezahlung eines Entgelts für die Flächennutzung – auf Kosten des Unternehmergewinns – ist gering; d. h. die Grasvergärung wird, rationales Handeln vorausgesetzt, um Flächen nur dann konkurrieren, wenn realiter die Kalkulationsannahmen deutlich übertroffen bzw. die Anschaffungskosten merklich unterschritten werden.

Können Biogasanlagen nur den NawaRo-Bonus und den Landschaftspflege-Bonus in Anspruch nehmen, ist unter den Modellannahmen mit der Vergärung von Grünlandaufwuchs an Grenzstandorten derzeit keine Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

In der Konsequenz bedeutet dies für die anstehende EEG-Novelle, dass die Verwertung von Aufwuchs an Grünlandgrenzstandorten und Landschaftspflegematerial nur dann etabliert werden kann, wenn neben der Grundvergütung und dem NawaRo-Bonus in unveränderter Höhe zusätzlich ca. 8 Ct/kWh_{el} bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 75 kW (Schwellenwert) vergütet werden. Jenseits des Schwellenwertes sollte die Zusatzvergütung auf 2 Ct/kWh_{el} absinken.

Entsprechende Empfehlungen für die Anpassung des EEG, insbesondere eines deutlich abgesenkten Gülle-Bonus und eines neuen Ökologie-Bonus befinden sich in Kap. 8.3.

1 Einleitung

Die absehbaren grundsätzlichen Fragen der künftigen Grünlandnutzung nahm das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten im Jahre 2003 zum Anlass, die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit einer Grünlandstudie Bayern [1] zu beauftragen, in der die verschiedenen Möglichkeiten der Biomasseverwertung vom Grünland – über den Tiermagen und außerhalb – zu beurteilen waren. Aufbauend auf dieser Grünlandstudie Bayern werden in der vorliegenden Arbeit die Szenarien der Grünlandstudie anhand aktueller statistischer Zahlen fortgeschrieben und die Machbarkeit von Biogasanlagen diskutiert, die Grünlandaufwuchs von ertragsschwächeren Standorten mit oder ohne Gülle verarbeiten.

1.1 Auftrag

Das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten beauftragte die LfL Ende 2009 mit der Ausarbeitung und Durchführung eines Forschungsprojektes, das die technische und ökonomische Realisierungsmöglichkeit der Grünlandnutzung durch Biogasanlagen abklären, eine Abschätzung der dadurch erreichbaren Treibhausgas-Einsparungen ermöglichen und ggf. Empfehlungen für eine Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zur Erleichterung der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit erarbeiten soll.

Es sollen auch Modelle mit einer hohen Beteiligungsintensität der Landwirte untersucht werden. Neben dem Bayerischen Wald sollen auch weitere Grünlandgebiete (z. B. Alpenvorland, Rhön) in die Untersuchung einbezogen werden.

1.2 Projektgrenzen

Gegenstand des Projekts ist die ausschließliche Nutzung von Gülle im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 vom 3. Oktober 2002 und/oder Grünlandaufwuchs in Biogasanlagen. Grünland i. S. des Projektes ist absolutes Grünland (Flächen, die eine Ackernutzung nicht zulassen). Alle technischen und ökonomischen Aussagen haben nur Gültigkeit für Biogasanlagen, die entweder ausschließlich Gülle und Grünlandaufwuchs oder ausschließlich Grünlandaufwuchs als Inputmaterial zur Biogaserzeugung einsetzen.

1.3 Projektbearbeitung

Auf Grund der engen zeitlichen Vorgaben muss das Forschungsprojekt in zwei Abschnitte aufgeteilt werden. Bis zum vorgegebenen Projektabschluss Ende Oktober 2010 kann nur eine Machbarkeitsstudie, basierend auf den an den LfL vorhandenen Kenntnissen bzw. Erfahrungen, erstellt werden. Eine längerfristige wissenschaftliche Begleitung des komplexen Themas Grasvergärung aus pflanzenbaulicher, verfahrenstechnischer, ökologischer und ökonomischer Sicht und die Folgenabschätzung ist aufgrund der offensichtlich hohen gesellschaftlichen Bedeutung, Dauergrünlandflächen an landwirtschaftlichen Grenzstandorten zu erhalten, dringend erforderlich.

2 Ergebnisse der aktualisierten Grünlandstudie

Autorin: Martina Halama

Der Auftrag dieser Arbeit, die künftigen Möglichkeiten der Biomasseverwertung vom Grünland in Bayern aufzuzeigen, konzentriert sich primär darauf zu beurteilen, in welchem flächenmäßigen Umfang das vorhandene Dauergrünland weiterhin über Raufutterfresser genutzt werden kann. Die Darstellung der Ergebnisse aus den Ergänzungen zur Grünlandstudie ist an dieser Stelle auf die wesentlichen Aussagen beschränkt.

2.1 Entwicklung der Bestände an Raufutterfresser

Das bayerische Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung hat die Methodik zur Ermittlung der Anzahl der Rinder geändert. Die Erstellung von Zeitreihen aus diesen Daten ist somit nicht mehr möglich. Aus diesem Grunde und aus Gründen der Aktualität finden ausschließlich InVeKoS- bzw. HI-Tier-Daten in dieser Arbeit Verwendung.

Seit dem Jahr 2001 wird im Rahmen der HI-Tier-Datenbank nicht mehr zwischen Milch- und Mutter- bzw. Ammenkühen unterschieden. Das bedeutet, dass die Anzahl dieser Tiere abgeschätzt werden muss.

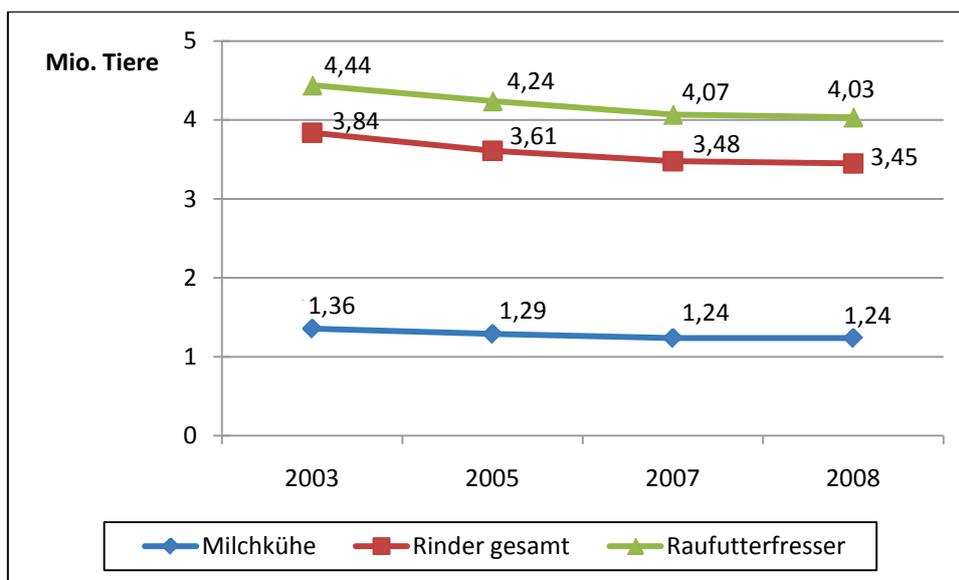


Abb. 1: Veränderung der Zahl der Milchkühe, der Rinder und der sonstigen Raufutterfresser in Bayern von 2003 bis 2008

2.1.1 Entwicklung der Rinderbestände

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, nahm im Zeitraum von 2003 bis 2008 der Rinderbestand in Bayern um ca. 10 % ab. Während der Milchviehbestand sich um etwa 8,8 % verringerte, sank die Anzahl der männlichen Rinder zwischen 6 Monate und 2 Jahre um nahezu 15 %. Der regional größte Rückgang an Rindern ist in den Gäugebieten (Agrargebiet 6) mit mehr als 17 % zu verzeichnen, der geringste mit weniger als 4 % im Agrargebiet 12 „Spessart und Rhön“. Hier wird der Rückgang der Milchkühe von der Zunahme der Mutterkühe nahezu kompensiert.

Die Entwicklung der einzelnen Rindergattungen im Untersuchungszeitraum verlief unterschiedlich. Während bei männlichen Rinder > 2 Jahre der größte Bestandsabbau zu ver-

zeichnen war – der Rückgang betrug mehr als 1/3 – nahm die Anzahl der Mutterkühe um etwa 6 % zu.

2.1.2 Entwicklung der sonstigen Raufutterfresser

Im Zeitraum von 2003 bis 2008 nahm bei den sonstigen Raufutterfressern die Anzahl der Pferde mit über 22 % und die Anzahl der Ziegen mit über 40 % am stärksten zu. Auch der Dam- und Rotwildbestand ist um 4 % geringfügig gewachsen, während der Bestand an Schafen um fast 10 % zurückgegangen ist.

2.2 Veränderung der Hauptfutterfläche

Im Jahre 2008 waren in Bayern nach InVeKoS etwa 1,59 Mio. ha Hauptfutterfläche vorhanden. In Abbildung 2 wird die Aufteilung der Hauptfutterfläche auf die einzelnen Futterarten und deren Veränderung im Zeitraum 2003 – 2008 dargestellt.

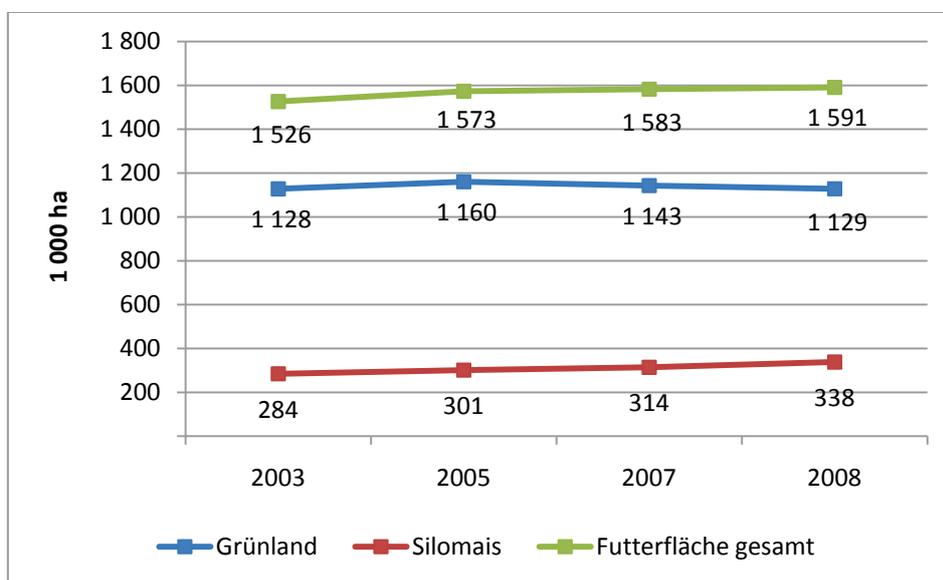


Abb. 2: Veränderung der Futterflächen für Raufutterfresser in Bayern von 2003 bis 2008

Die Hauptfutterfläche in Bayern ist demnach um mehr als 4 % angestiegen. Die Dauergrünlandfläche nahm von 2003 bis 2005 leicht zu und sank dann bis 2008 wieder annähernd auf das Niveau von 2003, d.h. auf ca. 1,13 Mio. ha. Im Gegensatz zum gesamten Dauergrünland verringerte sich der Flächenumfang von Wiesen, Weiden und Mähweiden im Untersuchungszeitraum um etwa 7.800 ha. Die Ackerfutterfläche in Bayern stieg im gleichen Zeitraum um 63.600 ha oder 16 % stark an. Dieser Anstieg beruht zum größten Teil auf der Ausdehnung der Silomaisflächen, die um 53.800 ha bzw. 18,9 % zunahm. Der Anbau von Klee und Klee gras ging zwischen 2003 und 2008 um etwa 8,2 % zurück.

Die Entwicklung der Hauptfutterfläche nahm in den Agrargebieten unterschiedliche Verläufe. Während in den Agrargebieten 1 (Alpen), 2 (Alpenvorland) und 8 (Ostbayerische Mittelgebirge I) die Anbauflächen nahezu konstant blieben, haben sie vor allem in den Agrargebieten 6 (Gäugebiete), 11 (Fränkische Platten) und 12 (Spessart und Rhön) prozentual stark zugenommen. Die Zunahme dieser 3 letztgenannten Agrargebiete beträgt zusammen etwa 19.200 ha.

Die Dauergrünlandflächen nahmen im Untersuchungszeitraum vor allem in den Agrargebieten 3 (Voralpines Hügelland), 2 (Alpenvorland), 9 (Jura) und 1 (Alpen) ab. Diesen Abnahmen stehen in anderen Agrargebieten Zunahmen in etwa gleicher Höhe gegenüber. Die prozentual größten Zunahmen sind in den Agrargebieten 12 (Spessart und Rhön), 6 (Gäugebiete) und 11 (Fränkische Platten) zu verzeichnen.

Die Ackerfutterflächen und hier vor allem die Anbauflächen von Silomais haben in allen Agrargebieten zugenommen. Die prozentual höchsten Zunahmen an Silomais sind mit 36,6 % und 32,9 % in den Agrargebieten 2 (Alpenvorland) und 6 (Gäugebiete) zu finden.

Der Anbau von Klee und Klee gras entwickelte sich in den einzelnen Agrargebieten sehr unterschiedlich. Während in den Agrargebieten 11 (Fränkische Platten), 12 (Spessart und Rhön) und 6 (Gäugebiete) die Flächen stark anstiegen, nahmen sie in allen übrigen Agrargebieten, vor allem aber in den Agrargebieten 8 (Ostbayerische Mittelgebirge II), 1 (Alpen) und 2 (Alpenvorland) stark ab.

2.3 Entwicklung der Milcherzeugung und Milchleistung

Milchmenge in Bayern

Unter den Bedingungen der Milchgarantiemengenregelung hat die Milcherzeugung in Bayern laut amtlicher Statistik und eigenen Berechnungen im Zeitraum 1991 bis 2008 um rund 556.800 Tonnen bzw. um 6,9 % abgenommen (vgl. Tab. 1). In den einzelnen Agrargebieten stellt sich die Situation der Milcherzeugung wie folgt dar:

- Erheblich über dem Durchschnitt liegt die Einschränkung der Milcherzeugung in den Gäugebieten, im Tertiär-Hügelland Nord, auf den Fränkischen Platten sowie in Spessart und Rhön
- Überdurchschnittliche Rückgänge sind im Tertiär-Hügelland Süd und im Jura festzustellen, während sich
- Eine geringe Zunahme der Milcherzeugung für die Ostbayerischen Mittelgebirge I und II sowie für das Alpenvorland und das Voralpine Hügelland ergibt.

Tab. 1: Entwicklung der Milcherzeugung in den Agrargebieten von 1991 – 2008

| Nr. Agrargebiet | Milcherzeugung in 1 000 t | | | | | | Änderung |
|------------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 1991 | 1995 | 1999 | 2003 | 2005 | 2008 | |
| 1 Alpen | 331,6 | 324,5 | 321,6 | 326,2 | 325,8 | 323,7 | -2,4% |
| 2 Alpenvorland | 951,3 | 947,3 | 931,1 | 973,0 | 958,6 | 963,8 | 1,3% |
| 3 Voralpines Hügelland | 1 084,9 | 1 087,2 | 1 068,5 | 1 115,3 | 1 086,7 | 1 095,4 | 1,0% |
| 4 Tertiär-Hügelland (Süd) | 1 631,8 | 1 572,6 | 1 500,3 | 1 506,5 | 1 449,9 | 1 438,1 | -11,9% |
| 5 Tertiär-Hügelland (Nord) | 776,6 | 694,2 | 637,1 | 609,7 | 583,1 | 560,2 | -27,9% |
| 6 Gäugebiete | 195,4 | 170,1 | 154,3 | 151,5 | 147,4 | 136,0 | -30,4% |
| 7 Ostbayer. Mittelgebirge I | 599,6 | 598,4 | 609,1 | 630,1 | 628,3 | 651,0 | 8,6% |
| 8 Ostbayer. Mittelgebirge II | 560,2 | 535,4 | 530,6 | 548,6 | 547,3 | 566,2 | 1,1% |
| 9 Jura | 607,9 | 565,1 | 552,3 | 545,3 | 538,2 | 537,1 | -11,7% |
| 10 Nordbayerisches Hügelland | 1 115,2 | 1 049,2 | 1 040,8 | 1 060,1 | 1 068,3 | 1 079,1 | -3,2% |
| 11 Fränkische Platten | 204,9 | 177,4 | 170,6 | 165,6 | 167,5 | 159,4 | -22,2% |
| 12 Spessart und Rhön | 60,7 | 51,6 | 49,6 | 51,4 | 52,0 | 51,1 | -15,8% |
| Bayern gesamt | 8 119,9 | 7 772,9 | 7 565,7 | 7 683,3 | 7 553,1 | 7 561,1 | -6,9% |

Quelle: LfStAD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003 – 2008; eigene Berechnungen

Milchleistung je Kuh

In Tabelle 2 ist die Entwicklung der Milchleistung pro Kuh für die ausgewählten Jahre für Bayern und die einzelnen Agrargebiete ausgewiesen. In Bayern ist die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh im Referenzzeitraum von 4.488 kg im Jahr 1991 auf 6.109 kg im Jahr 2008 angestiegen. Die jährliche Steigerung in den Agrargebieten liegt zwischen 80 kg/Jahr und 118 kg/Jahr. Die höchsten Leistungssteigerungen sind im Spessart und in der Rhön, im Nordbayerischen Hügelland, auf den Fränkischen Platten und im Jura festzustellen. Unter dem Durchschnitt lag die Zunahme in den Grünlandgebieten Alpen, Alpenvorland und im Voralpinen Hügelland und im tertiären Hügelland (Süd und Nord).

Tab. 2: Entwicklung der Milchleistung pro Kuh

| Nr. Agrargebiet | Milchleistung/Kuh und Jahr in kg | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1991 | 1995 | 1999 | 2003 | 2005 | 2008 |
| 1 Alpen | 4 778 | 5 043 | 5 281 | 5 922 | 5 967 | 6 142 |
| 2 Alpenvorland | 4 757 | 5 033 | 5 260 | 5 923 | 5 933 | 6 127 |
| 3 Voralpines Hügelland | 4 701 | 5 076 | 5 363 | 6 028 | 5 968 | 6 228 |
| 4 Tertiär-Hügelland (Süd) | 4 557 | 5 001 | 5 308 | 5 850 | 5 787 | 6 069 |
| 5 Tertiär-Hügelland (Nord) | 4 439 | 4 890 | 5 169 | 5 639 | 5 641 | 5 868 |
| 6 Gäugebiete | 4 392 | 4 762 | 5 134 | 5 886 | 5 941 | 6 106 |
| 7 Ostbayer. Mittelgebirge I | 4 279 | 4 675 | 4 995 | 5 490 | 5 645 | 5 975 |
| 8 Ostbayer. Mittelgebirge II | 4 098 | 4 456 | 4 799 | 5 263 | 5 481 | 5 751 |
| 9 Jura | 4 416 | 4 823 | 5 248 | 5 816 | 5 963 | 6 249 |
| 10 Nordbayerisches Hügelland | 4 364 | 4 751 | 5 192 | 5 852 | 6 063 | 6 341 |
| 11 Fränkische Platten | 4 316 | 4 688 | 5 164 | 5 948 | 6 155 | 6 259 |
| 12 Spessart und Rhön | 4 270 | 4 562 | 5 180 | 5 643 | 6 404 | 6 272 |
| Bayern gesamt | 4 488 | 4 876 | 5 204 | 5 792 | 5 855 | 6 109 |

Quelle: LfStAD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003 – 2008; eigene Berechnungen

2.4 Abschätzung des Umfanges der nicht mehr durch Raufutterfresser verwerteten Futterflächen

Aus der Flächennutzung und den Erträgen wird zunächst die insgesamt zur Verfügung stehende Trockensubstanz (TM) an Grundfutter ermittelt. Dieser Lieferung an TM wird die für die Viehhaltung benötigte Grundfuttermenge gegenübergestellt. Die nicht mehr in der Viehhaltung benötigte Grundfuttermenge steht dann anderen Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung.

2.4.1 Ermittlung der Erträge im Futterbau

Über die tatsächlichen Frischmasse- und TM-Erträge der verschiedenen Futterflächenkategorien in Bayern liegen keine flächendeckenden und gesicherten Daten vor. Bei der Besonderen Erntermittlung (BEE) des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung werden die Frischmasseerträge von Grün- und Silomais sowie der Heuertrag von Klee und Klee gras, Luzerne, Ackerwiesen, Wiesen und Mähweiden nur geschätzt. Aus diesem Grunde war es für die Grünlandstudie Bayern erforderlich, die Erträge über Futterbilanzen zu korrigieren [2]. Als Ergebnis wurden die Netto-TM-Erträge ausgewiesen. Um die korrigierten Futterbauerträge auf den jetzigen Zeitpunkt fortzuschreiben, werden die prozentualen Ertragsveränderungen aus der amtlichen Statistik für Bayern auf die

einzelnen landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiete angewandt. Für Almen und sonstige Grünlandflächen wie z. B. Hutungen und Streuwiesen sind keine Ertragsänderungen angenommen.

Tabelle 3 fasst die Netto-TM-Erträge für das Jahr 2008 zusammen. Die Abbildungen 3 und 4 visualisieren die regionalen Ertragsunterschiede für Standardgrünland und Silomais.

Tab. 3: Durchschnittlicher TM-Ertrag der Futterflächen in dt/ha (netto) in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns (Ø 2005–2007)

| Nr. | Landwirtschaftliches Erzeugungsgebiet | TM-Erträge in dt TM je ha und Jahr (netto) | | | | | |
|-----|---------------------------------------|--|------------------------------------|--------------|-------------------------------------|----------|--------------------|
| | | Standardgrünland | Kulap, VNP Schnittzeitpunktreg. | Almen, Alpen | Sonstiges Grünland z.B. Hutungen | Silomais | Klee, Kleegrass |
| 1.1 | Allgäuer Alpen | 53,0 | 26,5 | 12,8 | 12,8 | 90,3 | 0,0 |
| 1.2 | Oberbayer. Alpen | 45,9 | 22,9 | 11,1 | 11,1 | 100,7 | 60,8 |
| 1.3 | Allgäuer Alpenvorland | 69,7 | 34,9 | 16,8 | 16,8 | 112,2 | 71,4 |
| 1.4 | Oberbayer. Alpenvorland | 61,2 | 30,6 | 14,8 | 14,8 | 116,7 | 64,0 |
| 2.1 | Bodenseebecken | 74,6 | - | - | 18,0 | 125,3 | 68,0 |
| 2.2 | Schwäb. Schotterriedel-Hügelland | 76,9 | 38,5 | 18,6 | 18,6 | 146,0 | 78,5 |
| 2.3 | Oberbayer. Moränen-Hügelland | 73,7 | 36,9 | 17,8 | 17,8 | 134,1 | 77,2 |
| 3.1 | Landsberger Altmoräne und Lechfeld | 72,0 | 36,0 | - | 17,4 | 149,3 | 75,0 |
| 3.2 | Münchner Schotter- und Moorgebiete | 62,7 | 31,4 | 15,2 | 15,2 | 129,1 | 67,4 |
| 3.3 | Erdinger-Trostberger Altmoräne | 77,9 | 38,9 | - | 18,8 | 154,3 | 83,1 |
| 4.1 | Schwäbisches Tertiär-Hügelland | 76,6 | 38,3 | 18,5 | 18,5 | 158,2 | 80,9 |
| 4.2 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 72,4 | 36,2 | 17,5 | 17,5 | 147,2 | 77,1 |
| 4.3 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 73,7 | 36,9 | - | 17,8 | 154,4 | 78,7 |
| 4.4 | Tertiär-Hügelland (sandig) | 69,8 | 34,9 | - | 16,9 | 150,2 | 77,1 |
| 4.5 | Donauried | 64,9 | 32,5 | - | 15,7 | 158,5 | 70,0 |
| 4.6 | Donautal | 71,1 | 35,6 | - | 17,2 | 141,2 | 73,7 |
| 4.7 | Donaumoos | 63,1 | 31,6 | - | 15,3 | 133,6 | 64,3 |
| 4.8 | Regensburg-Straubinger Gäu | 66,3 | 33,2 | - | 16,0 | 163,0 | 76,1 |
| 5.1 | Südl. Vorwald | 65,6 | 32,8 | - | 15,9 | 128,9 | 71,2 |
| 5.2 | Mittlerer Bayerischer Wald | 60,4 | 30,2 | - | 14,6 | 118,1 | 69,0 |
| 5.3 | Innerer Bayerischer Wald | 50,3 | 25,1 | - | - | 91,3 | 58,7 |
| 5.4 | Westlicher Vorwald | 70,5 | 35,3 | - | - | 132,3 | 73,2 |
| 5.5 | Vorderer Oberpfälzer Wald | 78,5 | 39,2 | - | 19,0 | 158,0 | 84,5 |
| 5.6 | Innerer Oberpfälzer Wald | 71,6 | 35,8 | - | - | 146,9 | 81,0 |
| 5.7 | Hof-Wunsiedler-Gebiet | 72,5 | 36,2 | - | - | 139,3 | 78,3 |
| 5.8 | Frankenwald und Fichtelgebirge | 58,7 | 29,4 | - | - | 126,2 | 68,7 |
| 6.1 | Donau- und Egaualb | 64,4 | 32,2 | - | 15,6 | 159,0 | 69,5 |
| 6.2 | Südlicher Jura | 66,6 | 33,3 | - | 16,1 | 143,2 | 75,2 |
| 6.3 | Nördlicher Jura | 56,3 | 28,2 | - | 13,6 | 115,6 | 62,0 |
| 6.4 | Ries | 68,8 | 34,4 | - | 16,6 | 150,2 | 72,2 |
| 7.1 | Oberpfälzer Hügelland | 70,1 | 35,1 | - | 16,9 | 138,4 | 73,2 |
| 7.2 | Oberfränkisches Hügelland | 61,5 | 30,7 | - | 14,9 | 121,5 | 65,2 |
| 7.3 | Westliches Tonkeupergebiet | 66,1 | 33,0 | - | 16,0 | 134,7 | 66,8 |
| 7.4 | Nördliches Tonkeupergebiet | 62,7 | 31,4 | - | 15,2 | 129,8 | 63,8 |
| 7.5 | Sandkeupergebiet | 63,8 | 31,9 | - | 15,4 | 123,5 | 65,7 |
| 7.6 | Regnitztal | 50,3 | 25,2 | - | - | 88,7 | 50,1 |
| 7.7 | Südliches Albvorland | 72,3 | 36,2 | - | 17,5 | 120,6 | 77,7 |
| 7.8 | Nördliches Albvorland | 49,4 | 24,7 | - | 11,9 | 108,4 | 53,1 |
| 7.9 | Steigerwald und Hassberge | 58,7 | 29,3 | - | 14,2 | 112,7 | 57,4 |
| 8.1 | Fränkisches Gäu | 68,6 | 34,3 | - | 16,6 | 158,6 | 74,9 |
| 8.2 | Südliche Fränkische Platte | 60,4 | 30,2 | - | 14,6 | 131,0 | 66,1 |
| 8.3 | Nördliche Fränkische Platte | 53,5 | 26,8 | - | 12,9 | 110,4 | 55,5 |
| 8.4 | Steigerwald-Vorland | 61,5 | 30,8 | - | 14,9 | 127,4 | 65,0 |
| 8.5 | Untermainebene | 55,1 | 27,6 | - | 13,3 | 110,9 | 55,4 |
| 9.1 | Vorspessart und Odenwald | 44,8 | 22,4 | - | 10,8 | 84,9 | 47,4 |
| 9.2 | Spessart | 31,5 | 15,7 | - | 7,6 | 61,4 | 32,8 |
| 9.3 | Vorrhön | 46,1 | 23,0 | - | 11,1 | 96,4 | 48,0 |
| 9.4 | Rhön | 38,2 | 19,1 | - | - | 65,8 | 47,5 |
| | Bayern gesamt | 65,8 | 31,3 | 12,4 | 15,1 | 140,5 | 72,5 |

Datengrundlage: LfStad: Besondere Erntetermine; Balis: InVeKoS 2008, AUM 2008; Grünlandstudie Bayern; eigene Berechnungen

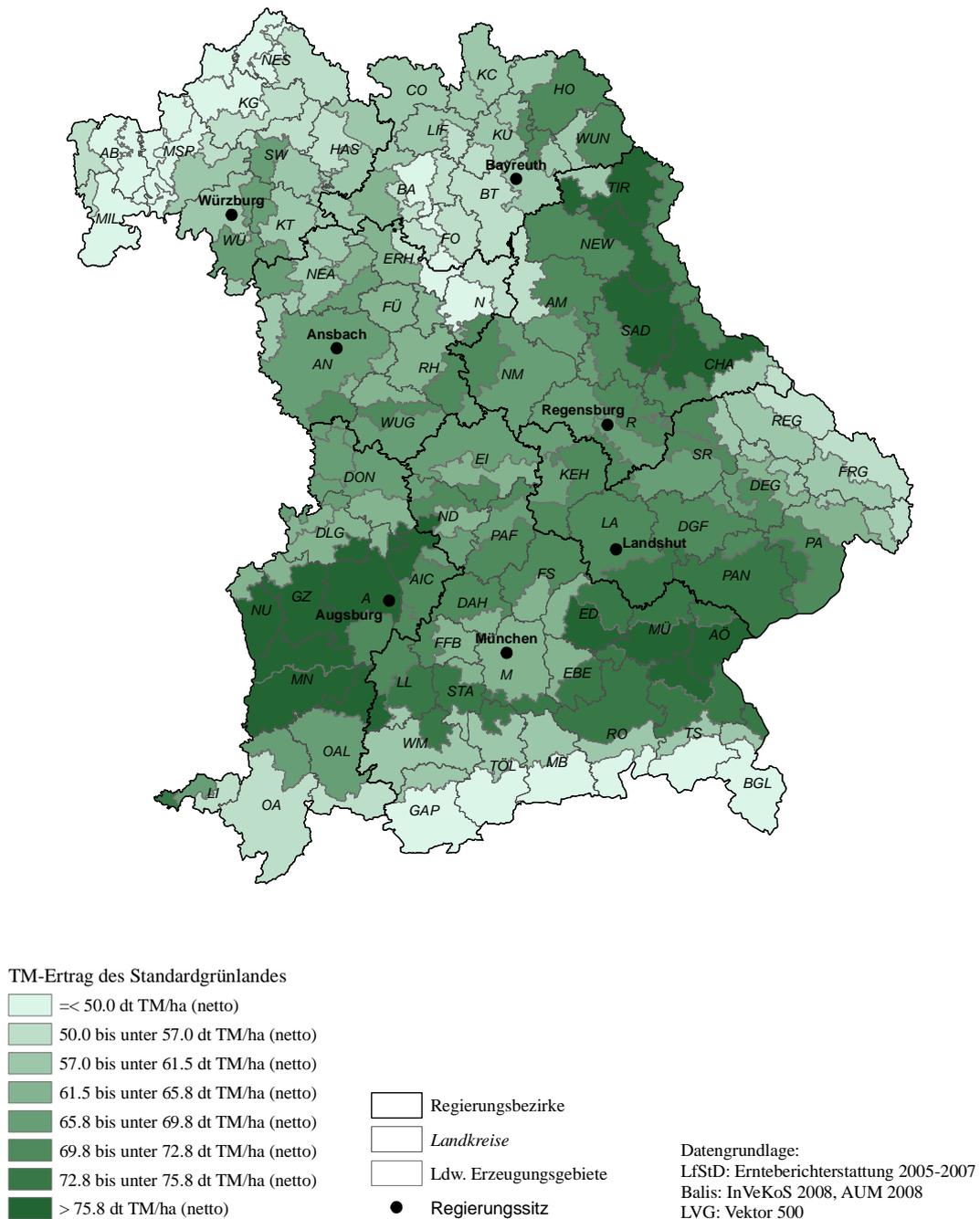


Abb. 3: TM-Ertrag des Standardgrünlandes 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt von 65,82 dt/ha netto

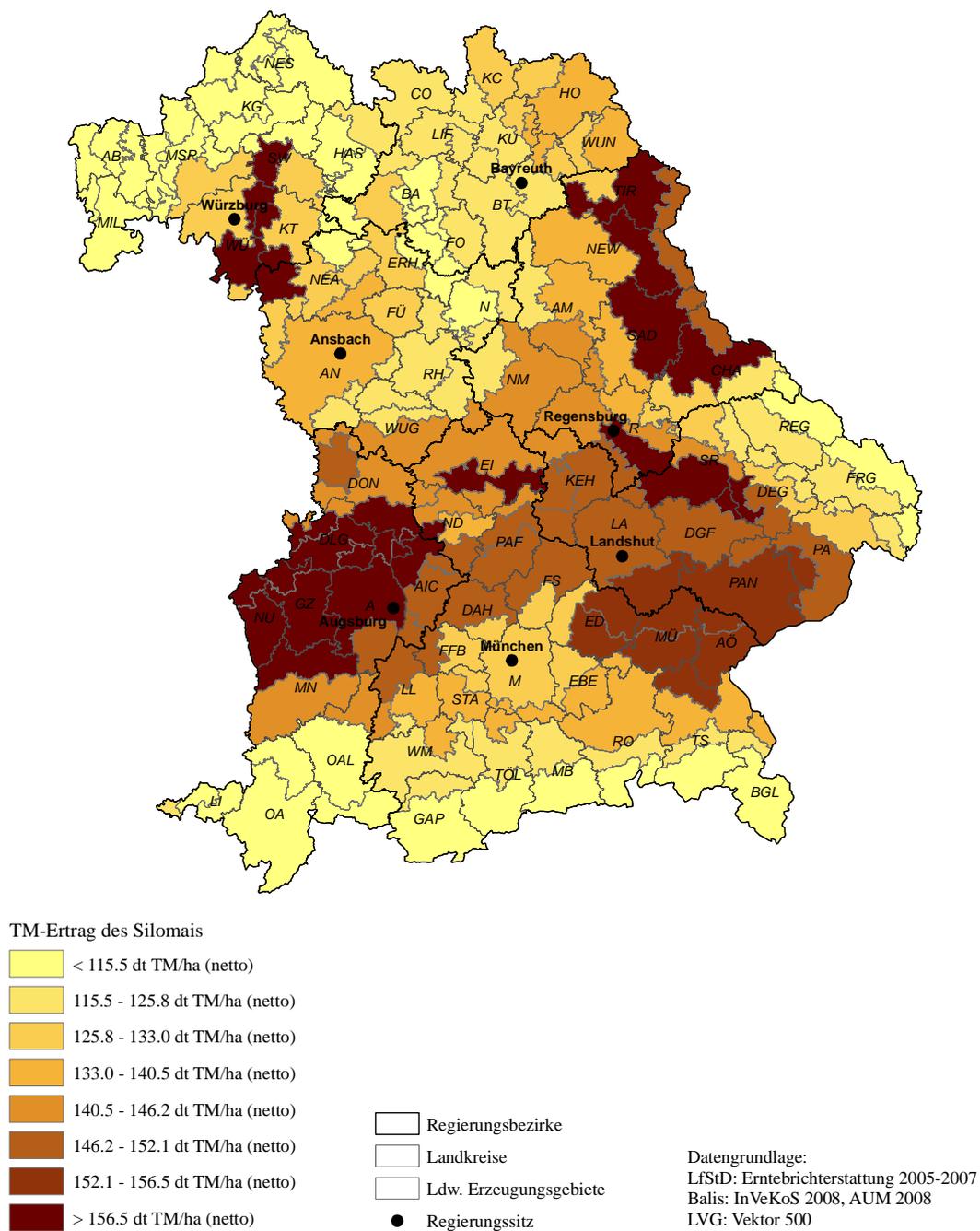


Abb. 4: TM-Ertrag des Silomais 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt von 140,5 dt/ha netto

2.4.2 Lieferung der Grundfutter-TM

Über die Futterflächen und Erträge wird die zur Verfügung stehende Menge an TM (netto) errechnet. Als Futterflächen stehen im Wesentlichen Dauergrünland, Klee-/Klee gras und Silomais zur Verfügung.

Der **Ackerfutterbau** umfasst nach den Merkmalen des InVeKoS-Antrages den Silomais, den Klee und das Klee gras, das Acker gras, die Luzerne, den Runkel- und Futterrübenanbau und das sonstige Ackerfutter. Von insgesamt 462.000 ha Ackerfutterflächen im Jahr 2008 entfallen rund 73 % bzw. 338.086 ha auf Silomais und rund 18 % oder 85.706 ha auf Klee und Klee gras. Zugunsten eines vereinfachten Bilanzansatzes beim TM-Ertrag der Futterflächen werden die vorgenannten Ackerfutterflächen mit einem geringen bis unbedeutenden Anbauumfang anteilig – nach dem jeweiligen Flächenverhältnis im Gebiet – als Silomais- bzw. Klee-/Klee grasflächen in die Bilanzierung aufgenommen. Durch die Vereinfachung steigen die Anteile von Silomais bzw. Klee und Klee gras auf etwa 78 % bzw. 22 %.

Die **Grünlandfläche** der InVeKoS-Statistik wird um die Flächen korrigiert, die in der Regel für eine futterbauliche Nutzung nur bedingt oder wegen mangelhafter Futterqualität gar nicht in Frage kommen. Grünlandflächen, die auf Grund von Agrarumweltmaßnahmen, wie zum Beispiel dem Kulturlandschaftprogramm (KuLaP) und dem Vertragsnaturschutzprogramm (VNP), extensiver zu bewirtschaften sind, gehen nur mit dem halben durchschnittlichen Ertrag in die Futterbilanz ein. Streuwiesen und Flächen mit einem Schnitzeitpunkt ab dem 1. September werden nicht in die Futterbilanz der Raufutterfresser einbezogen. Von diesen Flächen lässt sich nur ca. $\frac{1}{4}$ des TM-Ertrages des durchschnittlichen Grünlandes erzeugen. Almen und Hutungen liefern in etwa denselben Ertrag, sind aber in der Futterbilanz berücksichtigt.

Tabelle 4 zeigt den Umfang der Futterflächen 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns. Insgesamt stehen in Bayern etwa 1,1 Mio. ha Dauergrünlandfläche zur Verfügung, darunter sind über 90 % sog. Standardgrünlandflächen (intensiv bewirtschaftete Grünlandflächen), etwa 8 % Almflächen, KuLaP-Flächen oder Hutungen. Weniger als 0,8 % der Grünlandflächen sind nicht für Raufutterfresser geeignet.

Insgesamt wurden in Bayern 2008 etwa 12.711.926 t Grundfutter-TM erzeugt, davon etwa 54 % auf Grünlandflächen und etwa 46 % auf Ackerfutterflächen. Der Anteil von Silomais an der TM-Lieferung der Ackerfutterflächen betrug etwa 87 %.

Tab. 4: Dauergrünland- und Futterflächen in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns 2008

| Nr. Ldw. Erzeugungsgebiet | Dauergrünlandfläche davon | | | | | | Silomais ha | Klee, Kleegras ha |
|---|---------------------------|-----------------------------|--|-----------------------|--|---|------------------|-------------------------|
| | gesamt ha | Standard- grünland ha | Kulap, VNP Schnittzeit- punktregelung bis 1.8. ha | Almen/ Alpen ha | Sonst. DF als Futterfläche, z. B. Hutungen ha | Sonst. DF keine Futter- fläche, z.B. Streuwiesen ha | | |
| 1.1 Allgäuer Alpen | 69 334,4 | 47 694,0 | 673,0 | 20 044,4 | 18,5 | 904,5 | 8,1 | 0,0 |
| 1.2 Oberbayer. Alpen | 53 574,7 | 33 587,5 | 975,6 | 16 852,6 | 669,0 | 1490,0 | 596,9 | 127,7 |
| 1.3 Allgäuer Alpenvorland | 77 221,9 | 75 147,5 | 226,0 | 1 171,5 | 17,6 | 659,4 | 738,9 | 156,3 |
| 1.4 Oberbayer. Alpenvorland | 105 115,2 | 97 220,6 | 867,7 | 2 881,4 | 152,7 | 3992,8 | 5 677,2 | 1696,4 |
| 2.1 Bodenseebecken | 1 063,4 | 1 015,6 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 46,5 | 69,0 | 5,3 |
| 2.2 Schwäb. Schotterriedel-Hügelland | 46 914,1 | 46 489,9 | 363,4 | 35,5 | 19,0 | 6,3 | 10 131,3 | 1 988,2 |
| 2.3 Oberbayer. Moränen-Hügelland | 84 935,3 | 82 565,3 | 1 110,0 | 234,1 | 232,0 | 793,9 | 21 313,3 | 5 753,8 |
| 3.1 Landsberger Altmoräne und Lechfeld | 11 280,0 | 10 594,5 | 393,2 | 0,0 | 200,5 | 91,9 | 5 924,8 | 1 449,3 |
| 3.2 Münchner Schotter- und Mooregebiete | 13 180,8 | 12 155,4 | 649,7 | 33,2 | 280,9 | 61,7 | 9 307,2 | 3 273,4 |
| 3.3 Erdinger-Trostberger Altmoräne | 24 024,2 | 23 708,5 | 297,7 | 0,7 | 9,0 | 8,3 | 18 923,1 | 4 074,3 |
| 4.1 Schwäbisches Tertiär-Hügelland | 49 940,6 | 48 745,8 | 732,9 | 0,0 | 457,6 | 4,3 | 21 791,2 | 2 920,4 |
| 4.2 Tertiär-Hügelland (Nord) | 38 999,1 | 36 606,6 | 1 935,5 | 50,1 | 241,6 | 165,3 | 34 020,6 | 7 139,8 |
| 4.3 Tertiär-Hügelland (Süd) | 397 84,7 | 38 560,1 | 638,0 | 0,0 | 583,8 | 2,9 | 35 619,3 | 5 438,6 |
| 4.4 Tertiär-Hügelland (sandig) | 6 366,4 | 5 478,8 | 808,2 | 0,0 | 0,0 | 79,3 | 3 272,9 | 627,4 |
| 4.5 Donauried | 10 383,9 | 9 728,5 | 561,8 | 0,0 | 33,2 | 60,5 | 9 063,6 | 738,2 |
| 4.6 Donautal | 6 974,6 | 6 088,9 | 505,8 | 0,0 | 358,6 | 21,2 | 2 629,2 | 623,5 |
| 4.7 Donaumoos | 2 896,2 | 2 475,6 | 419,9 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1 250,8 | 177,0 |
| 4.8 Regensburg-Straubinger Gäu | 3 819,1 | 2 561,6 | 292,6 | 0,0 | 952,7 | 12,2 | 2 291,0 | 720,2 |
| 5.1 Südl. Vorwald | 14 435,3 | 13 919,5 | 378,2 | 0,0 | 122,4 | 15,2 | 5 941,3 | 1538,8 |
| 5.2 Mittlerer Bayerischer Wald | 52 176,8 | 50 840,5 | 1 315,4 | 0,0 | 9,7 | 11,3 | 8 507,4 | 3211,8 |
| 5.3 Innerer Bayerischer Wald | 19 136,4 | 18 154,3 | 828,5 | 0,0 | 126,3 | 27,2 | 965,1 | 590,5 |
| 5.4 Westlicher Vorwald | 13 894,6 | 13 591,7 | 233,5 | 0,0 | 62,9 | 6,5 | 4 013,3 | 1 478,5 |
| 5.5 Vorderer Oberpfälzer Wald | 42 490,9 | 41 098,3 | 1 356,5 | 0,0 | 0,0 | 36,1 | 16 817,2 | 7 836,5 |
| 5.6 Innerer Oberpfälzer Wald | 10 576,7 | 9 987,2 | 577,0 | 0,0 | 6,1 | 6,3 | 2 354,0 | 1 837,2 |
| 5.7 Hof-Wunsiedler-Gebiet | 20 732,8 | 19 610,2 | 1 102,1 | 0,0 | 0,0 | 20,6 | 5 171,7 | 3 862,5 |
| 5.8 Frankenwald und Fichtelgebirge | 14 083,5 | 12 597,9 | 1 465,4 | 0,0 | 7,6 | 12,6 | 1 483,0 | 2 443,0 |
| 6.1 Donau- und Egaualb | 3 024,6 | 2 518,9 | 191,7 | 0,0 | 310,9 | 3,0 | 2 321,1 | 353,5 |
| 6.2 Südlicher Jura | 40 064,4 | 36 259,0 | 1 497,9 | 0,0 | 2 227,6 | 79,9 | 22 533,6 | 10 329,5 |
| 6.3 Nördlicher Jura | 28 117,1 | 26 462,0 | 1 453,6 | 0,0 | 188,9 | 12,7 | 8 170,4 | 7 092,9 |
| 6.4 Ries | 3 641,8 | 3 285,7 | 273,6 | 0,0 | 62,9 | 19,6 | 5 039,3 | 286,1 |
| 7.1 Oberpfälzer Hügelland | 21 036,0 | 19 556,6 | 702,9 | 0,0 | 764,2 | 12,3 | 10 248,1 | 3 396,8 |
| 7.2 Oberfränkisches Hügelland | 32 275,5 | 30 427,5 | 1 669,3 | 0,0 | 168,6 | 10,2 | 11 996,3 | 4 153,7 |
| 7.3 Westliches Tonkeupergebiet | 32 547,2 | 30 907,2 | 1 361,5 | 0,0 | 274,9 | 3,6 | 16 946,6 | 2 572,4 |
| 7.4 Nördliches Tonkeupergebiet | 12 981,5 | 11 943,7 | 302,8 | 0,0 | 726,8 | 8,2 | 6 980,1 | 1 828,4 |
| 7.5 Sandkeupergebiet | 10 638,2 | 9 985,9 | 409,0 | 0,0 | 243,4 | 0,0 | 5 673,1 | 970,9 |
| 7.6 Regnitztal | 2 958,2 | 2 712,8 | 238,7 | 0,0 | 0,0 | 6,7 | 1 201,0 | 286,7 |
| 7.7 Südliches Albvorland | 21 007,9 | 18 917,2 | 862,4 | 0,0 | 1 215,8 | 12,5 | 8 459,1 | 2 263,3 |
| 7.8 Nördliches Albvorland | 9 600,3 | 8 985,0 | 551,4 | 0,0 | 52,2 | 11,6 | 2 478,8 | 1 084,3 |
| 7.9 Steigerwald und Hassberge | 6 771,0 | 6 345,6 | 409,7 | 0,0 | 15,0 | 0,6 | 2 658,9 | 737,7 |
| 8.1 Fränkisches Gäu | 4 905,9 | 3 450,7 | 174,0 | 0,0 | 1 279,0 | 2,2 | 7 365,1 | 1 206,4 |
| 8.2 Südliche Fränkische Platte | 6 976,7 | 6 065,6 | 258,4 | 0,0 | 650,1 | 2,6 | 4 264,8 | 1 403,6 |
| 8.3 Nördliche Fränkische Platte | 12 218,5 | 10 319,9 | 854,8 | 0,0 | 1 021,9 | 21,9 | 5 011,6 | 1 800,6 |
| 8.4 Steigerwald-Vorland | 7 574,9 | 6 593,7 | 548,4 | 0,0 | 406,4 | 26,4 | 6 406,6 | 1 218,9 |
| 8.5 Untermainebene | 1 682,6 | 1 465,2 | 36,3 | 0,0 | 180,8 | 0,3 | 560,3 | 410,7 |
| 9.1 Vorspessart und Odenwald | 12 689,7 | 11 641,6 | 378,6 | 0,0 | 663,4 | 6,0 | 1 473,5 | 916,7 |
| 9.2 Spessart | 3 237,9 | 3 009,3 | 139,2 | 0,0 | 89,3 | 0,0 | 48,0 | 132,5 |
| 9.3 Vorrhön | 9 062,6 | 7 463,6 | 1 006,2 | 0,0 | 566,7 | 26,1 | 933,1 | 778,2 |
| 9.4 Rhön | 7 593,5 | 5 949,5 | 1 644,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 119,7 | 293,9 |
| Bayern gesamt | 1 123 941,2 | 1 024 490,7 | 33 672,9 | 41 303,4 | 15670,3 | 8 803,9 | 358 770,8 | 103 226,4 |

Datengrundlage: LfStAD: Besondere Erntemittlung; Balis: InVeKoS 2008, AUM 2008; Grünlandstudie Bayern; eigene Berechnungen

2.4.3 Futterbedarf

Der Futterbedarf der Raufutterfresser wird wie in der Grünlandstudie Bayern über Futtereinheiten ermittelt [2]. Die Futtereinheit ist wie folgt definiert:

10 kg Trockensubstanz (TM) aus dem Grundfutter netto pro Tag.

Der Bedarf der einzelnen Tiergattungen und Altersklassen an den Futtereinheiten ist in Tabelle 5 wiedergegeben.

Tab. 5: Bedarf an Futtereinheiten (TM) aus dem Grundfutter

| <i>Tierart</i> | <i>Futtereinheiten pro Tier und Tag</i> |
|---|---|
| Kälber bis 6 Monate | 0,20 |
| Rinder, 0,5 - 1 Jahr, männlich + weiblich | 0,50 |
| Rinder, 1 - 2 Jahre, männlich + weiblich | 0,80 |
| Rinder über 2 Jahre, männlich | 1,20 |
| Sonstige Rinder über 2 Jahre, weiblich | 1,00 |
| Kühe | 1,20 |
| Mutterkühe | 1,20 |
| Pferde unter 1 Jahr | 0,30 |
| Pferde über 1 Jahr | 0,50 |
| Schafe | 0,12 |
| Ziegen | 0,12 |
| Dam-, Rotwild | 0,12 |

Quelle: Rutzmoser, K. und Spann, B.: Mündliche Auskunft, LfL-ITE, Grub, 2003

Bei der Definition der Futtereinheiten für die Milchkühe ist unterstellt, dass die TM-Aufnahme der Milchkuh aus dem Grundfutter von der Milchleistung nicht beeinflusst wird. Der Bestand an Raufutterfressern wird dem InVeKoS-Antrag 2008 (d.h. aus der HI-Tier-Datenbank) entnommen. Der Futterbedarf pro Jahr ergibt sich aus der Multiplikation des Viehbestandes mit den entsprechenden Futtereinheiten pro Tier und Tag * 365 Tage. In Bayern wurden 2008 etwa 108.617.983 dt TM (netto) Grundfutter benötigt (vgl. Tab. 6).

2.4.4 Gegenüberstellung von Grundfutterbedarf und Grundfutterlieferung

Die erzeugte Grundfuttermenge war 2008 nicht mehr vollständig zur Deckung des Grundfutterbedarfs erforderlich. Etwa 18.501.276 dt TM oder 14,5 % der TM-Lieferung wurden nicht mehr der Verwertung über den Tiermagen zugeführt (vgl. Tab. 6). Regional lag der für die Viehhaltung notwendige Grundfutteranteil zwischen weniger als 50 % im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 4.8 „Regensburg-Straubinger Gäu“ und fast 100 % im Erzeugungsgebiet 1.2 „Oberbayerische Alpen“. Wie Abb. 5 auch zeigt, wurde in Gebieten mit nur wenig Strukturwandel wie z. B. im Bayerischen Wald und in den Alpen bzw. im Voralpengebiet die höchsten Anteile der TM über den Tiermagen verwertet, während in typischen Ackerbaugebieten wie den Gäugebieten und dem Ries bereits größere Anteile nicht mehr über die Viehhaltung zu nutzen sind.

Tab. 6: TM-Bedarf und TM-Lieferung 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns

| Nr. | Landwirtschaftliches Erzeugungsgebiet | TM-Bedarf der Rautfutterfresser | TM-Lieferung der Futterflächen | Anteil des Bedarfs an der Lieferung |
|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | | dt TM / Jahr | dt TM / Jahr | % |
| 1.1 | Allgäuer Alpen | 2 705 764 | 2 801 304 | 96,6 |
| 1.2 | Oberbayer. Alpen | 1 810 145 | 1 824 272 | 99,2 |
| 1.3 | Allgäuer Alpenvorland | 4 930 704 | 5 360 255 | 92,0 |
| 1.4 | Oberbayer. Alpenvorland | 6 401 889 | 6 790 678 | 94,3 |
| 2.1 | Bodenseebecken | 76 061 | 84 816 | 89,7 |
| 2.2 | Schwäb. Schotterriedel-Hügelland | 4 433 178 | 5 225 357 | 84,8 |
| 2.3 | Oberbayer. Moränen-Hügelland | 8 665 583 | 9 439 181 | 91,8 |
| 3.1 | Landsberger Altmoräne und Lechfeld | 1 399 987 | 1 772 912 | 79,0 |
| 3.2 | Münchner Schotter- und Moorgebiete | 1 781 039 | 2 209 075 | 80,6 |
| 3.3 | Erdinger-Trostberger Altmoräne | 4 610 592 | 5 116 451 | 90,1 |
| 4.1 | Schwäbisches Tertiär-Hügelland | 6 236 836 | 7 455 754 | 83,7 |
| 4.2 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 6 845 699 | 8 286 143 | 82,6 |
| 4.3 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 7 838 825 | 8 804 633 | 89,0 |
| 4.4 | Tertiär-Hügelland (sandig) | 757 750 | 950 244 | 79,7 |
| 4.5 | Donauried | 1 601 305 | 2 138 125 | 74,9 |
| 4.6 | Donautal | 705 482 | 874 125 | 80,7 |
| 4.7 | Donaumoos | 277 780 | 347 974 | 79,8 |
| 4.8 | Regensburg-Straubinger Gäu | 306 718 | 622 888 | 49,2 |
| 5.1 | Südl. Vorwald | 1 687 594 | 1 802 982 | 93,6 |
| 5.2 | Mittlerer Bayerischer Wald | 4 033 612 | 4 338 450 | 93,0 |
| 5.3 | Innerer Bayerischer Wald | 969 666 | 1 057 991 | 91,7 |
| 5.4 | Westlicher Vorwald | 1 413 515 | 1 607 219 | 88,0 |
| 5.5 | Vorderer Oberpfälzer Wald | 5 547 088 | 6 596 665 | 84,1 |
| 5.6 | Innerer Oberpfälzer Wald | 991 158 | 1 230 578 | 80,5 |
| 5.7 | Hof-Wunsiedler-Gebiet | 2 117 972 | 2 483 857 | 85,3 |
| 5.8 | Frankenwald und Fichtelgebirge | 944 697 | 1 137 901 | 83,0 |
| 6.1 | Donau- und Egualb | 459 426 | 566 738 | 81,1 |
| 6.2 | Südlicher Jura | 5 376 140 | 6 501 952 | 82,7 |
| 6.3 | Nördlicher Jura | 2 383 162 | 2 917 871 | 81,7 |
| 6.4 | Ries | 622 018 | 1 013 890 | 61,4 |
| 7.1 | Oberpfälzer Hügelland | 2 492 605 | 3 075 224 | 81,1 |
| 7.2 | Oberfränkisches Hügelland | 2 943 566 | 3 652 751 | 80,6 |
| 7.3 | Westliches Tonkeupergebiet | 3 589 630 | 4 545 447 | 79,0 |
| 7.4 | Nördliches Tonkeupergebiet | 1 500 599 | 1 792 518 | 83,7 |
| 7.5 | Sandkeupergebiet | 1 227 252 | 1 417 914 | 86,6 |
| 7.6 | Regnitztal | 186 653 | 263 429 | 70,9 |
| 7.7 | Südliches Albvorland | 2 236 943 | 2 616 518 | 85,5 |
| 7.8 | Nördliches Albvorland | 651 531 | 784 455 | 83,1 |
| 7.9 | Steigerwald und Hassberge | 599 034 | 726 257 | 82,5 |
| 8.1 | Fränkisches Gäu | 1 138 157 | 1 522 317 | 74,8 |
| 8.2 | Südliche Fränkische Platte | 782 863 | 1 035 419 | 75,6 |
| 8.3 | Nördliche Fränkische Platte | 833 216 | 1 242 004 | 67,1 |
| 8.4 | Steigerwald-Vorland | 1 033 702 | 1 324 050 | 78,1 |
| 8.5 | Untermainebene | 128 670 | 169 055 | 76,1 |
| 9.1 | Vorspessart und Odenwald | 606 641 | 705 988 | 85,9 |
| 9.2 | Spessart | 88 523 | 104 921 | 84,4 |
| 9.3 | Vorrhön | 424 158 | 500 557 | 84,7 |
| 9.4 | Rhön | 222 853 | 280 153 | 79,6 |
| Bayern gesamt | | 108 617 983 | 127 119 259 | 85,5 |

Datengrundlage: LfStaD: Besondere Erntermittlung 2005-2007; Balis: InVeKoS 2008, AUM 2008; eigene Berechnungen

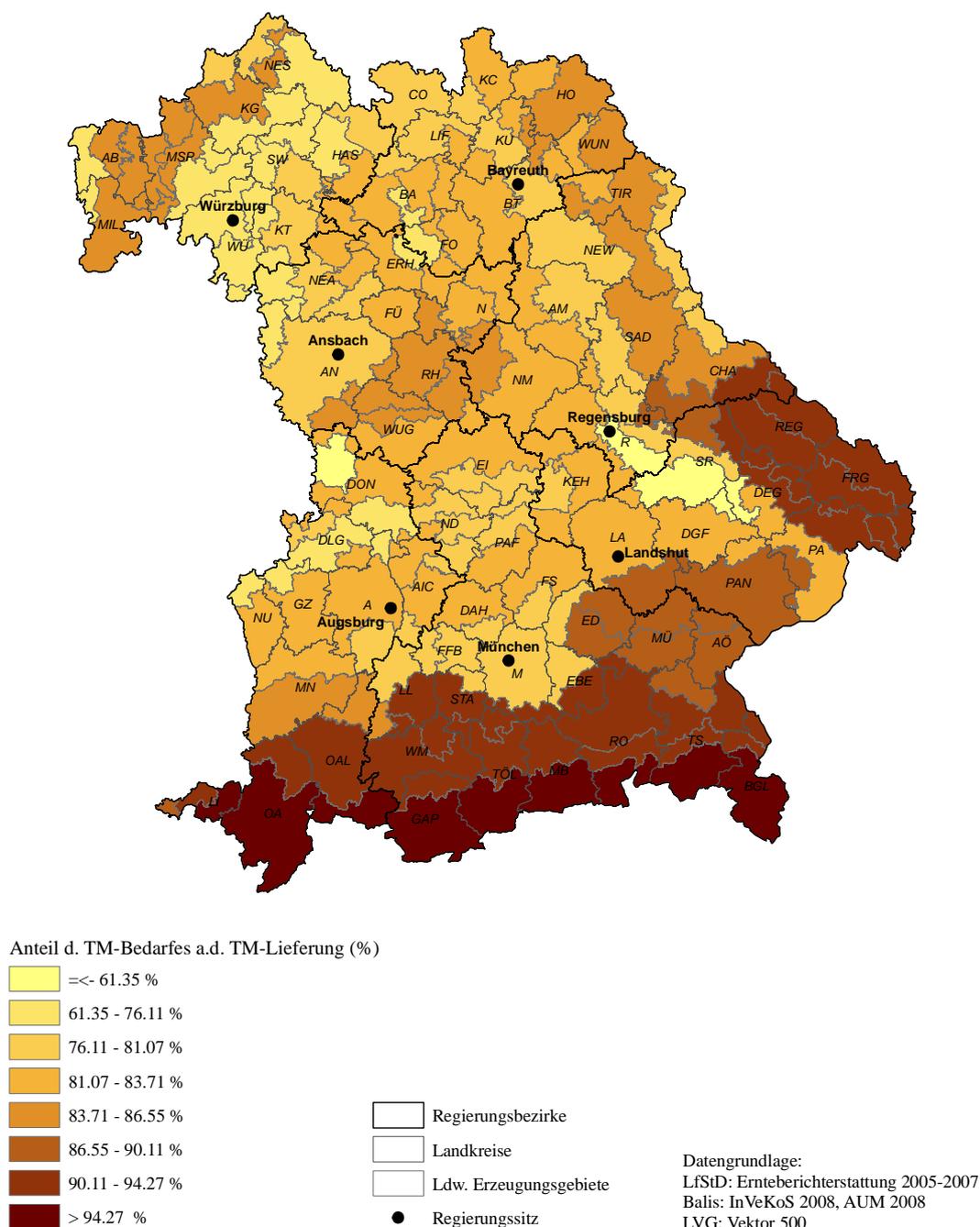


Abb. 5: Anteil des TM-Grundfutterbedarfs an der Lieferung (%) 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns

2.4.5 Abschätzung der nicht mehr in der Viehhaltung benötigten Flächen

Um die nicht mehr benötigte Menge an TM auf die einzelnen Futterarten aufteilen zu können, müssen die Grundfutterrationen in den einzelnen Erzeugungsgebieten bekannt sein. Vereinfacht wird davon ausgegangen, dass sich die Futterrationen aus dem Jahr 2003 nur geringfügig geändert haben.

Insgesamt wurden 2008 in Bayern neben 8 800 ha Streuwiesen rund 97.000 ha Dauergrünland (ca. 87.000 ha Standardgrünland und etwa 10.000 ha Almen oder weniger intensiv

bewirtschaftete Grünlandflächen) und ca. 97.800 ha Ackerfutterflächen, davon etwa 83 % Silomais und 17 % Klee- und Klee gras, nicht mehr für Raufutterfresser benötigt (vgl. Tab. 7).

Für nicht tierische Verwertungszwecke standen in Bayern 2008 etwa 18.501.276 dt TM (netto) zur Verfügung. Würde man für die Fütterung der Raufutterfresser ungeeignetes Grünland einbeziehen, kämen weitere 128 000 dt TM (netto) hinzu.

In den Abbildungen 6 und 7 werden die räumliche Verteilung der nicht mehr für die Viehhaltung benötigten Dauergrünland- und Silomaisflächen als absolute und prozentuale Größen dargestellt.

Tab. 7: Nicht mehr für die Raufutterfresser benötigte TM (netto) 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns

| Nr. | Ldw. Erzeugungsgebiet | Umfang der TM (netto), die nicht mehr für die Viehhaltung benötigt wird | | | | | | Sonst. DF z.B. Streu- wiesen dt TM |
|----------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| | | Standard- grünland dt TM | Kulap, Vnp Schnittzp. dt TM | Almen, Alpen dt TM | Sonst. DF z.B. Hutungen dt TM | Silomais dt TM | Klee, Klee gras dt TM | |
| 1.1 | Allgäuer Alpen | 87 292 | 0 | 7 513 | 0 | 735 | 0 | 11 573 |
| 1.2 | Oberbayer. Alpen | 0 | 1 446 | 11 270 | 170 | 1 241 | 0 | 16 505 |
| 1.3 | Allgäuer Alpenvorland | 386 735 | 0 | 0 | 0 | 41 023 | 1 793 | 11 104 |
| 1.4 | Oberbayer. Alpenvorland | 248 497 | 0 | 0 | 0 | 140 292 | 0 | 59 020 |
| 2.1 | Bodenseebecken | 5 233 | 39 | 0 | 0 | 3 181 | 302 | 839 |
| 2.2 | Schwäb. Schotterriedel-Hügelland | 196 665 | 2448 | 215 | 352 | 592 499 | 0 | 117 |
| 2.3 | Oberbayer. Moränen-Hügelland | 271 201 | 0 | 705 | 3 266 | 490 378 | 8 048 | 14 143 |
| 3.1 | Landsberger Altmoräne und Lechfeld | 54 954 | 0 | 0 | 0 | 308 409 | 9 562 | 1 598 |
| 3.2 | Münchner Schotter- und Mooregebiete | 108 680 | 3 574 | 0 | 0 | 222 102 | 93 680 | 935 |
| 3.3 | Erdinger-Trostberger Altmoräne | 150 787 | 0 | 13 | 169 | 326 897 | 27 992 | 157 |
| 4.1 | Schwäbisches Tertiär-Hügelland | 238 739 | 0 | 0 | 988 | 979 192 | 0 | 79 |
| 4.2 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 253 957 | 21 798 | 0 | 0 | 1 003 425 | 161 264 | 2 893 |
| 4.3 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 228 841 | 0 | 0 | 4 912 | 699 332 | 32 722 | 51 |
| 4.4 | Tertiär-Hügelland (sandig) | 53 550 | 20 845 | 0 | 0 | 102 029 | 16 071 | 1 337 |
| 4.5 | Donauried | 75 245 | 11 866 | 0 | 0 | 445 087 | 4 621 | 948 |
| 4.6 | Donautal | 81 646 | 8 479 | 0 | 0 | 68 524 | 9 994 | 364 |
| 4.7 | Donauermoos | 11 428 | 11 337 | 0 | 0 | 40 135 | 7 293 | 11 |
| 4.8 | Regensburg-Straubinger Gäu | 55 583 | 6 909 | 0 | 4 770 | 214 440 | 34 469 | 196 |
| 5.1 | Südl. Vorwald | 59 706 | 0 | 0 | 0 | 55 682 | 0 | 241 |
| 5.2 | Mittlerer Bayerischer Wald | 212 552 | 0 | 0 | 0 | 92 286 | 0 | 165 |
| 5.3 | Innerer Bayerischer Wald | 64 503 | 0 | 0 | 1 535 | 22 288 | 0 | 331 |
| 5.4 | Westlicher Vorwald | 100 020 | 0 | 0 | 1 072 | 92 613 | 0 | 111 |
| 5.5 | Vorderer Oberpfälzer Wald | 437 434 | 0 | 0 | 0 | 612 144 | 0 | 685 |
| 5.6 | Innerer Oberpfälzer Wald | 120 236 | 0 | 0 | 106 | 119 078 | 0 | 110 |
| 5.7 | Hof-Wunsiedler-Gebiet | 168 991 | 0 | 0 | 0 | 196 893 | 0 | 360 |
| 5.8 | Frankenwald und Fichtelgebirge | 126 768 | 0 | 0 | 108 | 65 906 | 422 | 179 |
| 6.1 | Donau- und Egaualb | 15 340 | 2 726 | 0 | 334 | 85 907 | 3 004 | 47 |
| 6.2 | Südl. Jura | 255 277 | 0 | 0 | 0 | 725 719 | 144 816 | 1284 |
| 6.3 | Nördlicher Jura | 225 854 | 0 | 0 | 1 139 | 257 338 | 50 377 | 173 |
| 6.4 | Ries | 43 176 | 8 219 | 0 | 0 | 328 913 | 11 565 | 325 |
| 7.1 | Oberpfälzer Hügelland | 155 420 | 0 | 0 | 0 | 397 733 | 29 466 | 209 |
| 7.2 | Oberfränkisches Hügelland | 216 043 | 0 | 0 | 148 | 413 689 | 79 305 | 151 |
| 7.3 | Westliches Tonkeupergebiet | 228 851 | 24 246 | 0 | 0 | 695 784 | 6 935 | 57 |
| 7.4 | Nördliches Tonkeupergebiet | 980 84 | 0 | 0 | 4 261 | 142 036 | 47 539 | 124 |
| 7.5 | Sandkeupergebiet | 43 189 | 0 | 0 | 2 401 | 131 388 | 13 684 | 0 |
| 7.6 | Regnitztal | 25 864 | 3 038 | 0 | 0 | 38 322 | 9 553 | 81 |
| 7.7 | Südl. Albvorland | 162 778 | 0 | 0 | 13 637 | 193 294 | 9 866 | 219 |
| 7.8 | Nördliches Albvorland | 68 180 | 0 | 0 | 298 | 51 616 | 12 831 | 138 |
| 7.9 | Steigerwald und Hassberge | 36 204 | 0 | 0 | 0 | 78 890 | 12 129 | 9 |
| 8.1 | Fränkisches Gäu | 38 300 | 0 | 0 | 6 735 | 296 479 | 42 645 | 36 |
| 8.2 | Südl. Fränkische Platte | 40 864 | 0 | 0 | 0 | 154 673 | 57019 | 38 |
| 8.3 | Nördliche Fränkische Platte | 130 122 | 2 051 | 0 | 1 385 | 211 885 | 63346 | 283 |
| 8.4 | Steigerwald-Vorland | 44 869 | 6 949 | 0 | 667 | 204 021 | 33 841 | 392 |
| 8.5 | Untermainebene | 11 244 | 0 | 0 | 1 507 | 10 470 | 17 165 | 4 |
| 9.1 | Vorspessart und Odenwald | 41 785 | 0 | 0 | 0 | 25 424 | 32 139 | 66 |
| 9.2 | Spessart | 12 968 | 0 | 0 | 352 | 64 | 3 014 | 0 |
| 9.3 | Vorrhön | 28 510 | 9 332 | 0 | 0 | 17 215 | 21 341 | 291 |
| 9.4 | Rhön | 28 909 | 18 432 | 0 | 0 | 212 | 9 747 | 0 |
| Bayern gesamt | | 5 751 073 | 163 734 | 19 715 | 50 311 | 11 396 885 | 1 119 559 | 127 976 |

Datengrundlage: LfStaD: Besondere Erntemittlung 2005-2007; Balis: InVeKoS 2008, AUM 2008; eigene Berechnungen

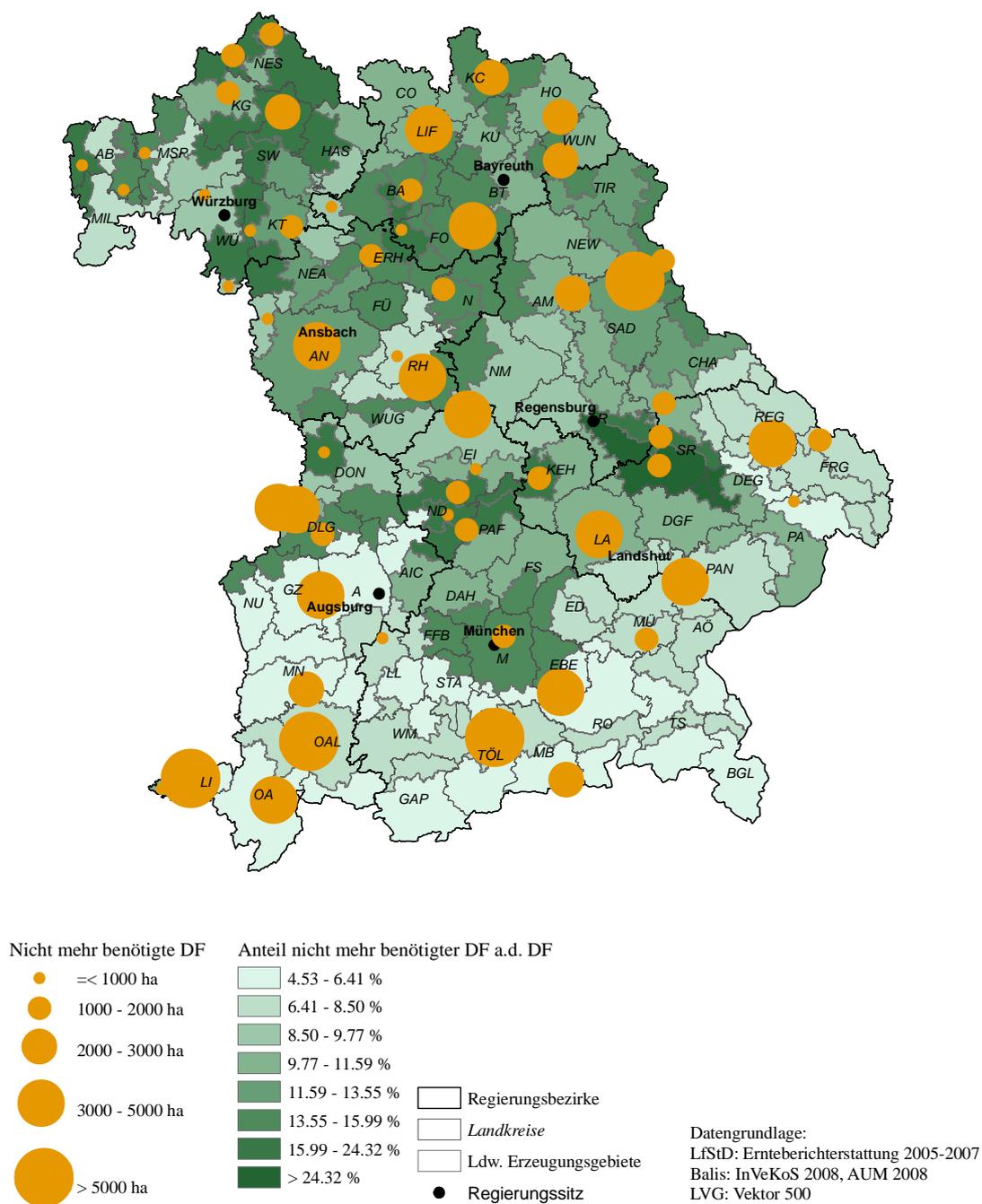


Abb. 6: Nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Dauergrünlandfläche 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns

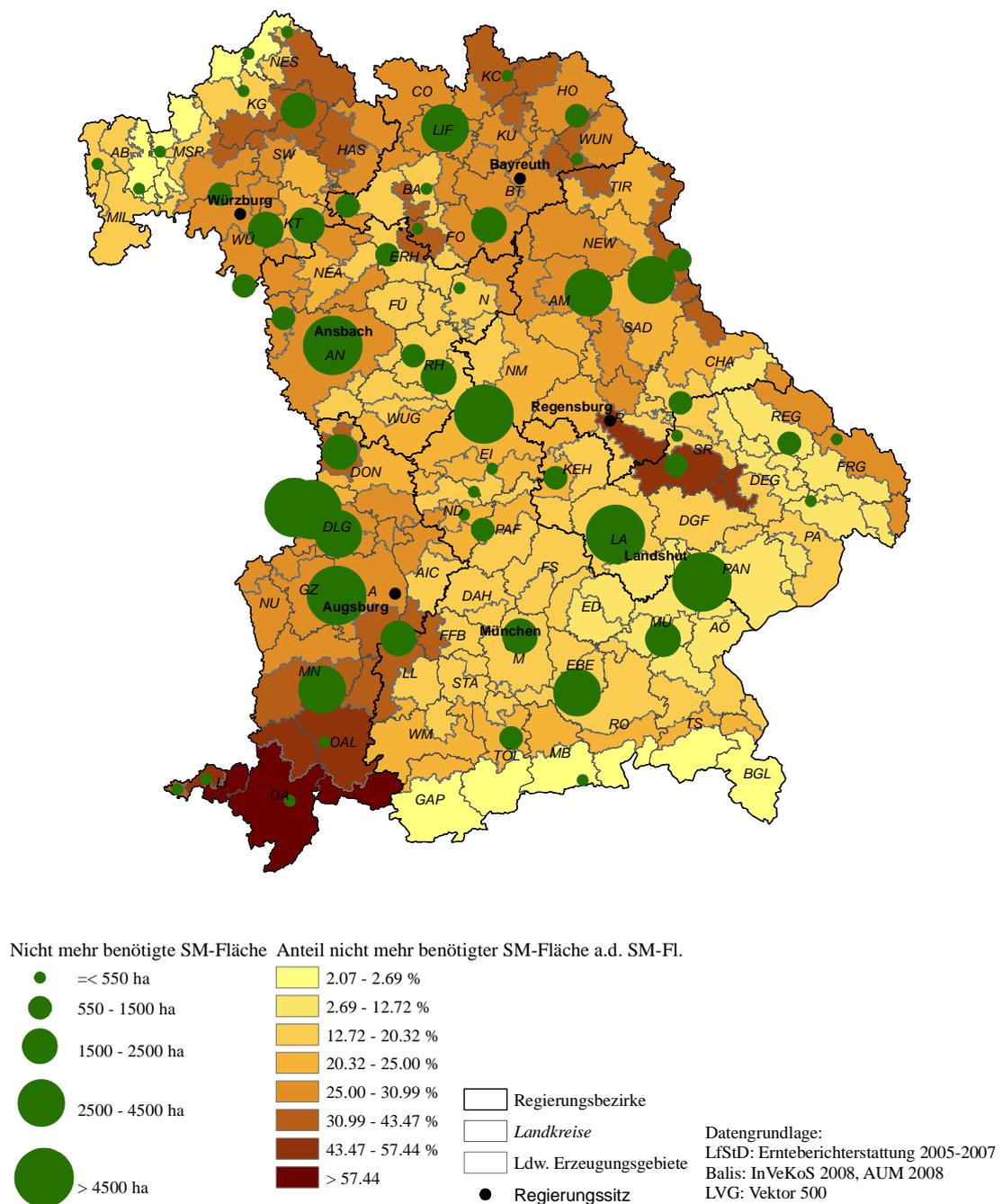


Abb. 7: Nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Silomaisfläche 2008 in den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten Bayerns

2.5 Prognosen bis zum Jahr 2020

2.5.1 Veränderung der Milcherzeugung und der Zahl der Milchkühe

2.5.1.1 Milcherzeugung

Milchmenge

Da die derzeit gültige Milchquotenregelung 2014 ausläuft, sind keine gesicherten Aussagen über die weitere Entwicklung der Milcherzeugung in Bayern möglich. Zum jetzigen Zeitpunkt kann daher von einer zunächst ungefähr gleich bleibenden Milcherzeugung in Bayern ausgegangen werden, d. h. die für das Basisjahr 2008 zugrunde liegende Milcherzeugung wird für den Prognosezeitraum als konstant bleibend angenommen.

Milchleistung je Kuh und Jahr

Die Vorausschätzung der Leistungssteigerung in der Milchkuhhaltung bis zum Beginn des Jahres 2020 erfolgt mit Hilfe von linearen Regressionen, die jeweils für die landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiete für den Referenzzeitraum 1991 bis 2008 ermittelt wurden. Die Werte für Bayern und für die Agrargebiete entsprechen den gewogenen Gebietsdurchschnitten. Bei den getroffenen Annahmen ist in den Agrargebieten im Jahre 2020 eine durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr zwischen 7.097 kg (Ostbayerische Mittelgebirge II) und 8.520 kg (Spessart und Rhön) zu erwarten. Für Bayern errechnet sich für das Zieljahr der Prognose eine durchschnittliche Milchleistung von knapp 7.489 kg pro Kuh und Jahr (vgl. Tab. 8)

Tab. 8: Prognose der durchschnittlichen Milchleistung pro Kuh in den Agrargebieten

| Nr. | Agrargebiet | Milchleistung pro Kuh und Jahr in kg | | | |
|---------------|----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 2008 | 2010 | 2015 | 2020 |
| 1 | Alpen | 6 142 | 6 452 | 6 915 | 7 377 |
| 2 | Alpenvorland | 6 127 | 6 455 | 6 924 | 7 393 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 6 228 | 6 596 | 7 110 | 7 623 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 6 069 | 6 415 | 6 908 | 7 401 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 5 868 | 6 207 | 6 665 | 7 121 |
| 6 | Gäugebiete | 6 106 | 6 568 | 7 173 | 7 793 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 5 975 | 6 215 | 6 748 | 7 279 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 5 751 | 6 023 | 6 560 | 7 097 |
| 9 | Jura | 6 249 | 6 552 | 7 127 | 7 701 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 6 341 | 6 662 | 7 286 | 7 908 |
| 11 | Fränkische Platten | 6 259 | 6 764 | 7 422 | 8 077 |
| 12 | Spessart und Rhön | 6 272 | 6 967 | 7 739 | 8 520 |
| Bayern gesamt | | 6 109 | 6 439 | 6 964 | 7 489 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; eigene Berechnungen

2.5.1.2 Zahl der Milchkühe

Abnahme der Zahl der Milchkühe durch die Leistungssteigerung je Milchkuh

Bei der prognostizierten Leistungssteigerung der Milchkühe sind im Zieljahr 2020 rechnerisch nur noch 1,009 Mio. Milchkühe zur Erzeugung der Milchmenge erforderlich. Dem entsprechend könnte der Kuhbestand bezogen auf das Jahr 2008 um 228.000 Tiere abnehmen; dies entspräche einem Rückgang von etwa 18,5 % (vgl. Tab. 9).

Tab. 9: *Veränderung der Zahl der Milchkühe durch Leistungssteigerung in den Agrargebieten von 2008 bis 2020*

| Nr. | Agrargebiet | Zahl der Milchkühe 2008 | Abnahme der Zahl der Milchkühe | | Zahl der Milchkühe 2020 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|
| | | | absolut | in % | |
| 1 | Alpen | 52 698 | - 8 834 | -16,8 | 43 864 |
| 2 | Alpenvorland | 157 322 | - 26 994 | -17,2 | 130 328 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 175 881 | - 32 263 | -18,3 | 143 618 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 236 965 | - 42 708 | -18,0 | 194 257 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 95 481 | - 16 826 | -17,6 | 78 655 |
| 6 | Gäugebiete | 22 271 | - 4 661 | -20,9 | 17 610 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 108 944 | - 19 541 | -17,9 | 89 403 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 98 453 | - 18 710 | -19,0 | 79 743 |
| 9 | Jura | 85 936 | - 16 204 | -18,9 | 69 732 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 170 192 | - 33 879 | -19,9 | 136 313 |
| 11 | Fränkische Platten | 25 474 | - 5 752 | -22,6 | 19 722 |
| 12 | Spessart und Rhön | 8 148 | - 2 112 | -25,9 | 6 036 |
| Bayern gesamt | | 1 237 765 | - 228 484 | -18,5 | 1 009 281 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; eigene Berechnungen

Veränderung der Zahl der Milchkühe durch den Quotentransfer

Die in einem Gebiet künftig erzeugbare Milchmenge wird voraussichtlich bis 2014 durch den Verkauf und den Zukauf von Milchquoten über die Quotenbörse beeinflusst. Für die Verlagerung der Milchproduktion wurde angenommen, dass sich die durchschnittlichen, jährlichen Saldomengen aus Zu- und Verkauf bei den Börsenterminen in den Jahren 2001 bis 2008 in den Agrar- und Erzeugungsgebieten im Prognosezeitraum linear auch nach Wegfall der Milchquotenregelung fortsetzen. Demzufolge ist eine erhebliche Abwanderung von Milchmengen im Prognosezeitraum aus dem ackerbaubetonten Tertiär-Hügelland, den Gäugebieten und in geringerem Umfang aus den Fränkischen Platten und dem Jura zu erwarten. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des Quotentransfers würde die Anzahl der Milchkühe in Bayern zwischen 2008 und 2020 um etwa 6.000 Tiere ansteigen.

Veränderung der Zahl der Milchkühe durch Leistungssteigerung und Quotentransfer

In Tabelle 10 erfolgte eine Aggregation der geschätzten Veränderungen bei den Milchkuhbeständen, die durch Leistungssteigerungen und Quotentransfers in den Agrargebieten zu erwarten sind. Demzufolge könnten in Bayern im Zeitraum zwischen 2008 und 2020 die Milchviehbestände um etwa 18 % auf 1,015 Mio. Tiere sinken.

Ein überdurchschnittlicher Rückgang bei der Zahl der Milchkühe zeichnet sich für die ackerbaubetonten Agrargebiete mit einem besonders hohen Bestandsrückgang in den Gäugebieten, im Tertiär-Hügelland Nord und auf den Fränkischen Platten ab.

Tab. 10: Veränderung der Zahl der Milchkühe durch Leistungssteigerung und Quoten-transfer in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. | Agrargebiet | Zahl der Milchkühe 2008 | Veränderung der Zahl der Milchkühe | | Zahl der Milchkühe 2020 |
|-----|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------------------|
| | | | absolut | in % | |
| 1 | Alpen | 52 698 | - 6 681 | -12,7 | 46 017 |
| 2 | Alpenvorland | 157 322 | - 17 416 | -11,1 | 139 906 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 175 881 | - 25 191 | -14,3 | 150 690 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 236 965 | - 52 605 | -22,2 | 184 360 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 95 481 | - 29 513 | -30,9 | 65 968 |
| 6 | Gäugebiete | 22 271 | - 8 753 | -39,3 | 13 518 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 108 944 | - 10 419 | -9,6 | 98 525 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 98 453 | - 12 478 | -12,7 | 85 975 |
| 9 | Jura | 85 936 | - 18 168 | -21,1 | 67 768 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 170 192 | - 31 437 | -18,5 | 138 755 |
| 11 | Fränkische Platten | 25 474 | - 7 695 | -30,2 | 17 779 |
| 12 | Spessart und Rhön | 8 148 | - 2 118 | -26,0 | 6 030 |
| | Bayern gesamt | 1 237 765 | - 222 475 | -18,0 | 1 015 290 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; LfL-IEM: MÜSB; eigene Berechnungen

2.5.2 Veränderung der Bestände der übrigen Raufutterfresser

2.5.2.1 Übrige Rinderbestände

Längerfristige Analysen über die tiergruppenspezifische Zusammensetzung des Rinderbestandes in Bayern zeigten, dass die Anzahl der Tiere in den übrigen Rindergruppen aufgrund des biologischen Faktors stets in einer bestimmten Beziehung zum Umfang des jeweiligen Milchkuhbestandes stehen. Der an die Zahl der Milchkühe gekoppelte Faktor für den Umfang der Rinder in den einzelnen Tiergattungen wurde anhand der Durchschnittsbestände im Zeitraum 2003 bis 2008 jeweils getrennt für die einzelnen landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiete berechnet.

Zahl der Mutterkühe

Durch die rechnerische Anbindung der Bestandsentwicklung an die künftige Zahl der Milchkühe führt die Vorausschätzung zu einer Abnahme der Zahl der Mutterkühe in allen Agrargebieten, wobei für den Durchschnitt Bayerns ein Rückgang bei den Mutterkühen um etwa 13.600 Tiere d. h. mehr als 19 % zu erwarten ist (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: Veränderung der Zahl der Mutterkühe in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. | Agrargebiet | Zahl der Mutterkühe 2008 | Veränderung der Zahl der Mutterkühe | | Zahl der Mutterkühe 2020 |
|---------------|----------------------------|--------------------------------|--|-------|--------------------------------|
| | | | absolut | in % | |
| 1 | Alpen | 3 054 | - 443 | -14,5 | 2 611 |
| 2 | Alpenvorland | 5 336 | - 276 | -5,2 | 5 060 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 4 744 | - 654 | -13,8 | 4 090 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 7 980 | - 1 408 | -17,6 | 6 572 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 6 718 | - 2 297 | -34,2 | 4 421 |
| 6 | Gäugebiete | 921 | - 444 | -48,3 | 477 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 7 461 | - 567 | -7,6 | 6 894 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 10 371 | - 915 | -8,8 | 9 456 |
| 9 | Jura | 5 310 | - 1 309 | -24,7 | 4 001 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 10 546 | - 1 994 | -18,9 | 8 552 |
| 11 | Fränkische Platten | 2 476 | - 1 003 | -40,5 | 1 473 |
| 12 | Spessart und Rhön | 5 439 | - 2 317 | -42,6 | 3 122 |
| Bayern gesamt | | 70 356 | - 13 628 | -19,4 | 56 728 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; LfL-IEM: MÜSB; eigene Berechnungen

Zahl der männlichen Rinder

Bei Mastbullen ($\frac{1}{2}$ bis 2 Jahre) ist mit einem Bestandsabbau von rund 101.000 Tieren zu rechnen. Etwas geringer wird der Rückgang bei den männlichen Rindern mit mehr als 2 Jahren ausfallen (vgl. Tab. 12).

Tab. 12: Veränderung der Zahl der Mastbullen in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. | Agrargebiet | Mastbullen | | | Männl. Rinder > 2 Jahre | | |
|---------------|----------------------------|------------|------------------|---------|-------------------------|------------------|--------|
| | | Anzahl | Verän- derung | Anzahl | Anzahl | Verän- derung | Anzahl |
| | | 2008 | in % | 2020 | 2008 | in % | 2020 |
| 1 | Alpen | 3 857 | -10,2 | 3 465 | 983 | -9,8 | 887 |
| 2 | Alpenvorland | 8 543 | -11,4 | 7 565 | 1 565 | -9,5 | 1 417 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 14 663 | -9,9 | 13 204 | 1 872 | -5,9 | 1 762 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 139 171 | -23,0 | 107 173 | 2 741 | -14,8 | 2 336 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 90 648 | -31,7 | 61 947 | 1 791 | -27,5 | 1 298 |
| 6 | Gäugebiete | 26 752 | -38,2 | 16 531 | 383 | -40,6 | 228 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 31 170 | -6,6 | 29 123 | 963 | 3,3 | 995 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 17 733 | -11,3 | 15 732 | 1 164 | -12,3 | 1 021 |
| 9 | Jura | 32 451 | -19,4 | 26 153 | 860 | -21,9 | 672 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 62 030 | -15,6 | 52 373 | 1 802 | -10,2 | 1 619 |
| 11 | Fränkische Platten | 20 272 | -30,7 | 14 041 | 570 | -33,6 | 379 |
| 12 | Spessart und Rhön | 4 867 | -31,4 | 3 337 | 515 | -38,7 | 316 |
| Bayern gesamt | | 452 157 | -22,5 | 350 645 | 15 209 | -15,0 | 12 929 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; LfL-IEM: MÜSB; eigene Berechnungen

Zahl der weiblichen Rinder

Die Zahl weiblicher Jungrinder von ½ bis 2 Jahren wird um mehr als 19 % sinken. Für ältere weibliche Rinder ist ein Rückgang um etwa 12 % zu erwarten (vgl. Tab. 13).

Tab. 13: Veränderung der Zahl der weiblichen Rinder in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. | Agrargebiet | Weibl. Rinder 1/2 bis 2 J. | | | Weibl. Rinder > 2 J. | | |
|-----|----------------------------|----------------------------|-------------|---------|----------------------|-------------|---------|
| | | Anzahl | Veränderung | Anzahl | Anzahl | Veränderung | Anzahl |
| | | 2008 | in % | 2020 | 2008 | in % | 2020 |
| 1 | Alpen | 36 977 | -16,1 | 31 019 | 19 062 | -11,0 | 16 959 |
| 2 | Alpenvorland | 81 189 | -12,1 | 71 393 | 35 958 | -4,2 | 34 451 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 105 840 | -13,9 | 91 131 | 38 669 | -5,2 | 36 647 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 169 756 | -22,6 | 131 391 | 50 094 | -16,4 | 41 856 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 72 734 | -33,1 | 48 691 | 20 436 | -27,2 | 14 882 |
| 6 | Gäugebiete | 17 074 | -41,6 | 9 975 | 4 575 | -36,1 | 2 922 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 81 555 | -10,1 | 73 344 | 23 628 | -3,4 | 22 836 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 69 842 | -14,3 | 59 883 | 21 735 | -9,6 | 19 645 |
| 9 | Jura | 65 086 | -22,8 | 50 220 | 18 334 | -16,8 | 15 245 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 130 849 | -20,5 | 104 007 | 37 305 | -13,4 | 32 301 |
| 11 | Fränkische Platten | 20 692 | -32,9 | 13 879 | 5 657 | -26,4 | 4 163 |
| 12 | Spessart und Rhön | 8 602 | -32,7 | 5 791 | 2 908 | -27,1 | 2 120 |
| | Bayern gesamt | 860 196 | -19,7 | 690 725 | 278 361 | -12,3 | 244 027 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; LfL-IEM: MÜSB; eigene Berechnungen

Zahl der Rinder gesamt

Die aufgezeigten Veränderungen bei den einzelnen Rindergattungen (Milchkühe, Mutterkühe, männliche und weibliche Rinder) einschließlich der geschätzten Kälberbestände ergeben die Summe der Rinderbestände im Prognosejahr 2020. Der geschätzte Rückgang von rund 648.000 Rindern entspricht einer Abnahme von rund 18,8 % (vgl. Tab. 14). Allein die drei Agrargebiete mit den größten geschätzten absoluten Abnahmen bei der Zahl der Rinder – dem Tertiär-Hügelland Süd und Nord und dem Nordbayerischen Hügelland – müssen mit Bestandsminderung von rund 359.000 Tieren gerechnet werden.

Tab. 14: Veränderung des Gesamtrinderbestandes in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. | Agrargebiet | Gesamtrinderbestand | | |
|-----|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| | | Anzahl 2008 | Veränderung in % | Anzahl 2020 |
| 1 | Alpen | 133 290 | -13,6 | 115 195 |
| 2 | Alpenvorland | 334 226 | -10,5 | 299 002 |
| 3 | Voralpines Hügelland | 398 757 | -13,0 | 346 986 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | 727 821 | -21,9 | 568 451 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | 346 537 | -31,5 | 237 466 |
| 6 | Gäugebiete | 85 600 | -39,2 | 52 057 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | 301 486 | -8,7 | 275 324 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | 257 809 | -12,5 | 225 472 |
| 9 | Jura | 246 802 | -21,1 | 194 667 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | 491 500 | -18,5 | 400 738 |
| 11 | Fränkische Platten | 88 959 | -31,0 | 61 389 |
| 12 | Spessart und Rhön | 36 249 | -32,1 | 24 606 |
| | Bayern gesamt | 3449036 | -18,8 | 2 801 353 |

Datengrundlage: LfStaD: Milcherzeugung und Milchverwendung in Bayern; Balis: InVeKoS 2003-2008; LfL-IEM: MÜSB; eigene Berechnungen

2.5.2.2 Bestände der sonstigen Raufutterfresser

Bei den Pferden, bei den Schafen und Ziegen sowie beim Dam- und Rotwild gibt es keine administrativen Vorgaben für eine Begrenzung dieser Tiergattungen in der Zukunft. Hilfsweise wurde deshalb der rechnerische Durchschnittsbestand in den Jahren 2003 – 2008 als Umfang dieser Tierhaltung für das Prognosejahr 2020 angenommen.

Tabelle 15 zeigt, dass die erwarteten Veränderungen gering sind. Während die Ziegenbestände rückläufig sein werden, wird die Schaf- und Dam- und Rotwildhaltung leicht ansteigen. Die Pferdehaltung wird mit etwa 95.000 Tieren annähernd konstant bleiben

Tab. 15: Veränderung der Zahl der übrigen Raufutterfresser in den Agrargebieten von 2008 bis 2020

| Nr. Agrargebiet | Pferde Anzahl | | Schafe Anzahl | | Ziegen Anzahl | | Dam- und Rotwild Anzahl | |
|------------------------------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|--------|----------------------------|--------|
| | 2008 | 2020 | 2008 | 2020 | 2008 | 2020 | 2008 | 2020 |
| 1 Alpen | 5 457 | 5 631 | 14 844 | 15 460 | 3 591 | 3 352 | 1 217 | 1 278 |
| 2 Alpenvorland | 10 091 | 10 147 | 12 734 | 13 293 | 2 969 | 2 510 | 1 597 | 1 647 |
| 3 Voralpines Hügelland | 10 777 | 10 729 | 21 436 | 22 152 | 5 070 | 4 518 | 2 195 | 2 235 |
| 4 Tertiär-Hügelland (Süd) | 17 149 | 16 938 | 64 726 | 67 256 | 3 882 | 3 565 | 5 520 | 5 595 |
| 5 Tertiär-Hügelland (Nord) | 10 842 | 10 658 | 46 023 | 47 457 | 1 447 | 1 297 | 5 428 | 5 417 |
| 6 Gäugebiete | 2 166 | 2 147 | 22 676 | 21 811 | 693 | 814 | 596 | 669 |
| 7 Ostbayer. Mittelgebirge I | 4 938 | 4 898 | 14 176 | 14 965 | 1 016 | 973 | 3 497 | 3 595 |
| 8 Ostbayer. Mittelgebirge II | 7 197 | 7 165 | 24 063 | 25 294 | 1 646 | 1 571 | 5 998 | 6 135 |
| 9 Jura | 5 469 | 5 431 | 47 410 | 48 916 | 2 195 | 2 085 | 3 637 | 3 807 |
| 10 Nordbayerisches Hügelland | 14 526 | 14 616 | 81 819 | 88 349 | 4 341 | 4 221 | 7 031 | 7 066 |
| 11 Fränkische Platten | 3 693 | 3 716 | 29 510 | 29 859 | 1 084 | 1 066 | 1 263 | 1 262 |
| 12 Spessart und Rhön | 3 026 | 3 055 | 41 151 | 39 425 | 1 569 | 1 422 | 1 147 | 1 213 |
| Bayern gesamt | 95 331 | 95 130 | 420 568 | 434 238 | 29 503 | 27 396 | 39 126 | 39 921 |

Datengrundlage: Balis: InVeKoS 2003 – 2008; eigene Berechnungen

2.6 Entwicklungsszenarien der Fütterung und des Futterbaus

Aufgrund der vielen politischen, wirtschaftlichen und produktionstechnischen Unwägbarkeiten bei der künftigen Milcherzeugung in Bayern können keine Prognosen im engeren Sinne von „Vorhersagen einer zukünftigen Entwicklung“ erstellt werden. Zur Beantwortung der Fragen über den künftigen Umfang der Grünlandnutzung in Bayern waren eine Reihe von Annahmen zu treffen [3]. Die auf dieser Basis berechneten Szenarien ermöglichen eine Beschreibung von künftigen Zuständen, die sich bei einer Realisierung der getroffenen Annahmen ergeben werden.

Die Grundlagen der Szenarien bilden die Vorausschätzungen der zahlenmäßigen Entwicklung der verschiedenen Gruppen von Raufutterfressern im Zeitraum 2008 bis 2020 in Kapitel 2.5. Die textliche Darstellung der Szenarien-Ergebnisse ist auf die landesweiten Auswirkungen begrenzt. Die räumlich differenzierten Konsequenzen sind in den Tabellen für die Agrargebiete zusammengestellt.

2.6.1 Szenario 1: Identische Grundfütterration im Ist und Ziel

Dieses Szenario basiert auf der Festlegung, dass die TM-Anteile im Grundfutter – bestehend aus Grünlandaufwuchs, Grün- und Silomais sowie Klee und Klee gras – im Zieljahr 2020 in den Erzeugungs- und Agrargebieten den Werten in der Ist-Futterbilanz entsprechen. Die Zusammensetzung der Grundfütterration ist für den Durchschnitt Bayerns der Abbildung 8 zu entnehmen. Durch die Rationsberechnungen auf Erzeugungs- und Agrargebietsebene sowie durch die unterschiedlichen Veränderungen bei den Tierbeständen weichen die TM-Anteile beim Szenario 1 im bayerischen Durchschnitt geringfügig von den Ist-Werten ab.

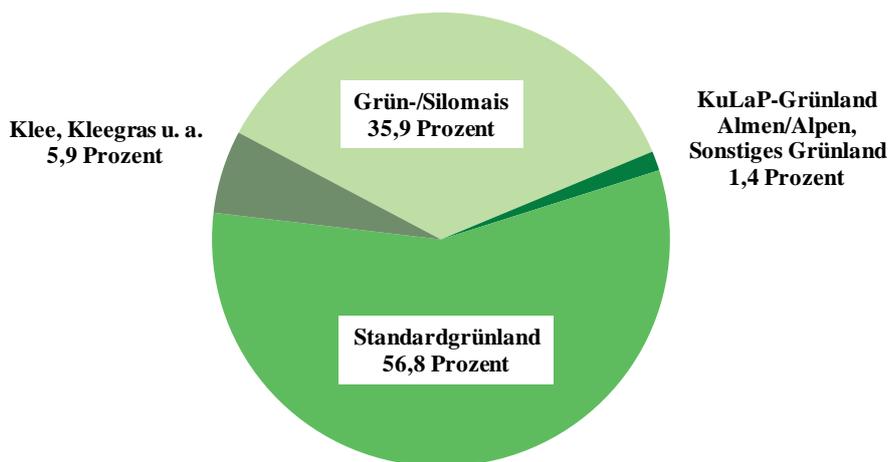


Abb. 8: Lieferung der Grundfutter-TM nach Futterflächen in Prozent in Bayern 2008

Veränderung des TM-Bedarfes bis zum Zieljahr

Der durch den Rückgang der Raufutterfresser verminderte TM-Bedarf in den Agrargebieten und in Bayern ist den Tabellen 16 und 17 zu entnehmen. Der Minderbedarf von 1,917 Mio. Tonnen Grundfutter-TM in Bayern entfällt zu knapp 53 % auf das Grünland, zu rund 41 % auf den Silomais und zu rund 6 % auf das Klee gras.

Vom rechnerischen Überschuss in Höhe von 1,022 Mio. Tonnen TM-Ertrag vom Grünland entfallen rund 0,594 Mio. Tonnen auf die ackerbaubetonten Agrargebiete Tertiär Hügelland Süd und Nord, die Gäugebiete, auf den Jura, auf das Nordbayerische Hügelland und auf die Fränkischen Platten.

Tab. 16: Grünland – Veränderung des TM-Bedarfes (netto) in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1

| Nr. | Agrargebiet | Standardgrünland | KuLaP-Grünland | Almen/Alpen | Sonstiges Grünland | Grünland gesamt | |
|-----|----------------------------|------------------|----------------|-------------|--------------------|-----------------|-------|
| | | 1 000 t | 1 000 t | 1 000 t | 1 000 t | 1 000 t | % |
| 1 | Alpen | -50,06 | -0,48 | -5,32 | -0,09 | -55,9 | -12,6 |
| 2 | Alpenvorland | -106,60 | -0,34 | -0,62 | -0,02 | -107,6 | -10,1 |
| 3 | Voralpines Hügelland | -118,86 | -0,64 | -0,05 | -0,01 | -119,6 | -12,8 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | -198,03 | -2,22 | -0,02 | -0,51 | -200,8 | -21,6 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | -112,35 | -2,16 | -0,03 | -0,31 | -114,8 | -29,7 |
| 6 | Gäugebiete | -24,65 | -0,54 | - | -1,36 | -26,6 | -38,7 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | -41,72 | -0,89 | - | -0,03 | -42,6 | -8,5 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | -69,91 | -1,85 | - | 0,00 | -71,8 | -12,2 |
| 9 | Jura | -69,75 | -1,88 | - | -0,71 | -72,3 | -20,4 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | -138,71 | -3,16 | - | -0,53 | -142,4 | -17,4 |
| 11 | Fränkische Platten | -34,81 | -1,19 | - | -0,82 | -36,8 | -29,6 |
| 12 | Spessart und Rhön | -29,11 | -0,93 | - | -0,35 | -30,4 | -27,0 |
| | Bayern gesamt | -994,56 | -16,27 | -6,03 | -4,73 | -1 021,6 | -16,2 |

Tab. 17: Ackerfutter – Veränderung des TM-Bedarfes (netto) in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario I

| Nr. | Agrargebiet | Grün-/ | Klee, | Ackerfutter | | TS-Bedarf | |
|-----|----------------------------|----------|------------------|-------------|-------|-----------|-------|
| | | Silomais | Kleegras u.a. | gesamt | | gesamt | |
| | | 1 000 t | 1 000 t | 1000 t | % | 1000 t | % |
| 1 | Alpen | -0,69 | -0,09 | -0,8 | -11,6 | -56,7 | -12,6 |
| 2 | Alpenvorland | -5,36 | -1,12 | -6,5 | -9,5 | -114,1 | -10,1 |
| 3 | Voralpines Hügelland | -40,28 | -7,28 | -47,6 | -12,4 | -167,1 | -12,7 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | -236,40 | -24,74 | -261,2 | -20,8 | -461,9 | -21,1 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | -175,61 | -15,25 | -190,8 | -30,2 | -305,7 | -30,0 |
| 6 | Gäugebiete | -63,70 | -4,00 | -67,7 | -36,8 | -94,3 | -37,3 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | -28,24 | -8,67 | -36,9 | -8,5 | -79,5 | -8,5 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | -19,51 | -8,76 | -28,3 | -11,6 | -100,0 | -12,0 |
| 9 | Jura | -62,90 | -20,86 | -83,8 | -19,9 | -156,1 | -20,1 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | -107,73 | -15,64 | -123,4 | -17,0 | -265,8 | -17,2 |
| 11 | Fränkische Platten | -39,51 | -3,55 | -43,1 | -28,1 | -79,9 | -28,8 |
| 12 | Spessart und Rhön | -4,77 | -0,78 | -5,6 | -25,7 | -35,9 | -26,8 |
| | Bayern gesamt | -784,70 | -110,74 | -895,4 | -19,7 | -1 917,0 | -17,7 |

Veränderung des Futterflächenbedarfes bis zum Zieljahr

Durch den verringerten Bedarf an Grundfutter-TM in Bayern werden bis zum Zieljahr rechnerisch rund 165.500 ha Grünland, das sind etwa 16,3 % der Ausgangsfläche für die Viehhaltung im Jahre 2008, nicht mehr für die Versorgung der Raufutterfresser benötigt. Durch die festen Vorgaben für die Zusammensetzung der Futtermischung und damit für die Herkunft der Grundfutter-TM nimmt der Flächenumfang bei allen Kategorien des Grünlandes ab (vgl. Tab. 18).

Tab. 18: Grünland – Veränderung des Futterflächenbedarfes in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario I

| Nr. | Agrargebiet | Standard- | KuLaP- | Almen/ | Sonstiges | Grünland gesamt | |
|-----|----------------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|-------|
| | | grünland ha | Grünland ha | Alpen ha | Grünland ha | ha | % |
| 1 | Alpen | -9 976,3 | -194,9 | -4 406,8 | -78,5 | -14 656,6 | -12,5 |
| 2 | Alpenvorland | -16 361,1 | -106,1 | -398,6 | -16,2 | -16 882,1 | -10,0 |
| 3 | Voralpines Hügelland | -15 825,5 | -170,4 | -25,4 | -5,4 | -16 026,8 | -12,8 |
| 4 | Tertiär-Hügelland (Süd) | -26 853,0 | -624,3 | -12,0 | -300,2 | -27 789,5 | -21,9 |
| 5 | Tertiär-Hügelland (Nord) | -15 944,0 | -609,5 | -15,0 | -179,1 | -16 747,6 | -29,7 |
| 6 | Gäugebiete | -3 675,2 | -162,5 | - | -840,4 | -4 678,1 | -39,5 |
| 7 | Ostbayer. Mittelgebirge I | -5 727,8 | -241,8 | - | -16,8 | -5 986,5 | -8,7 |
| 8 | Ostbayer. Mittelgebirge II | -11 698,1 | -624,7 | - | -1,0 | -12 323,8 | -12,4 |
| 9 | Jura | -11 277,2 | -617,0 | - | -443,3 | -12 337,5 | -20,5 |
| 10 | Nordbayerisches Hügelland | -21 964,8 | -1 022,5 | - | -327,4 | -23 314,7 | -17,7 |
| 11 | Fränkische Platten | -6 085,3 | -424,8 | - | -599,9 | -7 110,0 | -29,9 |
| 12 | Spessart und Rhön | -6 909,2 | -451,7 | - | -320,7 | -7 681,6 | -27,0 |
| | Bayern gesamt | -152 297,6 | -5 250,1 | -4 857,9 | -3 129,2 | -165 534,7 | -16,3 |

Beim Ackerfutter werden rund 55.500 ha weniger Silomais und rund 15.300 ha weniger an Klee- und Klee grasfläche für die Versorgung der Raufutterfresser benötigt (vgl. Tab. 19); d. h. knapp 71.000 ha Ackerflächen stehen für eine alternative Nutzung zur Verfügung.

Tab. 19: Ackerfutter – Veränderung des Futterflächenbedarfes in den Agrargebieten im Zeitraum 2008 bis 2020 – Szenario 1

| Nr. Agrargebiet | Grün-/ Silomais | Klee, klee gras u. a. | Ackerfutter gesamt | | Futterflächen- bedarf gesamt | |
|------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|-------|------------------------------------|-------|
| | ha | ha | ha | % | ha | % |
| 1 Alpen | -68,1 | -14,9 | -82,9 | -11,6 | -14 739,5 | -12,5 |
| 2 Alpenvorland | -460,6 | -173,5 | -634,1 | -9,5 | -17 516,1 | -10,0 |
| 3 Voralpines Hügelland | -2 921,6 | -938,6 | -3 860,2 | -12,3 | -19 887,0 | -12,7 |
| 4 Tertiär-Hügelland (Süd) | -15 702,5 | -3 204,0 | -18 906,4 | -21,0 | -46 695,9 | -21,5 |
| 5 Tertiär-Hügelland (Nord) | -11 789,7 | -2 006,1 | -13 795,8 | -30,1 | -30 543,4 | -29,9 |
| 6 Gäugebiete | -4 041,8 | -540,7 | -4 582,4 | -36,8 | -9 260,5 | -38,2 |
| 7 Ostbayer. Mittelgebirge I | -1 966,8 | -1 084,9 | -3 051,6 | -8,6 | -9 038,1 | -8,7 |
| 8 Ostbayer. Mittelgebirge II | -1 580,6 | -1 232,0 | -2 812,7 | -11,8 | -15 136,5 | -12,3 |
| 9 Jura | -4 656,8 | -3 029,0 | -7 685,8 | -20,2 | -20 023,3 | -20,4 |
| 10 Nordbayerisches Hügelland | -8 578,5 | -2 353,2 | -10 931,7 | -17,2 | -34 246,4 | -17,6 |
| 11 Fränkische Platten | -3 242,9 | -581,8 | -3 824,7 | -28,4 | -10 934,6 | -29,4 |
| 12 Spessart und Rhön | -559,6 | -166,3 | -726,0 | -26,0 | -8 407,6 | -26,9 |
| Bayern gesamt | -55 569,4 | -15 324,9 | -70 894,3 | -19,5 | -236 429,0 | -17,1 |

2.6.2 Szenario 2: Freisetzung des Standardgrünlandes nach Ertragsklassen

Im Rahmen der Agrarleitplanung (ALP) in Bayern wurde in den Jahren von 1974 bis 1981 eine flächendeckende Kartierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach den Kriterien „Nutzungseignung“ (Acker-, Grünlandstandorte, ackerfähiges Grünland), „Ertragsklasse“ und „Gefällstufe“ erfasst. Nach dem Wegfall der Rechtsgrundlage wurden die Ergebnisse der Kartierung in die „Landwirtschaftliche Standortkartierung“ (LSK) [4] übergeführt.

Unter Beibehalten der Anteile des kartierten Flächenumfangs in den einzelnen Ertragsklassen wurde das Standardgrünland aus dem Jahr 2008 auf die Ertragsklassen aufgeteilt.

Die Ermittlung der TM-Erträge des Standardgrünlandes für die LSK-Ertragsklassen erfolgte – ausgehend vom TM-Durchschnittsertrag in den Erzeugungs- und Agrargebieten – anhand der ursprünglichen Ertragsrelationen in der Kartieranleitung. In Tabelle 20 werden beispielhaft die TM-Erträge nach den LSK-Klassen im Durchschnitt Bayerns aufgezeigt.

Die Annahmen für die Berechnung des Szenarios 2 entsprechen dem Szenario 1 mit der Ausnahme, dass das Standardgrünland nicht anhand des Durchschnittsertrages, sondern aufsteigend von der Ertragsklasse 1 an freigesetzt wird.

Tab. 20: Durchschnittliche TM-Erträge des Standardgrünlandes nach LSK-Klassen in Bayern

| m | TM-Ertrag in dt/ha (netto) |
|--------------|-------------------------------|
| 1 | 33,9 |
| 2 | 59,7 |
| 3 | 71,8 |
| 4 | 85,7 |
| 5 | 95,8 |
| 6 | 102,7 |
| Durchschnitt | 65,8 |

Durch die gezielte Freisetzung des Standardgrünlandes in Abhängigkeit von den LSK-Ertragsklassen steigt der Umfang des nicht mehr benötigten Standardgrünlandes gegenüber dem Szenario 1 um rund 43.300 ha auf insgesamt 195.600 ha an (vgl. Tab. 21). Mit der gezielten Freisetzung des ertragsschwächeren Standardgrünlandes ist eine qualitative Verbesserung des zur Verfütterung verfügbaren Grünlandaufwuchses wahrscheinlich. Dieser Effekt kann mangels geeigneter Daten bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt werden.

Tab. 21: Grünland – Veränderung des Bedarfes an Standardgrünland nach Ertragsklassen der LSK in den Agrargebieten im Zeitraum von 2008 bis 2020 – Szenario 2^{*)}

| Nr. Agrargebiet | Ertragsklasse | | | | | | Summe ha |
|------------------------------|---------------|-----------|----------|---------|---------|---------|-------------|
| | 1 ha | 2 ha | 3 ha | 4 ha | 5 ha | 6 ha | |
| 1 Alpen | - 14 292 | - 1 870 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 16 162 |
| 2 Alpenvorland | - 9 769 | - 14 436 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 24 205 |
| 3 Voralpines Hügelland | - 675 | - 10 677 | - 8 063 | - 143 | 0 | 0 | - 19 558 |
| 4 Tertiär-Hügelland (Süd) | - 548 | - 14 338 | - 16 281 | 0 | 0 | 0 | - 31 167 |
| 5 Tertiär-Hügelland (Nord) | - 1 063 | - 15 273 | - 3 031 | 0 | 0 | 0 | - 19 368 |
| 6 Gäugebiete | - 524 | - 2 247 | - 1 540 | 0 | 0 | 0 | - 4 311 |
| 7 Ostbayer. Mittelgebirge I | - 6 872 | - 2 217 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 9 089 |
| 8 Ostbayer. Mittelgebirge II | - 13 837 | - 3 119 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 16 956 |
| 9 Jura | - 3 036 | - 10 188 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 13 224 |
| 10 Nordbayerisches Hügelland | - 6 911 | - 19 674 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 26 585 |
| 11 Fränkische Platten | - 1 894 | - 5 292 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 7 185 |
| 12 Spessart und Rhön | - 2 884 | - 4 886 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 7 770 |
| Bayern gesamt | - 62 305 | - 104 216 | - 28 916 | - 143 | 0 | 0 | - 195 580 |

^{*)} Freisetzung des Standardgrünlandes nach aufsteigenden Ertragsklassen

2.7 Futterflächen für eine alternative Verwertung

Durch die angenommene Leistungssteigerung je Milchkuh können bei **Szenario 1** insgesamt rund **165.500** ha Grünland freigesetzt werden (vgl. Tab. 22). Der genutzte Grünlandanteil würde auf rund 85 Prozent der Basisfläche des Jahres 2008 absinken. Zusätzlich vermindert sich der Ackerfutterbedarf um **70.900** ha (vgl. Tab. 23).

Szenario 2 unterscheidet sich von Szenario 1 durch die gezielte Freisetzung des Standardgrünlandes nach aufsteigenden LSK-Ertragsklassen und würden gegenüber dem Szenario zu einer zusätzlichen Freisetzung von **43.300** ha Grünland führen.

Tab. 22: Bedarf an Hauptfutterfläche in Bayern bei den zwei Szenarien im Zieljahr 2020

| Basisjahr 2008/ Szenarien | Einheit | Standard- grünland | KuLaP- grünland | Almen/ Alpen | Sonstiges Grünland | Grünland gesamt |
|------------------------------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Basisjahr 2008 | ha | 937 574 | 28 208 | 39 647 | 12 538 | 1 017 967 |
| Szenario 1 | ha | 785 276 | 22 958 | 34 789 | 9 409 | 852 432 |
| Szenario 2 | ha | 741 994 | 22 958 | 34 789 | 9 409 | 809 150 |

Tab. 23: Bedarf an Hauptfutterfläche in Bayern bei den zwei Szenarien im Zieljahr 2020

| Basisjahr 2008/ Szenarien | Einheit | Grün-/ Silomais | Klee, Klee gras | Ackerfutter gesamt | Futterfläche gesamt |
|------------------------------|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Basisjahr 2008 | ha | 277 646 | 86 537 | 364 183 | 1 382 150 |
| Szenario 1 | ha | 222 077 | 71 212 | 293 289 | 1 145 721 |
| Szenario 2 | ha | 222 077 | 71 212 | 293 289 | 1 102 439 |

3 Auswahl repräsentativer Grünlandgrenzstandorte

Autoren: Martina Halama, Ulrich Keymer

3.1 Datengrundlage

Die Auswahl der Grünlandgrenzstandorte im Bayerischen Wald, im Alpenvorland und in der Rhön erfolgte auf Grundlage der Grünlandstudie Bayern. Da zum Zeitpunkt der Auswahl der Standorte die Grünlandstudie Bayern noch nicht aktualisiert war, musste auf die Ergebnisse der Grünlandstudie Bayern [1] aus dem Jahr 2008 zurückgegriffen werden. Um trotzdem realistische Aussagen treffen zu können, wurden die Grünlanderträge auf den Durchschnitt der Jahre 2005 – 2007 angepasst. Als Datengrundlage diente hierfür die „Erntestatistik für Feldfrüchte und Grünland nach Agrar- und Erzeugungsgebieten in Bayern“ des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung [5]. Die Viehhaltung und die Flächennutzung wurden den InVeKoS-Daten (Balis) des Jahres 2008 entnommen. Da in einem gegebenen Umkreis um einen Standort bestimmte Mengen für die Biogasanlagen zur Verfügung stehen müssen, wurden die Entfernungen der Gemeinden zueinander aus den Koordinaten der Gemeindemittelpunkte der Karte „Vektor 500“ des Bayerischen Landesamtes für Vermessung und Geoinformation [6] aus dem Jahr 2003 errechnet. Um schließlich die in Frage kommenden Standorte qualitativ im Hinblick auf ihre Grenzertragslage einordnen zu können, wurden die in der landwirtschaftlichen Standortkartierung [4] ausgewiesenen Ertragsklassen der Gemeinden miteinander verglichen.

3.2 Vorgehensweise

Zunächst wurden die mit den Flächen gewichteten Durchschnittserträge auf Ebene der landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiete für die Jahre 2005 – 2007 gebildet und den jeweiligen Gemeinden zugeordnet. Da die Grünlanderträge des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung Brutto-Heuerträge bei 86 % Trockensubstanz (TS) sind, mussten sie auf Trockenmasse-Erträge umgerechnet werden. Zugleich wurden 15 % TM-Verluste abgezogen, um die benötigten Netto-Erträge für die Grünlandsilage zu erhalten. Für extensives Grünland wie Streuwiesen, Hutungen, Almen und Sommerweiden für Wanderschafe wurde nur $\frac{1}{4}$ des Ertrages von Grünlandsilage angesetzt.

Aus der Grünlandstudie wurde der nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Anteil an Grünland-Trockenmasse in den einzelnen landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten entnommen, auf den Zeitraum 2008 – 2015 angepasst und den jeweiligen Gemeinden zugeordnet. Nun konnte für jede Gemeinde die für eine Biogasanlage zur Verfügung stehende Menge an Grünland-Trockenmasse ermittelt werden (Netto-Ertrag für Grünlandsilage in dt TS/ha * Fläche in ha * Anteil der nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Grünland-Trockenmasse).

Anschließend wurde für jede Gemeinde überprüft, ob sie als Standort für eine Biogasanlage geeignet wäre. Wichtigstes Kriterium für die Eignung war, ob innerhalb einer gegebenen Entfernung eine festgesetzte Mindestmenge an Grünland-Trockenmasse für eine Biogasanlage bereitgestellt werden könnte. Die Vorgaben für die Standortauswahl können unten stehender Tabelle entnommen werden.

Von den Gemeinden, die für eine Biogasanlage in Frage kamen, wurden in der Regel diejenigen ausgewählt, deren Grünlandstandorte, gemessen an der durchschnittlichen Ertragsklasse für Grünland aus der landwirtschaftlichen Standortkartierung, von unterdurchschnittlicher Ertragsklasse sind, um der Zielvorstellung von Grenzertragsstandorten möglichst nahe zu kommen.

In einem letzten Schritt wurden die jeweils zuständigen Fachberater für Landtechnik, Umwelt und Energie um eine Einschätzung gebeten, ob die ausgewählten Gemeinden aus fachlicher Sicht als Biogasstandorte geeignet wären.

Tab. 24: Vorgaben für die Standortauswahl

| Anlagenleistung | Substratbedarf | | Maximale Transportentfernung km |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| | Grassilage (35 % TM) t | Grassilage TM t | |
| $\geq 100 \text{ kW}_{el}$ | 2 000 (2 300) | 805 | 5 |
| ca. 200 kW_{el} | 4 400 | 1 540 | 5 |
| ca. 500 kW_{el} | 11 000 | 3 850 | 10 |
| Gaseinspeisung (ca. $680 \text{ m}^3/\text{h}$) | 40 000 | 14 000 | 10 bzw. 15 |

3.3 Ergebnisse

In den Tabellen 25 bis 27 sind die Ergebnisse der Auswahl der Standorte wiedergegeben.

Der Standort „Raisting“ im Erzeugungsgebiet 2.3 (Oberbayerisches Moränen-Hügelland) hebt sich deutlich von den Grenzertragsstandorten „Hinterschmiding“ im Inneren Bayerischen Wald und „Sandberg“ in der Rhön ab. Von der ursprünglich ausgewählte Gemarkung „Hoher Peißenberg“ wurde wegen der großen regionalen Nachfrage nach Flächen und des trotz deutlicher Bewirtschaftungerschwernisse hohen Pachtpreisniveaus Abstand genommen [7]. Im nahegelegenen Raisting ist der Strukturwandel schon weiter fortgeschritten. Hier zeichnet sich die Verwertung von Restgrünland bereits als Problem ab.

Das ausgewählte Einzugsgebiet von Hinterschmiding ist nach einer ersten Einschätzung des AELF Passau gut geeignet [8]. Die durchschnittliche Ertragsklasse von Grünland liegt in Hinterschmiding und den angrenzenden Gemeinden zwischen 1,0 und 2,0 und damit deutlich unter dem bayerischen Durchschnitt von 2.6. Viele auslaufende Vollerwerbs- und

Nebenerwerbsbetriebe suchen mittelfristig nach einer alternativen Grünlandverwertung. Zunehmend besteht Interesse an kleinen und güllegeführten Biogasanlagen bis 80 kW elektrischer Leistung.

Am Standort Sandberg streuen die durchschnittlichen Grünland-Ertragsklassen von 1,7 bis 2,1. Die Landwirtschaft ist sehr kleinstrukturiert. Das AELF Schweinfurt hat in einer ersten Einschätzung Bedenken, ob der Grünlandaufwuchs in den Grenzlagen qualitativ für die Silagebereitung geeignet ist und mit vertretbarem Aufwand geworben werden kann [9].

Tab. 25: Standort Raisting im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 2.3 – Oberbayerisches Moränen-Hügelland

| Gemeinden im Einzugsgebiet (max. 10 km vom Standort entfernt) | | | | |
|---|----------------------|-------------------------------------|--|---------|
| Gemeinde | | Entfernung zum Standort km | Mögl. Lieferung an Grünland-TM in t für die Biogasanlage | |
| Schl.-Nr. | Name | | je Gemeinde | Summe |
| 190144 | Raisting | 0.0 | 579.3 | 579.3 |
| 190138 | Pähl | 5.5 | 607.6 | 1 186.9 |
| 190157 | Weilheim i.OB, St | 6.9 | 936.6 | 2 123.5 |
| 190159 | Wielenbach | 7.1 | 905.5 | 3 029.0 |
| 181114 | Dießen a.Ammersee, M | 7.5 | 1 182.0 | 4 211.0 |
| 190158 | Wessobrunn | 7.7 | 1 179.7 | 5 390.7 |
| 188117 | Andechs | 8.8 | 501.0 | 5 891.7 |
| 181137 | Rott | 9.3 | 343.8 | 6 235.5 |
| 188141 | Tutzing | 9.3 | 444.4 | 6 679.9 |

Tab. 26: Standort Hinterschmiding im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 5.3 – Innerer Bayerischen Wald

| Gemeinden im Einzugsgebiet (max. 10 km vom Standort entfernt) | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------------|--|---------|
| Gemeinde | | Entfernung zum Standort km | Mögl. Lieferung an Grünland-TM in t für die Biogasanlage | |
| Schl.-Nr. | Name | | je Gemeinde | Summe |
| 272126 | Hinterschmiding | 0.0 | 626.3 | 626.3 |
| 272121 | Grainet | 4.4 | 613.3 | 1 239.6 |
| 272118 | Freyung, St | 4.9 | 764.0 | 2 003.6 |
| 272139 | Philippsreut | 6.9 | 89.0 | 2 092.6 |
| 272127 | Hohenau | 7.4 | 889.9 | 2 982.5 |
| 272134 | Mauth | 8.8 | 415.9 | 3 398.4 |
| 272151 | Waldkirchen, St | 9.4 | 1 235.2 | 4 633.6 |
| 272122 | Haidmühle | 10.0 | 316.6 | 4 950.2 |

Tab. 27: Standort Sandberg im landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiet 9.4 – Rhön

| Gemeinden im Einzugsgebiet (max. 10 km vom Standort entfernt) | | | | |
|---|-----------------------|-------------------------------------|---|---------|
| Schl.-Nr. | Gemeinde Name | Entfernung zum Standort km | Mögl. Lieferung an Grünland- TM in t für die Biogasanlage | |
| | | | je Gemeinde | Summe |
| 673162 | Sandberg | 0.0 | 704.5 | 704.5 |
| 672117 | Burkardroth, M | 5.9 | 500.9 | 1 205.4 |
| 672145 | Riedenberg | 6.7 | 106.8 | 1 312.2 |
| 673117 | Bischofsheim/Rhön, St | 7.0 | 1 331.8 | 2 644.0 |
| 672126 | Geroda, M | 8.2 | 864.2 | 3 508.2 |
| 673163 | Schönau a.d.B rend | 9.3 | 58.6 | 3 566.8 |
| 672163 | Wildflecken, M | 9.8 | 394.9 | 3 961.7 |
| 672112 | Bad Bocklet, M | 9.9 | 284.8 | 4 246.5 |

3.4 Diskussion der Ergebnisse

Soll nur der zukünftig nicht mehr für die Viehhaltung benötigte Anteil an Grünland-Trockenmasse für die Biogaserzeugung zum Einsatz kommen, reichen an keinem der drei ausgewählten Grenzstandorte die Grünlandflächen in einer Entfernung von 10 Kilometern aus, um eine größere Biomethananlage mit Substrat zu versorgen. Generell wird es unter den genannten Prämissen schwierig sein, in Bayern einen Standort für eine größere Biomethananlage zu finden, an dem genügend Grünlandaufwuchs aus einem Umkreis von 10 km zugeliefert werden kann.

Für eine Biogasanlage mit ca. 500 kW_{el} erfüllt der Standort Raisting die Vorgaben am besten. Die erforderliche Menge an Grünland-Trockenmasse von 3 850 t kann schon in Raisting und vier weiteren Gemeinden in einem Umkreis von 7,5 km bereit gestellt werden. Die Standorte Hinterschmiding und Sandberg sind für Anlagen der 500 kW_{el}-Klasse weniger geeignet.

Problemlos ließen sich kleine (unter 100 kW_{el}) und mittlere Anlagen (bis ca. 300 kW_{el}) an den Grenzstandorten etablieren.

4 Pflanzenbauliche Bewertung repräsentativer Grünlandgrenzstandorte

Autoren:

Dr. Michael Diepolder, Dr. Gisbert Kuhn, Sabine Heinz; Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (IAB), Martina Halama, Stefan Wank, Institut für Agrarökonomie (ILB), Dr. Stephan Hartmann, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ); Martin Moosmeyer, Institut für Tierernährung (ITE)

Ohne die fundierte regionale Erfahrung und freundliche Unterstützung folgender Kolleginnen und Kollegen vor Ort wären wesentliche Aussagen dieses Beitrags nicht möglich gewesen: Michael Nowak, Johann Graf und Bärbel Kromminga vom AELF Weilheim-Schongau, Georg Pletl vom AELF Regen, Alois Seebald vom AELF Passau-

Rotthalmünster, Daniel Endres vom AELF Schweinfurt und Hans Dünniger vom AELF Bad Neustadt a.d. Saale.

4.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Ziel dieses Teilprojektes ist die pflanzenbauliche Bewertung der Grünlandflächen in den drei Modellgebieten. Dies umfasst sowohl die botanische Beschreibung der Pflanzenbestände, die Abschätzung ihrer gegenwärtigen Nutzungsintensitäten, erzielbaren Erträge und Futterqualitäten als auch die Prognose von Auswirkungen einer ggf. intensiveren Grünlandbewirtschaftung infolge der Biogaserzeugung. Aus diesen und weiteren vor Ort erhobenen Parametern, wie der Infrastruktur oder der gegenwärtigen Verwertung der Grünlandflächen in den einzelnen Gemeinden soll die Auswahl der repräsentativen Grünlandstandorte auch im Hinblick auf notwendige Folgeprojekte weiter präzisiert werden.

Die drei Modellgebiete wurden hinsichtlich ihrer Lage in Bayern (Erzeugungsgebiet), ihrer Größe und beinhalteten Gemeinden durch das Institut für Agrarökonomie (ILB) auf Basis der Grünlandstudie Bayern ausgewählt. Bereits hier erfolgte bei der Auswahl des Standorts der Anlage und der Gemeinden im Einzugsbereich eine erste Abstimmung mit den regionalen Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF), speziell mit deren Landtechnikberatern. Als Voraussetzungen für die Auswahl eines Modellgebietes galten eine prognostizierte Mindestmenge an Grünlandmaterial von 3.850 t Trockenmasse, entsprechend ca. 11.000 t Grassilage (35 % TS) sowie eine maximale Transportentfernung von 10 km vom entferntesten Punkt des Einzugsgebietes zur Anlage.

Tabelle 28 zeigt die getroffene Auswahl an Standorten bzw. Gemeinden für die weitere Betrachtung. Vergleicht man die Ertragsmesszahlen und bezieht man auch aus produktionstechnischer Sicht noch den Nährstoffstatus der Grünlandflächen auf Landkreisebene mit ein (vgl. Tab. 29), so erkennt man bereits an dieser Stelle teilweise starke Unterschiede. Dabei hebt sich „Raisting“ im oberbayerischen Moränen-Hügelland deutlich von „Hinterschmiding“ im Inneren Bayerischen Wald und von „Sandberg“ in der Rhön ab. Insbesondere wäre „Raisting“ auf den ersten Blick sicher nicht als Grünlandgrenzstandort zu werten. Dieses Modellgebiet wurde aber bewusst aufgrund der dortigen Pachtpreisgegebenheiten ausgewählt und bildet zudem eine Ergänzung zu den strukturschwachen Grenzstandorten für die Milchviehhaltung im Inneren Bayerischen Wald und in der Rhön.

Die in Sinne des Projektauftrages geforderte pflanzenbauliche und produktionstechnische Bewertung dieser Standorte war nur mit starken Einschränkungen möglich und ist demzufolge als erste grobe Abschätzung zu verstehen. Dies liegt in erster Linie daran, dass für alle drei Modellgebiete keinerlei physisch erhobene Ertragsdaten (z. B. aus Versuchen, Monitoring etc.) in Verbindung mit engmaschigen Qualitätsdaten und Pflanzenbestandsaufnahmen vorliegen. Solche wären jedoch wesentliche Voraussetzung für eine hinreichend genaue Quantifizierung von Substratbereitstellung, Methanerzeugung und darauf aufbauenden ökonomischen Schlussfolgerungen.

Tab. 28: Gemeinden in den Modellgebieten, deren mittlere Entfernung zum Standort der Anlage und durchschnittliche Ertragsklasse ihrer Grünlandflächen nach Agrarleitplan sowie erste Kalkulationen (*unvalidiert*) zur möglicherweise verfügbaren Substratmenge aus Dauergrünlandflächen für die Anlage (Daten: LfL/ILB)

| Standort der Anlage und Gemeinden im Einzugsgebiet | Landkreis | Entfernung zur Anlage (km) | Mögliche Lieferung an Substrat für Anlage (t/Gemeinde) | Ø Ertragsklasse Grünland |
|--|-------------------|----------------------------|--|--------------------------|
| Raisting | Weilheim-Schongau | 0,00 | 579 | 3,2 |
| Pähl | | 5,49 | 608 | 3,3 |
| Stadt Weilheim | | 6,95 | 937 | 2,8 |
| Wielenbach | | 7,13 | 905 | 3,0 |
| Dießen | Landsberg/Lech | 7,49 | 1.182 | 3,0 |
| Wessobrunn | Weilheim-Sch. | 7,75 | 1.180 | 2,8 |
| Andechs | Starnberg | 8,84 | 501 | 2,6 |
| Rott | Landsberg/Lech | 9,26 | 344 | 2,9 |
| Tutzing | Starnberg | 9,28 | 444 | 2,6 |
| Σ 6.680 | | | | |
| Hinterschmiding | Freyung-Grafenau | 0,00 | 626 | 1,8 |
| Grainet | | 4,41 | 613 | 1,9 |
| Stadt Freyung | | 4,95 | 764 | 2,0 |
| Phillipsreuth | | 6,89 | 89 | 1,2 |
| Hohenau/Lusen | | 7,36 | 890 | 2,0 |
| Mauth | | 8,76 | 416 | 1,5 |
| Stadt Waldkirchen | | 9,44 | 1236 | 2,2 |
| Haidmühle | | 9,96 | 317 | 1,0 |
| Σ 4.950 | | | | |
| Sandberg/Rhön | Rhön-Grabfeld | 0,00 | 704 | 1,7 |
| Burkardroth | Bad Kissingen | 5,86 | 501 | 2,0 |
| Riedenberg | | 6,67 | 107 | 1,8 |
| Bischofsheim/Rhön | Rhön-Grabfeld | 6,99 | 1332 | 1,8 |
| Geroda | Bad Kissingen | 8,25 | 864 | 1,9 |
| Schönau a.d. Brend | Rhön-Grabfeld | 9,31 | 59 | 1,9 |
| Wildflecken | Bad Kissingen | 9,79 | 395 | 1,7 |
| Bad Bocklet | | 9,87 | 285 | 2,1 |
| Σ 4.246 | | | | |

Tab. 29: Vergleich der Nährstoffversorgung der Grünlandflächen – dargestellt am prozentualen Anteil der Bodenproben mit suboptimaler Kalk, Phosphor und Kaliversorgung für Bayern, Regierungsbezirke und Landkreise (Datenquelle: LfL/IAB)

| | Probenzahl 2004-2009 | Anteil (%) der Bodenproben mit niedriger und sehr niedriger Versorgung | | |
|------------------|-------------------------|---|-----------|-----------|
| | | Kalk | Phosphor | Kali |
| Bayern | 513.766 | 27 | 46 | 30 |
| Oberbayern | 150.980 | 16 | 36 | 20 |
| Weilheim | 28.260 | 7 | 27 | 8 |
| Landsberg/Lech | 9.446 | 4 | 31 | 16 |
| Starnberg | 4.133 | 1 | 30 | 15 |
| Niederbayern | 55.697 | 55 | 52 | 32 |
| Freyung-Grafenau | 7.730 | 76 | 60 | 18 |
| Unterfranken | 22.157 | 36 | 58 | 44 |
| Rhön-Grabfeld | 2.714 | 25 | 54 | 41 |
| Bad Kissingen | 4.380 | 53 | 65 | 49 |

Um dennoch erste Aussagen für weitere Planungen zu ermöglichen, wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

- Wesentliche Grundlage für die nachfolgend getroffenen pflanzenbaulich-produktionstechnischen Aussagen waren Fachgespräche und Besichtigungen von Infrastruktur und Grünlandbeständen „Vor Ort“ in Zusammenarbeit mit den Pflanzenbau- und (teilw.) Landtechnikberatern der ÄELF Weilheim, Regen und Neustadt/Saale. Kernpunkte waren hierbei die Darstellung regionaler Standortbedingungen, Schätzungen zur Nutzungsintensität und zum Ertragspotenzial der betreffenden Grünlandflächen. Auch wurden Möglichkeiten des Baus einer grasdominierten Biogasanlage bzw. ihre Auswirkungen auf die Grünlandbewirtschaftung diskutiert
- Zur weiteren (groben) Abschätzung der Nutzungsintensität und des Ertragspotenzials in den Modellgebieten wurde zusätzlich eine LfL-interne Auswertung zu Grünland- und Futterbauerträgen in Bayern (Diepolder, Jakob, Halama, 2003) herangezogen
- Auswertungen des Instituts für Tierernährung (ITE/Moosmeyer) aus dem Datenmaterial von Futteruntersuchungen des LKV/Grub der Jahre 2005 – 2009 machten Aussagen zur realistisch erzielbaren Futterqualität in Grassilagen und Heu erst möglich
- Als Basis für Aussagen zur botanischen Zusammensetzung der Grünlandbestände in den Modellgebieten, zu Möglichkeiten und Grenzen ihrer Bewirtschaftung wurden aus dem Datensatz des LfL-Forschungsprojekts „Grünlandmonitoring Bayern“ (Kuhn et al., unveröffentlicht) insgesamt 252 der in den drei Untersuchungsgebieten vorhandenen Bestandsaufnahmen (pro Aufnahme 25 m² Fläche) am Institut für Agrarökologie ausgewertet (Kuhn und Heinz/IAB).

4.2 Ergebnisse und Diskussion

4.2.1 Standort Raisting

Standortcharakterisierung, Botanik und Leistungsfähigkeit der Pflanzenbestände

Die Grünlandflächen der Gemeinden des Einzugsgebietes um Raisting heben sich hinsichtlich der vorgefundenen Pflanzenbestände und ihres potenziellen Leistungsvermögens im Mittel deutlich von denen der übrigen Modellgebiete ab. So findet man häufig Weidelgraswiesen (ca. 25 % aller Aufnahmen) und ähnliche leistungsfähige Bestände, welche von Deutschem Weidelgras, teilweise Bastard-Weidelgras, Wiesenschwingel, Knaulgras und Weißklee dominiert werden. Eine ähnlich große Rolle spielen Wiesen mit Wiesenfuchsschwanz als Leitgras. Überwiegend wird die botanische Diversität von Kräutern bestimmt (vgl. Tab. 30), der Ertrag wird erwartungsgemäß jedoch in erster Linie (ca. 73 %) durch die Gräser gebildet. Eine gefundene Artenzahl von durchschnittlich 22 kann als typisch für mittel- bis intensiv genutztes Grünland in Bayern angesehen werden, wobei bei den einzelnen Aufnahmen eine große Schwankungsbreite von ca. 10 bis ca. 40 Arten zu verzeichnen war. Dies deutet auf unterschiedliche Einzelbestände hin.

Tab. 30: Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: 90 Bestandsaufnahmen)

| | | | |
|--|--------|---------|-------------|
| Gefundene Gesamtartenzahl (N = 90) | 198 | | |
| Artenzahl pro Aufnahme | 21,7 | | |
| | Gräser | Kräuter | Leguminosen |
| Zahl der Einzelarten | 56 | 132 | 10 |
| Relativ in Bezug auf Gesamtartenzahl (%) | 28 | 67 | 5 |
| Anteil in der Frischmasse (%) | 72,6 | 17,6 | 9,8 |

Mittelt man alle 90 Einzelaufnahmen im Einzugsgebiet (vgl. Tab. 31), hier: Darstellung der 25 Arten mit dem höchsten mittleren Ertragsanteil), so erkennt man die Dominanz von Wiesenfuchsschwanz und Wiesenrispe im dortigen Grünland, gefolgt von Gemeiner Rispe, Weißklee, Deutschem Weidelgras und Knaulgras. Dies weist darauf hin, dass viele Bestände schnitt- und düngungsverträglich sind und damit prinzipiell bei 3-4 möglichen Nutzungen ein hohes Ertragspotenzial und eine befriedigende bis gute Futterqualität erwarten lassen. Der vergleichsweise hohe Anteil an Gemeiner Rispe im Aufwuchs lässt jedoch darauf schließen, dass durchaus im Einzelfall noch Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Bewirtschaftung (keine überhöhte Nutzungsintensität, Vermeidung von Lückenbildung, bedarfsgerechte Düngung, regelmäßige Pflegemaßnahmen wie Übersaat und Nachsaat gerade bei Lückenbildung) bestehen.

Hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens – jedoch nicht im Ertragsanteil – seien noch der Rohrschwengel, der Löwenzahn und der Spitzwegerich erwähnt. Auch dies ist ein Indiz für unterschiedliche Standortvoraussetzungen und Wirtschaftsweisen, damit für unterschiedliche Bestände. So findet man im Untersuchungsgebiet auch wenig bis ungedüngte Extensivwiesen, reine Streuwiesen bzw. ausgesprochene Feuchtwiesen, was auch anhand des Arteninventars (Weiches Honiggras, Ruchgras, Pfeifengras) erkennbar ist.

Tab. 31: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Raisting – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 90 Bestandsaufnahmen (fett: Arten > 5 % Ertragsanteil und >70 % Häufigkeit)

| Rang nach Ertrag | Botanischer Name | Deutscher Name | Rel. Häufigkeit (%) | Mittlerer Ertragsanteil (%) |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. | <i>Alopecurus pratensis</i> | Wiesenfuchsschwanz | 76 | 12,3 |
| 2. | <i>Poa pratensis</i> | Wiesenrispe | 77 | 10,2 |
| 3. | <i>Poa trivialis</i> | Gemeine Rispe | 88 | 8,6 |
| 4. | <i>Trifolium repens</i> | Weißklee | 83 | 7,4 |
| 5. | <i>Lolium perenne</i> | Deutsches Weidelgras | 73 | 7,2 |
| 6. | <i>Dactylis glomerata</i> | Knaulgras | 73 | 6,7 |
| 7. | <i>Trisetum flavescens</i> | Goldhafer | 57 | 3,2 |
| 8. | <i>Taraxacum officinale</i> | Löwenzahn | 82 | 3,0 |
| 9. | <i>Ranunculus repens</i> | Kriechender Hahnenfuß | 68 | 2,6 |
| 10. | <i>Holcus lanatus</i> | Weiches Honiggras | 48 | 2,5 |
| 11. | <i>Festuca pratensis</i> | Wiesenschwingel | 50 | 2,5 |
| 12. | <i>Molinia caerulea</i> | Blaues Pfeifengras | 7 | 2,3 |
| 13. | <i>Anthoxanthum odoratum</i> | Ruchgras | 26 | 2,3 |
| 14. | <i>Elymus repens</i> | Gemeine Quecke | 27 | 2,2 |
| 15. | <i>Lolium hybridum</i> | Bastard-Weidelgras | 27 | 2,2 |
| 16. | <i>Trifolium pratense</i> | Wiesenrotklee | 59 | 1,9 |
| 17. | <i>Plantago lanceolata</i> | Spitzwegerich | 70 | 1,8 |
| 18. | <i>Bromus hordeaceus</i> | Weiche Tresse | 16 | 1,4 |
| 19. | <i>Festuca rubra</i> | Rotschwingel | 20 | 1,4 |
| 20. | <i>Carum carvi</i> | Wiesenkümmel | 42 | 1,2 |
| 21. | <i>Festuca arundinacea</i> | Rohrschwingel | 86 | 1,0 |
| 22. | <i>Ranunculus acris</i> | Scharfer Hahnenfuß | 65 | 0,9 |
| 23. | <i>Heracleum sphondylium</i> | Wiesen-Bärenklau | 31 | 0,9 |
| 24. | <i>Helictotrichon pubescens</i> | Wiesen-Flaumhafer | 11 | 0,9 |
| 25. | <i>Arrhenatherum elatius</i> | Glatthafer | 14 | 0,8 |

Tab. 32: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe in den Landkreisen Weilheim-Schongau, Starnberg und Landsberg/Lech (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort, interne Auswertung 2003)

| Landkreisebene | Ø regelmäßige Nutzungen pro Jahr | | | | |
|---|----------------------------------|-----|----|-------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Anteil an der Grünlandfläche (%) | | | | | |
| Weilheim-Schongau | 10 | 10 | 30 | 45 | 5 |
| Starnberg | 5 | 25 | 30 | 35-40 | < 3 |
| Landsberg/Lech | < 3 | < 5 | 20 | 70 | 1 |
| Jahresertrag (dt TM/ha) | | | | | |
| Weilheim-Schongau | 25 | 55 | 80 | 100 | 110 |
| Starnberg | 35 | 60 | 85 | 105 | 110 |
| Landsberg/Lech | 60 | 70 | 85 | 100 | 115 |

Tab. 33: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Standort | Nutzungsintensität, Jahresertrag und ggf. prozentuale Verteilung auf einzelne Aufwüchse |
| Raisting/Übergang zum Weilheimer Moos | Ca. 60-70 dt TM/ha bei 3-4 Schnitten; max. 80 dt TM/ha bei (sehr wenigen) Flächen mit vier Nutzungen pro Jahr Bei nicht/wenig gedüngten Flächen bei 2 Schnitten ca. 20-40 dt TM/ha |
| Wessobrunn | Hier teilweise viermalige Schnittnutzung möglich, jedoch gesperrte Forststraßen, dadurch lange Anfahrtswege |
| Andechs | 4 Schnitte mit ca. 85-90 dt TM/ha Jahresertrag; Prozentuale Verteilung des Jahresertrages auf die Schnitte: 40:30:20:10, jedoch „Milchviehgrünland“ |
| Einzugsgebiet Raum Raisting | 3 Schnitte auf den meisten Flächen realisierbar mit Erträgen von ca. 70 dt TM/ha , bei einer prozentualen Verteilung des Jahresertrags auf die Schnitte von ca. 45:40:15 |

Tab. 34: Futteruntersuchungen von Grassilagen im Einzugsgebiet Raisting (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittelwerte der Jahre 2005 – 2009)

| Grassilage | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3.-5. Schnitt |
|---------------------------------|------------|------------|---------------|
| Anzahl Proben (n) | 251 | 129 | 153 |
| TM (g/kg Frischmasse) | 381 | 382 | 364 |
| Rohasche (g/kg TM) | 92 | 109 | 124 |
| Rohprotein (g/kg TM) | 158 | 163 | 177 |
| Rohfaser (g/kg TM) | 233 | 239 | 221 |
| Rohfett (g/kg TM) | 36 | 33 | 37 |
| Energiedichte in ME (MJ/kg TM) | 10,51 | 9,80 | 9,33 |
| Energiedichte in NEL (MJ/kg TM) | 6,32 | 5,81 | 5,92 |

Insgesamt deuten damit die botanische Ansprache als auch eine grobe Abschätzung der Grünlanderträge in der Region (Landkreisebene, vgl. Tab. 32 und im definierten Untersuchungsgebiet (vgl. Tab. 33) sowie der untersuchten Silageproben (vgl. Tab. 34) auf ein vergleichsweise überwiegend leistungsfähiges Grünland mit gutem Ertrags- und Qualitätspotenzial hin. Dies wird auch durch die Einbeziehung der Nährstoffversorgung (vgl. auch Tab. 29) als der Standortgüte (vgl. Tab. 28) bestätigt. So beträgt die nach Tab. 28 grob gemittelte durchschnittliche Ertragsklasse für Dauergrünland im Einzugsgebiet ca. 2,9 bei einer Spannweite zwischen den Gemeinden von 2,6 und 3,3 (zum Vergleich: Oberbayern 2,8 und Bayern 2,6). Sie liegt damit weitaus höher als z. B. bei den beiden anderen Modellgebieten Hinterschmiding (1,0 - 2,2) und Sandberg/Rhön (1,7 - 2,1).

Zu beachten ist dabei jedoch, dass für eine weitere Prüfung der Eignung des Einzugsgebietes um Raisting als möglicher Standort einer Biogasanlage sowohl die groben und nicht einheitlichen Schätzungen zu den Erträgen (vgl. Tab. 32 und Tab. 33) unbedingt durch mehrjährige Messergebnisse validiert werden sollten. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die in Tabelle 34 genannten Qualitätsergebnisse in der überwiegenden Zahl der Fälle von Milchviehbetrieben stammen und nur äußerst eingeschränkt auf die in Frage kommenden Grünlandflächen im Einzugsgebiet übertragen werden können. So erwies sich gerade die Besichtigung der Gemeindeflächen zusammen mit Kollegen des AELF Weilheim als wichtiges Kriterium für weitere Diskussionen und Planungen. Gewonnene Eindrücke mögen auch die Abbildungen 9 bis 16 auf den folgenden Seiten dokumentieren.

Weitere Aspekte zum Einzugsgebiet Raisting – Ergebnisse der Besichtigung vor Ort

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist damit zu rechnen, dass evtl. erheblich weniger geeignete Grünlandflächen für eine Verwertung zur Verfügung stehen als bei der ersten Gebietsfestlegung – welche dieser Studie zu Grunde liegt – angenommen wurde. Dies soll im Einzelnen noch kurz skizziert werden, soweit noch nicht in Tab. 33 eigens aufgeführt:

- **Pähl:** Hier werden die Grünlandflächen von den Landwirten stark für die Milchviehhaltung (Neubauten) nachgefragt. Diese pachten sogar die besseren befahrbaren Flächen im Weilheimer Moos (Nähe Raisting) zu. Gegenwärtig dürfte daher das Grünland dieser Gemeinde für die Biogasnutzung kaum zur Verfügung stehen
- **Wielenbach:** Hier ist bereits eine Biogasanlage vorhanden, eine Erweiterung ist geplant, der Landwirt pachtet alle verfügbaren Flächen vor Ort

- **Weilheim:** Ein dortiger Milchviehbetrieb pachtet extensiv genutzte Flächen zu und liefert u.a. Heu nach Südtirol. Weiterhin Naturschutzgebiet im Weilheimer Moos
- **Dießen:** Weitere Flächen evtl. in Richtung Dietenschwang verfügbar
- **Direkte Umgebung von Raisting mit Verlandungszone des Ammersees und Übergang zum Weilheimer Moos:** Die Flächen sind moorig und vernässt, was eine eingeschränkte Befahrbarkeit und starke Witterungsabhängigkeit bedeutet. Gerade dies steht einer vom Pflanzenbestand (Fuchsschwanzwiesen) her möglichen Eignung entgegen. Zudem ist eine Silageernte mit moderner, leistungsfähiger Technik und schweren Geräten vermutlich nur in geringem Umfang möglich. Teilweise sind die Zufahrten zu den Mooswiesen zu schmal und instabil. Die Gefahr von Narbenverletzungen, Ertrags-einbußen und schlechter Futterqualität ist in besonderem Maße gegeben. Eine Ernte wäre demnach meistens nur mit Ladewagen oder Ballenpresse realisierbar.

Fazit

Insgesamt ist zu vermuten, dass die gegenwärtig für eine Biogasanlage in Raisting zur Verfügung stehenden Flächen sich auf den engeren Umgriff um die Gemeinde selbst beschränken und nur rund 300 - 400 ha betragen würde (entsprechend ca. 2 000 - 2 800 t TM, bei 7 t TM/ha). Dies bedeutet zwar eine erhebliche Einschränkung gegenüber der ursprünglichen Planung (vgl. Tab. 28), dennoch könnte damit nach vorsichtiger Einschätzung des örtlichen Landtechnikberaters eine 250 kW Anlage betrieben werden, wobei zusätzlich zum Grünlandssubstrat die anfallende Gülle einiger Milchviehhalter vor Ort nötig wäre.

Aus Analysen der Pflanzenbestände, der erzielten Futterqualität sowie aus den Ertrags-schätzungen geht hervor, dass Raisting von allen drei Modelgebieten prinzipiell am besten für eine Intensivierung geeignet wäre. Aussagen darüber, in welchem Umfang eine Produktion von Biogas aus Gras in diesem Gebiet möglich ist, erfordern jedoch weitere detailliertere Untersuchungen, die im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie nicht geleistet werden können. Dies umfasst neben einer flächengenauen Kartierung der Grünlandbestände auch deren Überprüfung auf ihre Intensivierungseignung, insbesondere was bestehende förderrechtliche Nutzungseinschränkungen (KuLaP, VNP, Schutzgebiete) sowie Möglichkeiten und Grenzen der Erntelogistik betrifft.



Abb. 9: Übergang zum Weilheimer Moos, teilweise ist noch Ackernutzung möglich



Abb. 10: Arrundierte Flächen. gutes Wegenetz mit größtenteils geteerten Feldwegen, jedoch schmale Zufahrten zu den Flächen im Weilheimer Moos



Abb. 11: Kaum gedüngte, krautreiche Extensivflächen in der Nähe von Raisting



Abb. 12: Ruchgras – Anzeiger für magere Standorte mit extensiver Nutzung



Abb. 13: Extensive Grünlandnutzung am Übergang zum Weilheimer Moos



Abb. 14: Artenvielfalt auf engstem Raum



Abb. 15: Fuchsschwanzwiesen im Weilheimer Moos – Intensivierung wäre prinzipiell möglich, jedoch ist die Anzahl der Überfahrten aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen häufig eingeschränkt



Abb. 16: Mooswiesen – Probleme mit Vernässung, Befahrbarkeit, Narbenverletzung

4.2.2 Standort Hinterschmiding

Standortcharakterisierung, Botanik und Leistungsfähigkeit der Pflanzenbestände

Viele Grünlandflächen des Inneren Bayerischen Waldes, in dem auch das Einzugsgebiet Hinterschmiding liegt, sind im Hinblick auf eine leistungsorientierte, grobfutterbasierte Milchviehhaltung als Grenzstandorte der Grünlandnutzung zu werten. Dies verdeutlicht bereits ein Vergleich der mittleren Ertragsklassen, welche für die einzelnen Gemeinden des Einzugsgebietes mit 1,0 - 2,2 angegeben wird (vgl. Tab. 28) und – grob gemittelt – insgesamt ca. 1,7 beträgt. Im Vergleich dazu liegt die mittlere Ertragsklasse für Dauergrünland in Niederbayern bei 2,4 und in Oberbayern bei 2,8 (Bayern 2,6). Auch die Nährstoffversorgung des Wirtschaftsgrünlandes zeigt häufig suboptimale Voraussetzungen für ein hohes Ertragspotenzial. So sind rund drei Viertel der Grünlandböden im Landkreis Freyung-Grafenau mehr oder weniger stark kalkbedürftig, 60 % weisen eine suboptimale Phosphatversorgung auf. Die Ursachen sind zum einen geogen bedingt (saure Urgesteinsböden), deuten aber auch auf eine vergleichsweise extensive Bewirtschaftung hin.

Im Mittel der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Aufnahmen zeigen sich die Bestände bei rund 24 gefundenen Arten pro Bestandsaufnahme (vgl. Tab. 35) insgesamt artenreicher als in der Gegend um Raisting (22 Arten). Die große Streuung zwischen Beständen mit rund 15 Arten pro Aufnahme und solchen, wo ca. 30 - 35 Arten gefunden wurden, dokumentiert die botanische Diversität der dortigen Wiesen und Weiden, zu der am meisten die Artengruppe der Kräuter beiträgt. Bei den Kräutern dominieren Löwenzahn und Spitzwegerich, in vielen Beständen sind auch Scharfer Hahnenfuß und der Große Sauerampfer vertreten. Insgesamt nehmen die Kräuter in den Höhenlagen des Inneren bayerischen Waldes mit rund 24 % einen deutlich höheren Masseanteil ein als in Raisting (18 %).

Tab. 35: *Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: 24 Bestandsaufnahmen)*

| | | | |
|--|--------|---------|-------------|
| Gefundene Gesamtartenzahl (N = 24) | 94 | | |
| Mittlere Artenzahl pro Aufnahme | 23,9 | | |
| | Gräser | Kräuter | Leguminosen |
| Zahl der Einzelarten | 27 | 61 | 6 |
| Relativ in Bezug auf Gesamtartenzahl (%) | 29 | 65 | 6 |
| Anteil in der Frischmasse (%) | 65,9 | 25,2 | 8,9 |

Aus den botanischen Aufnahmen ergibt sich folgendes Bild: In Hinterschmiding findet man auf extensiveren Standorten (1 - 2 Nutzungen pro Jahr) häufig ertragsarme Rotstraußgras-Rotschwingel-Wiesen. Auf den etwas besseren Standorten (2 - 3 Nutzungen pro Jahr) treten Glatthafer-Wiesen auf, die mit zunehmender Meereshöhe vom Typus der Goldhaferwiese abgelöst werden, so dass in der Region der Goldhafer als Leitgras nach dem Wiesenfuchsschwanz die wichtigste Rolle spielt. Dies spiegelt sich auch insgesamt im Mittel aller Aufnahmen (vgl. Tab. 36) wider. Wiesen mit hohen Anteilen an Fuchsschwanz, z. T. vergesellschaftet mit Knautgras, erlauben drei Nutzungen pro Jahr und sind auch in gewissem Masse intensivierungsfähig, so dass teilweise auch 3 - 4 Schnitte erzielt werden können.

Tab. 36: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Hinterschmiding – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 24 Bestandsaufnahmen (fett: Arten mit einem Ertragsanteil > 5 % bzw. Häufigkeit > 70 %)

| Rang nach Ertrag | Botanischer Name | Deutscher Name | Rel. Häufigkeit (%) | Mittlerer Ertragsanteil (%) |
|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. | Alopecurus pratensis | Wiesenfuchsschwanz | 83 | 13,3 |
| 2. | Trisetum flavescens | Goldhafer | 54 | 11,1 |
| 3. | Dactylis glomerata | Knaulgras | 88 | 8,9 |
| 4. | Trifolium repens | Weißklee | 96 | 6,8 |
| 5. | Elymus repens | Gemeine Quecke | 54 | 6,8 |
| 6. | Agrostis capillaris | Rotes Straußgras | 46 | 6,6 |
| 7. | Taraxacum officinale | Löwenzahn | 92 | 5,2 |
| 8. | Plantago lanceolata | Spitzwegerich | 83 | 4,6 |
| 9. | Festuca rubra | Rotschwingel | 46 | 4,3 |
| 10. | Poa pratensis | Wiesenrispe | 58 | 2,7 |
| 11. | Arrhenatherum elatius | Glatthafer | 25 | 2,5 |
| 12. | Poa trivialis | Gemeine Rispe | 54 | 2,2 |
| 13. | Deschampsia cespitosa | Rasenschmiele | 29 | 2,1 |
| 14. | Trifolium pratense | Wiesenrotklee | 71 | 2,0 |
| 15. | Aegopodium podagraria | Giersch | 54 | 1,8 |
| 16. | Rumex acetosa | Großer Sauerampfer | 83 | 1,5 |
| 17. | Ranunculus acris | Scharfer Hahnenfuß | 83 | 1,5 |
| 18. | Anthriscus sylverstris | Wiesenkerbel | 38 | 1,4 |
| 19. | Alchemilla vulgaris | Schafgarbe | 79 | 1,3 |
| 20. | Juncus filiformis | Faden-Binse | 4 | 1,3 |
| 21. | Anthoxantum odoratum | Ruchgras | 38 | 1,2 |
| 22. | Rumex obtusifolius | Stumpfbältriger Ampfer | 54 | 1,0 |
| 23. | Festuca pratensis | Wiesenschwingel | 29 | 0,9 |
| 24. | Hypericum maculatum | Geflecktes Johanniskraut | 25 | 0,81 |
| 25. | Heracleum sphondylium | Wiesen-Bärenklau | 63 | 0,70 |

Tab. 37: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe im Landkreis Freyung-Grafenau (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort, interne Auswertung 2003)

| Landkreisebene | Ø regelmäßige Nutzungen pro Jahr | | | | |
|---|----------------------------------|----|-----------|-----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Anteil an der Grünlandfläche (%) | | | | | |
| Freyung-Grafenau | 5 | 20 | 60 | 15 | - |
| Jahresertrag (dt TM/ha) | | | | | |
| Freyung-Grafenau | 45 | 60 | 80 | 100 | - |

Tab. 38: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010)

| | Ø regelmäßige Nutzungen pro Jahr | | | | |
|---|----------------------------------|-------|--------------|-------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Anteil an der Grünlandfläche (%) | ? | < 15 | 70-80 | < 10 | - |
| Jahresertrag (dt TM/ha) | ? | 50-60 | 70 | 80-90 | - |
| Ertragsanteil 1. Schnitt (%) | | 60 | 50 | 40 | - |
| Ertragsanteil 2. Schnitt (%) | | 40 | 30 | 30 | - |
| Ertragsanteil 3. Schnitt (%) | | - | 20 | 20 | - |
| Ertragsanteil 4. Schnitt (%) | | - | - | 10 | - |

Tab. 39: Futteruntersuchungen von Grassilagen im Einzugsgebiet Hinterschmiding (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittel der Jahre 2005-2009)

| Grassilage | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3.-5. Schnitt |
|---------------------------------|------------|------------|---------------|
| Anzahl Proben (n) | 34 | 16 | 16 |
| TM (g/kg Frischmasse) | 313 | 360 | 394 |
| Rohasche (g/kg TM) | 114 | 128 | 135 |
| Rohprotein (g/kg TM) | 145 | 161 | 170 |
| Rohfaser (g/kg TM) | 250 | 237 | 221 |
| Rohfett (g/kg TM) | 36 | 33 | 34 |
| Energiedichte in ME (MJ/kg TM) | 10,05 | 9,61 | 9,67 |
| Energiedichte in NEL (MJ/kg TM) | 6,00 | 5,70 | 5,75 |

Nach Auskunft der regionalen Pflanzenbauberatung des AELF Regen werden im Einzugsgebiet von den Grünlandflächen überwiegend 2 - 3 Schnitte genommen. Dies auch aufgrund des sehr hohen Anteils an Grünland mit KuLaP-Auflagen mit Mineraldünger-Verzicht (A 22/A 23) und Betrieben mit einer Viehdichte von unter 1,4 GV/ha. Vier Nutzungen pro Jahr mit Erträgen von über 80 dt TM/ha bilden die Ausnahme (vgl. auch Tab. 38 und Tab. 40). Einer Intensivierung bis hin zu 4 Nutzungen stehen nicht nur ökonomische Aspekte (ausreichend verfügbare Flächen, Verzicht auf Einkommen aus KuLaP oder VNP-Maßnahmen) sondern auch pflanzenbauliche Erwägungen gegenüber. Aus Beratungssicht wird auf mögliche negative Bestandsveränderungen (Lücken, Verunkrautung) hingewiesen, aus der sich die Notwendigkeit von regelmäßigen Nachsaaten mit geeigneten standortangepassten Sorten und Mischungen ableitet.

Insgesamt kann für weitere Kalkulationen davon ausgegangen werden, dass mindestens 75 % der Flächen im Einzugsgebiet drei Nutzungen pro Jahr und einen mittleren Jahresertrag von ca. 70 dt TM/ha erlauben (vgl. auch Tab. 38 und Tab. 40). Der erste Schnitt, welcher häufig aus Qualitätsgründen schon früh erfolgt, dürfte dabei ca. 50 % des Jahresertrags ausmachen. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich auch noch befriedigende Futterqualitäten (vgl. Tab. 40) des ersten Schnittes erzielen, wobei dieser jedoch bei höheren Rohfasergehalten hinsichtlich der Rohprotein- und Energiekonzentration im Durchschnitt unter den im Einzugsgebiet Raisting gemessenen Werten liegt.

Weitere Aspekte zum Einzugsgebiet Hinterschmiding

Nachfolgend werden aus den Eindrücken (vgl. auch Abb. 17 - 22) einer Rundfahrt zusammen mit dem Pflanzenbauberater des AELF Regen zusätzliche Aspekte stichpunktartig aufgeführt, die zu einer weiteren Diskussion über die Machbarkeit einer Biogasanlage mit Grünland als Substrat beitragen könnten.

- **Hinterschmiding als Standort der Anlage:** Zentrale Lage mit guter Verkehrsanbindung. Bergige Landschaft, jedoch liegt das Einzugsgebiet rund um Hinterschmiding auf einem Plateau, welches durch eine gut ausgebaute Ringstraße mit wenig Höhenunterschieden verbunden ist. Allerdings muss die Erntelogistik hauptsächlich auf dieser Ringstraße verlaufen, da im Einzugsgebiet das Verkehrsnetz topographisch bedingt nicht optimal ausgebaut ist und sich aufgrund der nur wenigen vorhandenen Nebenstrecken weite Anfahrtswege ergeben. Homogene Agrarstrukturen mit arrondierten Flächen (vgl. auch Abb. 17). Sandige Flächen, die schnell abtrocknen und im Frühjahr vergleichsweise zeitig befahren werden können. Keine Beschränkungen in der Wirtschaftsdüngerbringung, jedoch sehr hoher Anteil des Grünlands mit KuLaP-Auflagen. Vorwiegend 2 - 3 Nutzungen pro Jahr. Pachtpreise für Grünland von ca. 200 - 300 €/ha
- **Oberseilberg:** Arrondierte Lagen
- **Grainet:** Schlechterer Standort als Hinterschmiding, steile Lagen
- **Vorderfreundorf:** Gute Verkehrsanbindung, alte geschützte Strukturelemente (vgl. auch Abb. 19)
- **Altreichenau:** 15 km Anfahrt nach Hinterschmiding auf der Ringstraße, Streulagen, teilweise sehr extensive Bewirtschaftung. Verzögerter Schnitzeitpunkt im Vergleich zu den meist intensiver genutzten Flächen im Einzugsgebiet. Hier müsste die gesamte Erntekette extra für die nur geringen Erträge eigens aufgebaut werden; d.h. weniger interessant für Lohnunternehmer. Zu prüfen wäre evtl. die Ernte mit Quaderballen, welche dezentral gelagert und erst bei Bedarf mit großen Transporteinheiten abgefahren werden
- **Haidmühle Bischofsreuth, Philippsreuth:** Sehr extensive Grünlandnutzung ohne Milchvieh, Mutterkuhhaltung, teilweise nur eine Mahd möglich bzw. durchgeführt (vgl. hierzu auch Abb. 20 - 21)
- **Mauth:** Eignung für Ballensilage wie bei Altreichenau, Richtung Finsterau viele Kleinstflächen und Nasswiesen ohne Eignung für moderne landwirtschaftliche Bewirtschaftung
- **Neureimundsreuth:** 2 - 3 Schnitte, Düngung als begrenzender Faktor; ähnlich wie in Hinterschmiding wären 3 Schnitte möglich
- **Hohenau/ Schönbrunnhäuser:** Grenze des Maisanbaus, Grünland mit 3 Nutzungen, **Biogasanlage in Entstehung**, (vermutlich mit Grasvergärung)
- **Freyung und Waldkirchen:** Günstigere Lagen, intensiver bewirtschaftet, z. T. auch Silomaisanbau; gegenwärtig vermutlich wenig Fläche für Biogasnutzung übrig.

Fazit

Von allen drei Modellgebieten scheint Hinterschmiding nach gegenwärtigem Kenntnisstand am vielversprechendsten für weitere konkretere Überlegungen zum Bau einer Biogasanlage auf Grasbasis zu sein. Hierfür sprechen das mittlere Ertragsniveau (3 Schnitte bei mittleren Jahreserträgen von ca. 70 dt TM/ha) und die passable Futterqualität vieler Flächen des Wirtschaftsgrünlandes, eine sinnvolle Verwertung von Extensivgrünland sowie eine relativ günstige Infrastruktur (Ringstraße).

Genau zu prüfen bleibt allerdings, ob und in welchem Umfang sehr extensiv genutzte und weiter abgelegene Grünlandflächen einbezogen können. Hier sind weitere Untersuchungen, insbesondere was den Umfang, den Ertrag und die Qualität (keinerlei Daten) sowie die Möglichkeit einer zulässigen oder sinnvollen Intensivierung (Schutzstatus, Biodiversität, Erntelogistik) betrifft.

Auch für die standortüblichen mittelintensiv genutzten Grünlandflächen (2-3 Schnitte) bleibt künftig genau zu überprüfen, ob und inwieweit eine Intensivierung (Anhebung von Ertrag und Nutzungshäufigkeit durch Verbesserung der Düngung und Nachsaaten) ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist, ohne Nachhaltigkeit und Landschaftsbild zu gefährden. Eine generelle Erhöhung der Nutzungsintensität wird sowohl aus pflanzenbaulicher und ökologischer Sicht kritisch beurteilt als auch unter dem Aspekt, dass sich ggf. bei dem Einsatz ertragssteigernder Produktionsmittel (Mineraldünger, chemischer Pflanzenschutz) trotz des Zusatzeinkommens aus der Biogaserzeugung insgesamt nachteilige ökonomische Effekte ergeben könnten.

Ein überlegenswerter Ansatz besteht damit in der Aufrechterhaltung einer standortangepassten weitgehend mittelintensiven Grünlandwirtschaft unter Ausschöpfungen landwirtschaftlicher Förderprogramme in Verbindung mit der Verwertung von aus der Milchviehhaltung freiwerdenden Grünlandflächen durch eine Biogasanlage.



Abb. 17: Blick auf Hinterschmiding – Zentrale Lage mit guter Verkehrsanbindung



*Abb. 18: Eine Nutzungsintensivierung (mehr als 3 Schnitte) ist problematisch – Lückens-
bildung und überhöhter Kräuteranteil wären zu befürchten*



Abb. 19: Erhaltene Strukturelemente (Terrassen) bei Vorderfreundorf



Abb. 20: Flächen mit sehr extensiver Nutzung in Bereich Haidmühle-Phillippsreuth



Abb. 21: Extensivste Bewirtschaftung – der 2. Aufwuchs bleibt liegen



Abb. 22: Standorttypisches Wirtschaftsgrünland mit Wiesenfuchsschwanz, Goldhafer und Knautgras als Hauptbestandbildner bei 3 Schnitten – Fläche bei Hohenau

4.2.3 Standort Sandberg/Rhön

Standortcharakterisierung, Botanik und Leistungsfähigkeit der Pflanzenbestände

Viele der Grünlandflächen des Einzugsgebietes sind Grenzstandorte. Die Ertragsmesszahl der Gemeinden reicht von 1,7 bis 2,1 und liegt – grob gemittelt – mit rund 1,9 auf ähnlicher Höhe wie die von Unterfranken, jedoch weit unter dem bayerischen Durchschnitt (2,6). Auch die Nährstoffversorgung des Wirtschaftsgrünlandes zeigt häufig suboptimale Voraussetzungen für ein hohes Ertragspotenzial an, wie Tab. 29 entnommen werden kann.

Mit rund 28 gefundenen Arten pro 25 m²-Aufnahme (vgl. Tab. 40) weist das Grünland um Sandberg von allen drei Modellgebieten im Mittel den größten Artenreichtum pro Fläche auf. Die große Streuung zwischen Beständen mit rund 15 - 20 Arten pro Aufnahme und solchen, wo ca. 30 - 40 Arten gefunden wurden, dokumentiert die botanische Diversität der dortigen Wiesen und Weiden, zu der auch hier am meisten die Artengruppe der Kräuter beiträgt. Der Anteil der Kräuter in der Frischmasse liegt etwas höher als in Hinterschmiding und deutlich höher als in Raisting.

Tab. 40: *Gefundene Artenzahlen und Anteil der Artengruppen in der Frischmasse im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: 30 Bestandsaufnahmen)*

| | | | |
|--|--------|---------|-------------|
| Gefundene Gesamtartenzahl (N = 30) | 139 | | |
| Mittlere Artenzahl pro Aufnahme | 27,7 | | |
| | Gräser | Kräuter | Leguminosen |
| Zahl der Einzelarten | 43 | 84 | 12 |
| Relativ in Bezug auf Gesamtartenzahl (%) | 31 | 60 | 9 |
| Anteil in der Frischmasse (%) | 65,9 | 28,1 | 6,0 |

Im Untersuchungsgebiet findet man auf sauren Böden meist Pflanzenbestände, welche von Rotschwingel und Rotem Straußgraswiesen dominiert werden. Auch Tab. 43, wo die Ergebnisse der 30 in der Region vorhandenen Bestandsaufnahmen gemittelt und nach dem Ertragsanteil der Einzelarten sortiert wurden, belegt die Bedeutung von Rotem Straußgras, einem wichtigen Futtergras von Bergwiesen, Bergweiden und Magerrasen.

Auf den besseren Böden treten oft Glatthaferwiesen auf, wie auch in Tab. 41 an den überdurchschnittlichen Mittelwerten von Glatthafer und Wiesenschwingel und Knaulgras erkennbar. In den Tallagen findet man dagegen Fuchsschwanzwiesen und ausgesprochene Feuchtwiesen, erkennbar z. B. an dem Vorkommen von Mädessüß, Großem Wiesenknopf, Seggenarten und Wiesenknöterich (vgl. Tab. 41).

Überwiegend wird das Grünland im Untersuchungsgebiet nur einmal, höchstens zweimal im Jahr genutzt. Bei fehlender oder kaum vorhandener Düngung dürfte nach Erfahrung des Pflanzenbauberaters des AELF Neustadt/Saale das Ertragsniveau ca. 15 - 20 dt TM/ha meist nicht übersteigen. Vorherrschend in den Berggebieten der hohen Rhön ist die (geförderte) Schafbeweidung. Das Heu der artenreichen, kräuterbetonten Bestände der Hochlagen wird als „Bergheu“ v. a. nach Holland verkauft. Gegenwärtig hat die Bewirtschaftung vieler Flächen der Hohen Rhön ihre Perspektive in der Heuwerbung. Zudem sind viele Flächen einfach nicht silagefähig und auch nicht intensivierungsfähig.

Tab. 41: Bestandsprägende Einzelarten im Einzugsgebiet Sandberg – Häufigkeit des Auftretens und mittlerer Anteil in der Frischmasse bei 30 Bestandsaufnahmen (fett: Arten mit einem Ertragsanteil > 5 % bzw. Häufigkeit > 70 %)

| Rang nach Ertrag | Botanischer Name | Deutscher Name | Rel. Häufigkeit (%) | Mittlerer Ertragsanteil (%) |
|------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. | Agrostis capillaris | Rotes Straußgras | 43 | 8,0 |
| 2. | Alopecurus pratensis | Wiesenfuchsschwanz | 77 | 7,4 |
| 3. | Dactylis glomerata | Knaulgras | 80 | 7,2 |
| 4. | Arrhenatherum elatius | Glatthafer | 60 | 6,4 |
| 5. | Festuca pratensis | Wiesenschwingel | 73 | 6,0 |
| 6. | Holcus lanatus | Wolliges Honiggras | 70 | 4,0 |
| 7. | Festuca rubra | Rotschwingel | 67 | 3,3 |
| 8. | Plantago lanceolata | Spitzwegerich | 70 | 3,2 |
| 9. | Trifolium repens | Weißklee | 63 | 3,0 |
| 10. | Phleum pratense | Wiesenlieschgras | 50 | 2,9 |
| 11. | Trisetum flavescens | Goldhafer | 50 | 2,8 |
| 12. | Agrostis stolonifera | Flecht-Straußgras | 37 | 2,5 |
| 13. | Taraxacum officinale | Löwenzahn | 73 | 2,3 |
| 14. | Ranunculus acris | Scharfer Hahnenfuß | 77 | 2,2 |
| 15. | Trifolium pratense | Wiesen-Rotklee | 70 | 2,2 |
| 16. | Anthoxantum odoratum | Ruchgras | 64 | 2,1 |
| 17. | Filipendula ulmaria | Mädesüß | 33 | 1,9 |
| 18. | Carex acutiformis | Sumpf-Segge | 10 | 1,8 |
| 19. | Sanguisorba officinalis | Großer Wiesenknopf | 57 | 1,8 |
| 20. | Bistorta officinalis | Wiesen-Knöterich | 37 | 1,7 |
| 21. | Ranunculus repens | Kriechender Hahnenfuß | 33 | 1,4 |
| 22. | Lolium perenne | Deutsches Weidelgras | 7 | 1,4 |
| 23. | Heracleum sphondylium | Wiesen-Bärenklau | 43 | 1,4 |
| 24. | Deschampsia caespitosa | Rasenschmiele | 53 | 1,4 |
| 25. | Poa trivialis | Gemeine Risppe | 57 | 1,3 |

Tab. 42: Schätzungen zur Nutzungsintensität und Ertragshöhe in den Landkreisen Rhön-Grabfeld und Bad Kissingen, (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, interne Auswertung 2003)

| Landkreisebene | Ø regelmäßige Nutzungen pro Jahr | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|-------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Anteil an der Grünlandfläche (%) | | | | | |
| Rhön-Grabfeld | 40 | 40-45 | 15-20 | < 1 | < 1 |
| Bad Kissingen | 30 | 55-60 | 15-20 | < 1 | < 1 |
| Jahresertrag (dt TM/ha) | | | | | |
| Rhön-Grabfeld | 15-20 | 35 | 40-45 | - | - |
| Bad Kissingen | 15-20 | 40 | 60 | - | - |

Tab. 43: Schätzungen und Anmerkungen zur Nutzungsintensität, Ertragshöhe und Ertragsverteilung im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: Expertenwissen LfL und Landwirtschaftsberater vor Ort; Mai 2010)

| | Ø regelmäßige Nutzungen pro Jahr | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|------|---|---|
| | 1 | 1-2 | 3 | 4 | 5 |
| Anteil an der Grünlandfläche (%) | 60-65 | 30 | < 10 | 0 | 0 |
| Jahresertrag (dt TM/ha) | 15-20 | 20 | 70 | - | - |
| Ertragsanteil 1. Schnitt (%) | 100 | 70-80 | 60 | | |
| Ertragsanteil 2. Schnitt (%) | | 20-30 | 25 | | |
| Ertragsanteil 3. Schnitt (%) | | | 15 | | |

Tab. 44: Futteruntersuchungen von Grassilagen und Heu im Einzugsgebiet Sandberg (Datengrundlage: Ergebnisse Grub, LKV/ITE; Mittelwerte 2005–2009)

| Grassilage | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3.-5. Schnitt |
|---------------------------------|------------|------------|---------------|
| Anzahl Proben (n) | 53 | 27 | 20 |
| TM (g/kg Frischmasse) | 346 | 384 | 364 |
| Rohasche (g/kg TM) | 98 | 102 | 126 |
| Rohprotein (g/kg TM) | 139 | 148 | 151 |
| Rohfaser (g/kg TM) | 254 | 247 | 229 |
| Rohfett (g/kg TM) | 32 | 32 | 35 |
| Energiedichte in ME (MJ/kg TM) | 10,12 | 9,67 | 9,50 |
| Energiedichte in NEL (MJ/kg TM) | 6,05 | 5,72 | 5,63 |

Viele Flächen gerade in den Höhenlagen des Einzugsgebiets sind nicht nur wegen ihrer sehr geringen Erträge bei den möglichen 1 - 2 Nutzungen (Höhenlage, ungünstige Niederschlagsverteilung und fehlende Düngung) sondern insbesondere auch aufgrund ihrer bergigen Lage sowie der schlechten Infrastruktur (enge und unzureichend ausgebaute Straßen) nicht silierfähig.

Sie dürften auch in vielen Fällen nicht intensivierungsfähig sein. So liegen weite Teile der Gesamteinzugsgebietsfläche (ca. 80 %) im Biosphärenreservat Rhön, in dessen Kernzone nur 1 Mahd möglich ist. Teile liegen im Naturschutzgebiet Hohe Rhön und Schwarzenberg. Hier ist z. B. die Gülleausbringung untersagt.

Da u. a. der Erhalt der artenreichen Extensivwiesen das Ziel von Förderprogrammen ist und maßgeblich zum Landschaftscharakter der Rhön – damit verbunden zu ihrer touristischen Attraktivität – beiträgt, stünden einer ggf. teilweise erforderlichen Intensivierung des Grünlands erhebliche Einschränkungen in der Produktionstechnik gegenüber. Den Umfang dieser Einschränkungen (Flächen mit Schutzgebietsstatus, Schnittzeitpunkte, Düngeverbote) gälte es konkret zu überprüfen, sollte der Bau einer Biogasanlage in Sandberg weiter erwogen werden. Selbst wenn eine Ausbringung von Gärresten rein rechtlich möglich wäre, schränkt die steile Lage vieler Fläche und die ungünstige Infrastruktur die Verwendung überbetrieblicher schwerer Technik stark ein. Diese wäre jedoch aus Emissionsgründen notwendig (Tourismus). Einschränkungen ergäben sich auch hinsichtlich des Ausbringzeitraums der Gärreste, da viele Flächen erst ab Mitte April befahren werden können.

Ein geringer Teil des Grünlands in der Region erlaubt eine 2- bis 3-malige Nutzung. Er beschränkt sich jedoch auf die Tallagen z. B. im Bereich von Roth/Saale, Bad Bocklet oder Bad Neustadt, soweit diese nicht vernässt sind, wie z. B. im Schmalwassertal. Insgesamt dürfte der Anteil an ca. 3-schürigem und damit vergleichsweise ertragreichen (70 dt TM/ha) Wiesen im Saaletal maximal einen Anteil von 10 % des Grünlands im Gesamteinzugsgebiets umfassen (vgl. auch Tab. 43). Die Flächen werden jedoch vordringlich für die Milchviehhaltung benötigt. Hingewiesen sei auch darauf, dass die in Tab. 44 aufgeführten Ergebnisse der Silageuntersuchungen vermutlich solchen Flächen entstammen und demnach die genannten Futterqualitäten nicht auf die extensiven Berglagen mit Heunutzung übertragbar sind. Für diese fehlen demnach nicht nur exakte Ertrags-, sondern auch Qualitätsdaten. Keineswegs muss auf derartigen Standorten die Futterqualität jedoch auf niedrigem Niveau liegen (z. B. Rohproteingehalte von unter 120 g/kg TM und Energiedichten von unter 5,5 MJ NEL/kg TM), da nach Aussage der Beratung der für die Heuwerbung optimale Schnitzeitpunkt mit den Schnitzeitauflagen von Förderprogrammen übereinstimmt.

Weitere Aspekte zum Einzugsgebiet Sandberg/Rhön

Nachfolgend werden aus den Eindrücken (vgl. auch Abb. 23 - 30) einer Rundfahrt zusammen mit dem Pflanzenbauberater des AELF Neustadt zusätzliche Aspekte stichpunktartig aufgeführt, die zu einer weiteren Diskussion über die Machbarkeit einer Biogasanlage mit Grünland als Substrat beitragen könnten.

- **Schönau:** Flächen vorhanden, gesamte Fläche silagefähig, extensives Grünland
- **Bischofsheim:** Extensive Nutzung, Flächen vorhanden, ca. 25 % der Fläche nicht silagefähig (Naturschutzgebiet)
- **Wildflecken:** Fläche stünde zur Verfügung, jedoch nicht silagefähig
- **Schwarzenberg:** 1- bis 2-schürige Goldhaferwiesen, Heuschnitt Anfang/Mitte Juni, dann evtl. noch Nachbeweidung, nur selten noch Grummet, da kaum mehr Aufwuchs
- **Fansberg:** Freie Flächen, jedoch viele offenliegende Basaltklötze, daher Probleme beim Maschineneinsatz
- **Riedenberg:** Fläche stünde zur Verfügung, jedoch 50 % nicht silagefähig
- **Geroda:** Auf ca. einem Drittel der bisher extensiv genutzten Grünlandfläche wird eine intensivere Nutzung versucht, da zunehmend Milchviehhaltung. Es erfolgte eine Umwandlung von Ackerflächen in Grünland, da auf Acker wenig Ertrag und keine Sommerungen wegen später Saat und langanhaltendem Frost möglich. Häckler-Kette in der Silagewerbung wäre vorhanden. Schätzungsweise würde ca. 1/6 der Grünlandfläche für Biogas mit weiterhin extensiver Nutzung zur Verfügung stehen
- **Burkardroth:** Extensive Nutzung, Flächen wären prinzipiell vorhanden, ca. 20 % der Flächen sind nicht silagefähig
- **Sandberg** als gedachter Standort der Anlage: Bergiges Gebiet (Probleme bei Gülleausbringung), nicht optimales Verkehrsnetz, 5 - 10 % des Grünlands sind nicht silagefähig. Max. ein Silageschnitt Ende Mai/Anfang Juni möglich, dann nur noch aufgrund von häufiger Trockenheit evtl. ein Grummetschnitt
- **Schmalwasser- und Premichtal:** Das Grünland ist derzeit wegen Bewirtschaftungs-aufgabe sehr vernässt, Spezialtechnik wäre hier zur Ernte erforderlich, 3 Schnitte wä-

ren möglich bzw. sogar nötig, um den vernässten Flächen wieder nach und nach das Wasser zu entziehen und sie in Wirtschaftswiesen überzuführen

- **Roth/Saale:** Fruchtbare Saalewiesen, 3-schürig, 2 Silageschnitte machbar. Nutzung ist notwendig, um die Wiesen fruchtbar und befahrbar zu halten
- **Bad Bocklet:** Großteils Wiesen mit mittelintensiver Nutzung (3-schürig) im Saalegrund. Diese Flächen sind vergleichsweise fruchtbar, weil die Saale bis zu dreimal im Jahr über die Ufer tritt und Nährstoffe einbringt. Die Flächen wären auch im Vergleich zu den Höhenlagen oder vernässten Tallagen mit größeren Maschinen befahrbar. Aus produktionstechnischer Sicht sollten sie auch relativ intensiv genutzt werden, um das hochwertige Wirtschaftsgrünland vor zu starker Vernässung zu schützen. Die Verfügbarkeit des Grünlands für die Biogasnutzung wird dadurch eingeschränkt, dass die Flächen einerseits wegen der vorherrschenden Milchviehhaltung stark nachgefragt werden, andererseits eine gewisse Konkurrenz um die Flächen mit dem Wasserwirtschaftsamt (Ausweisung von Wasserschutzgebieten, Aufkauf, Extensivierung) besteht. Insgesamt dürften derzeit im Raum Bad Bocklet kaum Flächen für die Biogasnutzung zur Verfügung stehen.

Fazit:

Entgegen bisheriger Annahmen erschweren folgende Sachverhalte die Effektivität einer Biogasanlage mit Grassilagenutzung im Raum Sandberg/Rhön: Die geringe Ertragshöhe von häufig unter 20 dt TM/ha bei den meisten Flächen der Höhenlagen sowie die häufig fehlende Eignung für die Silagewerbung. Weiterhin die aufgrund der Topographie (hügelig, Streulagen mit oft kleinen Parzellen, schlechte Infrastruktur, hohe Transportkosten) schlechte Befahrbarkeit vieler Flächen. Vor allem sollte auch kritisch geprüft werden ob und inwiefern sich eine auf Biogaserzeugung ausgerichtete Produktionstechnik mit den bestehenden Gegebenheiten in der Region (Biodiversität, traditionelle Heunutzung in Berglagen, Biosphärenreservat, Naturschutzgebiet, Tourismus) ökologisch und ökonomisch in Einklang bringen lässt. Weitere Studien sind deshalb erforderlich.



Abb. 23: Artenreiches Extensivgrünland in der Rhön – hier ist Arterhaltung Ziel (Biosphärenreservat), eine Intensivierung der Düngung wäre kontraproduktiv



Abb. 24: Extensivgrünland in der Hochrhön – nur 1-2 Nutzungen (Bergheu für Export) sind pro Jahr möglich, viele Flächen sind überhaupt nicht silagefähig



Abb. 25: Wo Grünland jedoch nicht genutzt wird, erfolgt Sukzession



Abb. 26: Ein- bis zweischürige Wiese in der Hochrhön prägen die Grünlandnutzung



Abb. 27: Blick auf Sandberg – Steile Grünlandflächen, schwierige Bewirtschaftung



Abb. 28: Ungünstige Infrastruktur – schmale Straßen, starke Höhenunterschiede



Abb. 29: Die ertragreichen Wiesen im Saaletal umfassen höchstens einen Anteil von 10 Prozent der Gesamteinzugsfläche



Abb. 30: Wiesen im Saalegrund: Milchviehgrünland mit ca. 70 dt/ha TM Jahresertrag bei drei möglichen Schnitten – solche Flächen sind jedoch kaum verfügbar

5 Bauliche und technische Konzepte für die Biogasanlagen

Autoren: Andreas Spatz, Rainer Kissel, Dr. Mathias Effenberger (ILT)

5.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

5.1.1 Aufgabenstellung

In diesem Teil werden bauliche und technische Konzepte für die Biogaserzeugung auf Basis von Grassilage mit und ohne Gülle ausgearbeitet. Aus Praxisberichten und aus der Literatur geht hervor, dass die Verwendung von Gras als Hauptsubstrat sehr anspruchsvoll ist [10], [11]. Biogasanlagen mit einem Anteil von mehr als 50 % Grassilage an der Einsatzstoffzufuhr sind dementsprechend sehr selten. Die speziellen Herausforderungen der Grasvergärung werden im Folgenden näher beleuchtet.

Ferner zeigt sich, dass es „die“ Biogasanlage für Grassilage nicht gibt, sondern unterschiedliche Verfahrensvarianten in Betracht kommen. Für die Erstellung von Anlagenkonzepten im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie sollte jedoch diejenige Verfahrenstechnik ausgewählt werden, die auf Basis des aktuellen Wissensstandes am besten geeignet erscheint.

Die Aufgabe untergliederte sich in folgende Punkte:

- Beschreibung der grundlegenden Verfahrenstechniken und der Erfahrungswerte für die Vergärung von Grünlandaufwuchs
- Auswahl der Verfahrenstechnik, die aktuell am zuverlässigsten erscheint, und detaillierte Beschreibung der technischen Komponenten und Betriebsparameter für die Vergärung von Grünlandaufwuchs
- Erstellung konkreter Anlagenkonzepte in den Leistungsklassen $\leq 100 \text{ kW}_{\text{el}}$, $100\text{-}200 \text{ kW}_{\text{el}}$, $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ und evtl. $600\text{-}700 \text{ m}^3/\text{h}$ (Großanlage zur Methaneinspeisung), einschließlich einer Abschätzung der Anschaffungskosten.

Auf dieser Grundlage wird in gesonderten Kapiteln eine Bewertung der einzelnen Anlagenkonzepte bezüglich Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit vorgenommen.

5.1.2 Vorgehen

Recherche:

- Recherche der Literatur zur Machbarkeit und den Besonderheiten der Grasvergärung in Kombination mit Gülle oder als Monosubstrat sowie zu verfügbaren geeigneten Verfahren
- Informationsaustausch mit wissenschaftlichen Mitarbeitern der LfL
- Befragung von Firmenvertretern und anderen Experten zu technischen Komponenten und Besonderheiten der Grasvergärung
- Besichtigung von Praxisanlagen und Befragungen der Betreiber zu Erfahrungen mit dem Prozess und der eingesetzten Technik
- Beschreibung des Standes der Technik der Gras(silage)vergärung.

Ausarbeitung der Anlagenkonzepte:

- Diskussion und Auswahl eines geeigneten Verfahrens für die zu erstellenden Anlagenkonzepte und den Gesichtspunkten: Marktbestand, Datenlage Funktionsicherheit, Effizienz
- Definition der Leistungen
- Ermittlung von Richtgrößen zur Dimensionierung auf Grundlage der ausgewerteten Praxiserfahrungen und wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse
- Auflistung und technische Dimensionierung der wesentlichen Komponenten
- Abschätzung der Anschaffungskosten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (ILB).

5.2 Besondere Anforderungen an die Anlagentechnik, prinzipielle Machbarkeit

Durchschnittlich kommt in Deutschland in jeder zweiten Biogasanlage Gras zum Einsatz, allerdings in der Mehrzahl der Anlagen nur als Co-Substrat in untergeordneten Mengen. Das Gras wird fast ausschließlich in Form von Silage eingesetzt. Der Einsatz von Grassilage ist anspruchsvoll, wie Erfahrungen zeigen. Eine statistische Auswertung der Daten von 1.200 Anlagen zeigte, dass bei Grasanteilen in der Substratmischung von über 50 % die durchschnittliche BHKW-Auslastung deutlich unterdurchschnittlich war [10]. Dieser Sachverhalt beweist die Tatsache von schwierigen Voraussetzungen und die Erfordernis, spezielle Techniken und Verfahren beim überwiegenden Grassilageeinsatz [11]. Für eine konkrete Aussage über die erreichbare Arbeitsausnutzung bei speziell geplanten Anlagen sind jedoch genaue Informationen zu Bauart und Betrieb der Anlagen nötig.

Besondere Anforderungen im Vergleich zu herkömmlichen, überwiegend auf Maiseinsatz basierten Anlagen ergeben sich aus der faserreichen Struktur des Grases, welche die mechanische und hydraulische Handhabung (Pumpen, Mischen und Fördern) erschwert. Große Schnittlängen bzw. lange Fasern verstärken diesen Effekt. Im Gras können auch Sand und Steine enthalten sein, die durch das Schwaden und die Aufnahme in das Substrat gelangen können.

Insbesondere bei der Monofermentation von Gras besteht zudem ein erhöhtes Risiko der Prozesshemmung. Die vergleichsweise hohen Eiweißgehalte dieses Einsatzstoffes haben hohe Ammoniumkonzentrationen zur Folge, die zu Hemmungen führen können. Versuche der LfL zeigten erhebliche Störungen bei der Monofermentation von Gras bereits bei Raumbelastungen von über $2,5 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ [12]. Die Prozesshemmung wurde auf den hohen Ammonium- bzw. Ammoniak-Gehalt im Gärgemisch zurückgeführt. Somit ist die Raumbelastung bei der Grassilage ein entscheidender Parameter. Im Vergleich zu anderen Substraten fällt diese bei Grasanlagen niedriger aus. Aufgrund positiver Effekte ist der Zusatz von Gülle erstrebenswert [13]. Die Pufferkapazität wird gesteigert und der Feuchtehaushalt wird reguliert. Von einem Mangel an Spurenelementen, der durch Gülle ebenfalls entschärft werden kann, ist beim Grassilageeinsatz i.d.R. nicht auszugehen. Im Wiesen gras besteht eine relativ große Artenvielfalt und zudem wird bei der Ernte stets eine gewisse Menge an Bodensubstrat mit eingetragen.

Trotz der genannten kritischen Punkte zeigen einzelne Praxisanlagen nach ersten eigenen Eindrücken und der Berichterstattung von Betreibern und Presse einen akzeptablen Betrieb auf. Grundsätzlich sollte bei Anwendung einer geeigneten Verfahrenstechnik ein hoher Anteil an Gras in der Substratmischung realisierbar sein.

5.3 Prinzipielle Verfahren und Bauarten

Für die Biogasproduktion aus den Ernteprodukten von Grünlandflächen können unterschiedliche Fermentationsverfahren angewandt werden. Für die zu erstellenden Anlagenkonzepte sollte jenes Verfahren ausgewählt werden, das auf dem aktuellen Stand der Technik das höchste Maß an Betriebssicherheit und Produktivität erwarten lässt. Im Zuge der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde die Eignung und Zuverlässigkeit der verschiedenen Verfahren anhand von Ergebnissen aus neueren Untersuchungen [14], [15] und der Aussagen von Praktikern beurteilt.

5.3.1 Diskontinuierliche Vergärungsverfahren

Auf dem Markt existieren unterschiedliche technische Varianten der diskontinuierlichen Vergärung von Feststoffen. Hierzu gehören Garagen- oder Container-, Folienschlauch-, Tunnel- oder Grubenverfahren. Diese Systeme sind im Biogashandbuch Bayern [16] und in der Handreichung Biogas [17] ausführlich beschrieben.

Unter den diskontinuierlichen Verfahren am weitesten entwickelt und verbreitet ist das Garagen- oder Containerverfahren. Für eine kontinuierliche Gasproduktion müssen hierbei mehrere Fermenter phasenversetzt betrieben werden, da für den Zeitraum der Entleerung/Befüllung der Gasbildungsprozess in einem einzelnen Fermenter unterbrochen werden muss. Hierfür muss die Fermentationskammer belüftet werden, wobei ein Teil des Restgases aus der zu entleerenden Kammer dem BHKW zugeführt und das restliche, nicht verwertbare Gas über einen Biofilter abgeleitet werden muss, um Geruchsemissionen zu vermeiden [18]. Das während der Anlaufphasen der einzelnen Gärkammern entstehende verdünnte Gas kann zusammen mit höher kalorischerem Gas aus aktiven Fermentern verwertet werden. Die Befüllung/Entleerung der Fermenter von Anlagen mit mehr als 200 kW_{el} ist bei phasenversetzter Betriebsweise ca. alle sieben Tage erforderlich, bei 500 kW_{el} ca. alle vier Tage. Hierfür wird in der Regel ein kompletter Arbeitstag benötigt.

Nachteilig ist die Verringerung des nutzbaren Faulraums durch den erforderlichen Anteil von 40 - 60 % Impfmateriale bezogen auf die Frischmasse [17]. Durch die erforderliche dreitägige Vorrotte entsteht zudem ein Energieverlust. Beim Beregnungsverfahren wird das Substrat während des Betriebs mit Perkolat aus einem Speicher zusätzlich angeimpft und befeuchtet. Das Perkolat wird im Kreislauf gepumpt und entweder in einem beheizten Tank oder einem speziellen Reaktor vergoren. Beim Anstauverfahren wird ggf. mehrfach das Substrat mit Flüssigkeit überstaut und die Flüssigkeit dann wieder abgezogen. Aufgrund der Geruchsentwicklung durch den Transport und die nachgeschaltete Kompostierung des ausgefaulten Materials ist ein Betrieb im Ortsbereich nicht anzuraten. Vorteile des Verfahrens können darin gesehen werden, dass das Biogas in der Regel einen vergleichsweise geringen Schwefelwasserstoffgehalt aufweist und dass keine stationären Aggregate zur Durchmischung (Rührwerke) benötigt werden. Dies ist insbesondere bei der Verwertung von Grünland vorteilhaft, da dort der Rühraufwand generell höher ausfällt. Die Ammoniakproblematik kann aufgrund der diskontinuierlichen Betriebsweise entschärft werden.

Bei umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen in jüngster Vergangenheit wurden unter anderem auch drei Garagenverfahren messtechnisch begleitet [14]. Dabei handelte es sich um drei Anlagen mit unterschiedlicher Leistung (30, 180, 526 kW_{el}), die einen umfangreichen Substratmix einsetzten. Die installierte elektrische Leistung konnte in allen drei Fällen nur zum Teil ausgelastet werden (33 %, 73 %, 79 %). Die Auswertungen ergaben ferner, dass die erzielten frischmassebezogenen Gasausbeuten ca. nur die Hälfte des-

sen betrogen, was in Rührkessel- oder Pfropfenstromsystemen mit vergleichbaren Einsatzstoffen erzielt wird. Entsprechend wurden vergleichsweise hohe Restgaspotentiale gemessen.

Zum Garagenverfahren wurde im Rahmen dieser Studie lediglich ein Anlagenbetreiber befragt. Dieser gab an, dass mit den gewonnenen Erfahrungen nach anfänglichen Schwierigkeiten aktuell ein guter Betrieb vorliegt. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen allerdings noch keine Messdaten vor. Unabhängig von den endgültigen Ergebnissen zur Betriebssicherheit dieses Verfahrens arbeiten Batch-Systeme meist mit mäßigen Gasausbeuten und sind deshalb nicht die erste Wahl bei der Definition von Anlagenvarianten für die Vergärung von Grünlandaufwuchs.

5.3.2 Kontinuierliche Vergärungsverfahren mit hydraulischer Durchmischung (Verdrängung, Umpumpen)

Hierunter werden kontinuierliche Verfahren verstanden, die mit vergleichsweise hohen TM-Gehalten und ohne mechanische Rührwerke im Gärbehälter arbeiten. Zu diesen zählt beispielsweise das sogenannte Dranco-Verfahren. Ursprünglich zur Verwertung von Bioabfällen entworfen, wird es mittlerweile auch im landwirtschaftlichen Bereich vertrieben („Dranco-Farm“). Der Fermenter wird ohne mechanisches Rührwerk bei vergleichsweise geringen Verweilzeiten betrieben (< 30 Tage). Laut Hersteller eignet sich dieses Verfahren ideal für die Verwertung von Feststoffen [19].

Die bisher einzige Anlage dieses Typs in Deutschland wurde innerhalb des Bundes-Messprogramms Biogas II eingehend untersucht [14]. Die Anlage war in einen tierhaltenden landwirtschaftlichen Betrieb integriert. Gefüttert wurde eine ausgewogene Mischung aus sieben unterschiedlichen landwirtschaftlichen Substraten. Bezüglich der Auslastung der installierten elektrischen Leistung konnte mit 94 % ein hervorragendes Ergebnis erzielt werden. Beim Vergleich mit „Nass“-Vergärungsverfahren mit ähnlichen Einsatzstoffen war allerdings auch hier ein Minderertrag bei der frischmassebezogenen Gasausbeute von ca. 30 % zu verzeichnen. Ferner wurde ein vergleichsweise hohes Restgaspotential ermittelt (> 10 %). Während der Datenaufnahme traten wiederholt Störungen an den eingesetzten Pumpen auf, die durch Steine verursacht wurden. Aufgrund der unzureichenden Datenlage ist ein abschließendes Urteil zu diesem System nicht möglich.

Bei dem Verfahren der Firma Ecogas GmbH [20] bzw. Sinnrgie GmbH [21] liegt die Besonderheit darin, dass es – wie bei kontinuierlichen Verfahren unüblich – mit einem Perkolationsystem ausgerüstet ist. Dabei können beliebige Gärbehälterformen gewählt werden, wobei keine Rührwerke von Nöten sind. Die Oberfläche des Substratgemisches wird gezielt beregnet und so ein Antrocknen von aufschwimmendem Material unterbunden. Durch die Perkolations soll das System sehr stabil gegen Schwimmschichtbildung sein. Als Perkolat wird dünnflüssiges Gärsubstrat vom Behälterboden abgepumpt. Durch den Pumpstrom und örtlich unterschiedlichen Beregnungsintensitäten wird eine Durchmischung erreicht. Bei der Pumptechnik handelt es sich um eine Spezialkonstruktion einer Kreiselpumpe, die in einem zylindrischen, tonnenförmigen Behälter integriert ist, wo sich Störstoffe absetzen können.

Es gibt Hinweise, dass sehr hohe Gasausbeuten realisierbar sind, mit der Begründung, dass unvergorenes Material wegen der Dichteunterschiede selektiv längere Verweilzeiten hat. Die Raumbelastungen bei realisierten Projekten bewegen sich allerdings auf sehr niedrigem Niveau um $1,0 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$. Neben positiven Praxiserfahrungen einiger weniger Betreiber sind zu diesem System noch keine unabhängig validierten Langzeituntersuchungen bekannt, weshalb eine sichere Bewertung nicht möglich ist.

5.3.3 Kontinuierliche Vergärungsverfahren mit mechanischer Durchmischung

Sehr gute Ergebnisse hinsichtlich Gasausbeute, Restgaspotential und Auslastung liefern prinzipiell kontinuierliche Verfahren mit mechanisch durchmischten Fermentern und vergleichsweise langen hydraulischen Verweilzeiten. Dies zeigten sowohl die Untersuchungen des Bundes-Messprogramms Biogas II [14] als auch die Ergebnisse von den Bayerischen Biogas-Pilotbetrieben [15]. Die Vielzahl an Erfahrungen – es ist mit Abstand das am weitesten verbreitete Vergärungsverfahren – erlaubt eine Bewertung und Beschreibung vieler geeigneter Komponenten für die Grasvergärung, da es auch mit dem Rohstoff Gras viele Erfahrungen gibt. Die ausschließliche Vergärung von Gras ist jedoch auch für diesen Anlagentyp ein besonderer, seltener Fall.

Die Verfahren können aufgrund ihrer unterschiedlich ausgeprägten Strömungsführung unterschieden werden. Rührkesselfermenter sind (praktisch) volldurchmischte Systeme, während sogenannte „Pfropfenströmer“ eine vorherrschende Strömungsrichtung aufweisen – meist durch röhrenförmige Fermenter realisiert – entlang derer die Vermischung minimiert werden soll. Die dort meist zum Einsatz kommenden Haspelrührwerke erzeugen lediglich eine Durchmischung quer zur Hauptströmungsrichtung. Somit bleibt frisches Material von länger Verweiltem getrennt und sogenannte Kurzschlüsse werden vermieden, was eine vollständigere Vergärung bewirkt. Pfropfenströmer können sehr gut Feststoffe verarbeiten und prinzipiell höher belastet werden. Bei der Umsetzung in der Praxis wird häufig ein preisgünstigerer Rührkesselfermenter als Nachgärbehälter gewählt. Dennoch ist das System in der Anschaffung meist kostenintensiver.

Eine weitere Unterscheidung der Verfahren kann nach dem TM-Gehalt im Gärbehälter erfolgen:

- Niedriger TM-Gehalt:
Diese Variante ermöglicht einen Einsatz von Rührwerken mit geringerem Spezialisierungsgrad. Der geringe TM-Gehalt bzw. die niedrige Viskosität wird durch eine geringe Raumbelastung, einen höheren Flüssigkeitsanteil im Substrat und kurze Häcksel-längen erreicht
- Hoher TM-Gehalt:
Diese Betriebsart erfordert spezialisierte Rührwerke und Förderaggregate, die dem hochviskosen Gärsubstrat gewachsen sind. Durch die höhere Raumbelastung ist eine effizientere Ausnutzung des Fermentervolumens möglich. Dabei wird häufig rezirkuliert (vgl. Kap. 5.4.4 und 5.5.1.5). Richtwerte für die Raumbelastung werden in Kap. 5.5.1.5 diskutiert.

5.4 Technische Besonderheiten der kontinuierlichen Nassvergärung von Gras

Aus den in Kapitel 5.3 dokumentierten Verfahren wurde für die weiteren Betrachtungen in der Machbarkeitsstudie das Konzept eines kontinuierlichen, durchmischten Verfahrens ausgewählt. Für diese Anlagentechnik liegen die meisten Erfahrungen vor und es kann mit einer guten Abbauleistung und hohen Zuverlässigkeit gerechnet werden.

Im Folgenden wird dargestellt, welche besonderen Eigenschaften die technischen Einrichtungen eines Rührkesselfermenters für die kontinuierliche Nassvergärung von Gras- oder überwiegend Grassilage aufweisen sollten. Als Datengrundlage dienen die Ergebnisse einer Befragung von 15 Betrieben zur Anlagentechnik und -führung, die z. T. mehrjährige

Erfahrung mit der Grasvergärung gesammelt haben. Ferner werden die Ergebnisse der Literaturrecherche herangezogen.

5.4.1 Einbringung

Die Einbringung besteht meist aus Substratvorlage-Containern mit einer Eintragsvorrichtung, i.d.R. in Form einer Förderschnecke (vgl. Abb. 31, links, und Abb. 32). Für das Befüllen der Behälter werden Schaufellader verwendet, die oft mit Greifschaufeln („Reißschaufeln“) ausgerüstet sind, um die Entnahme aus dem Silo zu erleichtern (vgl. Abb. 31, rechts).



Abb. 31: links: Vorlagebehälter auf Basis der Futtermischwagentechnik, ca. 10 m³ Fassungsvermögen mit vertikaler Schnecke; rechts: Greifschaufel zur Siloentnahme und Befüllung



Abb. 32: links: Vorlagebehälter 50 m³; rechts: Großer Vorlagebehälter mit Abschiebetechnik

Im Container transportieren Förderaggregate, z. B. hydraulische Schubwände oder Schubböden und die Schwerkraft das Material zum Aufnahmebereich der Eintragschnecken. Durch Misch- und Auflöseaggregate (siehe Abb. 33) wird das Material dabei aufgelockert. Speziell bei der Futtermischtechnik haben die Mischaggregate Schneiden zum Zerkleinern.



Abb. 33: links: Auflöseschnecken in einer robusten Einbringung, rechts: Mischaggregat mit Schneiden in einem Futtermischer

Die Einbringschnecke wird vorzugsweise horizontal mit Gefälle von der Seite oder vertikal durch die Fermenterdecke nach unten in den Fermenter angeordnet. Ein aufwärts förderndes Schneckensystem ist wegen des auftretenden Reibungswiderstands zwischen Schnecken und Förderschacht aufgrund der verklebenden, verhakenden Struktur von Grassilage nicht geeignet. Beim Einsatz dieser Technologie wäre mit einem hohen Verschleiß und Energieverbrauch zu rechnen. Die Konstruktion wird herkömmlich bei hohen Behältern angewendet, deren Füllstand über der Arbeitshöhe der Schaufellader liegen. In der Praxis kann diese Form z. B. durch eine Laderampe umgangen werden.

Durch das Gras kann es an den Fördereinrichtungen zur Brückenbildung kommen. Die Schneckenwellen sollten daher grob und mit großem Durchmesser ausgeführt sein. Dadurch können auch Störstoffe wie Steine gefördert werden, ohne dass hierdurch Störungen ausgelöst werden. Durch den höheren Stoffdurchsatz im Vergleich zu kleinen Schnecken kann auf Grund verkürzter Laufzeiten der Förder- und Mischaggregate evtl. auch Strom gespart werden.



Abb. 34 Einbringschnecke seitlich in den Fermenter mit großem Durchmesser

Zum Teil werden gerade bei kleineren Anlagen Vorlagebehälter eingesetzt, deren Konstruktion auf der Futtermischwagentechnik basiert (vgl. Abb. 31). Hierbei ist die Durchmischung und Zerkleinerung durch die integrierten Mischaggregate vorteilhaft, allerdings sind diese durch Abrieb an den Behälterwänden gewissem Verschleiß ausgesetzt. Durch

Blechverstärkungen oder Kunststoffauskleidung kann das Durchscheuern von Behälter- und Rohrwänden vermieden werden (siehe Abb. 35).



Abb. 35: Verstärkungsblech an einem Futtermischwagen-Vorlagebehälter

5.4.2 Zerkleinerungstechnik

Zerkleinerungsaggregate (z. B. Futtermischwagentechnik, Mühle, Extruder), die an unterschiedlichen Schnittstellen in die Biogasanlage integriert werden können, zerkleinern unregelmäßig geschnittenes Gras (z. B. von verschiedenen Landwirten) oder erzeugen aus bereits gehäckselter Silage nochmals kürzere Fraktionen. Die Substratmassen besitzen dadurch weniger Struktur, da schwer abbaubare Fasern gekürzt werden. Dadurch wird die Handhabung des Substrats (z. B. Pumpen, Rühren) in allen Stadien des Prozesses verbessert. Das Silieren erfordert bereits einen gewissen Häckselgrad (vgl. Kap. 6). Deshalb scheint insbesondere beim Einsatz von nicht siliertem Frischgras, z. B. aus Futterresten der Rinderhaltung, die Anwendung besonders geeignet.

Um die geforderte Häcksellänge zu erreichen, zeigen sich in der Praxis in Zusammenhang mit Grassilage zwei Betriebsweisen als geeignet: Einmal wird Rotorladewagenschnitt verwendet, der in der Hauptfraktion eine Häcksellänge von 35 - 50 mm aufweist. Zum anderen zielen einige Landwirte auf eine kürzere Häcksellänge im Bereich von ca. 5 - 25 mm ab. Wie oben erläutert, wirkt sich eine möglichst kurze Häcksellänge zwar positiv aus, jedoch ist ein höherer Zerkleinerungsgrad immer mit höherem Energieaufwand verbunden. Insbesondere erzeugen zusätzliche Aggregate Kosten (Anschaffung, Instandhaltung, Energie) und z. T. mehr Arbeitsaufwand, insbesondere wenn der zusätzliche Prozessschritt nicht integriert ist (z. B. externe Mühle). Es stellt sich die Frage, ob nicht durch das Verwenden von robusterer Technik ein gewisser Aufwand in der Substrataufbereitung eingespart werden kann. Häufig dürfte eine gute Zerkleinerung bereits im Häcksler wirtschaftlicher sein als ein zusätzlicher Aufbereitungsschritt.

Neben den allgemeinen Zerkleinerungsverfahren zur Erzeugung kurzer Häcksellänge können auch Aufschlussverfahren bzw. Desintegrationsverfahren eingesetzt werden (z. B. thermisch, elektrisch, mechanisch). Hierbei liegt die Argumentation wie oben, jedoch versprechen sich Betreiber auch eine Erhöhung der Gasausbeute und eine Beschleunigung des Abbaus, womit eine Erhöhung der Gesamteffizienz der Anlage verbunden ist. Dies soll durch den verbesserten Zellaufschluss und eine damit verbundene bessere Abbaubarkeit erreicht werden. Über die Wirksamkeit liegen jedoch wenige unabhängige Nachweise

vor. Wird die Anschaffung eines solchen Verfahrens erwogen, sollten in jedem Fall vom Anbieter eine individuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Daten von Referenzbetrieben angefordert werden.

An den untersuchten Betrieben wurden folgende Einrichtungen zur Zerkleinerung bzw. zum Aufschluss vorgefunden:

- Nasszerkleinerung in Form von Lochsieb und Schneiden an der Kreiselpumpe
- in die Einbringung integrierte Mischaggregate mit scharfen Kanten und Schneiden (Futtermischwagentechnik).

5.4.3 Rührwerkstechnik

Bei der Vergärung von Gras kommt es in der Regel aufgrund des höheren Trockenmassengehalts und der faserigen Struktur des Gärmediums zu einer höheren Viskosität. Die Rührtechnik muss diesem Umstand angepasst werden. Es eignen sich langsam laufende, großflügelige oder schaufel- und paddelartige Rührwerke (siehe Abb. 36 und Abb. 37). Diese müssen in der Lage sein, Schwimmschichten zu zerstören, die bei Gras leicht entstehen. Durch die höhere Viskosität wird auch das Rührwerk stärker belastet. Deshalb ist eine robuste Bauweise unerlässlich. In der Praxis werden zu den Langsamläufern zusätzlich schnelle Propellerrührwerke wie Tauchmotorrührwerke oder Stabmixer als günstige Sekundär- oder Notfallrührwerke eingesetzt. Es wird berichtet, dass lange Grasfasern z. B. Tauchmotorrührwerke umwickeln und deren Dichtungen beschädigen.

Eine Notstromversorgung für die Rührwerke ist unbedingt notwendig. Dadurch wird bei Stromausfall gewährleistet, dass der Fermenterinhalt trotzdem weitergerührt werden kann. Dies ist aus Gründen der Sicherheit sehr zu empfehlen, denn gerade bei der Vergärung von Grassilage entstehen leicht Schwimmschichten, die eine problemlose Gasabführung aus dem Gärgemisch verhindern. Aus Praxisberichten geht hervor, dass in einem solchen Fall durch das Gas ein starkes Aufquellen des Fermenterinhalts auftreten kann. Dadurch können Beschädigungen am Behälter, insbesondere an der Dachkonstruktion, verursacht werden, wenn das feste Material die Überdrucksicherungen verstopft. Aus diesem Grund wird an vielen Systemen eine gewichtsbelastete Notfallklappe vorgesehen, die in einem solchen Fall von innen aufgedrückt wird. Durch eine sichere Stromversorgung kann dies jedoch vermieden werden.



Abb. 36: links: Paddelrührwerk; Quelle: Agrikomp GmbH; rechts: Langachsührwerk mit großen Flügeln, Quelle: Streisal GmbH



Abb. 37: Vertikale Paddelrührwerke; Quelle: Agrafarm Technologies AG

5.4.4 Pumpentechnik

Für die Förderung des faserhaltigen Materials sind Kreiselpumpen in der üblichen Dimensionierung nur bedingt zu empfehlen. Bei hohem, konstantem Zerkleinerungsgrad (Häckselgrad) ist aber ein Einsatz denkbar. Oftmals wird dieser Pumpentyp in Verbindung mit einer Nasszerkleinerung eingesetzt.

Exzentrerschneckenpumpen haben sich als gute Alternative herausgestellt, da sie sich auch für hochviskoses Material eignen. Nachteilig sind der Verschleiß und der Wartungsaufwand für Nachstellungen und die Säuberung von Schmutzfängen. Drehkolbenpumpen werden für hochviskose Gemische wegen des starken Verschleißes von Stator und Kolben nicht empfohlen.

Pumpen können intelligent gesteuert werden: Durch Messungen des Drucks in der Leitung können Anzeichen von Verstopfungen erkannt werden. Als Maßnahme läuft die Pumpe rückwärts und spült den Ansaugkanal frei.

Häufig werden gewisse Mengen an Gärmaterial aus dem Nachgärbehälter wieder in den Fermenter zurückgeführt. Durch dieses sogenannte Rezirkulieren kann der Fermenterinhalt verdünnt werden (vgl. 5.6.1).

5.4.5 Fermenter, Überlauf und Gärrestlager

Es wird ein zweistufiges Verfahren, bestehend aus Haupt- und Nachgärbehältern empfohlen. In Laborversuchen haben sich bei Monofermentation von Gras bzw. einseitiger Substratzusammensetzung niedrige Raumbelastungen und entsprechend lange hydraulische Verweilzeiten bewährt [12], [11]. Die Raumbelastung wird detailliert in Kap. 5.5.1.5 erörtert.

Gras weist durchschnittlich einen relativ hohen Glührückstand auf, der auf Verunreinigungen durch Staub, Humus und kleine Steine zurückzuführen ist. Diese Stoffe sammeln sich bei unzureichender Durchmischung und ungünstiger Anordnung des Austragkanals als Sediment im Fermenter an. An den bisher besuchten Praxisanlagen wurden keine mechanischen Sedimentrechen oder ähnliche Einrichtungen zum Sedimentaustag gefunden. In jedem Fall ist eine gute Strömungsführung z. B. durch einen günstig angeordneten Abfluss anzustreben. Als Alternative bleibt nur eine aufwändige Behälterrevision im Zyklus von einigen Jahren, wobei der Behälter vollständig gesäubert wird. Sind zwei Behälter

vorhanden, kommt die Gasproduktion hierbei nicht vollständig zum Erliegen und die Leistungseinbußen fallen niedriger aus. Die Fermenter sollten zusätzlich zur Überdrucksicherung über die in 5.4.3 beschriebenen Überdruckklappen verfügen.

5.4.6 Gasspeicher

Im Vergleich zur Vergärung von Maissilage setzt die Gasproduktion bei der Grasvergärung mit größerer Verzögerung ein. Praktiker berichten von einer Verzögerung der Gasproduktion nach Zufuhr von Gras um bis zu drei Tage. Bei Mais springt die Gasproduktion nach der Fütterung hingegen rascher und verlässlicher an, spätestens nach wenigen Stunden. Die Gasproduktionsrate kann also bei der Grasvergärung durch Variation der Zugabemenge nicht kurzfristig korrigiert werden, weshalb der Gasspeicher tendenziell größer dimensioniert werden sollte.

5.5 Definition von Anlagenvarianten für die Vergärung von Gülle und/oder Grünlandaufwuchs einschließlich der Abschätzung der Anschaffungskosten

5.5.1 Grundlagen und Methode zur Dimensionierung

Im Folgenden werden beispielhafte Anlagenkonzepte für die Vergärung von Grassilage nach dem Prinzip einer kontinuierlichen Nassvergärung entworfen. Berücksichtigung findet hierbei insbesondere die VDI-Norm 3475 Blatt 4 [22], die Mindestverweilzeiten in Gärbehältern zur Reduzierung von Methanemissionen empfiehlt.

5.5.1.1 Leistungsdaten und Gasspeicherkapazität

Es werden folgende Leistungen angenommen:

Tab. 45: Leistungsdaten der BHKW

| Elektrische Nennleistung | kW | 75 | 190 | 500 | 500 |
|---|----|-------|-------|-------|-------|
| Auslastung (8.000 Volllaststunden pro Jahr) | | 0,913 | 0,913 | 0,913 | 0,913 |
| Elektrischer Nutzungsgrad BHKW | | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,38 |
| Thermischer Nutzungsgrad BHKW | | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,42 |

Die Leistungen wurden nach verfügbaren BHKW-Modulen ausgewählt. Mit zunehmender Leistung wurden für die BHKW steigende Nutzungsgrade angesetzt. Die Arbeitsausnutzung wurde mit 91,3 % entsprechend 8.000 theoretischen Volllaststunden im Jahr veranschlagt. Mit den resultierenden Durchschnittsleistungen und den elektrischen Nutzungsgraden wurden die unterschiedlichen Gasdurchsätze und jährlichen Gasmengen errechnet, die aus dem Substrat gedeckt werden müssen.

Es wurde nur so viel Substrat berechnet, wie das BHKW im realen Betrieb bei der angenommenen Auslastung benötigt. Deshalb waren die Gasspeicher so zu dimensionieren, dass sie näherungsweise sämtliche Betriebsstörungen überbrücken können. Berechnungsgrundlage für die maximale zusammenhängende Ausfalldauer eines BHKW seien 12 Stunden. Aus den Gasproduktionsraten der Anlagenkonzepte können die notwendigen Gaslagerkapazitäten berechnet werden.

5.5.1.2 Substrateigenschaften

Die Methanausbeute bezieht sich auf den organischen Trockenmasse-Gehalt des Substrates. Den Werten für den TM/oTM-Gehalt und die Biogas- bzw. Methanausbeuten aus Grassilage liegen die Faustzahlen Biogas zu Grunde [23]. Für Grassilage von Grenzertragsstandorten wurde die Gasausbeute jedoch von 600 auf $550 \text{ l} \cdot (\text{kg oTM})^{-1}$ korrigiert. Die angenommenen Substratdaten sind in Tab. 46 aufgeführt.

Die tatsächlichen Gasausbeuten hängen wesentlich von den Parametern Gärtemperatur und Verweilzeit ab. Zu beachten ist auch, dass aufgrund von unterschiedlichen Futterwerten die Methanerträge von den Schnitten abhängen. Z. B. ist der 1. Schnitt besonders eiweißreich und erzeugt in der Regel am meisten Gas. Im weiteren Jahresverlauf nehmen die Gasausbeuten ab. Ist der Schnittzeitpunkt sehr spät gewählt, verschlechtern sich die Gasausbeuten aufgrund des zunehmenden Verholzungsgrades.

Es wurden folgende Substratdaten angenommen:

Tab. 46: Substratdaten

| | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------|
| oTM-Gehalt Grassilage (0,35•0,90) | % | 31,5 |
| oTM-Gehalt Gülle (0,08•0,85) | % | 7,2 |
| Methangehalt im Biogas aus Grassilage | % | 53,0 |
| Methangehalt im Biogas aus Gülle | % | 55,0 |
| Mittlerer Methangehalt im Biogas | % | 53,2 |
| Gasausbeute aus Grassilage | $\text{l} \cdot \text{kg oTM}^{-1}$ | 550 |
| Gasausbeute aus Gülle | $\text{l} \cdot \text{kg oTM}^{-1}$ | 380 |
| Gasausbeute aus Grassilage | $\text{m}^3 \cdot \text{t FM}^{-1}$ | 173 |
| Gasausbeute aus Gülle | $\text{m}^3 \cdot \text{t FM}^{-1}$ | 27 |

Bezüglich der Anforderungen an das Substrat zeigen Praxisbeispiele, dass z. T. ausschließlich Ladewagenschnittqualität (35 - 50 mm) in speziellen Anlagen ohne Probleme eingesetzt werden kann. Die Konzepte sollen deshalb diese Qualität verarbeiten können. Prinzipiell sollte das Gras aber dennoch möglichst kurz gehäckselt zur Biogasanlage geliefert werden, um die Pump- und Rührfähigkeit des Gärgemisches zu verbessern (vgl. Kap. 5.3.3).

Da die Wirksamkeit verschiedener Aufschlussverfahren von unabhängiger Seite bisher nicht ausreichend belegt wurde und die Wirtschaftlichkeit sehr von der individuellen Anlage abhängt, wurden solche Verfahren für die Anlagenkonzepte nicht berücksichtigt. Beispielsweise wurden von der LfL besonders kurze Häcksellängen im Bereich von wenigen Millimetern auf eine erhöhte Methanausbeute im Vergleich zu üblichen Häcksellängen im Zentimeterbereich geprüft und hierbei keine Unterschiede festgestellt [12]. Da die Gasausbeute auch von der Verweilzeit abhängt, verringern sich die positiven Effekte der Desintegration bezüglich Methanausbeute bei hoher Verweilzeit.

5.5.1.3 Substratmengen

Für die Anlagenkonzepte mit $75 \text{ kW}_{\text{el}}$, $190 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ wurden in der Berechnung jeweils zwei Varianten mit einem Gülle-Massenanteil von 35 % (Anspruch auf den Gülle-Bonus nach EEG 2009) und von 5 % (Mindestanteil zur Stabilisierung des Prozesses) betrachtet. Mit der Substrat-Mischung, den angenommenen Gasausbeuten und der zu erzielenden BHKW-Durchschnitts-Leistung wurde die erforderliche Substratmenge berechnet.

In den Biogasanlagen muss zusätzlich belastetes Regenwasser aus dem Silo verwertet werden. Dies beeinflusst die erforderlichen Behältergrößen. Für das belastete Wasser wurde keine zusätzliche organische Fracht einkalkuliert. Die einzuleitende Regenwassermenge wurde gemäß den Grundlagen in Kap. 5.5.1.9 errechnet. Zusätzliche Wassermengen zur Verdünnung wurden nicht berücksichtigt.

5.5.1.4 Gärtemperatur

In der Praxis zeigt sich ein uneinheitliches Bild in Sachen Gärtemperatur. Zum einen gibt es einige Anwendungen mit einer thermophilen Betriebsweise im Bereich 48 - 52 °C, zum anderen viele Anlagen im konventionellen mesophilen Temperaturbereich um 43 °C (vgl. Tab. 47). Einige Betreiber mit höheren Temperaturen berichteten von positiven Erfahrungen mit probeweisen Temperatursteigerungen und passten dementsprechend ihre Betriebstemperatur an.

Tab. 47: Vergleich der Betriebstemperaturen von Biogasanlagen mit Grassilage als Hauptsubstrat (Quelle: eigene Befragungen 2010)

| Temp.- Bereiche ¹ [°C] | Anzahl Anlagen | n=15 |
|-----------------------------------|----------------|------|
| 48 - 52 (thermophil) ² | 7 | |
| 42 - 44 (mesophil) ² | 5 | |
| 45 - 47 (Zwischenbereich) | 3 | |

¹) Es wurde häufig eine Temperaturspanne angegeben

²) Die Angabe dient zur Charakterisierung des Zuordnungsbereichs, mesophil/thermophil erstrecken sich über größere Temperaturspannen

Der Vorteil höherer Temperaturen ist ein schnellerer Abbau und damit auch eine bessere Rührfähigkeit. Aus Sicht der Prozessstabilität ist eine thermophile Prozessführung bei der Grasvergärung jedoch negativ zu bewerten, da mit steigender Temperatur zunehmend Anteile des Ammonium-Sickstoffs zum prozesshemmenden Ammoniak übergehen. Für die Anlagenkonzepte wurde deshalb eine Prozesstemperatur von 40 °C angenommen.

5.5.1.5 Raumbelastung

Die Raumbelastung als grundlegender Dimensionierungsparameter ist definiert als der Quotient aus der Masse des täglich zugeführten organischen Materials und des Arbeitsvolumens der/des Gärbehälter/s.

$$B_R = \frac{m_{oTS}}{V_R} \left[\frac{kg \ oTS}{m^3 \cdot d} \right]$$

$$m_{oTS} = \text{Zufuhr organischer Trockensubstanz}^1 \text{ pro Tag} \left[\frac{kg \ oTS}{d} \right]$$

$$V_R = \text{Arbeitsvolumen der Gärbehälter (Faulraum)} [m^3]$$

In Bezug auf die Anwendung von Rezirkulationsmaßnahmen wurde abweichend von der allgemeinen Definition im Rahmen dieser Arbeit das Rezirkulat bei der Bilanzierung der zugeführten organischen Trockenmasse nicht berücksichtigt.

Es gelten folgende Rezirkulationspfade:

- Anteiliger Austausch zwischen Fermenter- und Nachgärerinhalt

¹ Ohne Rezirkulat: Da durch Rezirkulation die Fermenterbiologie durch die Mischungs- und Verdünnungseffekte nicht be-, sondern entlastet wird, ist es nicht sinnvoll, die dadurch eingetragene organische Masse bei der Berechnung der Faulraumbelastung mit einzubeziehen.

- Rezirkulation von Gärsubstrat im selben Behälter vom Auslassbereich (vergorenes Material) in den Einlassbereich.

Um eine effiziente Faulraumausnutzung zu erzielen, wurde die Raumbelastung möglichst hoch gewählt. Für die Dimensionierung wurde ein Maximalwert festgelegt. Dabei gibt es begrenzende Einflüsse:

- *Beeinflussung der Homogenisierung:*
Eine hohe Raumbelastung geht prinzipiell mit erhöhtem TM-Gehalt im Fermenter einher. Durch den Anstieg des TM-Gehaltes wird die Homogenisierung des Gärgemisches erschwert (damit sind i.d.R. auch Störungen des Abbauprozesses verbunden). Bei Grassilage liegt die Grenze in dieser Hinsicht niedriger als bei vielen anderen Substraten, da die Zersetzung langsamer vonstattengeht bzw. bestimmte Faseranteile gar nicht abgebaut werden und so die Viskosität pauschal höher liegt
- *Biologische Prozesshemmung:*
Durch eine hohe Raumbelastung entsteht Stresswirkung auf die Mikroorganismen. Im Zusammenhang mit anderen Stressfaktoren, wie einem hohen Ammonium-Gehalt bei Grasvergärung, können sich die Wirkungen verstärken und zu einer überproportionalen Hemmung führen
- *Effizienz/Methanausbeute:*
Sehr hohe Raumbelastungen gehen mit sinkenden Methanausbeuten einher [24] [12].

Durch Rezirkulation kann die Fermenterbiologie stabilisiert werden und hierdurch die Raumbelastung ggf. erhöht werden. Gleichzeitig besteht insbesondere bei der Grasvergärung die Gefahr der Anreicherung von Ammonium im Gärgemisch. Für die Festlegung der Fermenter- bzw. Gesamtraumbelastung wurden Werte aus Literatur und Praxis herangezogen, wobei nur Anlagen mit hohem Grasanteil berücksichtigt wurden.

Praxisbetriebe

Es wurden acht Landwirte befragt sowie zwei Pilotanlagen mit einem hohen Anteil von Grassilage an der Substratmischung einbezogen, die vom Institut für Landtechnik und Tierhaltung untersucht wurden. Die Gesamt-Faulraumbelastung bei diesen Praxisanlagen variierte zwischen 1 und 5 kg oTM•(m³•d)⁻¹ mit Schwerpunkt bei ca. 1,5 kg oTM•(m³•d)⁻¹ (siehe Tab. 48). Die Belastung der einzelnen Fermenter lag bei 1 bis 6 kg oTM•(m³•d)⁻¹, der Mittelwert bei 2,9 kg oTM•(m³•d)⁻¹. Die Anlagen mit einer hohen Raumbelastung weisen hohe TM-Gehalte von ca. 12 % im Fermenter auf und arbeiten mit Rezirkulation.

Tab. 48: Maximale beobachtete Raumbelastung von Praxisanlagen mit hohem Grasanteil

| Quelle | Gesamt- B _R kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | B _R im Fermenter (mit Rezirkulation) kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | Substrat |
|---|--|--|--|
| Praxisanlage (B _R ermittelt aus Befragungsdaten) | 3,1 | 6,0 | 60 % Grassilage, 33 % Gülle; (Rezirkulation) |
| Pilotanlage 1 | 1,9 | 4,0 | 80 % Grassilage (Klee gras), Rest: verschiedene Energie- pflanzen und Mist |
| Pilotanlage 2 | 5,0 (eine Prozessstufe) | 5,0 | 75 % Grassilage, Rest: ver- schiedene Energiepflanzen; Rezirkulation |

Laborversuche

Neben den Praxisanlagen kann auch auf Versuchsdaten des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung und aus der Literatur zurückgegriffen werden. In Tab. 49 sind Ergebnisse zu maximalen Raumbelastungen in einstufigen Laborfermentern zusammengestellt. Die Versuche haben allerdings eingeschränkte Aussagekraft:

- Die Versuchsdauer beträgt nur 30 Tage (Dauer der Steady-State-Phase vor nächster Raumbelastungssteigerung). Für sichere Aussagen muss der Prozess länger beobachtet werden.
- Es können bei Laborversuchen Upscaling-Effekte auftreten.
- Die Laborfermenter haben z. T. eingeschränkte Eignung für höhere TM-Gehalte und Raumbelastungen.
- Die Effekte einer Rezirkulation, wie sie in Praxisanlagen häufig angewendet wird, wurden in den Versuchen der LfL [12] nicht berücksichtigt.

Betrachtet man die Ergebnisse, ist zu vermuten, dass eine Raumbelastung von maximal $2,5 - 3,0 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ bei Gras-Monofermentation erreicht werden kann. Es ist allerdings zu beachten, dass die erreichten Werte u. U. nicht den optimalen entsprechen. Z. B. zeichneten sich beim ILT-Versuch [12] schon bei B_R über $1,5 \text{ oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ leichte Hemmeffekte ab. Des Weiteren ist ein scheinbar positiver Effekt des Gülleeinsatzes auf den Gärprozess auszumachen (Versuch 4 hat höchste Raumbelastung), dessen genaue Ursache nicht geklärt ist.

Tab. 49: Maximale erreichte Raumbelastung (B_R) bei Technikumsversuchen zur Grassilagevergärung in Rührkessel-ähnlichen Fermentern

| Reaktortyp, Substrat | Temp. °C | Reaktor- volumen L | B_R $\text{kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ | Methanausbeute $\text{l} \cdot (\text{kg oTM})^{-1}$ | Bemerkung | Quelle |
|--|-------------|--------------------------|---|---|---|--------|
| Rührkessel, 100 % Grassilage | 38 | 28 | 2,5 | 280-320 | Maximal wegen Prozesshemmung | [12] |
| Schlaufen- reaktor, 100 % Grassilage | „mesophil“ | 50 | 3,0 | 260 | Maximal wegen Prozesshemmung | [25] |
| Rührkessel, 100 % Grassilage | 34 - 36 | 23 | 3,0 | 257 | Auf Grund technischer Probleme begrenzt | [13] |
| Rührkessel, Grassilage + 33 % Gülle* | 34 - 36 | 23 | 4,0 | 360 | Keine Maximierung, aber optimaler Wert | [13] |

*) Entspricht 10 % der zugeführten oTM, was in diesem Versuch ein Optimum darstellte

Für die Festlegung der Höchsttraumbelastungen wurde auf die Beobachtungen an Praxisanlagen zurückgegriffen, wobei nicht die Maximalwerte als Maßstab herangezogen wurden. Als Obergrenze für die Gesamtraumbelastung der Anlagenkonzepte wurde ein Wert von $2 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ gewählt, für die Raumbelastung der ersten Stufe ein Wert von $4 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$.

5.5.1.6 Spezifischer Faulraum

Raubelastung und spezifischer Faulraum bezogen auf die installierte elektrische Leistung des BHKW sind näherungsweise umgekehrt proportional. Aus den Erfahrungen der Begleitung der Pilotbetriebe zeigt sich, dass das spezifische nutzbare Faulraumvolumen mindestens $4 \text{ m}^3 \cdot (\text{kW}_{\text{el}})^{-1}$ betragen sollte, um eine hohe Arbeitsausnutzung sicher zu stellen [26].

5.5.1.7 Verweilzeit

Die Verweilzeit ist der Quotient aus Fermentervolumen und täglichem Beschickungsvolumen. Sie gibt an, wie lange das Substratgemisch durchschnittlich im Behälter verweilt. Es besteht ein enger Zusammenhang mit der Raumbelastung. Bei steigender Raumbelastung muss mehr Substrat eingesetzt werden, womit auch das eingesetzte Volumen steigt. Folglich sinkt die Verweilzeit.

$$HRT = \frac{V_R}{V_S} [d]$$

HRT = hydraulische Verweilzeit (hydraulic retention time)

V_R = Arbeitsvolumen der Gärbehälter (= Faulraum) [m^3]

V_S = täglich zugeführtes Substratvolumen [m^3/d], (Näherung: $1 \text{ m}^3 = 1t$)

5.5.1.8 Fermenter und Gärrestlager

Durch die Dimensionierung der Fermenter wurde die Anlage weitestgehend ausgelegt. Die Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 [22] sollte dabei eingehalten werden. Demnach gilt für neu zu errichtende Anlagen eine Mindest-Gesamtverweilzeit im gasdichten System von 150 Tagen. Hierzu wird auch die mittlere Lagerdauer im Gärrestlager berücksichtigt [22]. Zur Erhöhung der Gasausbeute durch Vermeidung von Kurzschlussströmen sollten nach Möglichkeit zwei Prozessstufen gewählt werden.

Für die Gärrestlager gilt nach [22], dass prinzipiell kein Neubau von offenen Gruben gestattet ist, sofern sie am Standort der Biogasanlage betrieben werden. Für die kleinen Anlagenkonzepte wurden vorhandene Lagergruben für Gülle von 500 m^3 angenommen. Gemäß Düngeverordnung wurde von 180 Tagen Lagerkapazität ausgegangen. Die notwendige Kapazität muss hierbei nicht vollständig im Gärrestlager bereitgestellt werden. Wird der Füllstand im Nachgärer im Herbst abgesenkt, kann dieser in der Größenordnung der freiwerdenden Volumenkapazität als Gärrestlager dienen. Für die Berechnungen wurde bei den Nachgärern eine maximal 50-prozentige Absenkung des Füllstands angenommen.

Für die Berechnung der Gärrestmenge wurde von einer Volumenreduzierung des Substrats um 20 % durch den biologischen Abbauprozess ausgegangen. Wurde ein Separator benutzt, wurde davon ausgegangen, dass sich das Volumen um weitere 25 % reduziert. Nach Angaben von [27] liegt die Reduktion des Güllevolumens durch Separation zwischen 15 und 30 %.

5.5.1.9 Silo und Vorgrube

Um einen möglichst hohen Vorschub zu erzielen, wurde die Breite der Fahrsilos auf 10 m festgelegt. Im Betrieb sei dabei stets nur ein Fahrsilo geöffnet, so dass nur eine relevante Anschnittsfläche frei liegt. Alle Silos seien mit Folie abgedeckt und durch Gefälle mit Gullys in 7 m lange Abschnitte aufgeteilt. Auf die Folie treffendes Niederschlagswasser wird dem Vorfluter zugeleitet. Das Wasser des jeweiligen Abschnitts im Bereich des Silo-

anschnitts wird dem Fermenter über eine Vorgrube zugeführt, da dies organisch belastet ist. Mit manuell zu betätigenden Unterflurschiebern können die Abschnitte einzeln dem Vorfluter oder der Vorgrube zugeschaltet werden. Für die jährliche Niederschlagsmenge wurden $1.000 \text{ mm} \cdot \text{m}^2$ angesetzt. Die Vorgrube dient hierbei als Pufferspeicher, um ungleichmäßigen Anfall von Regenwasser durch Starkregenereignisse auszugleichen. Berechnungsgrundlage hierfür war ein Regenereignis von $100 \text{ mm} \cdot \text{m}^2$ während eines Tages. In die Grube läuft auch der Sickersaft des Silos. Dieser wird über die unter der Silage befindlichen Gullys gesammelt. Es wurde davon ausgegangen dass der Sickersaft nicht kontinuierlich anfällt, sondern hauptsächlich in den ersten Monaten. Sicherheitshalber wurde mit einem Anfall von 50 % der Gesamtmenge innerhalb eines Monats kalkuliert. Die Grube soll auch als Annahmegrube für Gülle dienen für den Fall, dass Fremdgülle bezogen werden muss. Für die Güllespeicherkapazität wurden sieben Tage veranschlagt.

5.5.2 Beschreibung der Anlagenkonzepte

5.5.2.1 Übersicht der Behälteranordnung

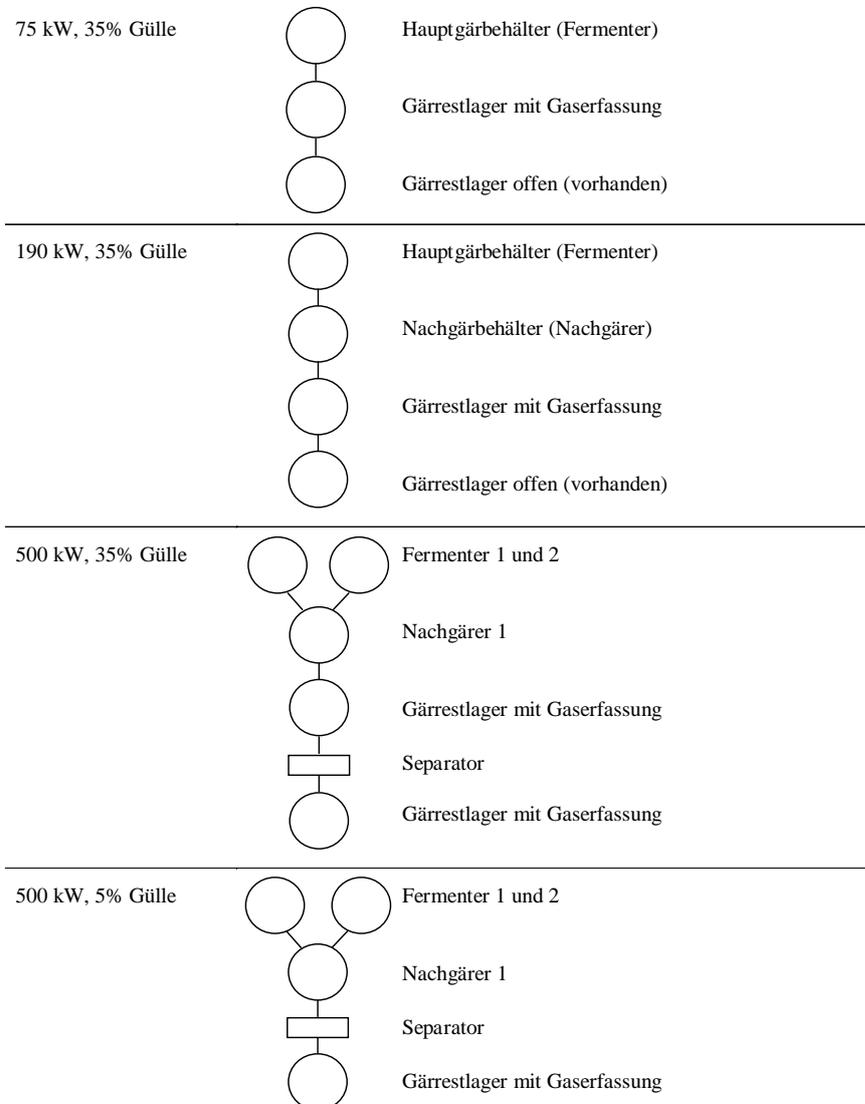


Abb. 38: Übersicht der Behälteranordnungen für die Anlagenkonzepte

5.5.2.2 Anlagenkonzept <100kW_{el}: 75kW_{el}

Da bei dieser Leistungsgröße die Variante mit 5 % Gülle im Vergleich zu 35 % Gülle nach momentaner Vergütung deutlich im Nachteil sein dürfte (Wegfall des Gülle-Bonus, vgl. Berechnung in Kap. 8), wurde auf eine Anlagenauslegung verzichtet. Um den Bauaufwand beim 35 %-System zu reduzieren und somit ein günstiges Szenario zu entwerfen, wurde abweichend von der Empfehlung für mindestens zwei Prozessstufen (vgl. Kap. 5.5.1.8) mit einem einzigen Gärbehälter gerechnet (Gärrestlager zählen nicht als Prozessstufe). Die Raumbelastung des Fermenters wurde dafür mit einem Wert von $2,33 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ geringer angesetzt, bei den zweistufigen Systemen liegt die Belastung in der ersten Stufe bei $4 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$. Das Konzept sieht eine Integration in einen bestehenden Betrieb mit vorhandenem Güllelager von 500 m³ vor, das als Gärrestlager genutzt werden kann. Tab. 50 bis Tab. 53 zeigen die Dimensionierung und die Kennwerte des Anlagenkonzeptes.

Tab. 50: Leistung, Substrat, Gasproduktion (75kW_{el})

| | | |
|---|---------------------------------|---------|
| Installierte elektrische Leistung | kW | 75 |
| Durchschnittliche elektrische Leistung | kW | 68,5 |
| Durchschnittliche thermische Leistung | kW | 83,7 |
| Feuerungswärmeleistung | kW | 190 |
| Einbringung Substrat inkl. Flächenwasser | t•d ⁻¹ | 7,2 |
| Flächenwasser von Silo | t•d ⁻¹ | 0,2 |
| Menge Grassilage | t•d ⁻¹ | 4,6 |
| Menge Gülle | t•d ⁻¹ | 2,5 |
| Gesamt oTM-Gehalt der Einsatzstoffe | % | 22 |
| Spezifischer Substratverbrauch bezogen auf Nutzleistung | kg oTM•(kW•d) ⁻¹ | 24 |
| Biogasproduktion pro Tag | m ³ •d ⁻¹ | 859 |
| Biogasproduktion pro Jahr | m ³ •a ⁻¹ | 313.535 |
| Gasproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 36 |
| Methanproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 19 |
| Erforderliche Gaslagerkapazität für 12 h-BHKW-Ausfall und 30 % Füllstand im Standardbetrieb | m ³ | 614 |

Tab. 51: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (75kW_{el})

| | | |
|--|--|-----|
| Arbeitsvolumen Fermenter | m ³ | 600 |
| Nutzvolumen Gärrestlager mit Gaserfassung | m ³ | 600 |
| Nutzvolumen Gärrestlager offen, vorhanden | m ³ | 500 |
| Spezifischer Faulraum ohne Gärrestlager | m ³ •kW ⁻¹ | 8,8 |
| Gesamtfaulraum | m ³ | 600 |
| B _R Gesamtfaulraum | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 2,7 |
| B _R Fermenter | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 2,7 |
| Hydraulische Verweilzeit Gesamtfaulraum | d | 83 |
| Hydraulische Verweilzeit Fermenter | d | 83 |
| Hydraulische Verweilzeit inklusive gasdichtes Gärrestlager | d | 166 |

Tab. 52: Separation und Gärrest (75 kW_{el})

| | | |
|---|----------------|-------|
| Separation | | nein |
| Anfallender Gärrest vor Separation in 180 Tagen | m ³ | 1.040 |
| Kapazitätseinsparung durch Separation | m ³ | 0 |
| Resultierende benötigte Lagerkapazität | m ³ | 1.040 |
| Vorhandene Lagerkapazität | m ³ | 1.100 |
| Resultierende Lagerdauer | d | 190 |

Tab. 53: Silo und Vorgrube (75 kW_{el})

| | | |
|--|--------------------------------------|-----|
| Anzahl Silofelder | | 2 |
| Silostockhöhe Durchschnitt | m | 3,5 |
| Breite | m | 10 |
| Länge | m | 34 |
| Starkregenereignis | mm•(m ² •d) ⁻¹ | 100 |
| Volumen für belastete Wassermenge Starkregenereignis | m ³ •d ⁻¹ | 7 |
| Gülspeicherkapazität | d | 7 |
| Volumen für Anlieferung Gülle pro Woche | m ³ | 17 |
| Durchschnittlicher Anfall an Sickersaft ¹⁾ | m ³ •a ⁻¹ | 50 |
| Volumen für stoßweise anfallendes Sickerwasser ²⁾ | m ³ | 21 |
| Vorzuhaltende Gesamtkapazität der Vorgrube | m ³ | 45 |

¹⁾ Festlegung: 3 % der FM Grassilage fallen als Sickersaft an

²⁾ Annahme: 50 % des durchschnittlichen Sickersaftes fallen stoßweise im Zeitraum eines Monats an, z. B. im ersten Monat.

5.5.2.3 Anlagenkonfiguration 100 – 200 kW_{el}: 190 kW_{el}

Bei der Leistungsgröße 190 kW_{el} wurde ebenfalls von erheblichen wirtschaftlichen Einbußen durch Wegfall des Gülle-Bonus bei einem eventuellen Konzept mit 5 % Gülle ausgegangen und deshalb auf eine genauere Betrachtung verzichtet. Für das Konzept mit 35 % Gülle wurde ein zweistufiges Verfahren mit gleichmäßigen Gärbehältergrößen entworfen. Die Raumbelastung im Fermenter liegt bei maximal 4,0 kg oTM•(m³•d)⁻¹, die Gesamtraumbelastung bei 2,0 kg oTM•(m³•d)⁻¹. Der Nachgärer wurde größer ausgelegt als erforderlich, fungiert aber anteilig als Gärrestlager (50 %). Zusätzlich wird von einer bestehenden Güllegrube von 500 m³ zur Gärrestlagerung ausgegangen.

Die Alternative Separator führt zu keiner wesentlichen Behältervolumeneinsparung, da in diesem Fall die 150 Tage Verweilzeit in den Gärbehältern (ohne Gärrestlager) realisiert und diese daher größer dimensioniert werden müssten.

Tab. 54: Leistung, Substrat, Gasproduktion (190 kW_{el})

| | | |
|--|---------------------------------|---------|
| Installierte elektrische Leistung | kW | 190 |
| Durchschnittliche elektrische Leistung | kW | 173,5 |
| Durchschnittliche thermische Leistung | kW | 201,7 |
| Feuerungswärmeleistung | kW | 470 |
| Einbringung Substrat inkl. Flächenwasser | t•d ⁻¹ | 17,5 |
| Flächenwasser von Silo | t•d ⁻¹ | 0,2 |
| Menge Grassilage | t•d ⁻¹ | 11,3 |
| Menge Gülle | t•d ⁻¹ | 6,1 |
| Gesamt oTM-Gehalt der Einsatzstoffe | % | 23 |
| Spezifischer Substratverbrauch bezogen auf Nutzleistung | kg oTM•(kW•d) ⁻¹ | 23 |
| Biogasproduktion pro Tag | m ³ •d ⁻¹ | 2.117 |
| Biogasproduktion pro Jahr | m ³ •a ⁻¹ | 772.822 |
| Gasproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 88 |
| Methanproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 47 |
| Erforderliche Gaslagerkapazität für 12h BHKW-Ausfall und 30% Füllstand im Standardbetrieb | m ³ | 1.512 |

Tab. 55: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (190 kW_{el})

| | | |
|---|--|-------|
| Fermenter | m ³ | 1.000 |
| Nachgärer | m ³ | 1.000 |
| Gärrestlager gasdicht | m ³ | 1.600 |
| Gärrestlager offen, vorhanden | m ³ | 500 |
| Spez. Faulraum ohne Gärrestlager | m ³ •kW ⁻¹ | 11,5 |
| Gesamtfaulraum | m ³ | 2.000 |
| B _R Gesamtfaulraum | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 2,0 |
| B _R Fermenter | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 4,0 |
| Hydraulische Verweilzeit Gesamtfaulraum | d | 114 |
| Hydraulische Verweilzeit Fermenter | d | 57 |
| Hydraulische Verweilzeit Nachgärer | d | 57 |
| Hydraulische Verweilzeit inklusive gasd. Gärrestlager | d | 206 |

Tab. 56: Separation und Gärrest (190 kW_{el})

| | | |
|--|----------------|-------|
| Separation | - | nein |
| Anfallender Gärrest in 180 Tagen | m ³ | 2.522 |
| Kapazitätseinsparung durch Separation | m ³ | 0 |
| Resultierende benötigte Lagerkapazität | m ³ | 2.522 |
| Vorhandene Lagerkapazität | m ³ | 2.600 |
| Resultierende Lagerdauer | d | 186 |

Tab. 57: Silo und Vorgrube (190 kW_{el})

| | | |
|--|--------------------------------------|-----|
| Anzahl Silofelder | | 4 |
| Silostockhöhe Durchschnitt | m | 3,5 |
| Breite | m | 10 |
| Länge | m | 42 |
| Starkregenereignis | mm•(m ² •d) ⁻¹ | 100 |
| Volumen für belastete Wassermenge Starkregenereignis | m ³ •d ⁻¹ | 7 |
| Gülspeicherkapazität in Tage | d | 7 |
| Volumen für Anlieferung Gülle pro Woche | m ³ | 42 |
| Durchschnittlicher Anfall an Sickersaft ¹⁾ | m ³ •a ⁻¹ | 123 |
| Volumen für stoßweise anfallendes Sickerwasser ²⁾ | m ³ | 52 |
| Vorzuhaltende Gesamtkapazität der Vorgrube | m ³ | 101 |

¹⁾ Festlegung: 3 % der FM Grassilage fallen als Sickersaft an

²⁾ Annahme: 50 % des durchschnittlichen Sickersaftes fallen stoßweise im Zeitraum eines Monats an, z. B. im ersten Monat

5.5.2.4 Anlagenkonfiguration 500 kW_{el}

Für die Leistungsklasse 500 kW_{el} wurden zwei Varianten mit einem Anteil von 35 % bzw. 5 % Gülle konzipiert. Es wurde im Gegensatz zu den anderen Konzepten von keinem bestehenden Gärrestlager ausgegangen, da eine Anlage dieser Größenordnung mit vier bzw. fünf Behältern schlecht in einen bestehenden Hof integriert werden könnte und deshalb eher separat errichtet würde. Somit werden alle Gärrestlager als gasdichte Neubauten geplant.

- Variante 1 (35 % Gülle):

Es wurde ein 2-stufiger Prozess realisiert, die notwendigen Gärrestlager werden dabei komplett neu errichtet. Es werden allerdings zwei Fermenter gebaut (doppelte erste Stufe), um deren Raumbelastung zu senken. Dadurch wird der Bau eines Fermenters in Übergröße umgangen.

Der Gärrest soll separiert werden. Bei einer traditionellen Anordnung der Separierung direkt nach den Fermentern/Nachgärern würde aber der feste Anteil des Gärrests unter der Mindestverweilzeit an die Atmosphäre treten. Um 150 Tage Verweilzeit im gasdichten System einzuhalten, schließt sich deshalb nach den Gärbehältern ein vorgelagertes Gärrestlager an und erst danach die Separierung (vgl. Abb. 38) Die Lagerung der flüssigen Phase des Gärrests erfolgt anforderungsgemäß in einem gasdichten Lager

- Variante 2 (5 % Gülle):

Im Vergleich zur Variante 1 kann hier das der Separation vorgeschaltete Gärrestlager eingespart werden, weil die nötige Verweilzeit in den Gärbehältern in diesem Fall sichergestellt werden kann. Da das Substrat stärker konzentriert ist (höherer TM-/oTM-Gehalt), reduziert sich das einzubringende Volumen und es steigt die Verweilzeit. Da weniger Gülle verwendet wird, fällt deren positiver Einfluss geringer aus. Damit ist für einen stabilen Betrieb unbedingt eine aufwändige Prozessüberwachung vorzusehen.

Tab. 58: Leistung, Substrat, Gasproduktion (500 kW_{el})

| | | | |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|
| Installierte elektrische Leistung | kW | 500 | 500 |
| Durchschnittliche elektrische Leistung | kW | 456,6 | 456,6 |
| Durchschnittliche thermische Leistung | kW | 504,7 | 504,7 |
| Feuerungswärmeleistung | kW | 1.203 | 1.202 |
| Einbringung Substrat inkl. Flächenwasser | t•d ⁻¹ | 44,6 | 33,0 |
| Flächenwasser von Silo | t•d ⁻¹ | 0,2 | 0,2 |
| Menge Grassilage | t•d ⁻¹ | 28,9 | 31,1 |
| Menge Gülle | t•d ⁻¹ | 15,5 | 1,6 |
| Gesamt oTM-Gehalt der Einsatzstoffe | % | 23 | 30 |
| Spezifischer Substratverbrauch bezogen auf Nutzleistung | kg oTM•(kW•d) ⁻¹ | 22 | 22 |
| Biogasproduktion pro Tag | m ³ •d ⁻¹ | 5.425 | 5.440 |
| Biogasproduktion pro Jahr | m ³ •a ⁻¹ | 1.980.222 | 1.985.478 |
| Gasproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 226 | 227 |
| Methanproduktionsrate | m ³ •h ⁻¹ | 120 | 120 |
| Erforderliche Gaslagerkapazität für 12 h BHKW-Ausfall und 30 % Füllstand im Standardbetrieb | m ³ | 3.875 | 3.885 |

Tab. 59: Behälterdimensionierung und Kenngrößen (500 kW_{el})

| | | | |
|--|--|-------|-------|
| Fermenter 1 | m ³ | 1.300 | 1.300 |
| Fermenter 2 | m ³ | 1.300 | 1.300 |
| Nachgärer 1 | m ³ | 1.600 | 2.500 |
| Gärrestlager gasdicht (vor Separator) | m ³ | 2.500 | 0 |
| Gärrestlager gasdicht (nach Separator) | m ³ | 2.500 | 2.650 |
| Gärrestlager offen, vorhanden | m ³ | 0 | 0 |
| Spezifischer Faulraum ohne Gärrestlager | m ³ •kW ⁻¹ | 9,2 | 11,2 |
| Gesamtfaulraum | m ³ | 4.200 | 5.100 |
| BR Raumbelastung Gesamtfaulraum | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 2,4 | 1,9 |
| BR Raumbelastung Fermenter | kg oTM•(m ³ •d) ⁻¹ | 3,9 | 3,8 |
| Hydraulische Verweilzeit Gesamtfaulraum | d | 94 | 155 |
| Hydraulische Verweilzeit Fermenter | d | 58 | 79 |
| Hydraulische Verweilzeit Nachgärer | d | 36 | 76 |
| Hydraulische Verweilzeit inklusive gasdichtes Gärrestlager | d | 150 | 155 |

Tab. 60: Separation und Gärrest (500 kW_{el})

| | | | |
|---|----------------|-------|-------|
| Separation | | ja | ja |
| Anfallender Gärrest vor Separation in 180 Tagen | m ³ | 6.420 | 4.747 |
| Kapazitätseinsparung durch Separation | m ³ | 833 | 883 |
| Resultierende benötigte Lagerkapazität | m ³ | 5.586 | 3.864 |
| Vorhandene Lagerkapazität | m ³ | 5.800 | 3.900 |
| Resultierende Lagerdauer | d | 186 | 181 |

Tab. 61: Fahrсило und Vorgrube (500 kW_{el})

| | | | |
|--|--------------------------------------|-----|-----|
| Anzahl Silofelder | | 10 | 10 |
| Silostockhöhe Durchschnitt | m | 3,5 | 3,5 |
| Breite | m | 10 | 10 |
| Länge | m | 43 | 46 |
| Starkregenereignis | mm•(m ² •d) ⁻¹ | 100 | 100 |
| Volumen für belastete Wassermenge Starkregenereignis | m ³ •d ⁻¹ | 7 | 7 |
| Gülspeicherkapazität | d | 7 | 7 |
| Volumen für Anlieferung Gülle pro Woche | m ³ | 109 | 11 |
| Durchschnittlicher Anfall an Sickersaft ¹⁾ | m ³ •a ⁻¹ | 316 | 341 |
| Volumen für stoßweise anfallendes Sickerwasser ²⁾ | m ³ | 132 | 142 |
| Vorzuhaltende Gesamtkapazität der Vorgrube | m ³ | 248 | 161 |

¹⁾ Festlegung: 3 % der FM Grassilage fallen als Sickersaft an

²⁾ Annahme: 50 % des durchschnittlichen Sickersaftes fallen stoßweise im Zeitraum eines Monats an, z. B. im ersten Monat

5.5.2.5 Biomethananlage mit einem Volumenstrom von 600 - 700 m³ Biomethan pro Stunde

Es zeigt sich, dass ca. 3.670 ha durchschnittliches Grünland notwendig sind. Dadurch wird der Einzugsbereich gerade hinsichtlich des Aspekts der Grenzstandorte sehr groß. Durch den damit verbundenen hohen logistischen Aufwand erscheint das Konzept als nicht praktikabel. Es wurde daher keine Konzeptionierung einer Biogasanlage in dieser Größenordnung vorgenommen.

5.5.2.6 Benötigte Ressourcen und Hektarerträge

Aus den benötigten jährlichen Substratmengen lässt sich der Bedarf an Grünlandfläche errechnen. Es müssen hierzu allerdings Hektarjahreserträge definiert werden. Nach [28] liegen die durchschnittlichen Hektarerträge für das Alpenvorland bei 62,5 dt TM pro ha. Dies ist eine Netto-Angabe und beinhaltet bereits Lagerverluste. Nimmt man für die Berechnung einen etwas erhöhten Hektarertrag von 65 dt pro ha an, errechnen sich die notwendigen Flächen und die Anzahl an Großvieheinheiten gemäß den Tab. 62 und Tab. 63.

Tab. 62: Benötigte Fläche an Grünland

| | | | | | |
|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Anlagenkonzept | kW _{el} | 75 | 190 | 500 | 500 |
| Ertrag TM einschließlich Lagerverluste | dt TM•ha ⁻¹ | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Ertrag TM | kg TM•ha ⁻¹ | 6.200 | 6.200 | 6.200 | 6.200 |
| Hektarertrag oTM | kg oTM•ha ⁻¹ | 5.580 | 5.580 | 5.580 | 5.580 |
| Hektarertrag FM | t FM•ha ⁻¹ | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Benötigte Hektar Grünland | ha | 94 | 232 | 595 | 642 |

Tab. 63: Erforderliche Menge an Gülle

| | | | | | |
|----------------------|--|-----|-------|-------|-----|
| Anlagenkonzept | kW_{el} | 75 | 190 | 500 | 500 |
| Gülleanfall | $\text{m}^3 \cdot (\text{GV} \cdot \text{a})^{-1}$ | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Menge Gülle pro Jahr | $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ | 898 | 2.213 | 5.671 | 598 |
| Benötigte GV | GV | 45 | 111 | 284 | 30 |

5.5.2.7 Elektrischer Prozessenergiebedarf

Der Eigenstrombedarf der Biogasanlagen wurde mit 10 % veranschlagt, da von einem erhöhten Strombedarf für das Rühren und Rezirkulieren des Gärgemisches aus Grassilage und Gülle ausgegangen wurde. Für die Variante mit lediglich 5 % Gülle wurde nochmals ein höherer Wert von 11 % angenommen.

5.5.2.8 Thermischer Prozessenergiebedarf

Der Prozesswärmebedarf für die Fermenterheizung wurde aus dem Wärmeverlust durch die Fermenterhülle und dem Wärmearaufwand zur Aufwärmung der zugeführten Substrate ermittelt. Der Wärmeverlust durch die Gärbehälterhülle wurde mittels Wärmedurchgangskoeffizienten und der Temperaturdifferenz zwischen Gärsubstrat und Außentemperatur errechnet. Bei der Berechnung der nötigen Wärmemenge für die Aufwärmung der zugeführten Substrate wurde mit der Wärmekapazität von Wasser gerechnet. Somit ergeben sich für die Anlagenkonzepte unterschiedliche Eigenwärmeverbräuche zwischen 26 und 30 % der insgesamt produzierten Wärme. Diese Annahme entspricht einem vergleichsweise überdurchschnittlichen prozentualen Anteil an Prozesswärme [14], [15].

5.5.3 Wärmenutzungskonzept

Für die Bilanzierung der Wirtschaftlichkeit und Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte wurde die Wärmenutzung der Anlagenkonzepte konkretisiert. Die für eine Wärmenutzung verfügbare Wärme wurde aus der Differenz zwischen der erzeugten Wärmemenge und dem Prozesswärmebedarf berechnet. Es ergeben sich die verfügbaren Wärmemengen gemäß Tab. 64.

Tab. 64: Durchschnittliche thermische Leistungen für die Anlagenkonzepte

| | | | | | |
|--|----------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Gülleanteil | | 35% | 35% | 35% | 5% |
| Konzept (elektrische Leistung) | kW | 75 | 190 | 500 | 500 |
| Durchschnittliche thermische Leistung | kW | 84 | 202 | 505 | 505 |
| Erzeugte Wärme | $\text{kWh} \cdot \text{a}^{-1}$ | 733.333 | 1.766.486 | 4.421.053 | 4.421.053 |
| Prozesswärme | $\text{kWh} \cdot \text{a}^{-1}$ | 190.667 | 529.946 | 1.282.105 | 1.149.474 |
| Anteil Prozesswärme an erzeugter Wärme | % | 26 | 30 | 29 | 26 |
| Nutzbare thermische Energie | $\text{kWh} \cdot \text{a}^{-1}$ | 542.667 | 1.236.541 | 3.138.947 | 3.271.579 |

Für die Anlagen wurde ein eher durchschnittliches Wärmekonzept angenommen (vgl. Tab. 65). Dies soll zur besseren Vergleichbarkeit mit üblichen Biogasanlagen dienen. Bei guter Planung und günstigen Voraussetzungen kann eine wesentlich höhere Wärmenutzung realisiert werden [14], [29]. Es wurde von einem Wärmeverkauf von 30 % der verfügbaren Wärme ausgegangen zuzüglich der Wärmemenge für die Wohnhausbehei-

zung des Betreibers (200 m² Wohnfläche, 200 kWh•m⁻²). Bei den Anlagenkonzepten wurde die Bereitstellung von Heizwärme für Gebäude und Brauchwasser mit der Trocknung landwirtschaftlicher Güter wie z. B. Hackschnitzel ergänzt.

Tab. 65: Wärmenutzungen

| | | | | | |
|---|---|---------|-----------|-----------|-----------|
| Nutzbare thermische Energie | kWh•a ⁻¹ | 542.667 | 1.236.541 | 3.138.947 | 3.271.579 |
| Davon extern genutzt (30%) | kWh•a ⁻¹ | 162.800 | 370.962 | 941.684 | 981.474 |
| Pauschal Wohnhausheizung Landwirt | kWh•a ⁻¹ | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 |
| Genutzte Wärmemenge gesamt | kWh•a ⁻¹ | 202.800 | 410.962 | 981.684 | 1.021.474 |
| Nutzung in % der verfügbaren Wärmemenge | % | 37,4 | 33,2 | 31,3 | 31,2 |
| Aufteilung externe Wärmenut- zung, Nahwärmeversorgung und Trocknungsprozesse | - | 1:1 | 1:1 | 1:1 | 1:1 |
| Wärme für Trocknung | kWh•a ⁻¹ | 81.400 | 185.481 | 470.842 | 490.737 |
| Wärme für Heizen | kWh•a ⁻¹ | 81.400 | 185.481 | 470.842 | 490.737 |
| Strom für Hackschnitzeltrock- nung (56,5 kWh _{el} •MWh _{therm} ⁻¹) | kWh•a ⁻¹ | 4.599 | 10.480 | 26.603 | 27.727 |
| Strom für Nahwärme (4 kWh _{el} •MWh _{therm} ⁻¹) | kWh•a ⁻¹ | 326 | 742 | 1.883 | 1.963 |
| Stromverbrauch im Mittel | kWh _{el} •MWh _{therm} ⁻¹ | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 |

Für eine Hackschnitzeltrocknung kann nach EEG 2009 der KWK-Bonus beantragt werden, wenn dadurch nachgewiesenmaßen fossile Energie eingespart wird und ein Mindestaufwand von 100 € pro kW gegeben ist (Umweltgutachten). Die Wärmeverwertung für die Beheizung von Ställen ist generell begrenzt.

Es bietet sich an, Nahwärmelieferungen bzw. Heizanwendungen als Grundlastversorgungen umzusetzen. Dadurch kann ein höherer Anteil der produzierten Wärme abgesetzt werden. Die Wärmebedarfsspitzen werden dabei mit einem Spitzenlastkessel abgedeckt. Als solche können alte bestehende Kessel fungieren. Mit einer Grundlast von 30 bis 50 % der Spitzenleistung kann ca. 70 bis 90 % des Gesamtwärmebedarfs gedeckt werden [29]. Schwankungen im Wärmebedarf können von den Trocknungsprozessen aufgefangen werden. Abb. 39 zeigt eine beispielhafte Jahresdauerlinie für den Wärmebedarf einer Wohnbebauung.

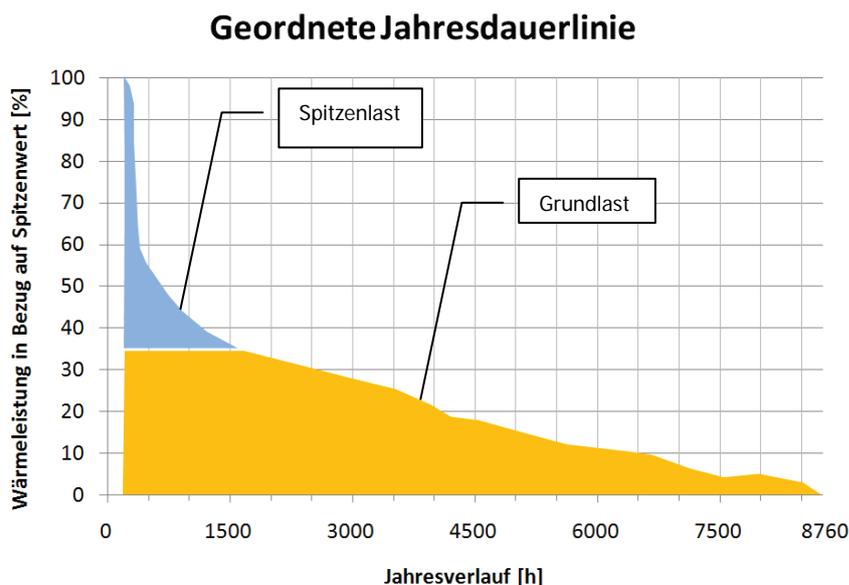


Abb. 39: Beispielhafte Jahresdauerlinie für den Wärmebedarf einer Wohnbebauung, nach [29]

Das Konzept einer Nahwärmeversorgung ist nur durchführbar, wenn die Kosten im Verhältnis zum Nutzen stehen. Bei nur geringen zu übertragenden Wärmemengen können z. B. nur geringe Entfernungen überbrückt werden. Bei großen Anlagen kann alternativ ein Satelliten-BHKW in unmittelbarer Nähe der Wärmeabnehmer errichtet werden, um eine bessere Wirtschaftlichkeit zu erreichen. In diesem Fall kann ein Teil der teureren Nahwärmeleitung durch günstigere Gasleitungen ersetzt werden. Bei kleinen Anlagen kann bei ungünstigen Umständen z. B. auf eine alternative Nutzungsmöglichkeit wie z. B. eine Gewächshausbeheizung zurückgegriffen werden.

5.5.4 Investment der Anlagenkonzepte

Es wurde eine Befragung zu aktuellen Preisen von Biogasanlagen mit besonderer Technik zur Grassilagevergärung durchgeführt (Landtechnikberater, Firmen, Betreiber). Da zur Vergärung von vorwiegend Grassilage keine zufriedenstellenden Daten gewonnen werden konnten, wurden die Preise von Biogasanlagen mit herkömmlichem Substrateinsatz als Basis herangezogen. Hiervon wurden die Investitionskosten für die Grassilagevergärung abgeleitet. Da die Investitionen von vielerlei Faktoren abhängen, besteht das Ergebnis der Recherche aus Preisspannen. Prinzipiell ist für die Vergärung von Grassilage ein höherer technischer Aufwand zu betreiben, was sich auch im Preis bemerkbar machen dürfte. Deshalb wurde für die Kalkulation der obere Bereich der angegebenen Preisspannen herangezogen (vgl. Tab. 66). Preise von Biogasanlagen unter $4.000 \text{ €} \cdot (\text{kW}_{\text{el}})^{-1}$ sind aktuell nur möglich, wenn viel Eigenleistung gebracht wird und günstige Komponenten gewählt werden. Für das 500 kW-Konzept liegen nur zwei Anlagenbeispiele vor, die unter solchen Bedingungen gebaut wurden. Deshalb wurde mit konservativen $4.500 \text{ €} \cdot (\text{kW}_{\text{el}})^{-1}$ für den Fall der Auftragsvergabe für eine schlüsselfertige Anlage gerechnet. Die Preise gelten für die Komplettanlage inklusive Silos.

Tab. 66: Preisspannen aus Recherchen und Annahmen für die spezifischen Investitionskosten der Anlagenkonzepte

| | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|
| Anlagenkonzept | kW_{el} | 75 | 190 | 500 |
| Preisspanne* | $\text{€} \cdot (\text{kW}_{\text{el}})^{-1}$ | 3.500-6.800 | 3.300-6.000 | 3.200-3.600 |
| Annahme | $\text{€} \cdot (\text{kW}_{\text{el}})^{-1}$ | 6.000 | 5.500 | 4.500 |

*) Wert eventueller Eigenleistungen nicht bezifferbar

Für die Varianten mit 5 % Gülleanteil wird das gleiche Investitions-Niveau wie für die 35 %-Gülle-Anlagen angenommen. Um die festgelegten Mindest-Verweilzeiten zu erfüllen, wären zwar kleinere Behälter und damit geringere Kosten möglich, jedoch ist der TM-Gehalt höher, was evtl. zu einem höheren Aufwand für die Rühr- und die Pumptechnik führt. Zudem ist bei den 5 %-Gülleanlagen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit gegeben, dass wegen hoher NH_4 -Konzentration eine Verdünnung mit Wasser erforderlich wird. In diesem Fall wäre bei einer knappen Auslegung die Mindest-Verweilzeit nicht mehr einzuhalten. Mit einer Auslegung auf 30 % Wasseranteil an der Eintragsmenge wären in etwa die gleichen Fermentergrößen erforderlich wie bei den 35 %-Gülle-Anlagen.

5.6 Prozessüberwachung und -steuerung

Ziel aller Maßnahmen zur Prozessüberwachung und -steuerung ist die Sicherung eines stabilen Gärprozesses als Grundvoraussetzung für den langfristigen wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage. An dieser Stelle kann aus Platzgründen nur eine kurze Abhandlung der grundlegenden Strategien zur Überwachung, Steuerung und Regelung von Biogasanlagen erfolgen. Hierbei soll vor allem auf besonders kritische Punkte bei der Vergärung von Gras hingewiesen werden.

5.6.1 Steuerung des Prozesses im Regelbetrieb

Um einen zuverlässigen Betrieb sicherzustellen, sind die Prozessbedingungen vorab zu definieren und im Regelbetrieb auch einzuhalten. Dazu zählt insbesondere die Menge an zugeführtem Substrat in entsprechender Qualität. Hierzu sind eine Wägung sowie eine stichprobenartige Messung der oTM-Gehalte und Verdaulichkeitswerte erforderlich. Die oTM-Gehalte der Substratmischung sollten sich von denen der Berechnungsgrundlage nicht wesentlich unterscheiden. Bei größeren Abweichungen kann eine adäquate oTM-Konzentration der Substratmischung durch die Zugabe von Gärrest oder eine Änderung des Gülleanteils hergestellt werden (ggf. auch Zugabe von Wasser). Ist der TM-/oTM-Gehalt der Substrate höher als veranschlagt, führt dies zu einer Steigerung des TM-Gehaltes im Fermenter. Deshalb sind zum Ausgleich z. B. geringfügige Änderungen im Gülleanteil oder bei der Zugabe von Wasser denkbar.

Im Regelbetrieb werden geringfügige Qualitätsschwankungen des Substrats (Verdaulichkeit und oTM-Gehalt der verschiedenen Schnitte) durch die Anpassung der Futtermenge ausgeglichen, z. B. durch Steigerung bzw. Senkung der Beschickung oder Mischung mit anderem Substrat. Bei einer Steigerung der Zugabe muss auch das vergleichsweise träge Verhalten von Grassilage berücksichtigt werden. Durch diese Maßnahmen wird die Gasproduktionsrate in etwa konstant gehalten. Bei Prozessstörungen oder für Revisionsmaßnahmen muss die Substratzufuhr unter Umständen gedrosselt werden. In der Praxis erfolgt die Regelung der Motorleistung durch eine simple Stufenregelung abhängig vom Füllstand des Gasspeichers. Auf Grund des erwähnten verzögerten Ansprechens der Gasproduktionsrate bei Variation der Fütterung mit Gras birgt ein prall gefüllter Gasspeicher ein erhöhtes Risiko für das Abblasen von Biogas.

Zu hohe Trockensubstanzgehalte und dadurch verursachte Probleme bei der Durchmischung in den Gärbehältern werden durch Rezirkulieren eingedämmt. Wie hoch die TM-Gehalte in den Fermentern einer Anlage sein dürfen, so dass eine effektive Durchmischung mit akzeptablem Strombedarf erreicht werden kann, hängt von der eingesetzten Rührtechnik und der Fermentergeometrie ab. Aus diesem Grund müssen diesbezüglich für jede Anlage eigene Erfahrungswerte gesammelt werden. Als Richtwert kann zunächst für konventionelle Rührkesselfermenter von einem TM-Gehalt von 10 % als kritischer Obergrenze ausgegangen werden.

Die Prozesstemperatur ist eine wichtige Regelgröße, da sich die Temperatur im Gärgemisch auf die Abbaugeschwindigkeit und den Chemismus auswirkt. Kurzfristige Schwankungen der Gärtemperatur sind zu vermeiden, da sie den Gärprozess destabilisieren können. Dies ist umso kritischer zu sehen, je höher das absolute Temperaturniveau liegt. Grundlegende Stell- und Regelgrößen für den Biogasprozess sind in Tab. 67 dargestellt. Hinweise zur Bestimmung dieser Größen gibt Tab. 68.

Tab. 67: Stell- und Regelgrößen des Biogasprozesses

| Regelgröße | Stellgröße(n) | Maßnahmen |
|--------------------------|--|--|
| Gasproduktionsrate | Masse Substratzufuhr | Steigern / Reduzieren |
| | oTM-Gehalt und Verdaulichkeit der Substratmischung | <ul style="list-style-type: none"> – Verdünnen – Höherer Feststoffanteil – Mischen verschiedener Substratqualitäten |
| TM-Gehalt im Gärgemisch | Rezirkulation | Steigern/Reduzieren <ul style="list-style-type: none"> – von Nachgärer oder Fermenter |
| | TM-Gehalt der Substratmischung | <ul style="list-style-type: none"> – Zugabe flüssiger Gärreste/Wasser – Mischen verschiedener Substratqualitäten |
| Temperatur im Gärgemisch | Vorlauftemperatur | <ul style="list-style-type: none"> – Erhöhen¹ – Erniedrigen (z. B. durch Mischen mit Rücklauf) |
| | Volumenstrom Heizkreis | Steigern/Reduzieren mit Pumpenleistung |

¹) Zu heiße Heizflächen können die Fermenterbiologie beeinträchtigen.

Tab. 68: Hinweise zur Bestimmung grundlegender Stell- und Regelgrößen für den Biogasprozess

| Parameter | Bestimmung |
|--|---|
| Menge der festen Substrate | Feststoffdosierer mit Wägezellen/ Achslastwaage/ Lader mit Wägeeinrichtung |
| Menge an Flüssigmist | Durchflussmesser/ Pumpenlaufzeit |
| Rezirkulatstrom | Durchflusszähler/ Pumpenlaufzeit |
| TM-Gehalt der Einsatzstoffe bzw. des Gärgemisches | Ermittlung des Trockenrückstands vor Ort oder im Auftragslabor |
| oTM-Gehalt der Einsatzstoffe bzw. des Gärgemisches | Ermittlung des Glühverlustes vor Ort oder im Auftragslabor |
| Gasproduktionsrate ² | Gasdurchflussmesser + Schreiber/ Gaszähler |
| Temperatur im Gärgemisch | Industriethermometer: Messung an mindestens zwei Stellen im Gärbehälter, die nicht direkt von der Heizung beeinflusst sein dürfen. |

²⁾ Die unter Betriebsbedingungen gemessene Gasproduktionsrate muss für einen Vergleich mit Referenzwerten auf Normbedingungen (0 °C, 1013,25 hPa) umgerechnet werden.

5.6.2 Prozessindikatoren und Maßnahmen zur Prozesssicherung

Gute Prozessindikatoren zeigen aufkommende Störungen frühzeitig an und ermöglichen so Gegenmaßnahmen. Der Aufwand für die Bestimmung dieser Indikatoren ist unterschiedlich. Gasproduktionsrate und Gaszusammensetzung sind bei Biogasanlagen mit Einsatz von Gülle und hohem Anteil an Gras auf Grund der Trägheit des Prozesses als unmittelbare Prozessindikatoren weniger geeignet. Ein abnehmender Trend der Gasproduktion und des Methangehaltes im Biogas bei gleich bleibender Fütterung ist jedoch ein offensichtlicher Hinweis auf eine Hemmung des Gärprozesses.

Eine verminderte Gasqualität (CH₄ niedrig, H₂ und CO₂ hoch) oder einbrechende Gasproduktionsrate spiegelt eine Beeinträchtigung der biologischen Verhältnisse wider. Die Anschaffung eines Gasanalysegerätes (tragbar oder fest installiert) für die tägliche Gasanalyse wird deshalb dringend empfohlen. Die erzielte Biogas- bzw. Methanausbeute sollte regelmäßig über einen längeren Zeitraum (z. B. auf Wochenbasis) ermittelt und im Verlauf beobachtet werden.

Geeignete chemische Prozessindikatoren lassen Schlüsse auf den Zustand der Biozönose und die Stabilität des Gärprozesses zu. Besonders aussagekräftig ist das Spektrum der flüchtigen Fettsäuren im Gärgemisch. Der FOS/TAC-Wert als Summenparameter für die Versäuerungsgefahr beim Gärprozess ist anlagenspezifisch und stets im Verlauf zu beobachten. Bei der Grasvergärung scheint seine Aussagekraft in gewisser Weise eingeschränkt zu sein, da nicht alle Hemmwirkungen erfasst werden.

Der NH₄⁺-Gehalt im Gärgemisch ist weniger ein Prozessindikator als ein Risikofaktor, da oberhalb eines bestimmten Niveaus der Ammoniumionen-Konzentration eine Hemmung durch den mit Ammonium im Dissoziationsgleichgewicht stehenden Ammoniak (NH₃) eintritt. Liegt ein Wert für den Ammoniumgehalt vor, so kann in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert des Gärgemisches die Konzentration des gelösten Ammoniaks be-

rechnet werden. Für nicht an hohe Stickstoffgehalte adaptierte Biozönosen liegt die Hemmschwelle im Bereich 80 - 250 mg $\text{NH}_3 \cdot \text{l}^{-1}$. Bei einem pH-Wert um 7,8 und einer Gärtemperatur von 40°C ist diese Schwelle bereits bei einer $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration von ca. 3.000 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ erreicht (vgl. Abb. 40).

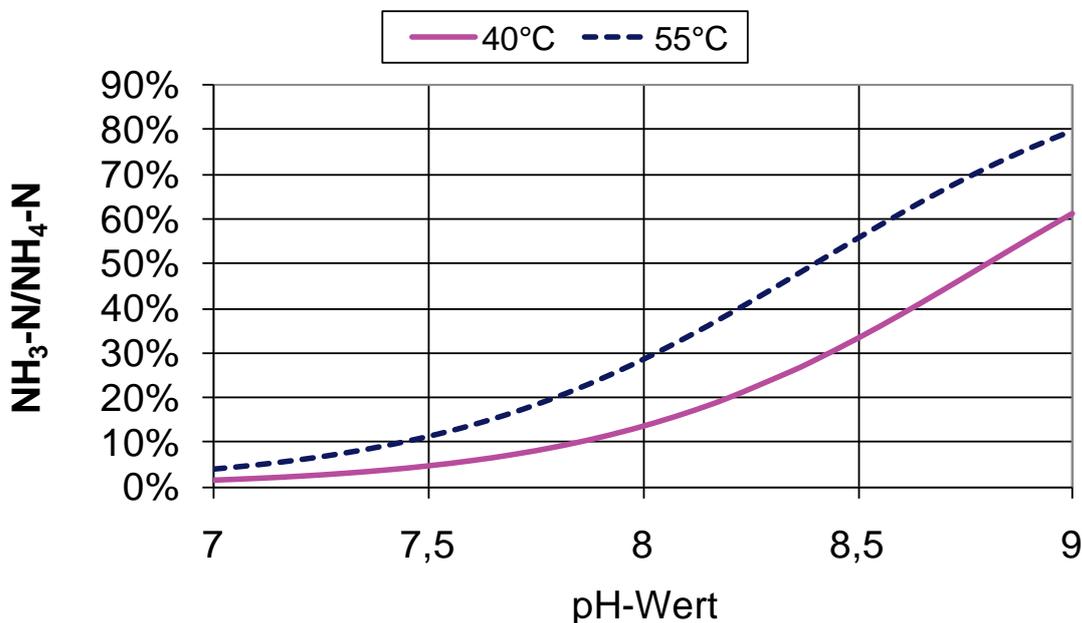


Abb. 40: Anteil des freien Ammoniak an der gesamten ammoniakalischen Stickstoffkonzentration ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur

Steigt der Ammoniakgehalt, können folgende Maßnahmen getroffen werden:

- Verdünnung mit Wasser oder auch Gärsubstrat aus anderen Behältern, Vorsicht wegen Schaumbildung
- Absenkung der Prozesstemperatur in den mesophilen Bereich
- Wenn die obigen Maßnahmen nicht zum Erfolg führen, muss auch die Substratzuführung und damit die Gasproduktion gedrosselt werden.

Damit die Prozessindikatoren ihre Funktion auch erfüllen können, müssen diese in regelmäßigen Abständen bestimmt werden. Die Häufigkeit der Untersuchungen hängt dabei vom Status des Anlagenbetriebs und der Erfahrung des Betreibers ab. In Anlagen, die sich im Anfahrbetrieb befinden, einer Rationssteigerung unterzogen werden oder besonders hoch belastet sind, sollte die Bestimmung öfter erfolgen als bei stabilem Betrieb und moderater Fütterung (vgl. Tab. 69).

Tab. 69: Hinweise zu Prüfintervalen und Warnwerten für wichtige Prozessindikatoren

| Parameter | Einheit | Warnwert (Hauptgärbehälter) | Prüfintervall Routine | Prüfintervall speziell |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------|---|---|
| Gesamte flüchtige Fettsäuren | mg•l ⁻¹ | 4.000 | 2 Wochen ... 1 Monat | 2...4 Tage |
| Essigsäure | mg•l ⁻¹ | 3.000 | 2 Wochen ... 1 Monat | 2...4 Tage |
| Propionsäure | mg•l ⁻¹ | 1.000 | 2 Wochen ... 1 Monat | 2...4 Tage |
| iso-Buttersäure | mg•l ⁻¹ | 50 | 2 Wochen ... 1 Monat | 2...4 Tage |
| höhere Säuren | mg•l ⁻¹ | 50 | optional | optional |
| FOS/TAC | - | (0,8) ¹ | 3...4 Tage | 1 Tag |
| NH ₄ -N | mg•l ⁻¹ | 3.000 | 1 Monat | 1 Woche |
| pH | - | (<7,0 / >8,0) | in Verbindung mit obigen Pa- rametern | in Verbindung mit obigen Pa- rametern |

¹) Anlagenspezifisch; Trend entscheidend!

Der TM-Gehalt im Gärgemisch wurde bereits als überwachungsbedürftige Betriebsgröße genannt. Steigt er von einem stabilen Niveau ausgehend deutlich und relativ rasch an, ist dies ein Hinweis auf eine Verminderung der Abbauleistung. Prozessstörungen können auch technische Ursachen haben, wie z. B. der Ausfall der Heizung. Deshalb sollten wichtige technische Aggregate unbedingt regelmäßig auf Funktionsfähigkeit untersucht werden. Bei der Vergärung von Gras sollte zudem auf das Risiko der Bildung einer Schwimmdecke geachtet und dementsprechend eine regelmäßige Sichtkontrolle durchgeführt werden.

5.7 Zusammenfassung und Fazit

Zu einer geeigneten Anlagentechnik für die Vergärung von überwiegend Grassilage wurden Recherchen in der Literatur und in der Praxis durchgeführt. Neben dem konventionellen Rührkesselverfahren existieren am Markt verschiedene Alternativen für die Grassilagevergärung, wie z. B. Propfenstromfermenter, Verfahren mit hydraulischer Durchmischung oder diskontinuierliche Feststoffvergärungsverfahren mit Garagenfermentern. Für kontinuierliche Rührkesselverfahren liegen vergleichsweise die meisten Daten vor. In solchen Anlagen werden bis zu ca. 50 % Grassilage häufig eingesetzt, Anwendungen mit überwiegendem Graseinsatz (70 % und mehr) sind aktuell sehr selten. Was alternative Verfahren angeht, existieren meist nur wenige Referenzanlagen und kaum Daten, die eine unabhängige Bewertung erlauben würden. Das konventionelle Rührkesselverfahren kann daher bei sachgemäßer Ausführung und Prozessüberwachung gegenwärtig als Stand der Technik für die Grasvergärung gelten und wurde den Anlagenkonzepten in dieser Machbarkeitsstudie zu Grunde gelegt.

Die Ergebnisse aus Messprogrammen zeigen, dass bei entsprechender Ausrüstung der Biogasanlage und intensiver Prozessüberwachung mit diesem Verfahren eine gute Abbaueffizienz und Arbeitsausnutzung bei Gras basierter Vergärung erzielt werden kann. Das Risiko von Ausfallzeiten auf Grund mechanisch-hydraulischer oder gärbioologischer Probleme steigt im Vergleich zu Mais basierter Vergärung mit zunehmendem Grasanteil an. In kontinuierlichen Rührkesselanlagen müssen im Vergleich zu Mais- oder Gülle-basierter

Vergärung bei überwiegendem Graseinsatz robustere und speziell dimensionierte Förder- und Durchmischungsaggregate sowie Rohrleitungen verwendet werden. Die Anforderungen an die Substratqualität sind vom eingesetzten System abhängig. Gras aus dem Rotor-Ladewagen ist ohne weitere Zerkleinerung und Desintegration nicht problemlos verwertbar. Gehäckselttes Gras kann i. A. unter Berücksichtigung der oben genannten Ausstattungsdetails ohne Schwierigkeiten verarbeitet werden. Jeder weitergehende Aufschluss beschleunigt den Abbau und verringert die Rührenergie. Ob der zusätzliche Energiebedarf für den Substrataufschluss durch die Reduzierung des Stromverbrauchs für das Fördern und Rühren des Gärgemisches ausgeglichen werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

Die Raumbelastung ist bei sehr hohen Grasanteilen durch den TM-Gehalt im Gärgemisch und den Ammoniumgehalt beschränkt. Aus prozessbiologischer Sicht ist bei der Grasvergärung das Risiko einer Hemmung durch Ammoniak stark erhöht. Daher ist eine intensive Prozessüberwachung erforderlich, wobei als Prozessindikatoren der pH-Wert, der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt, die Konzentration niederer Fettsäuren und der FOS/TAC-Wert beobachtet werden sollten.

Für die Auslegung der Anlagenkonzepte (75 kW_{el}, 190 kW_{el}, 500 kW_{el}) wurden die empfohlenen Mindestverweilzeiten für den Emissionsschutz nach VDI 3475 Blatt 4 berücksichtigt. Die Raumbelastung wurde aus Gründen der Prozessstabilität limitiert. Die spezifischen Gesamtkosten für die Errichtung der Anlagen wurden mit 6.000,- EUR•kWh_{el} für die kleinste, 5.500,- EUR•kWh_{el} für die mittlere und 4.500,- EUR•kWh_{el} für die größte Anlage angenommen.

Fazit zu Problempunkten und zum weiteren Forschungsbedarf

Die Nutzung des Grases von frei fallenden Grünlandflächen für die Biogasproduktion könnte die Substratbasis für die Energiebereitstellung aus Biomasse verbreitern und durch den Erhalt von Dauergrünland einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die Steigerung der absoluten Einsatzmengen von Gras für die Biogasproduktion und insbesondere des Anteils von Gras im Einsatzstoffmix der einzelnen Biogasanlagen scheint jedoch noch auf gärbiologische, technische und betriebswirtschaftliche Hemmnisse zu stoßen. Die Recherchen im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie haben gezeigt, dass einerseits erheblicher Forschungsbedarf für eine Verbesserung der Stabilität und Effizienz der Grasvergärung besteht und andererseits keine ausreichende Datengrundlage für eine Bewertung der am Markt verfügbaren Verfahrensalternativen existiert. Der Handlungs- und Forschungsbedarf lässt sich wie folgt konkretisieren:

– Bewertung von Vergärungsverfahren im volltechnischen Maßstab:

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Betreiberbefragungen, Besichtigungen und Literaturrecherchen durchgeführt und es wurde auf Daten aus dem Bundes-Messprogramm Biogas und von den Bayerischen Biogas-Pilotanlagen zurückgegriffen. Für eine aussagekräftige Bewertungen von Anlagenkomponenten und alternativen Verfahren wären längerfristige Untersuchungen an Praxisanlagen mit Gras basierter Vergärung notwendig („Anlagen-Monitoring“), insbesondere hinsichtlich folgender Punkte:

- Strombedarf für das Fördern und Rühren von Gärgemischen mit hohem Grasanteil in Abhängigkeit vom Zerkleinerungsgrad, von der eingesetzten Technik dem TM-Gehalt im Gärbehälter
- Langfristige Prozessstabilität, Überwachungsbedarf und Eignung von Prozessindikatoren bei Gras basierter Vergärung

- Effekt unterschiedlicher Desintegrationsverfahren auf die Abbaugeschwindigkeit (Methanproduktivität!) und die Energieeffizienz bei Gras basierter Vergärung
 - Untersuchung von Alternativen zum kontinuierlichen Rührkesselverfahren, z. B. zweiphasige Verfahren mit separater Hydrolyse-/Versäuerungsstufe, kontinuierliche Verfahren mit Perkolation, IFBB- Konzept [33], Garagenfermenter, Schlauch- und Grubenverfahren sowie Anstauverfahren nach aktuellem Stand der Technik
 - Wartungsbedarf und Standzeit von Anlagenkomponenten
 - Erstellung individueller Treibhausgas- und Energiebilanzen für Biogasanlagen mit überwiegend Grasvergärung.
- Grundlegende Untersuchungen zur Optimierung des Gärprozesses von Gras:
Die Beschränkung der Raumbelastung bei der Grasvergärung ist wirtschaftlich nachteilig. Die Mechanismen der Hemmung des Gärprozesses durch Ammoniak sind noch nicht abschließend geklärt. Zudem gibt es Hinweise, dass neben dem Ammoniak weitere Inhaltsstoffe im Gras eine Hemmwirkung haben könnten. Diese Fragestellungen sollten unter kontrollierten Bedingungen im Labor- oder halbtechnischen Maßstab untersucht werden. Dabei sind unbedingt mikro-/molekularbiologische Fragestellungen und Untersuchungsmethoden mit einzubeziehen.
- Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Grasvergärung:
- Differenzierte Definition der Raumbelastung als Bewertungskenngröße bei Vergärung Lignocellulose haltiger Biomasse wie Gras
 - Online-Verfahren zur Prozessüberwachung
 - Verfahren zur Abtrennung von ammoniakalischem Stickstoff aus dem Gärgemisch
 - Umfassende ökologische Bilanzierung der Bereitstellung von Biogas aus Gras.

5.8 Anhang Anlagenkonzepte

Zusammenfassende Darstellung der Berechnungsgrundlagen für die Anlagenkonzepte

| Elektrische Nennleistung | kW _{el.} | 75 | 190 | 500 (35%Gülle) | 500 (5%Gülle) |
|--|--------------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|
| Auslastung (8000 Volllaststunden pro Jahr) | | 0,913 | 0,913 | 0,913 | 0,913 |
| Elektrischer Nutzungsgrad BHKW | | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,38 |
| Thermischer Nutzungsgrad BHKW | | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,42 |
| Substrate | | | | | |
| Anteil Grassilage am Substrat | | 65,0% | 65,0% | 65,0% | 95,0% |
| Anteil Grassilage an Gesamtmenge | | 63,3% | 64,3% | 64,7% | 94,4% |
| Anteil Rinder-Gülle an Gesamteinbringung | | 34,1% | 34,6% | 34,8% | 5,0% |
| Anteil Rinder-Gülle am Substrat (ohne Wasser) | | 35,0% | 35,0% | 35,0% | 5,0% |
| Anteil Wasser an Gesamteinbringung | | 2,7% | 1,1% | 0,4% | 0,6% |
| oTS-Gehalt Grassilage (0,35*0,90) | | 31,5% | 31,5% | 31,5% | 31,5% |
| oTS-Gehalt Gülle (0,085*0,85) | | 7,2% | 7,2% | 7,2% | 7,2% |
| Methangehalt Gras | | 53,0% | 53,0% | 53,0% | 53,0% |
| Methangehalt Gülle | | 55,0% | 55,0% | 55,0% | 55,0% |
| Methangehalt Biogas | | 53,2% | 53,2% | 53,2% | 53,0% |
| Gasausbeute Gras | l•(kg oTM) ⁻¹ | 550 | 550 | 550 | 550 |
| Gasausbeute Gülle | l•(kg oTM) ⁻¹ | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Gasausbeute Gras | m ³ •(t FM) ⁻¹ | 173 | 173 | 173 | 173 |
| Gasausbeute Gülle | m ³ •(t FM) ⁻¹ | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Gärrestlagerung | | | | | |
| Volumenabbau Substrat | | | | | |
| Lagerdauer Gärrest | d | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Verweilzeit Fermenter + abgedecktes Gärrestlager | d | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Separator-Volumenreduzierung | | 0% | 0% | 25% | 25% |
| Fahrsilo | | | | | |
| Dichte Grassilage | kg•(m ³) ⁻¹ | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Volumen | m ³ | 2.382 | 5.871 | 15.045 | 16.236 |
| Fläche relevant für Niederschlagswasser (Abstand zwischen Gullys = 7m) | m ² | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Niederschlag pro Jahr | mm | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Anfall Regenwasser aus Silofläche | m ³ •(a) ⁻¹ | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Silostockhöhe | m | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Breite | m | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Vorgrube für Gülle Sickersaft und belastetes Regenwasser | | | | | |
| Starkregenereignis | mm•(d) ⁻¹ | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Fläche | m ² | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Maximale Vorhaltezeit für Gülle | d | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Anfall Sickersaft: 3%FM pro Jahr | m ³ •(a) ⁻¹ | 50 | 123 | 316 | 341 |
| Sickerwasser-Puffer: für 50% der Menge in einem Monat | m ³ | 21 | 52 | 132 | 142 |

6 Biomasse-Erntelogistik

Autoren: Ariane Fröhner, Stefan Thurner

6.1 Darstellung der derzeit verfügbaren Verfahrenstechnik zur Grünfütterernte (Grassilage) mit ihren Vor- und Nachteilen

Die Grünlandnutzung durch Viehhaltung verringert sich in vielen Regionen und erhöht die Attraktivität des Substrates für die Einspeisung in Biogasanlagen [35]. Im Jahre 2015 liegt das nicht mehr für die Tierhaltung genutzte Potential bei 1,1 Mio. Tonnen Trockensubstanz [36]. Bayern weist mit 1.450 Biogasanlagen bundesweit die größte Anzahl auf. Dabei wird vor allem Maissilage (48,8 %), aber auch Grassilage mit einem Anteil an der Substratmischung von 10,3 % vergoren [37]. Ein Blockheizkraftwerk mit einer jährlichen elektrischen Leistung von 100 kW benötigt bei einem Gehalt von 35 % Trockenmasse (TM) 2.200 t Grassilage (entspricht 770 t TM, [38]). Bei fünfmaligem Schnitt liegt das Ertragspotential von Grassilage zwischen 70 und 93 dt TM pro Hektar und Jahr [39]. Daraus ergibt sich ein Flächenbedarf von 83 bis 110 ha für die Stromerzeugung in einer 100 kW-Anlage. Bei intensiver Mehrschnittnutzung können Methanerträge von 2.500 bis 6.000 m³/ha und bei Einschnittnutzung im August im Alpenraum von etwa 500 m³/ha erzielt werden [40]. Die Produktionskosten von Grassilage lagen in DLG-Spitzenbetrieben bei 20 ct/10 MJ NEL [41]. Die Ernte hat als Bindeglied zwischen Erzeugung und Verwertung eine Schlüsselstellung und nimmt mit internen Ernteaufbereitungsprozessen einen festen Bestandteil der Gesamtproduktion pflanzlicher Erzeugnisse ein [42]. Die Kosten für Ernte und überbetrieblichen Transport von Grassilage (35 % TM) werden mit 457 €/ha bzw. 19 €/t Frischmasse beziffert [43]. Zielstellung vorliegender Studie ist die Darstellung derzeit zur Verfügung stehender Verfahrensketten für die Erzeugung von Grassilage. Desweiteren werden die Verfahren verglichen und anhand technischer Daten bewertet. Mittels qualifizierter Interviews sollen die aus der Literatur gewonnenen Kenntnisse mit praxisüblicher Technik untermauert und aus Sicht der Biogasbetreiber der künftige Anteil von Grassilage ermittelt werden.

Die produktionstechnischen Anforderungen an die Silageproduktion für Biogasanlagen entsprechen etwa denen der Futterproduktion. Das Grüngut sollte zu einem Zeitpunkt mit hoher Verdaulichkeit gemäht werden [44]. Die Maßnahmen der Silagebereitung dienen der verlustarmen Bergung des im Pflanzenbestand enthaltenen Energiepotentials. Das Silieren von Gras bewirkt geringere Verluste an organischer Substanz (7 - 20 %) und ein geringeres Wetterrisiko während der Ernte als Heu [45]. Als unbefriedigend werden die gesamten Verluste von der Mahd bis zur Bergung betrachtet, die bis zu 20 % betragen können [46]. Zu berücksichtigen sind in der Ernteprozesskette v. a. die Schnitthöhe (5 bis 8 cm), der Trockenmasse-Gehalt bei der Ernte und die Häcksellänge. Die Feldliegezeit beträgt bei Welkgut 1 bis 2 Tage. Der Zeitpunkt der ersten Ernte bestimmt den Methanhektarertrag der gesamten folgenden Vegetation und bietet bei dreischnittiger Nutzungsvariante Ertragsvorteile [40]. Bei der Verwertung von Grassilage sind die Biogaserträge um 1 bis 3 % höher als bei reiner Frischgrasverwertung [47]. Grundlage für das Gelingen qualitativ hochwertiger Grassilage ist der optimale Schnittzeitpunkt [48, 49, 50]. Ein hoher Zucker- und damit Energieertrag gewährleistet eine hohe natürliche Silierfähigkeit. Zum Erntezeitpunkt sollte ein Energiegehalt von mindestens 6,4 MJ NEL/kg TM erreicht werden und der Rohfasergehalt bei maximal 24 % in der Trockenmasse liegen [51]. Für eine günstige Vergärung ist ein Anwelken auf mindestens

28 bis 30 % Trockenmasse (TM) erforderlich [52]. Unter 30 % TM treten Gärtsaftverluste, über 45 % Verdichtungsprobleme und nachfolgend häufig Schimmelbildung bzw. Nacherwärmung auf [53]. Eine dem Gehalt der Trockenmasse angepasste Schnittlänge schafft bereits während der Ernte Voraussetzungen für eine optimale Silagequalität. Mit einer Schnittlänge von 40 bis 70 mm werden bei einem TM-Gehalt von 35 % optimale Verdichtungseigenschaften erzielt, die zwischen 205 und 215 kg TM/m³ liegen [54] und das Dosieren, Pumpen und Rühren in der Anlage wird erleichtert. Kurz geschnittene Silage bietet eine größere Angriffsfläche für die Bakterien im Fermenter, wodurch wiederum der Abbau des Substrates beschleunigt wird. Zu frühe Schnitte erhöhen die Gefahr von Fehlgärungen, zu späte Schnitte senken die Energiekonzentration, verzögern den Folgeaufwuchs und verschlechtern die Verdichtbarkeit des Siliergutes [50, 55]. Weiterhin ist bei der Nutzung als Energiegras für Biogasanlagen auf möglichst geringe Verschmutzung zu achten, da sich Sand im Fermenter absetzt, der später aufwendig zu beseitigen ist. Praxiserfahrungen zeigen, dass Monovergärung von Grassilage bei Einspeisung von gleichmäßig qualitativ hochwertigem Substrat unproblematisch ist [56].

Ernteprozessketten werden als technologische Verfahren definiert, die in ihrer Gesamtheit aus mehreren Verfahrensabschnitten bestehen [57]. Verfahrenstechnisch sollten die Geräte in der Futterernte so abgestimmt werden, dass der Massestrom in den einzelnen Abschnitten zügig verarbeitet werden kann. Die Verfahrenskosten werden durch Art, Anzahl und Leistung der Maschinen, sowie deren Investitionskosten beeinflusst. Bei der Technikausstattung sind sowohl Kapazität, als auch Arbeitsumfang und Arbeitszeit von Bedeutung. Als naturwissenschaftlich-technisches Kriterium gilt der Energiebedarf. Somit ist die Ernte nicht nur eine Frage hoher Kapazität der Maschinen, sondern auch der Abstimmung und Anpassung an die Verfahren innerhalb der Prozesskette [58, 59, 60].

Die Verfahrenslinie umfasst bei der Erzeugung von Grassilage die Teilschritte Werbung, Bergung, Transport und die Konservierung des Gutes. Als allgemeine verfahrenstechnische Anforderungen an die Werbung, die das Mähen mit oder ohne Aufbereiter, Zetten, Wenden und Schwaden umfasst, gelten die folgenden Aspekte: Nach sauberer verlustarmer Mahd bei optimaler Schnitthöhe, angepasst an die örtlichen Gegebenheiten, wie Böschungen und Bodenunebenheiten, ist bei möglichst niedrigem Pflegeaufwand, Leistungsbedarf und vertretbarem Kapitalaufwand eine an die folgende Futtererntekette angepasste ausreichende Schlagkraft zu erzielen. Bei der Bergung pflanzlicher Erzeugnisse sind die Prozessglieder Ernte, Transport, Umschlag und Lagerung eng miteinander verflochten, wobei die Silagebereitung besondere Anforderungen an die einzelnen Verfahrensglieder stellt. Diese sind auf eine hohe Schlagkraft bei guter Schnittqualität und günstigem Energieverbrauch ausgerichtet. Der Ladewagen bietet bei zersplitterter Flurlage und bei kleiner Schlaggröße eine Alternative zum Häcksler. Im Vergleich zur Nutzung von Maissilage sind beim Einsatz von Grassilage mit geringerer Effizienz größere Flächen und somit längere Wegstrecken einzukalkulieren. Eine grundlegende Differenzierung der Ernteprozessketten liegt im Ort der Verdichtung des geernteten Gutes. Schüttgut wird mit großvolumigen Transportanhängern zur Lagerstätte transportiert und dort in Silos eingelagert und verdichtet. Die Herstellung von Stückgut erfolgt in Form von Ballen, die direkt auf dem Schlag verdichtet werden.

Bei der Bewertung der Ernteschritte werden im Folgenden verfahrenstechnische Lösungen zur Ernte von Grassilage benannt. Die derzeit eingesetzte Technik wird funktional beschrieben und verglichen. Dazu werden allgemeine Anforderungen, wie Schlagkraft, Effizienz oder die Qualität des Erntegutes genutzt, sowie jeweils Vor- und Nachteile aufge-

führt. Zur Einordnung in die Verfahrenskette werden Besonderheiten vor- und nachgelagerter Techniken herangezogen. Ein abschließender Vergleich beendet die jeweiligen Verfahrensschritte Werbung, Bergung und Konservierung.

6.1.1 Werbung

6.1.1.1 Übersicht der Mähverfahren

Bei der Ernte von Grassilage kann durch moderne, leistungsfähige Mähwerke eine ausreichend hohe Schlagkraft sichergestellt werden (vgl. Tab. 70). Die Maschinen unterscheiden sich in den Schnittverfahren. Rotierende Mähwerke, wie Trommel- und Scheibenmähwerke verdrängen Mäh- bzw. Messerbalken, die zwar energetisch günstiger sind, jedoch bei geringer Flächenleistung einen hohen Wartungsbedarf aufweisen und zudem verstopfungsanfällig sind [61, 62]. Bei rotierenden Mähwerken sind an den Mähtrommeln und Mähscheiben Messerklingen angebracht, die das Erntegut bei hoher Drehzahl ohne Verwendung von Gegenschnitten abschlagen [63]. Einsparungen lassen sich durch rechtzeitigen Austausch stumpfer Klingen realisieren, die den Antriebsbedarf um bis zu 15 % erhöhen können [61]. Neuheiten bietet die Herstellerfirma Claas bei Schneidwerken mit hydropneumatischer Mähwerksentlastung, die den Kraftstoffverbrauch um bis zu 20 % vermindert [64]. Fahrgeschwindigkeiten von maximal 17 km/h lassen einen sauberen Schnitt und ein Wiederanwachsen des Grases zu. Unter guten Bedingungen sind Geschwindigkeiten von mehr als 20 km/h mit modernen Mähwerksanlenkungen und Entlastungen bei guter Anpassung an Bodenunebenheiten möglich [65]. Allerdings werden die durchschnittlichen Mähleistungen selbstfahrender Großflächenmäher durch unproduktive Transportzeiten um 40-50 % auf etwa 5 ha/h verringert [66].

Tab. 70: Bewertung der derzeit gängigen Mähtechnik für die Ernte von Grassilage

| Technik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|----------------------|--|---|--------------|
| Trommel- mähwerk | Bei liegenden Beständen keine Verstopfung, robust, einfacher Aufbau, einfacher Antrieb der Trommeln von oben, weniger Verschleiß, hohe und schmale Schwadbildung, Erhaltung der Grasnarbe, leichter Messerwechsel, mit Mähgutaufbereitern kombinierbar | Aufwendige Bauart, hohes Gewicht, sehr hoher Leistungsbedarf bei hoher Geschwindigkeit und Erfassen von Kleintieren möglich | [62, 63, 67] |
| Scheiben- mähwerk | Flacher Schwad, geringes Gewicht, leichtere Bauweise, geringere spezifische Antriebsleistung, mit Mähgutaufbereitern kombinierbar, größere AB, Schwadformer im Heckanbau | Mangelnde Schwadtrennung, technisch aufwendiger Untenantrieb | [62, 63, 67] |

Die Einhaltung der optimalen Schnitthöhe von 5 bis 8 cm wirkt sich positiv auf den Verschmutzungsgrad, die Narbenschädigung und somit das Nachwachsen der Bestände, das Anwelken und den Gesamtjahresertrag aus. Eine erhebliche Schonung der Tiere kann durch Änderung der Schnitthöhe auf 10 cm bewirkt werden [68]. Als arbeitswirtschaftlich vorteilhaft erwiesen sich Mähwerke mit großen Arbeitsbreiten (AB), insbesondere zur Steigerung der Flächenleistung. Mit Großflächenmähsystemen werden in den intensiven Grünlandgebieten Bayerns Flächenleistungen zwischen 9 und 12 ha/h erzielt [66]. Selbstfahrer sind bei hoher Maschinenauslastung vorwiegend in Grünlandgebieten vertreten, wobei der Anteil in Bayern bei 25 % liegt [66]. Traktorangebaute Versionen nahmen 2005 einen Anteil von 75 % ein. Mähwerkskombinationen werden häufig in Acker-Grünland-

Regionen genutzt und sind bei Einsatzflächen von etwa 500 ha wirtschaftlich [69]. Unter Berücksichtigung des Gewichts der Mähwerke sind bei größeren Schnittbreiten die leichteren Scheibenmähwerke verfügbar. Technische Kenndaten zu den rotierenden Mähwerken sind Tab. 71 zu entnehmen.

Tab. 71: Technische Kenndaten rotierender Mähwerke [51]

| | Bauweise | Arbeitsbreite (AB) m | Leistung kW/m | Arbeitsgeschwindigkeit km/h | Flächenleistung je m AB ha/h | Gewicht kg | Anschaffungskosten € |
|----------------------|----------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Trommel- mähwerk | Front/ Heck | 1,35-3,70 | 7-10 | 8-12 | 0,7-1,0 | 270- 950 | 2.000- 10.000 |
| | gezogen | 2,45-3,05 | | | | 750-1.500 | 11.000- 15.000 |
| Scheiben- mähwerk | Front/ Heck | 1,20-4,10 | 6-7 | 8-12 | 0,7-1,0 | 190-2.500 | 3.000- 14.000 |
| | gezogen | 3,00-6,20 | | | | 1.600- 3.000 | 16.000- 51.000 |

Derzeit sind Mähwerke als Anbaugeräte in den verschiedensten Arbeitsbreiten und Kombinationsmöglichkeiten im Einsatz. Die Anbauarten der Mähwerke unterscheiden sich folgendermaßen:

- Front- oder Heckanbau
- Front-Heck-Kombination
- Anhängemähwerk
- Drillings- und Schmetterlingskombination.

Bei Frontmähwerken ist der Anbau aufwendiger, Heckmähwerke weisen bei schlechten Sichtverhältnissen eine erschwerte Kontrolle auf. Bei der Kombination eines Frontmähwerkes mit einem gezogenen bzw. aufgesattelten Gerät als Heckmähwerk lassen sich Schnittbreiten von etwa 7 m realisieren. Mit dem Einsatz moderner gezogener bzw. angehängter Mähwerke werden eine variable Schwadablage und eine schonende Abstützung der Maschinenmassen ermöglicht. Sogenannte Drillingskombinationen können aus einer Dreifachkombination, die im Heck angebracht und mittels Rückfahreinrichtung gefahren wird, oder aus einem Frontmähwerk und einem Doppelmähwerk (Schmetterlingsmähwerk, *Butterfly*), das rechts und links hinter dem Schlepper mäht, bestehen. Der hohen Arbeitsbreite (8,50 bis 14 m) und Leistungsfähigkeit steht jedoch ein hoher Kapital- und Leistungsbedarf gegenüber. Alternativ kommen bei entsprechender Betriebsgröße Selbstfahrmähwerke zum Einsatz. Diese sind flexibel einsetzbar und ermöglichen die Ablage des Erntegutes in unterschiedlichsten Breiten.

Beim Mähen können Wildtiere verletzt oder getötet werden. Wildtierfreundliche Ernte- und Mähetechniken sind bei Grünlandflächen mit möglichem Wildbesatz die Mahd am Abend oder mit offener Fluchtrichtung für das Wild und das Mähen von innen nach außen. Die Herstellerfirma Claas unterstützt beispielsweise die Entwicklung von Sensoren zur Erfassung der Infrarotstrahlung von Tieren, die nach Alarmauslösung das Suchen des Tieres erleichtern.

6.1.1.2 Mähen mit Aufbereiter und Schwadzusammenlegung am Mähwerk

Aufbereiter kommen zunehmend in Kombination mit einem Mähwerk in Form mechanischer Verfahren zum Einsatz. Thermische (Hitzebehandlung) oder chemische Ansätze (Aufspritzen organischer Säuren) konnten sich aus Kostengründen nicht durchsetzen [63]. Ziel der Technik ist eine Vergrößerung der Oberfläche des Erntegutes. Infolge Knicken, Quetschen und Längsaufreißen wird die äußere Wachsschicht der Blatt- und Stängelteile teilweise zerstört und eine schnellere Wasserabgabe herbeigeführt. Somit verkürzt sich die Trocknungszeit der Pflanzen, womit eine Zeitersparnis von etwa drei Stunden erreicht wird [62, 70]. Bei der Silagebereitung kann der Einsatz von Aufbereitern den kostenintensiven Verfahrensschritt des Zettens ersetzen, da das Halmgut auch im Schwad ausreichend anwelken kann. Einsparungspotentiale liegen in der Kombination mit dem Mähvorgang und können den Arbeitseinsatz um bis zu 2 Arbeitskraftstunden je Hektar (AKh/ha) verringern [63] und den Gesamtarbeitsaufwand um 0,1 bis 0,5 h/ha [71]. Weitere Vorteile liegen in einem beschleunigten Trocknungsverlauf und damit einem sinkenden Wetterrisiko, sowie in besserer Qualität des Erntegutes durch geringe Nährstoffverluste und einen niedrigen Verschmutzungsgrad. Aus technischer Sicht erweisen sich einstellbare Geschwindigkeiten des Aufbereiters als vorteilhaft. Für den Einsatz von Aufbereitern ist jedoch ein zusätzlicher Kraftbedarf erforderlich (4-5 kW pro m AB), [71]. Bei einer Arbeitsbreite von 3 m liegt der Leistungsbedarf zwischen 60 und 70 kW (ohne Aufbereiter) bzw. 65 und 100 kW (mit Aufbereiter). Nachteilig wirken sich auch ein hoher Investitionsbedarf und die Gefahr von Bröckelverlusten (0,2-0,5 dt/ha) aus [63]. Von praktischer Bedeutung sind folgende mechanische Aufbereiter:

- Walzenaufbereiter
- Schlegelaufbereiter
- Intensivaufbereiter.

Die Aufbereitung des Gutes mittels *Quetschen* durch Gummi- oder Stahlwalzen ist als schonendes Verfahren bei blattreichen Beständen, wie Luzerne geeignet. Beim *Schlagen* mittels Zinken- oder Schlegelrotoren wird das Gut gegen Schlagleisten aus Stahl oder Kunststoff, einen Zinkenkamm oder gegen ein Riffelblech geschlagen [72]. Das Verfahren ist für Gräser und Mischbestände geeignet.

Die Entwicklung von Systemen der Mähintensivaufbereitung und Verdichtung zu einer dünnen Matte (Gutmatratze), in die alle Halmgutteile eingebunden sind, führt zur Senkung der Verluste. Bei Gräsern wird dafür eine technische Erweiterung der mechanischen Gutaufbereitung, wie Aufbereiterkämme oder Bürstenrotoren, genutzt. Mit Intensivaufbereitern wird das Erntegut in einem Arbeitsgang gemäht, intensiv aufbereitet und auf der ganzen Mähbreite abgelegt. Durch eine Zwangsförderung passiert das Gut mindestens zwei Walzen, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit gegeneinander laufen und einen intensiven Futteraufschluss bewirken. Im Vergleich zu konventionellen Aufbereitern wird die Feldtrocknung deutlich beschleunigt und Verluste bei Silage von 7 % auf 4 % gesenkt [73]. Als Folge der reduzierten Bearbeitung des Gutes durch Zetten und Wenden ergeben sich arbeitswirtschaftliche Vorteile und geringere Verluste [63, 74]. Demgegenüber ist der hohe maschinenbauliche Aufwand zu nennen. Die Intensivaufbereitung verbessert bei der Gewinnung von Anwelksilage die Gärqualität, wodurch sich der Energiegehalt in der fertigen Silage leicht erhöht [73]. Untersuchungen von Heckaufbereitern ergaben bei einer Aufnahmebreite zwischen 173 und 180 cm und geringen Antriebsleistungen (5-12 kW) in Kombination mit Frontmähwerken eine gute Hangtauglichkeit durch optimale Gewichtsverteilung am Zugfahrzeug [75].

Neben der Aufbereitung des Grüngutes ermöglichen Aufbereiter auch eine variable Schwadablage. Die Ausstattung mit einer zusätzlichen Schwadzusammenführung bei Mähkombinationen mit Aufbereitern führt ohne den Einsatz von rotierenden Zinken, wie beim Zetten oder Schwaden, zu verminderter Verschmutzung des Grases. Die Vorteile selbstfahrender Schwadmäher mit einem herstellerabhängigem Leistungsbedarf von etwa 350 kW liegen bei großer Arbeitsbreite (14 m), schneller Fahrbereitschaft, Straßentauglichkeit, hoher Schlagkraft und Schnittqualität [76]. Als nachteilig kann sich bei der Schwadzusammenlegung eine Beeinträchtigung des Silierprozesses infolge ungleichmäßiger Abtrocknung des Materials in voluminösen Schwaden bzw. bei sehr feuchtem Boden auswirken.

6.1.1.3 Zetten

Bei massigen Aufwüchsen oder ohne Verwendung von Aufbereitern kann ein zusätzlicher Zettvorgang notwendig sein. Die Schnittbreiten der Mähwerke und die Zetttechnik sind so aufeinander abzustimmen, dass Traktorreifen Mähgutschwaden nicht überfahren und ein Schwad mittig zwischen 2 Zettkreiseln liegt. Der Zettvorgang hat das Ausbreiten des Mähschwades bei langsamer Fahrgeschwindigkeit (5-8 km/h) zum Ziel. Um ein schnelles, verlustarmes Anwelken zu unterstützen und verfahrenstechnisch günstige Voraussetzungen für die Mechanisierung und Bergung zu ermöglichen, sollte das Erntegut möglichst gleichmäßig breit verteilt werden. Pro Wendevorgang liegen die Verluste bei frischem Gut bei rund 0,1 dt/ha [63]. Bei voluminösen Aufwüchsen ist das Zetten unabdingbar, um gleichmäßig gewelktes Siliergut herzustellen. Somit wird vermieden, dass unterschiedlich angewelkte Graspertien den Gärverlauf gefährden können. Bei geringen Erträgen und/oder guten Trocknungsbedingungen kann auf das Zetten verzichtet werden (vgl. Tab. 72).

Die Arbeitsqualität wird durch Maschinenausstattung, Grundeinstellungen, Bodenangepassung und Arbeitsgeschwindigkeit beeinflusst. Techniken, wie der Bandwender, die neben Streuen und Wenden auch Schwaden können, wurden vom leistungsstärkeren Kreiselzettwender abgelöst. Dieser arbeitet mit zapfwellengetriebenen Zinkenkreiseln, die paarweise gegenläufig arbeiten (4, 6 oder 8 Kreisel). Unter Einhaltung einer Arbeitsgeschwindigkeit von 5 km/h können Bröckelverluste auf ein Minimum reduziert werden. Eine Erhöhung der Schlagkraft kann durch größere Arbeitsbreiten erzielt werden [77].

6.1.1.4 Schwaden

Ziel des Schwadens ist es, das ausgebreitete Erntegut für die nachfolgende Lade-, Ballen- und Häckselkette in einer der Technik angepassten Breite von 60 bis 150 cm ohne Verschmutzung und Fremdkörper locker zusammen zu rechen. Für ein Nachtrocknen des Erntegutes sollten die Schwade locker, gleichmäßig breit und hoch geformt sein. Bei der Erntelogistik ist darauf zu achten, dass die Größe der erzeugten Schwade auf die Bergetechnik abgestimmt ist. So ist der Einsatz eines leistungsstarken Häckslers bei kleinen Schwaden unwirtschaftlich und ein Ladewagen kann trotz ausgereifter Schneidetechnik mit zu großen Massen überlastet werden. Für die Ausschöpfung der Häckselleistung sind sowohl ausreichende Aufwüchse und Arbeitsbreiten des Schwaders notwendig, die entsprechende Schwadstärken erzeugen, als auch die Schlagstruktur entscheidend. Als problematisch wird die Erzeugung von Erntegut mit unterschiedlichen TM-Gehalten bei großen Ernteflächen mit leistungsfähigen Maschinen angesehen, aber auch zu geringe Schwadabstände und damit verbundene zusätzliche Wendevorgänge auf dem Feld [78]. Bei nachfolgender Bergetechnik mit dem Ladewagen oder Pressen bestimmt die Achshöhe der Zugmaschine die Schwadhöhe, die Breite sollte bei 150 bis 160 cm liegen [79]. Bei selbstfahrenden

Häckseln ist die Breite der Pick-up ausschlaggebend für die Schwadform. Die Häcksel- bzw. Schnittqualität erfordert eine gleichmäßige Halmausrichtung und eine gleichförmige Schwade. Weiterhin hat die Materialdichte signifikante Effekte auf die Erntekosten. Rundballen wiesen beispielsweise eine geringere Dichte auf, wenn die Ballen aus einer hohen Schwade geformt wurden [80].

Kreiselschwader ermöglichen eine gute Arbeitsqualität, hohe Arbeitsgeschwindigkeiten (bis zu 16 km/h), geringe Futterschmutzung und eine gute Boden Anpassung durch Laufwerke (vgl. Tab. 72). Bei niedriger Zapfwelldrehzahl (350 bis 400 U/min) ist die Schwadqualität optimal [79]. Eine Leistungssteigerung kann durch die Erhöhung der Arbeitsbreite über mehrere Kreisel erreicht werden. Das Funktionsprinzip der Kreiselschwader basiert auf zapfwellengetriebenen Horizontalkreisen mit 7 bis 13 Zinkenarmen. Eine leistungsstarke und schonende Behandlung des Erntegutes wird mit einer Zinkengeschwindigkeit von maximal 8 m/s erzielt [79]. Zur Verminderung der Verschmutzung des Grüngutes sind die Zinken beim Schwader auf Bodenfreiheit einzustellen [44].

Tab. 72: Bewertung der technischen Geräte zum Zetten, Wenden und Schwaden

| Verfahren/Technik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|--|---|---|--------------|
| Zetten/Wenden: Kreiselzettwender | Hohe Arbeitsgeschwindigkeit, große AB, gute Boden Anpassung | Gefahr von Bröckelverlusten, Zinkenverlusten und von Verschmutzung | [67] |
| Schwaden: Kreiselschwader | Saubere, lockere, nicht verzopfte Schwade, Einsatz an Hügeln und Hängen, gute Boden Anpassung | Kostenaufwendig (Anschaffung, Unterhalt), technisch aufwendige Konstruktion, lange Rüstzeit, Bröckelverluste, hoher Verschmutzungsgrad, leistungsstarke Zugmaschinen (60-77 kW) | [46, 67, 81] |
| Zetten/Wenden/ Schwaden: Kreiselrechwender | Gute Arbeitsqualität | Aufwendige Bauweise, eingeschränkte Arbeitsbreite bzw. -leistung | [55] |

Derzeit sind vielfältige Varianten von Kreiselschwadern im Einsatz (vgl. Tab. 73). Zweikreiselschwader sind als Seiten- und als Mittelableger verfügbar. Mit dem Seitenableger lassen sich bei beliebiger Anzahl von Fahrten Schwaden mit variabler Masse erzeugen. Zweikreiselmittelschwader eignen sich bei geringeren Aufwüchsen für kleinere betriebseigene Ladewagen oder Rundballenpressen. Schwenkbare hintere Kreisel ermöglichen eine angepasste Nutzung der Zweikreiselschwader je nach Aufwuchsmenge und Einsatzgebiet und erlauben die Ablage einer Doppelschwad oder zwei kleinerer Einzelschwade. Vierkreiselschwader stellen eine größere Flächenleistung bereit und können auch bei geringen Aufwüchsen ausreichend große Schwade erzeugen.

Bauarten der Schwader sind für den Heck- und Frontanbau verfügbar. Frontseitenschwader fördern das Gut zur Schleppermitte hin. Die Kombination mit einem herkömmlichen Heckschwader erhöht die Arbeitsbreite pro Überfahrt. Frontmittelschwader mit vier Kreisen erzielen eine Arbeitsbreite bis zu 7,5 m. Ausführungen von Seitenschwadern mit vier Kreisen und hydraulisch verstellbarer Deichsel verhindern ein Überfahren des gezetteten Gutes [82].

Tab. 73: Technische Kenndaten der Schwader [55]

| | Arbeitsbreite m | Fahrgeschwindigkeit km/h | Flächenleistung ha/h | Anschaffungskosten € |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Kreiselzettwender | 2,20-15,0 | 5-10 | 1,0-14,0 | 1.600-2.500 |
| 1- Kreiselschwader | 2,90-4,50 | 5-15 | 1,3-5,5 | 1.750-15.500 |
| 2- Kreiselschwader | 6,00-8,40 | bis 12 | 6,0-9,0 | 7.500-15.500 |
| 3- Kreiselschwader | 8,60-9,70 | 12-14 | 7,0-10,0 | 21.000-29.000 |
| 4- Kreiselschwader | 9,30-15,0 | 12-14 | 8,0-17,0 | 35.000-53.000 |
| Kreiselrechwender | 2,80-3,50 | 6-10 | 2,0-3,0 | 2.000-4.000 |

Neben den weit verbreiteten Kreiselschwadern werden weitere Techniken genutzt. Sternradschwader mit Seitenablage oder V-förmige Sternradschwader mit Mittelablage zeichnen sich bei vergleichsweise langsamem Rotieren durch schonende Behandlung des Erntegutes aus. Rotorschwader erreichen mit fliehkraftgesteuerten Zinken hohe Fahrgeschwindigkeiten. Bei Schubrechtschwadern fördern zwei V-förmig angeordnete Rotoren das Gras mittig zusammen. Das Konzept des Bandschwaders beinhaltet die Aufnahme des Grüngutes auf eine Breite von beispielsweise neun Metern mit drei Pick-up, den Transport auf Förderbändern und das Ablegen auf einem Schwad, wahlweise links, rechts oder mittig [83]. Kreiselrechwender, mit denen die Arbeitsgänge Zetten, Wenden und Schwaden möglich sind, nehmen das Halmgut mit Zinken von zwei zapfwellengetriebenen, gegenläufigen Horizontalkreiseln auf und werfen es nach hinten ab.

6.1.2 Bergetechnik

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl des geeigneten Bergeverfahrens ist die Wirtschaftlichkeit der gesamten Arbeitskette. Um dem Trend wachsender Betriebsgrößen gerecht zu werden, steigen die Logistikanforderungen. In zahlreichen Untersuchungen wurden Faktoren, wie beispielsweise der Transportaufwand [84] oder große Masseströme und deren Auswirkungen auf die Agrarlogistik untersucht [85]. Das Verfahren der Bergung des Erntegutes umfasst das Aufnehmen und den Transport zum Lagerort. Neben der Anpassung an vorhandene Arbeitskette, ist bei Einsatz einer futterschonenden Technik auf die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Endproduktes zu achten. Nach dem Stand der Technik werden die Verfahren Häckselgutkette, Ladewagen und Ballenkette genutzt. Untersuchungen im Raum Baden-Württemberg ergaben einen Anteil der Ernte von Grassilage mit dem Exakthäcksler von 50 % und etwa 42 % mit dem Kurzschnittladewagen [53].

Weitere Erntetechniken sind Kombinationen aus Häcksler, Ladewagen oder Ballenpresse, die Vorteile des jeweiligen Systems bieten. Beim Häcksler-Ladewagen besteht das Ladeaggregat aus einem Exaktfeldhäcksler. Die Pick-up des Häckslers nimmt das Gut auf und fördert es in die Häckslertrommel. Der Krümmer des Häckslers befördert das zerkleinerte Material in den Wagen. Ein schwenkbarer Auswurf ermöglicht das Beladen nebenherfahrender Wagen. Silierzusätze können über einen Säuretank zugeführt werden. Bei der Kombination aus Presse und Exaktfeldhäcksler wurde in einen konventionellen Feldhäcksler ein Zapfwellenantrieb zum Antrieb einer Großpackenpresse eingebaut. Das Siliergut wird vom Häcksler über einen an der Presse aufgebauten Trichter in die Presskammer befördert. Diese Kombination funktioniert bis zu einer Schnittlänge von 13 mm [86]. Neben der Ernte mit Standardfeldhäckslern erfolgt in hügeligem oder schlecht befahrbarem Gelände die Ernte mit Bunkerhäckslern im Parallelverfahren. Der Umschlag

des Erntegutes wird auf dem Feld mit nebenher fahrenden Fahrzeugen (gezogen oder selbstfahrend) oder am Feldrand realisiert.

6.1.2.1 Häcksler

Die Häckselgutkette wird als leistungsfähiges Verfahren beschrieben und bietet günstige Voraussetzungen für eine Vollmechanisierung der Bergung und Einlagerung [63, 67, 85, 87]. Verglichen mit dem Ladewagen ergeben sich beim Häcksler die in Tab. 74 dargestellten Vor- und Nachteile. Bei der Bergung mit Häcksler liegen die Direkt- und Arbeitserledigungskosten je nach Einschätzung der Bedingungen (günstig/ungünstig) zwischen 15 und 23,59 €/GJ NEL. Das bedeutet Kosten von 33,75 bzw. 53,10 €/t abgesetzte Silage [88].

Feldhäcksler (FH) nehmen das gemähte Gut mit einer Pick-up-Trommel auf. Der eingezogene, verdichtete Materialstrom wird dem Schneidorgan mit Messer und Gegenschneide zugeführt. Je nach Schneidwerkzeug wird zwischen Scheibenrad- und Messertrommel-FH unterschieden. Eine gleichbleibende Schnittqualität garantiert eine gute Verdichtbarkeit des Materials im Silo. Dies wird beim Häcksler durch eine automatische Messerschleifvorrichtung gewährleistet. Mit sinkender Häcksellänge ist ein höherer Kraftaufwand des Häckslers erforderlich. Geringere Häcksellängen sind nur sinnvoll, wenn der dadurch möglicherweise erzielbare Mehrertrag an Methan und somit Energie den Mehraufwand an Energie für kürzeres Häckseln übersteigt. Eine Häcksellänge von 40 bis 70 mm entspricht einem idealen Kompromiss zwischen Aufwand und Anforderungen der Anlage [44]. Der Grasdurchsatz liegt beispielsweise bei einem Claas Jaguar 970 mit 2 Motoren bei versuchsbedingter eingestellter Häcksellänge von 18 mm bei 49,4 t Frischmasse/h mit einem Dieselverbrauch von 1,16 l/t [89]. Mit dem Einsatz fotooptischer Sensoren können anhand der Färbung bei der Ernte von Maispflanzen unterschiedliche Häcksellängen an den Reifegrad der Pflanzen auf großen Schlägen mit unterschiedlichen Böden angepasst werden [90].

Angebotene Bauarten von Feldhäckslern können Seiten- oder Heckanbau sein, gezogene Varianten oder Selbstfahrer. Der Trend geht zu größeren und schlagkräftigeren selbstfahrenden Maschinen. Feldhäcksler stehen mit einer Nennleistung von 200 bis über 700 kW zur Verfügung [91]. Betriebsspezifischen Anforderungen zur Erhöhung der Flächenleistung kann über die Schwadstärke, angepasst an den Häcksler, über die Arbeitsbreite und durch Anpassung der Transport- und Einlagerungskapazitäten entsprochen werden. Bei überbetrieblichem Einsatz erfolgt eine höhere Maschinenauslastung. Hohe Antriebsleistungen erfordern einen hohen Gut-Fluss, der durch breiter werdende Häckseltrommeln und leistungsfähige Pick-up sicher gestellt wird [92].

Selbstfahrer bieten neben der Pick-up-Trommel zur Aufnahme von gemähtem Gras auch ein Maisgebiss, das einen vielseitigen Einsatz des Häckslers ermöglicht und die Nutzungskosten mindert. Für große Schwadmassen stehen Pick-up mit bis zu 4,5 m AB zur Verfügung. Die maximale Fahrgeschwindigkeit liegt beim Häckseln unter 10 km/h [91]. Begrenzend wirken sich Bodenunebenheiten aus, aber auch das Nebenherfahren von Transportfahrzeugen. Mit abnehmender Häcksellänge sinkt der mögliche Massestrom.

Die Einbringung von Silierzusätzen wird bei Spätschnitt-Grasbeständen empfohlen, setzt jedoch die Beherrschung perfekter Siliertechnik und die richtige Einschätzung des zu silierenden Materials voraus [41, 93]. So ist ein gleichmäßiges Dosieren des Mittels Voraussetzung für eine optimale Wirksamkeit. Auffallend waren beim Einsatz von Melasse als Siliermittel hohe Restzuckergerhalte bei der behandelten Silage, was sich auch in den höheren Energiegehalten widerspiegelte [53].

Tab. 74: Bewertung der Bergekette mit dem Häcksler [87]

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| Technik | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Höchste Durchsatzleistung • Exaktere Schnittqualität durch Vorpressung des Futters • Bei hoher Motorleistung geringere Einschränkungen beim Schwad • Kurzer Schnitt und einfaches Anpassen der Schnittlänge passend zum Anwelkgrad (4 bis über 40 mm) • Gleichbleibende Schnittqualität durch Nachschleifen der Messer und Einstellen der Gegenschneide auf dem Feld • Optimales Dosieren und Einbringen von Siliermitteln am Beschleuniger • Fremdkörpersicherung bei Eisen/Stahl und Steinen • Elektronische Bestimmung von Feuchte und Masse der Silage möglich | <ul style="list-style-type: none"> • Schwierige Auslastung bei geringem Aufwuchs (3. und 4. Schnitt), dadurch hohe Anforderungen an den Schwader (Arbeitsbreite) • Bei Störungen Ausfall der gesamten Häckselkette • Befahren der Fläche mit Häcksler und Transportfahrzeugen • Geringere Dichte des Ernteguts auf dem Transportfahrzeug |
| Logistik | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bei Anlieferung am Silo größere Mengen, aber zeitlich gleichmäßiger • Einfaches Anpassen der Kette bei großen Entfernungen durch zusätzliche Transportfahrzeuge • Einfaches Einbinden von betriebseigenen Transportfahrzeugen in die Häckselkette | <ul style="list-style-type: none"> • Hoher Organisationsbedarf • Hohe Anforderungen an die Silokapazität und die Walztechnik (Gewicht) • Eingeschränkter Einsatz eigener Schlepper zum Walzen • Umsetzen der Kette bei Streulagen aufwendig und teuer • Hohe Anforderung an die Schlagkraft des Schwaders (Vierkreiselschwader), kaum Einsatz eigener Maschinen |
| Qualität des Erntegutes | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Besserer Pflanzenaufschluss, intensiveres Aufbereiten der Pflanze • Bessere Verdichtung, geringeres Risiko der Nacherwärmung • Schnelleres Absinken des pH-Werts, schneller Start der Gärung • Bessere Durchmischung des Futters • Schnelleres Auflösen und Mischen im Futtermischwagen • Bei nasser Silage kein „Musen“ (Anpassen der Häcksellänge) | <ul style="list-style-type: none"> • Zu kurze Häcksellänge problematisch beim Verdichten • Durch hohe Bergeleistung kann die Walztechnik überfordert sein (deutlich sinkende Futterqualität) |

6.1.2.2 Ladewagen

Unter Nutzung der Ladewagen-Technik können Bergung, Zerkleinerung, Transport und Verteilung im Silo durchgeführt werden [61]. Mit dem Ladewagen sind ebenfalls eine hohe Schlagkraft, eine gute Schnittqualität bei günstigem Leistungsbedarf und Energiever-

brauch, einfache Logistik, ein geringes Ausfallrisiko, sowie hohe Nutzlasten und Fremdkörpersicherung bei Steinbesatz erreichbar (vgl. Tab. 75).

Eine schonende und vollständige Aufnahme des Gutes aus der Schwade erfolgt durch eine Pick-up-Vorrichtung. Als Fördertechniken werden Rechen-, Schwingenförderer und Laderotor genutzt. Der Trend geht mit zunehmender Leistungsfähigkeit von Ladewagen mit Förderschwingen hin zu Rotorladewagen. Laderotoren erreichen mit höheren Drehzahlen eine größere Ladeleistung und bessere Verdichtung, gewinnen dadurch an Schlagkraft und verbessern die Transportleistung [94]. Die Rotorschneidwerke in modernen Ladewagen ermöglichen mit bis zu 45 Messern zwar Schnittlängen von 40 mm [95], die Schnittqualität kann jedoch nachlassen, da die fest installierten Messer sich in vielen Ladewagen nicht während des Einsatzes nachschleifen lassen. Neuere Modelle, wie der Pöttinger Jumbo 6600 Ladewagen verfügen über eine automatische Messerschleifeinrichtung, die den Wartungsaufwand senken kann. Beim Ladewagen ist der Schnitt im Gegensatz zum Häcksler von der Zahl der Messer abhängig. Das Gut wird vom Förderaggregat durch feststehende Messer gedrückt, die kürzere Schnittlängen erzeugen, je dichter sie angeordnet sind. Eine Erhöhung der Ausstattung mit Messern ist bei Rotorschneidwerken möglich, führt aber zu erhöhter Antriebsleistung, die je zusätzlichem Messer 0,25 kW beträgt [67].

Entscheidend für die Wahl des Ladewagens ist die Betriebs- und Flächenstruktur, wie Schlagform, -größe und die Hof-Feld-Entfernung. Bei einer Feldentfernung von einem Kilometer liegt die Verfahrensleistung bei Anwelksilage zwischen 2,5 und 9,7 t/h [67]. Untersuchungen zu den Verfahrenskosten ergaben bei mehr als 2 km Hof-Feld-Entfernung Vorteile des Feldhäckslers mit höherer Transportdichte bzw. kostengünstigen Transportmitteln [96]. Der Ladewagen bietet bei zersplitterter Flurlage und kleiner Schlaggröße (Entfernungen < 2 km) eine Alternative zum Häcksler. Unter Nutzung vorhandener Schwadtechnik können hier hohe Bergeleistungen bei günstigen Verfahrenskosten umgesetzt werden. Ein geringerer Kraftstoffverbrauch wird durch eine größere Schnittlänge im Vergleich zum Häcksler erreicht.

Das Aufnehmen und Zerkleinern des Grases erfordert mit dem Ladewagen beim ersten Schnitt einen Kraftstoffbedarf von 0,6 l/t Erntegut zuzüglich 0,1 l/t pro Transportkilometer und 0,15 l/t für das Festwalzen [61]. Bei einem Ertrag von 15 t/ha und einer Transportentfernung von 3 km liegt der Bedarf somit bei 15 l/ha. Leistungsstarke Schlepper (50 bis 100 kW, [97]) sind für eine gute Schnittqualität und hohe Verdichtung notwendig. Das Ladevolumen (nach DIN 11741) wird aus den Abmessungen des Laderaumes ermittelt, als Lademasse wird die zulässige Gesamt- abzüglich der Leermasse bezeichnet. Für die Bergung von Grün- und Anwelkgut bildet die Lademasse den begrenzenden Faktor, die beim Ladewagen zwischen 1.000 und 5.500 kg liegt [67]. Der Leistungsbedarf setzt sich aus der Zug-, Zapfwellen- und Kratzbodenleistung zusammen, wobei die Zugleistung den größten Anteil beansprucht. Beim Laden von Anwelksilage (31 % TM) liegt die erforderliche Zugleistung des Traktors zwischen 17 und 20 % und die des Ladewagens zwischen 32 und 38 % [94].

Tab. 75: Bewertung der Bergekette mit dem Ladewagen [87]

| Vorteile | Nachteile |
|--|--|
| Technik | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Leistungsfähig durch Förderrotoren • Verbessertes Schnitt (bis zu 40 Messer) • Schnittlänge (33 bis 40 mm) • Hohe Bergeleistung (Traktor 230 kW) • Aufbauten (Volumen bis zu 44 m³) • Fahrwerk bodenschonend • Gleichmäßiges Abladen mit Dosierwalzen • Verbesserte Fremdkörperempfindlichkeit (Einzelmesser-Sicherung) • Kein Stillstand der Kette bei Einsatz von 2 Wagen | <ul style="list-style-type: none"> • Mehr Leergewicht durch Ladeaggregat • Fahrzeuglänge (Ladeaggregat) bei engen Einfahrten • Höhere Anforderungen an den Fahrer • Nachschleifen der Messer während des Einsatzes erforderlich, sonst Abnahme der Schnittqualität und Anstieg Kraftstoffverbrauch • Schnittqualität anhängig von der Schwade (besser vorher zetzen und schwaden) |
| Logistik | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Einfache Koordination (Steuerung der Bergeleistung und Anpassung an die Silokapazität) • Einsatz auf verstreuten Flächen (kein Umsetzen von Ketten) • Gezieltes Bergen von Teilstücken passend zum Anwelkgrad (Nordhang, Südhang, Schwadstärke) • Einsatz bei geringeren Erntemengen (3. und 4. Schnitt) • Höhere Ausnutzung des Laderaums durch Verdichten des Futters • Einsatz eigener Schwader möglich • Kombination von eigenem und Lohnunternehmer-Ladewagen möglich | <ul style="list-style-type: none"> • Teure Ladetechnik für Straßenfahrt (höhere Kosten bei großen Entfernungen (ab 4 bis 5 km/h) als bei der Häckselkette) • Bei Einsatz mehrerer Wagen: paralleles Eintreffen am Silo möglich • Größerer Siloraumbedarf als beim Häckslers (bis + 15 %) |
| Qualität des Erntegutes | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Schnittqualität bei Rotorladewagen mit Vielmesser-Schneidwerk | <ul style="list-style-type: none"> • Höherer Strukturanteil im Futter • Bei feuchter Silage: „Musen“ durch den Rotor möglich • Beim Abladen auf dem Silo ohne Dosierwalzen schwieriges Verteilen der verdichteten Ladung (Gefahr von Nesterbildung) • Höherer Leistungsbedarf bei Entnahme des Futters per Fräse (Fräsmischwagen) • Höherer Leistungs- und Zeitbedarf beim Auflösen und Mischen |

6.1.2.3 Ballenpresse

Bei der Ballenkette wird nach dem Schwaden das angewelkte Gras zu Stückgut verdichtet, in Form von Rund- oder Quaderballen gesammelt und mit dem Traktor befördert (vgl. Tab. 76). Das Gewicht liegt bei Grassilage-Rundballen zwischen 140 und 850 kg bzw. bei Grassilage-Quaderballen zwischen 300 und 800 kg [94]. Die Verdichtung unter-

scheidet sich bei der Ballensilage (Rundballen zwischen 160 und 220 kg TM/m³ und Quaderballen zwischen 270 und 350 kg TM/m³, [98]). Ballensilage stellt eine Alternative bei sehr weiten Entfernungen und geringen Bergemassen dar, die für eine Befüllung des Silos nicht ausreichen und eignet sich zur besseren Auslastung der Maschinen. Die Mobilität des Press-Fahrzeuges erlaubt ein schnelles Umsetzen. Bei kürzerer Schnittlänge wird eine bessere Verdichtung erzielt und das Risiko für Fehlgärungen vermindert. Bei Rundballenpressen werden etwa 0,6 l Diesel pro Tonne Anwelkgut für das Pressen benötigt, bei Quaderballenpressen liegt der Verbrauch mit 0,4 l/t niedriger [61]. Sind die Pressen mit Schneideinrichtung ausgestattet, steigt der Dieserverbrauch, sie gewährleisten aber eine bessere Verdichtung.

Rundballenpressen arbeiten nach dem Wickelprinzip. Bei der sog. Radialverdichtung treten verglichen mit den Strangpressverfahren bei Quaderballen geringe Reibungsverluste auf. Eine Pick-up nimmt das Gut auf und führt es einem Pressraum zu. Vorteile des Pressvorgangs liegen in einer einfachen, groben Ertragskontrolle und besserer Ausnutzung der Transporteinheiten und des Lagerraums. Unterschieden wird bei Presssystemen zwischen Bänder-, Rollen- und Stabkettenpressen. Geringere Verluste wurden bei Bänder- und Stabkettenpressen ermittelt. Bänderpressen sind bei geringerem Leistungsbedarf für leistungsschwächere Traktoren zu empfehlen [99]. Der Aufbau ist bei Festkammerpressen einfacher, lässt jedoch keine Veränderung der Größe der Presskammer zu, so dass der Kern des Ballens zunächst nicht verdichtet wird. Variable Presskammern stellen bei komplizierterem Aufbau eine gleichmäßige Verdichtung des gesamten Ballens sicher und produzieren Ballen unterschiedlicher Größe. Zur Erhöhung der Verdichtbarkeit werden Schneidwerke, die hinter der Pick-up-Trommel angeordnet sind und nach dem gleichen Prinzip wie beim Ladewagen arbeiten, empfohlen. Durch das Vorschneiden des Erntegutes auf eine Länge von etwa 50 mm lässt sich die Verdichtung um 10 bis 15 % erhöhen [67]. Neuheiten sind bei Quaderballenpressen Häckselaggregate, die einen Kurzschnitt gewährleisten [64]. Beim Pressen können wie auch bei anderen Bergeverfahren zur Qualitätssicherung Siliermittel appliziert werden, insbesondere bei ungünstiger Witterung. Sowohl Rundballenpressen mit fester und variabler Presskammer als auch Quaderballenpressen sind für Anwelkgut geeignet.

Quaderballenpressen fertigen einen rechteckigen Großballen mit einer Leistung je nach Länge und Querschnittsfläche des Ballens zwischen 28 und 36 Ballen/ha [100]. Bei hoher Verdichtung (bis 220 kg TM/m³) ist eine raumsparende Stapelung auf dem Anhänger und im Lager möglich. Die meisten Quaderballenpressen arbeiten nach dem Strangpresssystem. Eine zwei Meter breite Pick-up nimmt die Schwade auf und zwei seitliche Zuführschnecken führen das Gut auf Presskanalbreite zusammen. Nach der Vorverdichtung mit Förderschwingen und rotierenden Förderern wird das Gut in den Presskanal gepresst. Mit einem Pressdrucksystem werden gleichbleibende Ballendichten erzielt. Sowohl die Ballendichte als auch der äußere Luftabschluss durch Folienumwicklungen oder der TS-Gehalt sind für die Silagequalität von großer Bedeutung [101]. Die Bergeleistung wird u. a. durch den Ballenquerschnitt bestimmt. Durch Ballenmaße von 80 x 80 x 250 cm oder 120 x 70 x 250 cm [55] können effektiv Transport-, Lade- und Bergekosten gesenkt werden. Somit wird in der Ernteperiode wertvolle Arbeitszeit frei und die Maschinenkosten werden reduziert.

Tab. 76: Bewertung der Verfahrenstechnik der Ballenkette

| Technik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|--------------------|---|---|---------------|
| Quaderballenpresse | Kompakt, sehr hohe Schlagkraft, lange Lebensdauer, sehr gute Ausnutzung von Transport- und Lagerraum, große Stapelhöhen, gute Verteil- und Dosiermöglichkeiten, höhere Verdichtung durch Schneidwerke an Pressen, für hohe TM-Gehalte geeignet, für Ballenauswurf kein Unterbrechen | Hohe Anschaffungskosten, hoher Leistungsbedarf, ungeeignet bei kleinen Flächen und feuchten Böden, höherer Folienverbrauch als Rundballen, hubstarke Bergetechnik | [67, 98, 102] |
| Rundballenpresse | Unterschiedliche Ballengrößen, kostengünstig | Ungünstige Nutzung von Transport- und Lagerraum, bedingt stapelbar, Ballenauflösung mit eigener Mechanisierung, geringe Schlagkraft, schlechte Hangtauglichkeit, keine Softkernpressen, hoher Folienverbrauch | [67, 98, 102] |

Bei Press-Wickel-Kombinationen werden beide Arbeitsgänge von einer AK am Feld erledigt und demzufolge hinsichtlich des AK-Bedarfs als positiv bewertet. Bei Luftzutritt infolge einer Verletzung der Folie beim Transport oder am Lagerplatz (z. B. durch Vögel) kann es zu Fehlgärung kommen [62, 103].

6.1.2.4 Vergleich der Bergeverfahren

In einem Verfahrensvergleich wurde die Bergung von Grassilage mit dem Häcksler, dem Ladewagen oder der Ballenkette gegenübergestellt und bewertet (vgl. Tab. 77 und Tab. 78).

Tab. 77: Bewertung der Bergetechnik anhand der ausgewerteten Literatur

| Verfahren | Häcksler | Ladewagen | Ballenkette |
|----------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Flexibilität | - | + | + |
| Bergeleistung/Schlagkraft | + | - | - |
| Hof-Feld-Entfernung | + | - | + |
| Schnittqualität | + | o | o |
| Verdichtung | + | - | + |
| Leistungsbedarf/Energieverbrauch | - | o | o |
| Investitionskosten | - | o | o |
| Logistik-Anforderungen | - | + | o |
| Fremdkörpersicherung | + | o | o |
| Lagerraumbedarf | o | - | o/+ |
| Übermengen | - | + | + |

Bewertung: + positiv, - negativ, o neutral

Tab. 78: *Verfahrensvergleich der Bergetechnik*

| Technik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|-------------|--|---|----------------------|
| Häcksler | Hohe Bergeleistung, hohe Schlagkraft, gleichmäßig kurze Schnittlänge (Verdichtung, Gärprozesse), relativ niedriger Silo-raumbedarf, hohe Gärstabilität, bestmögliche Dosierung und Wirkung von Silierhilfsstoffen, Fremdkörpersicherung bei Metallen, Steinfangmulde, Trennung von Ernte und Transport | Hoher Kapitaleinsatz und Bedarf an Arbeitskräften (AK), entsprechende Schwadstärke und AB erforderlich, möglichst zusammenhängende Schlagstruktur, Managementanforderungen, Engpass beim Walzen wegen hoher Leistung, geringe Schlagkraft bei Kleinstflächen oder Steillagen (Parallelfahrten) | [103, 104, 105] |
| Ladewagen | Flexibel, kleine Flächen, Hanglagen, zersplitterte Flurlagen, arbeitswirtschaftlich, hohe Auslastung, 2-Mann-Ernte möglich, einfache Logistik, hohe Verdichtung und Ladeleistung, effizient bei Hof-Feld-Entfernungen von 4 km, geringere Verfahrenskosten als Häcksler | Hohe Investitionskosten, Kostensteigerung mit zunehmender Hof-Feld-Entfernung (4-5 km), schwierige Siliermittelverteilung, geringere Wirkung von Siliermitteln auf die Gärqualität aufgrund geringeren Verdichtungsgrad als beim Häcksler | [103, 105, 106, 107] |
| Ballenkette | Bei sehr weiten Entfernungen und geringen Bergemassen, Restflächen (<10 ha), Abpuffern bei schwankenden Erntegutmengen, schnelles Räumen der Felder, Minimierung des Wetterrisikos, hohe Verfahrensflexibilität, handhabbare Einheiten, einfacher Transport (Ballengabel), einfaches Management, geringe Investitions- und Lagerungskosten, geringer AK-Bedarf (Verdichten entfällt), geringe Verluste | Hohe Verfahrenskosten, hoher Folienverbrauch, Platzbedarf, Folienbeschädigung, Abfallbeseitigung (Folien), ungeeignet für Nasssilage, geringere Schlagkraft, Controlling-Aufwand (Lagerung, Dichte), schwierige Siliermittelverteilung, schlechtere Schnittqualität, hohe Anforderungen an Schwadqualität (Breite entsprechend Pick-up) | [67, 98, 102, 105] |

6.1.3 Transporttechnik

Transportarbeiten umfassen etwa 30 - 60 % des Gesamtarbeitszeitbedarfes und benötigen rund 45 % des Gesamtenergiebedarfes [67]. Zudem machen gestiegene Kraftstoffpreise Optimierungsvorschläge für Logistikkonzepte erforderlich. Die Anforderungen an die Transporttechnik innerhalb der Ernteprozesskette auf dem Feld werden im Gegensatz zur Straßentransporttechnik durch die in ihrer Beschaffenheit schwankende Feldoberfläche bestimmt. Untersuchungen zur Hangtauglichkeit und Wendigkeit ergaben eine bessere Eignung von Transportern als von einem Traktor mit Ladewagen in sehr steilem Gelände [108]. Bei durchgängigem Transport von schütffähigem Erntegut in gehäckselter Form werden landwirtschaftliche Zugmaschinen in Verbindung mit Schüttgutanhängern eingesetzt. Die Kapazität einer Transporteinheit wird durch Lademasse und Transportumfang

zeit bestimmt, die Transportdauer durch Fahrgeschwindigkeit und Transportstrecke. Transportkapazitäten sind unter Berücksichtigung der Hof-Feld-Entfernung und der Bergeleistung an die Walzkapazität im Silo anzupassen. Die Transportgeschwindigkeiten haben sich auf 60 km/h bei Claas, 80 km/h bei Pöttinger und 105 km/h bei Mengele erhöht [109]. Für den innerbetrieblichen Transport sind Anhänger von großer Bedeutung. Landwirtschaftliche Anhänger unterscheiden sich nach:

- Anzahl der Achsen (Ein-, Zwei-, Tandem-, Dreiachsanhänger)
- Schwerpunktlage (Hoch-, Tieflader)
- Aufbau (Plattform-, Muldenwagen, Container, Fasswagen)
- Ladehilfe (Kipper, Hochkipper, Kratzbodenwagen)
- Verwendung (Universalwagen, Ladewagen).

Transportanhänger folgendermaßen definiert [59]: Der Kratzboden-Häckselwagen besteht aus Plateau, zwei Seitenwänden, einer vorne geschlossenen Wand und einer hydraulisch öffnenden Heckklappe. Entleert wird er über den Kratzboden, der sich auf dem Plateau befindet. Der Abschiebewagen besteht aus einer nach vorne und hinten offenen Mulde, einer hydraulisch zu öffnenden Heckklappe und dem hydraulisch nach hinten verschiebbaren Schild. Das Schild dient zur Entleerung und wird über einen Teleskopzylinder nach hinten geschoben. Der Muldenkipper oder auch Wannkipper genannt, besteht aus einer nach vorne geschlossenen Mulde, die zur Entleerung gekippt wird. Die Rückwand wird meist hydraulisch oder in seltenen Fällen über ein Gestänge automatisch beim Kippen geöffnet. Zwei- und Dreiseitenkipper sind die am weitest verbreiteten landwirtschaftlichen Transportfahrzeuge und verfügen über ein kippbares Plateau und meistens über eine mechanisch zu öffnende Wand. Das Volumen der Traktoranhänger reicht üblicherweise bis 45 m³. In Ausnahmefällen werden auch Anhänger mit rund 60 m³ eingesetzt. Der Überladefeldhäcksler macht es möglich, den LKW zum Häckselguttransport zu nutzen. Er befüllt den LKW vom Feld aus, so dass der LKW die Straße nicht verlassen muss. Der LKW gilt bei großen Entfernungen als das günstigste Transportmittel, da er ausschließlich für den Gütertransport konzipiert wurde. Das Fassungsvermögen liegt zwischen 70 und 90 m³. Neben dem Volumen spielt die Ladedichte eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Transportes. Bei Silomais zeigte sich mit sinkendem Trockenmassegehalt eine steigende Ladedichte. Weiterhin erhöht sich die Ladedichte mit zunehmender Wegstrecke, was auf die Rüttelbewegung während der Fahrt zurückzuführen ist.

Ab einer Hof-Feld-Entfernung von mehr als 4 km ist die Häckselkette effektiver als der Einsatz eines Ladewagens [87]. Ein Kostenvorteil ist ab 5 km Entfernung auch bei Einsatz eines dritten Transportgespanns gegeben [110].

6.1.3.1 Transportfahrzeuge der Häckselkette

Der Feld-Häckslers ist ein spezialisiertes Ladegerät, so dass für Transport und Einlagerung weitere Gespanne notwendig sind. Mit aufeinander abgestimmten Arbeitsabläufen können hohe Transportleistungen erzielt werden. Grundsätzlich werden Transportverfahren durch die zeitliche Bindung von Arbeitsgerät (Feldhäcksler) und Transportfahrzeug unterschieden in absätziges, Umhänge- oder Parallelverfahren. Beim absätzigen Ernteverfahren wird von einer Arbeitskraft (AK) nacheinander das Häckseln, Transportieren und Einlagern durchgeführt, was den heutigen Anforderungen, speziell für den Bereich Biogas, nicht mehr entspricht. Beim Umhängeverfahren wird ein Transportwagen an den FH angehängt, direkt befüllt, umgehängt und weitere 2 bis 3 Gespanne übernehmen den Transport und

die Einlagerung. Das Verfahren ist bei Anbau-FH mit geringer Ladeleistung üblich. Eine Alternative bietet die Umstellung der Transportlogistik auf LKWs mit einem Ladevolumen von 50 bis 70 m³. Mindestens zwei Überladewagen wären einzuplanen, da das Befahren der Fläche mit einem LKW nicht möglich ist [111].

Bei der Abfuhrlogistik ist zu berücksichtigen, dass ab Hof-Feld-Entfernungen von 5 km Transportkosten die Kosten des Häckslers übertreffen können. Mit zunehmenden Transportentfernungen steigen Transportkosten proportional um ca. 0,29 €/t*km [112]. Überlademöglichkeiten (z. B. Sattelaufleger) sind ab 10 km Feldentfernung rentabel [113]. Anforderungen an mobile Überladestationen mit Aufnahmemulde und Förderband für LKW-Beladung sind eine Durchführung der Befüllung innerhalb von zwei Minuten und befestigte Wege für den LKW-Einsatz. Vorteile liegen in der Reduzierung des Bodendrucks durch geringeren Reifeninnendruck auf dem Feld. Drastisch steigende Transportentfernungen rechtfertigen den LKW-Einsatz, Überladewagen besitzen bodenschonende Fahrwerke und sichern kurze Übergabezeiten [59].

Beim Häckslereinsatz wird sehr häufig das Parallelverfahren praktiziert, bei dem der FH während des Häckselvorgangs das Erntegut in eine neben ihm fahrende Transporteinheit lädt und die Ladeleistung somit effizient genutzt werden kann. Die Anzahl der Transporteinheiten richtet sich nach dem Zeitbedarf der Befüllung, des Transportes und der Entleerung. Bei steigenden Durchsatzleistungen der Erntemaschinen werden zunehmend höhere Transportkapazitäten erforderlich und hohe logistische Anforderungen an die Organisation der Verfahrenskette gestellt. Neben dem Volumen spielt die Ladedichte eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Transportes. Das Transportvolumen wird durch die Schütthöhe und Fahrzeugabmessungen begrenzt. Die Beförderung des zu transportierenden Gutes erfolgt in Ein-, Tandem-, Zwei- oder Dreiachsanhängern (vgl. Tab. 79), die sich im Gesamtgewicht unterscheiden (zwischen 10 und 24 t). Im Gegensatz zu den zuvor zitierten Stellen konnte bei Dauergrünland kein statistischer Zusammenhang zwischen der Transportdichte und dem TM-Gehalt bzw. Befüllweg gefunden werden [91]. Die mittlere Transportdichte lag bei Anwelkgut mit einem TM-Gehalt zwischen 30 und 50 % bei 90 kg TM/m³ Laderaum.

Mit Zügen, die aus Traktor und Anhängern bestehen, kann Erntegut von bis zu 40 t transportiert werden [67]. Betriebsspezifisch werden Lastkraftwagen, selbstfahrende Transportfahrzeuge (SF-Ladewagen) und Container (Abroll-, Absetzcontainer) genutzt. Der Lastkraftwagen stellt ab einer Jahrestransportleistung von etwa 10.000 km die günstigere Alternative zum Traktorzug dar [116].

Tab. 79: Transportfahrzeuge der Häckselkette [verändert nach 67]

| Technik | Vorteile | Nachteile |
|--|--|---|
| Abschiebewagen | Arbeitssicherheit, Vorverdichtung, Reduktion der Transporteinheiten (TE) | Bei Mengen von über 50 m ³ längere Silos erforderlich |
| Ein-, Tandemachsanhänger (2-/3-Seitenkipper) | Gut manövrierfähig, geringer Platzbedarf beim Wenden, zusätzliche Belastung der Traktorhinterachse | Schwieriges Umhängen, nur mit Traktor zu bewegen |
| Zweiachsanhänger (2-/3-Seitenkipper) | Große Ladefläche, vielfältige Aufbauten, koppelbar, leicht ab- und umhängbar | Schlecht rangierbar |
| Container-Modell | Optimierung der Kette, absetzen am Feldrand | Hohe Investitionskosten, mindestens zwei Container erforderlich, um Nachlieferzeit zu überbrücken |
| Überladewagen | Nutzung von LKW für Transport (höhere Lademenge), Einsatz bei großen Entfernungen (> 10 km), Reduzierung des Bodendrucks | Technische Voraussetzungen für LKW-Beladung und befestigte Wege für LKW-Einsatz erforderlich |

Fahrssysteme im Parallelverfahren unterscheiden sich in der Art und Anzahl der Transportfahrzeugtechnik. Transportsysteme als Alternative zu den genannten konventionellen Transportmethoden wurden in einer Studie beschrieben [114] (vgl. Tab. 80). Die Verfahren (1- bis 3-phasig) unterscheiden sich in direkte oder zwischengelagerte Prozesse. Beim sogenannten 1-phasigen Verfahren erfolgt die Ernte traditionell mit einem 2- oder 3-achsigen Häckselwagen, der vom Traktor gezogen wird (Ladevolumen: 30 - 45 m³) oder von einem Agrar-LKW. Dieses 3- oder 4-achsige LKW-ähnliche Sonderfahrzeug mit Agrarbereifung und Aufbauten weist ein Volumen von 35 - 45 m³ auf. Die 2-phasige Ernte wird in die Erntegutübernahme in Überladewagen bzw. Zwischenbunker und in die Überladung zum Weitertransport bis zur Silomiete unterteilt. Unterschieden wird zwischen Bunker-Systemen mit direkter oder abgesetzter Überladung oder aber mit Hakenlift oder LKW-Auflieger. Die Ernte mit einem am Häckler angehängten Überladebunker (30 m³) eignet sich zur Überladung am Feldrand oder im Nonstop-Verfahren. Dabei wird in traktorgezogene Großraumwagen oder in einen LKW umgeladen, wobei das zulässige Gesamtgewicht des Gespanns Traktor und Anhänger derzeit bei 40 Tonnen liegt [115]. Beim 3-phasigen Verfahren erfolgt die Erntegutübernahme ebenfalls in Überladewagen bzw. Zwischenbunker. Die anschließende Überladung wird unterteilt in den Weitertransport bis zur Zwischenmiete bzw. Überladestation (Boden, Platte oder Kippbunker) und in ein separates Umladen und dem Weitertransport bis zur Silomiete.

Im Parallelverfahren sind sowohl Arbeitskräfte-, Leistungsbedarf, als auch der Gerätebedarf höher als im Umhängeverfahren. Liegt die Feld-Entfernung unter einem Kilometer sind zwei, darüber hinaus drei Transportgespanne erforderlich [67]. Dieses Verfahren verbindet bei einer Auslastung ab 200 ha/Jahr hohe Ernteleistungen mit niedrigem Kapitalbedarf und somit niedrigen Verfahrenskosten [55]. Bei einer Transportentfernung von 10 km sind beispielsweise je nach Häcklerleistung 10 bis 30 Transporteinheiten mit einem Ladevolumen von 40 m³ erforderlich [85].

Tab. 80: *Verfahrensvergleich der Parallelfahrssysteme Häckselwagen und LKW*
[verändert nach 114]

| System | Vorteile | Nachteile |
|----------|--|---|
| 1-phasig | Bei kurzen Transportentfernungen arbeitswirtschaftlich, kostengünstig, hohe Flexibilität, Nutzung auf Straße und Feld, Bodenschonung durch Breitreifen beim Agrar-LKW | Straßenverschmutzung, Sonntagsfahrverbot (Lärmbelästigung), Anschaffungskosten, ab 5-15 km unökonomisch, Reifenverschleiß, Kraftstoffverbrauch |
| 2-phasig | Non-Stop-Verfahren (Seitenüberladung während der Fahrt, keine Rangier- und Stehzeiten), keine Straßenverschmutzung beim Überladen am Feldrand, Einsatz ggf. von Wechselcontainern, hohes Ladevolumen (bis 70 m ³), LKW-Transport für weite Entfernungen, ökonomisch (günstiger Abtransport), geringer Verschleiß bei LKW-Reifen, Straßentransport mit Häckselwagen möglich, hohe Flächenleistung, hohe Flexibilität (Bunker an- oder abhängen) | Straßenverschmutzung beim Überladen während der Fahrt oder beim Umsatteln, Umsatteln nur am Feldrand oder an festen Plätzen, Befahrbarkeit nur auf tragfähigem Boden, zeitaufwendig, begrenzter Einsatz in Hanglagen und unter nassen Bedingungen, lockere Schüttung, Volumendifferenzen (Bunker max. 35 m ³ , Transportfahrzeug 45 m ³), begrenzte Überladehöhe (4,30-4,50 m) und Reichweite, geringe Überladekapazität (35 m ³) erfordert lange Entleerungszeiten (4-5 min), mangelnde Standfestigkeit in Hanglagen, unökonomisch (Spezialmaschine: Wiederverkauf), Überladung nur in ebenem Gelände |
| 3-phasig | Hohe Flexibilität bei weiten Entfernungen mit dem LKW, einfache Logistik, paralleles Entleeren bei der Ernte mit 2-3 Häckselwagen möglich, hohe Ladeleistung (200 t/h), ideal für LKW-Überladung am Straßenrand, keine Straßenverschmutzung, hohe Schlagkraft, kostengünstig (Traktoren auf dem Acker, Radlader oder Bagger am Zwischenlager und LKW mit Auflieger auf der Straße), günstige Alternative zum Überladewagen (2 Fahrzeuge für den Feldtransport bei kurzen Entfernungen ausreichend) | Zusätzlicher Personalbedarf (Umsetzen mit Fahrzeug), großes Volumen bei lockerer Schüttung, hohe Anschaffungskosten, Neukauf als Sondermaschine unrentabel, zusätzlicher Arbeitsgang (Bagger oder Radlader), Zusatzkosten für Überladestation oder -band, Personal und Traktor für Umsetzen, Vorhandensein einer befestigten Platte/ Teerfläche, Zwischenlager muss in max. 6 h geräumt sein, hohe Logistikanforderungen an die Gesamtkette, begrenzte Ernteleistung durch Überladeband |

6.1.3.2 Transport bei Ballenpressen

Der Transport der Großballen erfolgt mit Transportfahrzeugen, wie Traktor, Anhänger oder Stapler, Front-, Rad- oder Teleskoplader, die Stapelhöhen bis zu 7 m ermöglichen [67]. Spezialzangen, wie Zinkengabeln und Klemmzange (für Quaderballen), sowie Ballenzangen (für Rundballen) werden zum Laden genutzt. Es können Rundballen bis zu 1,8 m Durchmesser und einem Gewicht von 1.000 kg aufgenommen werden [117]. Die Transportleistung wird durch Ballendichte, Ballenmaße und Anzahl der Ballen bestimmt.

Für den Straßentransport sind Plattformwagen und Tieflader geeignet. Bei großen Entfernungen kann mit Quaderballen eine höhere Wagenausladung erzielt werden [118].

Mit größerem Ballenmaß (120 x 90 cm) lassen sich Transport-, Lade- und Bergekosten effektiv senken. Die geringere Anzahl an Ballen pro Hektar reduziert die Verlade- und Transportzeiten. Das spart in der Ernteperiode wertvolle Arbeitszeit und reduziert die Maschinenkosten. Auch Einsparungen bei variablen Kosten, wie z. B. Bindegarn (1,70 €/kg), sind Vorteile des 90er Kanalmaßes. Wird bei 4-maliger Nutzung im Jahr ein Ertrag von 240 dt FM/ha erzielt, so liegt bei einem Ballenvolumen von 1,73 m³ die Ertragsleistung bei 28 Ballen/ha [100]. Für den Transport der Ballen sind pro km und Tonne etwa 0,12 l (Rundballen) bzw. 0,10 l Diesel (Quaderballen mit höherer Verdichtung) aufzuwenden [61].

6.1.3.3 Vergleich der Lade- und Einlagerungsverfahren

Ein Vergleich der Verfahrenskette Häcksler und Quaderballen ergab insbesondere bei größeren Hof-Feld Entfernungen deutliche Vorteile der Quaderballensilage gemessen am Arbeitszeitbedarf [119]. Beim Verfahren mit Quaderballen, das Pressen, Wickeln und Transportieren umfasst, kommt es durch geringere Transportvolumina zur Reduktion von Transportzeiten und -kosten.

Im Vergleich zu den Kosten beim Häcksler und Ladewagen lohnt sich das Verfahren der Rundballensilage nur als Ergänzungstechnik [103]. Vorteile bieten sich bei sehr weiten Hof-Feld-Entfernungen durch geringe Transportkosten, Erntemengen unter 150 m³ bzw. 100 t und bei unterschiedlicher Schnittriefe der Aufwüchse. Ein Vergleich der Verfahrenskosten ohne Lagerung ergab aufgrund erforderlicher Arbeitsgänge und Folienkosten höhere Kosten bei der Ballensilage. Unter Einbeziehung der Lagerungskosten entsteht Kostengleichheit und bei einem Vergleich der tatsächlich verfütterten Silagemenge ergibt sich aufgrund der geringen Verluste (ca. 5 %) ein Kostenvorteil der Ballensilage [98]. Die Bröckelverluste liegen bei Rundballenpressen bei etwa 0,5 bis 2,6 % TM, was 8 bis 43 MJ NEL/Ballen entspricht [46]. Berechnungen ergaben, dass größere, leistungsstarke Maschinen Mehrkosten bedeuten und bei Arbeitsspitzen auch mit Lohnunternehmern oder Maschinenringen eine hohe Schlagkraft erreicht werden kann [120]. Bei einer Transportentfernung von 3 km wurde beim Häckslereinsatz der höchste Dieselverbrauch berechnet, bei Quaderballenpressen der niedrigste Verbrauch. Ladewagen und Rundballenpressen liegen dazwischen [61].

6.1.4 Konservierung

Die Konservierung von Pflanzen mittels Silagebereitung basiert auf den Prinzipien Luftabschluss und Milchsäuregärung. Anaerobe Milchsäurebakterien gedeihen bei sachgemäßer rascher Verdichtung und dauerhafter, luftdichter Abdeckung. Der Konservierungsaufwand hängt vom Trockenmassegehalt des Grüngutes ab. Die optimale Lagerungsdichte zur Erzeugung einer guten Gärqualität und zur Einschränkung von Pilzbefall liegt bei mindestens 200 bis 210 kg TM/m³ abhängig vom TM-Gehalt [121]. Eine Erhöhung der Lagerungsdichte wurde als primäre Grundlage zur Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses in den Silagen benannt.

6.1.4.1 Einlagerung von Grünlandaufwuchs im Flachsilo

Für die Konservierung von Anwelksilage ist die Flachsiloteknik das am häufigsten angewendete Verfahren. Übliche Einlagerungsverfahren sind direkte oder absätzig Einlage-

rung. Die direkte Einlagerung erfolgt durch den Ladewagen im Flachsilo, der etwa für 5 Minuten zeitlich gebunden ist [67]. Durch das Überfahren wird das Erntegut zusätzlich verdichtet. Die Befüllung der Fahrsilos erfolgt mittels Überfahren durch die Transportfahrzeuge: mit einem Transportgespann (Ladewagen mit Verteileinrichtung oder Verteilung mit Frontlader oder Radlader) bzw. Siloverteilergerät im Heckanbau, oder durch Pistenraupen (vgl. Tab. 81). Das absätziges Einlagerungsverfahren umfasst eine Entleerung des Ladewagens auf dem Hof (3 bis 5 Minuten) und eine Beförderung des Gutes mittels Front- oder Schaufellader in den Behälter durch eine zweite Arbeitskraft.

Tab. 81: Gegenüberstellung der Einlagerungsverfahren im Flachsilo

| Verfahrenstechnik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|--|--|--|-----------|
| Überfahren mit direkter Einlagerung durch Lade-/Abschiebewagen | Gesteigerte Einlagerungsleistung, zusätzliche Verdichtung durch Transportgespanne | Verminderte Ernteleistung, Futtermittelverschmutzung bei Nässe, höherer Zugkraftbedarf für Transportgespanne, Gefahr des Umkippens (3-Seiten-Kipper) | [67] |
| Abkippen vor dem Silo/ Einbringen im Silo bei absätziges Einlagerung | Schnellentleerung durch Abwerfen des Erntegutes, hohe Ernteleistung, geringe Futtermittelverschmutzung, mit Pistenraupe (standsicher) Einsatz in großen Steigungen bei hoher Schubleistung | Geringe Verdichtung, verminderte Einlagerungsleistung, Pistenraupe ohne Straßenzulassung (Umsetzung mit Tieflader erforderlich) | [67, 122] |

Das Flachsilo zeichnet sich durch eine einfache Bauart in Form einer Betonplatte mit Seitenwänden aus und ermöglicht ein einfaches Befüllen [62]. Ein schnelles Befüllen und eine intensive Walzarbeit sind zwingend erforderlich, um hochwertige Grassilage herzustellen. Kurzes Häckseln erleichtert das Verdichten. Der Verdichtungsaufwand erfordert bei der Erntekette mit Ladewagen im Vergleich zur Häckslerkette mit geringerer Schnittlänge ein größeres Walzgewicht. Eine bessere Verdichtung ist bei frisch eingebrachten Schichten von max. 30 cm möglich. Als Faustzahl gilt je Kubikmeter Ladevolumen eine Silolänge von einem Meter [123]. Wird das Erntegut innerhalb kurzer Zeit in großen Mengen angefahren, sodass das Walzen weniger als die angestrebten 2 bis 3 min/t Siliergut umfasst, muss parallel mit zwei Fahrzeugen verdichtet werden [55, 113], um eine kontinuierliche Verdichtung zu gewährleisten. Die hohe Schlagkraft der heutigen Erntetechnik mit Bergeleistungen von über 80 t TM/h [115] stellt große Herausforderungen an die Verdichtungsarbeit im Silo. Das Walzen kann bei großer Bergeleistung zum Engpass in der Erntekette führen. Daher sollte das Abladen und Festfahren im Parallelbetrieb über eine Mindestbreite des Silos von 6,5 bis 7,0 m erfolgen. Anforderungen an das Walzfahrzeug sind ein hohes Eigengewicht, schmale Reifen und ein hoher Reifendruck. Langsames Fahren (2,5 bis 4 km/h) verbessert die Verdichtung der Grünmasse, wobei die Verdichtung zweibis dreimal erfolgen soll. Die stündliche Arbeitsleistung eines Fahrzeuges liegt bei 15 bis 20 t Trockenmasse.

Für die Nutzung der Pistenraupe als Fahrzeug für die Einbringung von Silage in Biogas-Anlagen wurden Modifikationen vorgenommen (Kühler-Montage am Heck, schmalere Ketten, weiteres Einklappen des Schildes, Zusatzgewicht). Die Pistenraupe erlaubt aufgrund seiner enormen Wendigkeit, Schubkraft und Präzision Schrägfahrten und damit ei-

nen höheren und steileren Überbau der Silowände und verdichtet das Silagematerial durch die große Kettenauflagefläche nahezu so gut wie Radfahrzeuge [124]. Der niedrige Schwerpunkt des Fahrzeugs verhindert das Abrutschen oder Kippen zur Seite. Dadurch ist der Unfallschutz für die Arbeitskräfte verbessert.

Vor dem Abdecken sollte die Oberfläche des Gutes frei von Unebenheiten sein und eine gewölbte Form aufweisen. Die Abdeckung der Fahrsilos erfolgt mit PE-Folien mit einer Stärke von 0,15 bis 0,25 mm [55]. Zunehmend kommen Unterziehfolien zum Einsatz, die zusätzlich dem Luftabschluss dienen. Das Beschweren der Silofolien erfolgt mit Spezialsäcken. Nach neuesten Erkenntnissen sollte in Biogasbetrieben auf die Abdeckung mit Folie aus ökologischen und ökonomischen Gründen nicht verzichtet werden [125].

6.1.4.2 Wickeln

Das Wickeln der Ballen kann entweder in einem eigenen Schritt erfolgen oder direkt im Anschluss an den Pressvorgang mit einer Press-Wickel-Kombination, durchgeführt werden. Hier wird der Ballen aus der Presskammer heraus direkt in das Wickelaggregat übergeben. Besteht die Wickeltechnik aus einem separaten Wickelgerät, so kann dieses die Ballen entweder selbst aufnehmen oder wird mit einem Front- oder Teleskoplader beladen. Der Kraftstoffverbrauch eines integrierten Wickelgerätes ist um 50 % geringer als bei einem am Schlepper angebauten Wickelgerät, der bei 0,25 l/t liegt [61]. Unterschieden wird zwischen einem Wickel- und einem Pendelarmgerät. Das Wickelarmgerät (Heckanbau) nimmt den Ballen beim Rückwärtsfahren nach dem Pressen mit Rollarmen auf. Die Folienumwicklung erfolgt anschließend durch Rotationsbewegung. Der Vorteil liegt in der selbsttätigen Ballenaufnahme. Das Pendelarmgerät (angehängt) dreht nach der Ballenaufnahme den Ballen mit Walzen. Ein rotierender Folienträger umwickelt den Ballen mit Folie. Der hohen Schlagkraft des Pendelarmgerätes steht ein hoher Kapitalbedarf gegenüber [55] (vgl. Tab. 82).

Tab. 82: Technische Kenndaten der Ballenkette

| | Bergeleistung Ballen/ h | Leistung kW/m | Kosten €t | Anschaffungskosten € | Quellen |
|------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| Quaderballenpresse | 12-14 | 100 | 18 | 40.000-117.000 | [55, 62, 103, 126] |
| Rundballenpresse | 40 | 30-80 | 19 | ca. 20.000 | [55, 62, 85, 103] |
| Press-Wickel-Kombinat. | 25-35 | | | 45.000-55.000 | [55] |
| Endloswickelverfahren | 90 | | | 65.000 | [55] |
| Wickelarmgerät | 15-30 | | | 6.000-18.000 | [55] |
| Pendelarmgerät | 40-50 | | | 30.000-40.000 | [55] |

Die Sicherstellung eines möglichst kurzen Zeitraumes zwischen Aufnahme des Erntegutes auf dem Feld und dem gasdichten Abschluss lässt sich am einfachsten mit der Ballensilage realisieren [127]. Grundsätzlich sollten die Ballen spätestens zwei Stunden nach dem Pressen gewickelt werden, da bereits ab diesem Zeitpunkt die Fermentierung einsetzt [128]. Mit Quaderballen lassen sich tägliche Bergeleistungen bis zu 25 ha realisieren [129].

Das Wickeln der Ballen sollte mit einer Stretchfolie mit 6 bis 8 Lagen erfolgen. Eine optimale Ballen-Siliertechnik mit hochwertiger Stretchfolienqualität gewährleistet den Luftabschluss und eine geringe Gasdurchlässigkeit während des Lagerungsprozesses. Die Folien sollten hohe Stretcheigenschaften, Klebkraft und UV-Stabilität aufweisen. Eine Probewicklung zeigte sich in der Praxis bei schadhafte Folienlieferungen als sinnvoll. Bei Außentemperaturen über 25 °C sollte das Wickeln unterlassen werden. Die Wahl einer hellen Folienfarbe unterstützt die Reflektion der Sonneneinstrahlung und senkt somit die Erwärmung.

6.1.4.3 Folienschlauchverfahren

Die Technik der Schlauchsilage bietet sich in Betrieben ohne Fahrsilos an und erfordert mit dem Anlegen einer Bodenplatte geringere bauliche Investitionen als im Silo. Das Erntegut wird in eine Maschine eingebracht, die es verdichtet und in eine schlauchförmige Folie presst. Aus Sicht des Gärprozesses bietet das Schlauchverfahren durch den schnellen, nahezu vollständigen Luftabschluss sehr gute Grundvoraussetzungen für eine verlustarme Silierung [130]. Schlauchsilage kann mit einem Durchmesser von bis zu 3 m und 70 m Länge bei einem Durchsatz von 40 bis 60 t/h produziert werden [101, 131]. In einem m³ Folienschlauch werden je nach Siliergut etwa 200 kg Trocken- bzw. 600 kg Frischmasse eingepresst [131]. Gegenüber dem Fahrsilo wird kein Walzfahrzeug benötigt und der hohe Arbeitskräfteeinsatz bei der Siloabdeckung entfällt. Als nachteilig erweist sich ein überdurchschnittlich hoher Folienbedarf und der Platzbedarf eines Siloschlauches bei größeren Silagemengen [85].

6.1.4.4 Vergleich der Silierungsverfahren

Ein Verfahrensvergleich und deren Bewertung zur Silierung von Grüngut ist der Tab. 83 und Tab. 84 zu entnehmen. Gegenüber der Lagerung in einem Silo, bei dem der Luftabschluss mit einer Abdeckplane erreicht wird, sind die Kosten mit sechs Folienlagen bei Ballen höher [85]. Die Lagerung der Rundballen wird stirnseitig vorgenommen und zwischen den Ballen ist ein Abstand einzuhalten [98]. Abdeckplanen dienen dem Schutz vor Tieren und Wasser. Eine kontinuierliche Ballenkontrolle und ggf. ein Verschließen von Öffnungen ist unabdingbar. Aufgrund des hohen Kosten- und Zeitaufwandes sind die letztgenannten Aspekte als nachteilig zu bewerten.

Kostenberechnungen der Futterwerbung ergaben bei verschiedenen Silierverfahren Unterschiede hinsichtlich der Lagerung auf einer Siloplatte, im Fahrsilo oder als Schlauchsilo [133]. Wurden die Kosten für Bergung, Einlagerung, Verluste, Arbeitskosten und Folie addiert, belief sich die Summe auf 46,20 €t (Rundballen) und 44,20 €t (Quaderballen). Wurde Silage auf einer Platte oder im Fahrsilo gelagert, lagen die Kosten zwischen 43,60 bzw. 34 €t (Häcksler) und bei 42,10 bzw. 42,50 €t (Ladewagen). Wurde im Schlauch siliert, waren Kostenvorteile des Häckslers (19,30 €t) gegenüber dem Ladewagen (27,80 €t) festzustellen.

Tab. 83: Vergleich der Silierungsverfahren

| Technik | Vorteile | Nachteile | Quellen |
|----------------|---|---|-------------------------|
| Flachsilo | Einfache Bauart (Betonplatte), einfaches Befüllen | Verteil- und Walzfahrzeuge erforderlich (mit AK-Bedarf) | [62] |
| Ballensilage | Einfaches Verfahren, geringer Investitionsbedarf, hohe Schlagkraft, gute Qualität, hohe Flexibilität, einfache Handhabung, geringe Gär- und Entnahmeverluste, keine Sickersäfte, alternative Nutzung der Ballenpressen (Stroh, Heu), geringer AK-Bedarf, Verdichten entfällt im Vergleich zum Silo, flexible Lagerplatzwahl | Platzbedarf, begrenzte Stapelbarkeit, hoher Folienbedarf, Folienbeschädigung, höheres Silierrisiko, Abfallbeseitigung (Folien), ungeeignet für Nasssilage, Controlling-Aufwand bei Freilandlagerung, Spezialtechnik für Transport | [55, 98, 101, 105, 132] |
| Schlauchsilage | Silogröße flexibel gestaltbar, nicht ortsbunden, geringe Investitionskosten, schnelle luftdichte Lagerung der Silage bei guter Verdichtung, separate Lagerung verschiedener Silagepartien, Verdichten entfällt im Vergleich zum Silo | Ungeeignet für Feuchtsilage, hoher Platzbedarf, befestigter Untergrund erforderlich, hohe Folienkosten, große Folienoberfläche, Folienbeschädigung, Abfallbeseitigung (Folien), Engpass bei der Einlagerungsgeschwindigkeit, Verdichtung im Randbereich problematisch | [105, 132] |

Tab. 84: Bewertung der Einsilierungsverfahren anhand der ausgewerteten Literatur

| Verfahren | Flachsilo | Ballensilage | Schlauchsilage |
|--------------------------------|-----------|--------------|----------------|
| Befüllen | + | + | o |
| AK-Bedarf | - | + | + |
| Investitionsbedarf | - | + | o |
| Logistik-Anforderungen | - | o | - |
| Platzbedarf | o | + | - |
| Lagerplatzwahl | - | + | + |
| Flexibilität der Silogröße | - | + | + |
| Gär- und Entnahmeverluste | - | + | - |
| Zeitl. Engpass bei Einlagerung | o | + | - |
| Folienbedarf | + | - | o |
| Folienbeschädigung | o | - | - |
| Controlling-Aufwand | + | - | o |

Bewertung: + positiv, - negativ, o neutral

6.1.5 Qualifizierte Interviews zum derzeitigen und künftigen Technikeinsatz bei der Grassilageernte und zum Anteil an Grassilage für Biogasanlagen

Mittels Befragungen von Biogasbetreibern ($n = 11$) und bei der Ernte behilflichen Lohnunternehmern ($n = 2$) wurde die derzeit genutzte Mechanisierung bei der Ernte von Grassilage in Bayern ermittelt. Dabei wurde auch der anteilige Einsatz von Grassilage berücksichtigt. Dieser lag bei sieben Betrieben zwischen 10 und 20 % und bei weiteren vier Anlagenbetreibern zwischen 60 % und 90 %. Diese anteiligen Werte entsprechen einer täglichen Einspeisung in die Anlage von 0,3 bis 21 t Grassilage. Die Standorte der Anlagen sind der Abbildung 42 zu entnehmen. Kosten- und Arbeitszeitberechnungen basierten auf Angaben der Landwirte und Biogasbetreiber, auf aktuellen Berechnungen des Kuratoriums Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V. (KBM, [134]) und einer KTBL-Datensammlung zur landwirtschaftlichen Betriebsplanung [135]. Für die Ermittlung der gängigen Erntetechnik wurde entsprechend der im Kapitel 6.1.1 bis 6.1.4 vorgenommenen Struktur die Mechanisierung bei der Mahd, Bergung und Konservierung dokumentiert und ausgewertet.

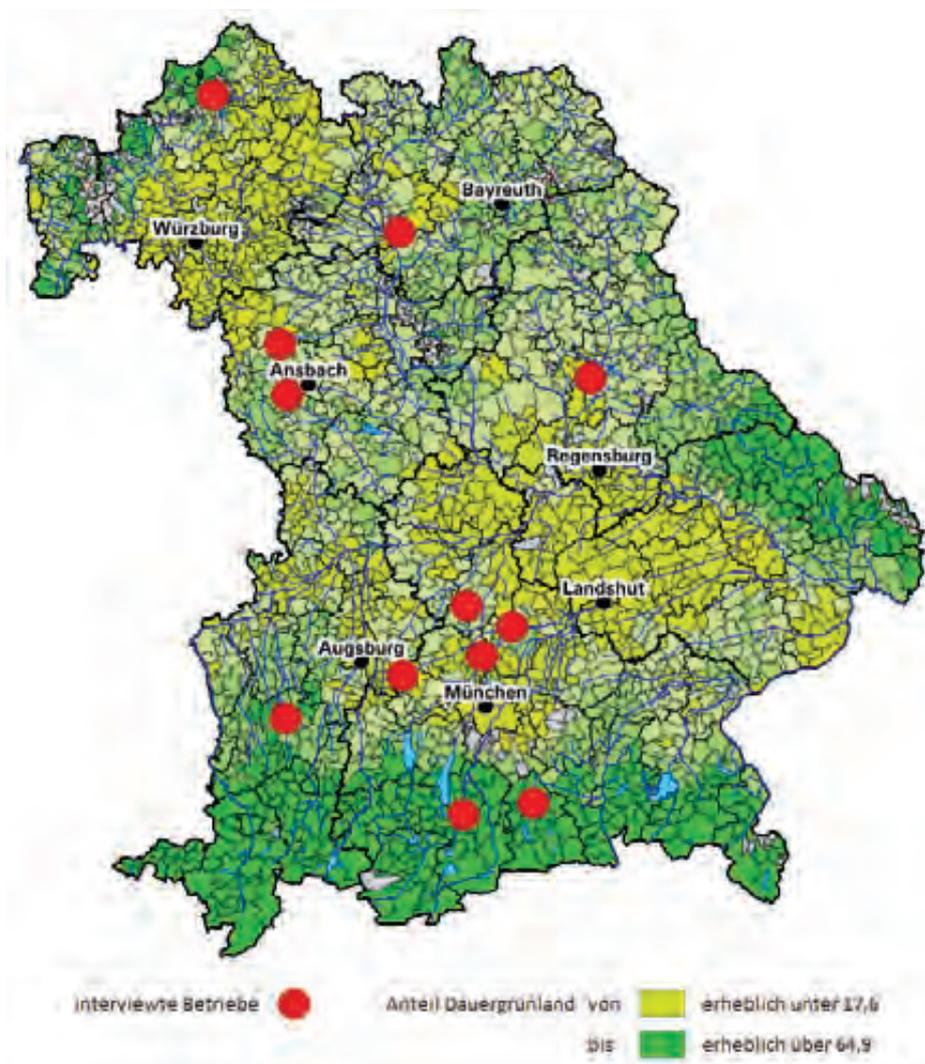


Abb. 41: Standorte interviewter Betriebe in Bayern unter Angabe der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Dauergrünland (verändert nach Halama, LfL Agrarökonomie 2010)

In der Darstellung der Ergebnisse der Befragungen wurden die Betriebsdaten nach ausgewählten bayerischen Pilotbetrieben, die von der LfL betreut werden und landwirtschaftlichen Betrieben unterteilt, sowie in Betriebe mit und ohne Milchviehhaltung (vgl. Tab. 85 und Tab. 86).

Tab. 85: Ergebnisse der qualifizierten Interviews bei Biogas-Pilotbetrieben der LfL, Landwirten mit Milchviehhaltung und Lohnunternehmern (Teil 1: Allgemeine Betriebsangaben, Mähen, Zetten, Schwaden)

| | | | Pilotbetriebe ohne MV (n = 5) | Pilotbetriebe mit MV (n = 2) | Weitere Betriebe mit MV (n = 3) | LU mit und ohne MV (n = 2) |
|----------------------------|--|----------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Allgemeine Betriebsangaben | Anlage | seit | 2004-2007 | 2005-2007 | 1996-2006 | 2010 |
| | Anteil Grassilage | % | 10 - 90 | 5 - 10 | 12-66 | < 10 |
| | Einspeisung/Tag | t/d | 0,4 - 21 | 0,3 - 0,6 | 1 - 3 | - |
| | Elektrische Leistung | kW | 180 - 750 | 100 | 60 - 350 | 190 |
| | Grünlandfläche | ha | 5 - 35 | 30 | bis 40 | 35-50%*** |
| Mähen | Anzahl Schnitte/Jahr | n | 3 - 4 | 4 | 4 - 5 | 3 - 5 |
| | Schnitthöhe | cm | >5 - 10 | 4 - 6 | 6 - 8 | 3 - 8 |
| | Mähgerät (Trommel, Scheiben, Selbstfahrer) | T, S, SF | T, S, SF | T, S | S | S, SF |
| | Arbeitsbreite | m | 8,3 – 9,7 | 3,0 – 3,2 | 2,3 – 9,0 | 8,5 – 9,7 |
| | Zugmaschine | kW | 115 - 231 | 92 - 123 | 104 - 138 | 154 - 200 |
| | Aufbereiter | | mit/ohne | ohne | mit/ohne | mit |
| | Schwadzusammenlegung | | mit/ohne | mit | k. A. | mit |
| | Schlagkraft | h/ha | 0,20 – 0,25 | k. A. | k. A. | 0,12 – 0,25 |
| | Verfahrenskosten | €/ha | 34 - 45 | 9-16* | 9 - 36* | 30 - 44 |
| Kreiseln Zetten Wenden | Kreisel | n | 4 | 6 - 8 | 6 | - |
| | Arbeitsbreite | m | 3,5 - 10 | 4,6 – 8,2 | 6,6 | - |
| | Zugmaschine | kW | 58 - 73 | 40 - 85 | 42 | - |
| | Arbeitszeit | h/ha | 0,42** | 0,42** | 0,42** | - |
| | Verfahrenskosten | €/ha | 10 - 15 | 15-20* | 15-20* | - |
| Schwaden | Arbeitsbreite | m | 6,1 - 7,0 | 3,3 - 6,6 | 6,5 - 14,0 | 13,5 - 14,0 |
| | Anzahl Kreisel | n | 2 | 1 - 2 | 4 | 4 |
| | Zugmaschine | kW | 69 - 92 | 40 - 85 | 42 - 90 | 108 - 115 |
| | Leistung | h/ha | 0,3 - 0,5 | 0,3 | 0,3 - 0,5 | 0,2 |
| | Verfahrenskosten | €/ha | 15 - 17 | 16 - 26* | 16 - 26* | 25, 16-26* |

Abkürzungen: LU = Lohnunternehmer, MV = Milchviehhaltung, * Angaben Maschinenring 2010, ** KTBL-Datensammlung 2008, *** Anteil Gras auf den Ernteflächen

Die Grünlandernte wurde vorwiegend mit im Betrieb vorhandener Technik durchgeführt. In Betrieben, die sowohl Biogasanlagen betreiben, als auch Milchvieh halten, kam ein Ladewagen zum Einsatz. Bei der Nutzung von Gras für Biogasanlagen erfolgte der Häckslereinsatz meistens außerbetrieblich. Die Konservierung erfolgte größtenteils im Flachsilo. Rundballen wurden bei Übermengen oder verstreuter Flurlage und geringem Ertrag eines ökologischen Biogasbetriebes in der Rhön gewickelt. In 9 der 13 Betriebe wurden jährlich 4 Grasschnitte vorgenommen. Die Schnitthöhe beim Mähen lag zwischen 3 und 10 cm. Die jeweils höhere Einstellung wurde zur Schonung der Grasnarbe und zur Sicherung des Aufwuchses vorgenommen. Erfolgte die Mahd mit externen Maschinen, wurde die neueste Technik mit hoher Schlagkraft genutzt. Bei Arbeitsbreiten bis zu 9,7 m wurden Leistungen zwischen 4 und 8 ha/h erzielt. 8 von 13 Betrieben mähten mit Aufbereiter (überwiegend Schlegel). Das Mähen mit Schwadzusammenlegung erfolgte etwa bei der Hälfte der Betriebe. Die Verfahrenskosten für das Mähen lagen zwischen 9 und 45 €/ha Grünland. Das Zetten und Wenden wurde bei Kosten von 10 bis 20 €/ha bei Klee gras oder beim letzten Schnitt durchgeführt. Gezogene Schwader wiesen Arbeitsbreiten von 6,1 bis 14 m auf. Die Verfahrenskosten lagen zwischen 15 bis 26 €/ha.

Bei Einsatz eines Ladewagens wurde bei einer Messeranzahl von 32 bis 45 eine Schnittlänge von 40 mm angegeben (vgl. Tab. 86). Die Ladeleistung lag je nach Fabrikat zwischen 30 und 48 m³, wobei beispielsweise 41 m³ einer Menge von 15 t Frischmasse entsprechen. Die Verfahrenskosten werden mit 31 €/h angegeben [134]. Die Bergeleistung des Häckslers lag in Abhängigkeit von der Schlaggröße zwischen 3 bis 10 ha/h. Die Schnittlänge betrug 4 bis 15 mm, wobei bei nassem Gras kein kurzes Häckseln möglich ist. Der Zusatz von Siliermitteln war mit einer Ausnahme nicht üblich, da mit deren Einsatz keine positiven Erfahrungen gemacht werden konnten. Die stündlichen Häckslerkosten betragen bis zu 180 €. Der Transport des Erntegutes wurde mit Mulden-, Abroll-, Seiten- oder Heckkipper durchgeführt, die ein Ladevolumen zwischen 13 und 45 m³ aufwiesen. Angegeben wurden 2 bis 4 Transporteinheiten bei Hof-Feld-Entfernungen, die größtenteils bis zu 10 km betragen, in zwei Betrieben auch darüber hinaus bis zu 40 km. Hier kam es zum Einsatz von LKW bzw. Ballenpressen. Die Kosten für den Transport lagen bei 60 €/h und Gespann. Im Betrieb, der etwa 90 % Grassilage einspeist, kam ein LKW zum Einsatz, der ein Transportvolumen von 90 m³ aufwies.

Die Einlagerung der Grassilage erfolgte im Flachsilo. Das Verdichten und Verteilen im Silo wurde überwiegend mit einem Radlader mit einem Gewicht von 7 bis 20 Tonnen und bei geringer Geschwindigkeit (2 bis 4 km/h) durchgeführt. Zusätzlich wurde nach dem Abkippen der letzten Fuhre etwa 30 bis 60 Minuten nachgewalzt. Hochsilos wurden in einem Betrieb dokumentiert, der diese bei Silage-Überschuss nutzt. Unüblich waren Silierverfahren, mit denen nur geringe Mengen konserviert werden konnten. In der Rhön wurden Quaderballen bei einer Bergeleistung zwischen 5 bis 15 Ballen/ha gefertigt. Das Schlauchsilageverfahren wurde vereinzelt erprobt, setzte sich jedoch nicht durch. Als problematisch stellte sich die Entnahme heraus, bei der in der oberen Schicht Nachgärung festgestellt wurde und jeden zweiten Tag ein Nachziehen der Folie am Ausschnitt mit Schnur und zwei Säcken bzw. Reifen links und rechts erforderlich war.

Tab. 86: Ergebnisse der qualifizierten Interviews bei Biogas-Pilotbetrieben der LfL, Landwirten mit Milchviehhaltung und Lohnunternehmern (Teil 2: Bergung, Transport, Konservierung)

| | | | Pilotbetriebe ohne MV (n = 5) | Pilotbetriebe mit MV (n = 2) | Weitere Betriebe mit MV (n = 3) | LU mit und ohne MV (n = 2) |
|------------------|--|----------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Bergung | Mechanisierung (Häcksler, Ladewagen, Ballen) | H, L, B | H | H | L | L, H, B |
| | Schnittlänge | mm | 4 - 40 | 12 - 15 | 35 | 5 - 25 |
| Transport | Hof-Feld-Entfernung | km | 0,1-40 | 0,1 - 5 | 0,1 - 7 | 0,1 - 10 |
| | Anzahl TE inkl. LKW | | 2 - 4 | 2 - 4 | 1 | 3 - 4 |
| | Fahrgeschwindigkeit | km/h | 35 - 60 | 40 - 50 | 40 - 45 | 5 - 50 |
| | Zugmaschine | kW | 55 - 308 | 52 - 108 | 104 - 154 | 154 - 200 |
| | Transportvolumen | m ³ | 13 - 90 | 25 - 30 | 26 - 48 | 25 - 45 |
| | Ladeleistung/Frischmasse | t FM | 8 - 26 | 11 - 20 | 11 - 31 | 11 - 29 |
| | Bergeleistung | ha/h | 3 - 7 | 4 - 8 | k. A. | 2 - 10 |
| Kosten | €/h | 35 - 60 | 35 - 50* | 31* | k. A. | |
| Verfahrenskosten | Ladewagen | €/h | - | - | 46-65* | 85 |
| | Häcksler | €/h | 115 - 180 | 130 - 180* | - | 150 - 170 |
| | Ballenpresse incl. Wickeln | €/B. | - | - | - | 12 |
| Konservierung | Flachsilo | n | 1 - 8 | 6 | 3 - 5 | 5 |
| | Walz- u. Verteilfahrzeug | t | 7 - 20 | 20 | 18 | 13 - 18 |
| | Walzfahrzeug | t | 12 - 14 | - | 7 - 10 | - |
| | Verteilfahrzeug | t | 14 | - | - | - |
| | Leistung | t/h | 122 - 125 | k. A. | k. A. | k. A. |
| | Verfahrenskosten | €/h | 20 | 35* | 35* | 35* |
| | Silierzusätze | | mit/ohne | ohne | k. A. | z.T. bei MV |

Abkürzungen: LU = Lohnunternehmer, MV = Milchviehhaltung, TE = Transporteinheiten, B = Ballen, * Angaben Maschinenring 2010

Nach etwa fünfjähriger Nutzung der Biogasanlagen ergaben sich aus Sicht der befragten Landwirte, Biogasbetreiber und Lohnunternehmer folgende Bewertungen zur derzeitigen und künftigen Nutzung von Grünlandflächen (vgl. Tab. 87). Von praktizierenden Landwirten wird die Nutzung von Grassilage für die Einspeisung in Biogasanlagen als zusätzliches Standbein mit nachhaltigem ökonomischen und ökologischem Wert angesehen. Als nachteilig wurden die mit der aufwendigen Ernte verbundenen Arbeitsschritte beschrieben sowie geografisch bedingt die Qualität der Böden und kleinstrukturierte Flächen. Den geringen Erntekosten bei Mais und anderen Substraten stehen allerdings Anbau- und Pflegemaßnahmen, wie Aufwendungen für Saatgut und Pflanzenschutz, gegenüber. Der durch

Mahd entstandene Nebeneffekt für die Landschaftspflege wurde als positiv angesehen und trägt in nicht unwesentlichem Umfang zum Erhalt der Kulturlandschaft in Bayern bei.

Tab. 87: Bewertung der Befragungen zur Nutzung von Grünland für Biogasanlagen

| Argumente | Bewertung | Vorschläge zur Problem-Lösung |
|--|-----------|-------------------------------|
| Qualität des Erntegutes (Anwelkgrad, Struktur) | + | evtl. nachhäckseln |
| Grünlandflächen (Potential) | + | |
| Ertragssicherheit | + | |
| Nutzung mehrfachen Nachwuchses | + | |
| Nutzung von Restflächen und frei werdenden Flächen | + | |
| Nutzung des Grünlandüberschusses für Biogasanlagen, Restmengenverwertung, Alternative bei niedrigem Milchpreis | + | |
| Ökologischer Nutzen | + | |
| Landschaftspflege | + | |
| Nachhaltigkeit, Erosionsschutz | + | |
| Umsetzung des Wiesenbrüterprogramms (Feldrand) | + | |
| Keine jährliche Ansaat/Anbaukosten | + | |
| Pachtmöglichkeit (geringe Kosten) | + | |
| Klimatischer Nutzen | + | |
| Energieertrag | + | |
| Stickstoffeintrag, N-Mineralisierung (Boden) | + | |
| Möglichkeit zur Gülleausbringung | + | |
| Wirtschaftlichkeit, Gülleeintrag als Abfallprodukt | + | |
| Abschreibemöglichkeiten bei Biogasanlagen | + | |
| Konkurrenz zur Milchviehhaltung vs. zusätzliche Flexibilität | -/+ | |
| Anzahl Arbeitsschritte bei der Ernte, Arbeitszeitbedarf, Häufigkeit der Schnitte im Jahr | - | Nutzung moderner Technik |
| Logistikaufwand bei der Ernte, Fahrzeuge | - | Flächenzusammenleg. |
| Betriebsgröße, verstreute Flächen | - | Flächenzusammenleg. |
| Verkehr (Lärmbelästigung) | - | Leerfahrten vermeiden |
| Aufwand für Bergekosten | - | |
| Landschaftsbild (hügelig) | - | |
| Standort (Moos) | - | 3 statt 4 Schnitte |

Bewertung: + positiv, - negativ

6.2 Vorschläge für optimierte Grünland-Erntelogistikketten für Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Ressourceneffizienz

Aus der bisherigen Literaturrecherche und den Ergebnissen der Interviews folgernd, können folgende Steuerungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Schlagkraft bei den Verfahrensschritten in der Ernte von Grünland eingesetzt werden (vgl. Tab. 88). Die zur Verfügung stehenden einzel- und überbetrieblich einsetzbaren Verfahren, wie Ladewagen-, Häcksel- oder Ballenkette sind als sehr leistungsfähig anzusehen. Der Anspruch an die Arbeitsorganisation und -planung erhöht sich beim Einsatz von Lohnunternehmen gegenüber ortskundigen betriebseigenen Arbeitskräften. Insgesamt ist bei der Organisation der logistischen Kette einer hohen Silagequalität absolute Priorität einzuräumen [136].

Vorschläge für alternative Verfahren zur Nutzung von Grassilage für Biogasanlagen sind beispielsweise die Nutzung neuer Navigationssysteme zur Optimierung der Transportkette. Dabei wird auf einer hohen Kommunikationsebene zwischen Computer, Häckseler und Transportfahrzeugen die Erntekette gesteuert. Leicht umsetzbar ist im Ernteprozess weiterhin ein kombiniertes Arbeiten betriebseigener, ortskundiger und überbetrieblicher Arbeitskräfte. Somit lassen sich Probleme oftmals ungünstiger Schlagform und Flächenverteilung mit schlagkräftiger maschineller Ausstattung verbinden. Wirtschaftlichen Verlusten durch hohe Transportkosten kann einerseits mit dem Vorverdichten des Ladegutes für den Transport entgegengesteuert werden, andererseits durch Kombination von Silage- und Gärresttransporten, sowie der Nutzung dezentraler Silos. Die beim Häckseler erzielte Häcksellänge des Substrates bietet optimale Voraussetzungen zur Vergärung von Grassilage. Schwierigkeiten mit der Graslänge im Fermenter können unter Nutzung der Ladewagen- und Ballenkette durch ein Auflösen und Zerkleinern vor dem Fermenter umgangen werden. Ein optimierter Transport wäre durch das Transportieren und die Entnahme mit Zinkengabeln möglich. Die Ballen könnten als Ganzes im Silo siliert werden. Die Nutzung von frischem Gras ist mit geringeren Verlusten als bei der Silierung verbunden und würde zu einer Einsparung der Silierkosten führen, lässt sich allerdings nur bei Übermengen realisieren.

Bei der Anlagenplanung ist ein ausschließlicher Einsatz von Grassilage zum gegenwärtigen Stand der technischen Entwicklung als problematisch einzuschätzen, da ein hoher Stickstoffgehalt im Fermenter zu einer hohen, die Biogasproduktion hemmenden Ammoniumkonzentration führen kann [49]. Zur reibungslosen Nutzung der Anlagentechnik sollte das Gras so kurz wie möglich gehäckselt werden, da langfaseriges und zähes Substrat zu Verstopfung, Bruch und vorzeitigen Verschleiß führen kann [44]. Bei der Kombination mit einer Milchviehanlage ist die Vergärung von Grassilage als kostengünstig und unter Nutzung von Gülle oder Maissilage als unproblematisch einzuschätzen. Eine Kofermentation bringt finanzielle Vorteile mit sich, da Gülle „kostenlos“ zu erhalten ist und Maissilage deutlich kostengünstiger bereitgestellt werden kann. Die Anlagengröße wird meist durch die Flächenstruktur bestimmt und liegt in bäuerlichen Regionen bei Leistungen bis zu 380 kW (vgl. Tab. 85). Zum Erhalt der bayerischen Kulturlandschaft ist die Biogaserzeugung aus Grünlandflächen des Alpenraumes weiter zu verbessern.

In einem Nachfolgeprojekt ist zu klären, inwieweit sich die vorgestellten Optimierungsvorschläge zur Nutzung von Grünland mit der derzeit verfügbaren Verfahrenstechnik verwirklichen lassen. Großes Potential liegt in den Ideen, aber auch in technischen Neuheiten, die umgehend berücksichtigt werden könnten. Mit den Ergebnissen der Bearbeitung eines

Folgeprojektes können optimierte Verfahrensketten für die Beratung und die Landwirte angeboten werden.

Tab. 88: Zielstellungen und Ansatzpunkte für Verbesserungsvorschläge

| Verfahrensschritt | Ziel | Maßnahme |
|-------------------|--|---|
| Mahd | Geringe Verschmutzung des Erntegutes, geringe Bröckelverluste | Bodenanpassung, richtige Einstellung zur Schonung des Bodens, Mähhöhe 6 bis 7 cm, gute Schnittqualität durch Halmausrichtung bestimmt, bei trockenem Bestand u. abgetrocknetem Boden |
| | Einsparung von Arbeitsschritten und Verfahrenskosten | Einsatz von Maschinen mit Aufbereiter und Schwadzusammenlegung |
| Zetten | Geringe Bröckelverluste | Bodenanpassung erhöhen durch Nähe der Räder am Rechen, saubere Rechenarbeit |
| Schwaden | Maschinelle Abstimmung innerhalb der Verfahrenskette und Verbesserung der Qualität | Bessere Arbeitsqualität durch Sturzeinstellung, Einfluss Schwadmasse und Fahrer, Anpassung der Schwadstärke an die Bergeleistung, Flexibilität durch breite Schwade |
| Transport | Geringe Transportkosten | Geeignete Transportfahrzeuge zur Auslastung des möglichen Transportvolumens u. zur Steigerung des Massestroms, Erhöhung der Ladedichte (Vorverdichtung), Nutzung von Überladelösungen (z. B. Überladewagen und Silomaus), Nutzung der erzielbaren Fahrgeschwindigkeit, Abstimmung der Anzahl der Transportfahrzeuge, Vermeidung von Wartezeiten bei der Übernahme des Erntegutes beim Lager durch das gleiche Fassungsvermögen und die gleiche Fahrgeschwindigkeit, Nutzung neuer Navigationssysteme zur Optimierung der Transportkette, Kombination von Silage- und Gärresttransport |
| Häckseln | Geringe Konservierungsverluste | Größere Verdichtung durch kleinere Partikelgröße, variable Schnittlängeneinstellung unter Berücksichtigung des TM-Gehaltes |
| | Leistungssteigerung | Durch breite lockere Schwad Leistungssteigerung um bis zu 25 % beim Häckseln |
| Verfahren | Günstige Verfahrenskosten | Doppelnutzung durch verfügbares Personal und Maschinen (für Maissilage) |
| | Senkung des Arbeitszeitbedarfs | Einsatz leistungsfähiger Erntemaschinen, Einsatz ortskundiger Personen, Nutzung von Spurführungssystemen |

7 Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte

Autor: Johannes Bachmaier

7.1 Modellierung der Anlagenkonzepte

Um die Klima- und Energiebilanz möglichst praxisnah und anlagenindividuell zu erstellen, wurde ein computergestütztes Modell für die Bilanzierung der Stoff- und Energieflüsse der Biogasanlage und der vorgelagerten Produktionsbereiche mit der Software umberto[®] verwendet [137]. Der Bilanzierungsrahmen umfasst alle zur Energieproduktion notwendigen Prozesse und die sie verbindenden Material- und Energieflüsse. Die Verfahrenskette Biogas wurde dazu in folgende Teilbereiche aufgeteilt:

- Erzeugung, Transport und Konservierung der Grassilage bzw. Transport der Wirtschaftsdünger,
- Betrieb der Biogasanlage,
- Gärrestbehandlung,
- Errichtung der Biogasanlage und
- Vorketten (Bereitstellung von Strom, Treibstoff und mineralischen Düngemitteln).

Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen wurden alle klimawirksamen Emissionen, die den Bilanzierungsraum verlassen, aufsummiert. Das Hauptprodukt der betrachteten Biogasanlagen ist Elektrizität. Als Bezugsgröße wurde daher eine Kilowattstunde elektrischer Strom gewählt, der ins Stromnetz eingespeist wird. Alle Stoff- und Energieströme wurden auf diese Einheit bezogen. Neben dem Hauptprodukt Elektrizität entstehen als weitere verwertbare Produkte Wärme und Dünger. Diese wurden über Gutschriften in der Sachbilanz berücksichtigt.

Um die Ergebnisse einzuordnen, wurden alternative Lebenswege für In- und Outputs der Biogasanlagen berücksichtigt. Nach [138] ersetzt Strom aus Biogasanlagen zu 30 % Elektrizität aus Gas-Kraftwerken und zu 70 % aus Steinkohlekraftwerken. In diesem Kraftwerksmix wird Strom mit Emissionen in Höhe von $825 \text{ g CO}_2\text{-Äq}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ erzeugt.

7.2 Datengrundlage

Die Stoffströme wurden von den Anlagenkonzepten übernommen. Weitere Daten wurden auf Basis von Literaturangaben abgeschätzt. Im Folgenden wird die Herkunft der Daten kurz dokumentiert.

Substratbereitstellung: Ernteketten, Anbau und Lagerung nach [139], [140]; Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gärrest sowie Mineraldüngerbedarf nach Düngebilanz; Lachgasemissionsfaktor (N in Mineraldünger und Gärrest): 1,0% [141].

Betrieb der Biogasanlage: Energieverbräuche wie im Anlagenkonzept vorgegeben, Betriebsstrom wird komplett aus dem Stromnetz bezogen.

Emissionen der Blockheizkraftwerke (BHKW): Abschätzung aufgrund von Einzelmessungen an BHKW der angegebenen Größenklassen, Transformationsverluste auf Mittelspannung: 1 % des produzierten Stroms.

Errichtung der Biogasanlage: Berücksichtigung der Materialien Beton, Asphalt, Stahl und Ziegel; Fernwärmeleitungen nicht berücksichtigt.

Gärrestbehandlung: Methanemissionen aus offenem Gärrestlager: Nur die Anlagenvarianten 1 und 2 weisen offene Gärrestlager auf. Aufgrund der hohen Verweilzeiten im gasdichten Teil der Anlage wurden geringe Methanemissionen aus dem Gärrestlager in Höhe von 0,35 % des Biogasertrags angenommen.

Gutschrift für Wärmenutzung: Bei der Biogasverwertung im BHKW entsteht auch Wärme, deren Nutzung wurde über Gutschriften in der Sachbilanz berücksichtigt wurde. Hierfür wurde angenommen, dass die genutzte BHKW-Abwärme die Wärmebereitstellung durch einen Ölheizkessel ersetzt.

Gutschrift für Vergärung von Rindergülle: Durch die Vergärung von Wirtschaftsdüngern können Emissionen aus der Güllelagerung vermieden werden. Nach [141] wurden für die Gutschrift Emissionen in Höhe von 13 % des Methanertrags der eingesetzten Rindergülle angenommen.

7.3 Bilanzen der Anlagenlagenvarianten

Im Vergleich zum fossilen Referenzsystem vermeiden alle Anlagenvarianten erhebliche Mengen an klimaschädlichen Emissionen. Die Einsparungen betragen zwischen 582 und 627 g CO₂-Äq•kWh_{el}⁻¹. (vgl. Tab. 89). Gegen Null bilanziert – also ohne Berücksichtigung der fossilen Referenz für die Strombereitstellung – ergeben sich Emissionen von 197 bis 242 g CO₂-Äq•kWh_{el}⁻¹ (Abb. 42). Im Vergleich zu Praxis-Biogasanlagen [137] fällt ein leicht erhöhter Anteil an Lachgasemissionen für die Pflanzenproduktion auf. Ursache ist der höhere Anteil an Stickstoff im Kreislauf beim Einsatz von Grassilage an Stelle von Substraten mit niedrigeren Stickstoffanteilen (z. B. Mais). Da für die Lachgasemissionen immer pauschal Emissionen in Höhe von 1 % des ausgebrachten Ammonium-N angesetzt werden, erhöhen sich die N₂O-Emissionen bei einem höheren N-Anteil im Substrat bzw. im Gärrest. Der vergleichsweise hohe postulierte Strombedarf für den Anlagenbetrieb, der aus dem öffentlichen Stromnetz gedeckt wurde, verursacht Emissionen von über 100 g CO₂-Äq•kWh_{el}⁻¹.

Zwischen den verschiedenen Anlagenkonzepten ergeben sich nur geringfügige Unterschiede in der Treibhausgasbilanz. Da der Methanertrag aus der Rindergülle im Vergleich zu demjenigen aus der Grassilage gering ist, ergeben sich nur kleine Gutschriften. Durch den Einsatz der Rindergülle lassen sich auch keine wesentlichen Mengen an Grassilage einsparen.

Ein Blick auf den Verfahrensschritt „NawaRo-Bereitstellung“ (Abb. 43) zeigt die dominierende Position der Emissionen aus der Stickstoffdüngerherstellung und der Lachgasemissionen. Beide Posten addieren sich zu knapp 80 % der Emissionen für diesen Verfahrensschritt.

Die Abbildungen 44 und 45 zeigen exemplarisch anhand von Sankey-Diagrammen, wie sich die klimarelevanten Emissionen auf die Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas aufteilen. Hierbei sind alle Emissionen in Kohlendioxidäquivalenten angegeben.

Tab. 89: Treibhausgasbilanz der Anlagenkonzepte inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung

| Anlagenkonzept | 75 kW 5% Gülle | 75 kW 35% Gülle | 190 kW 5% Gülle | 190 kW 35% Gülle | 500 kW 5% Gülle | 500 kW 35% Gülle |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Treibhausgasbilanz inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung (g CO ₂ -eq•kWh _{el} ⁻¹) | -582 | -607 | -604 | -627 | -592 | -616 |

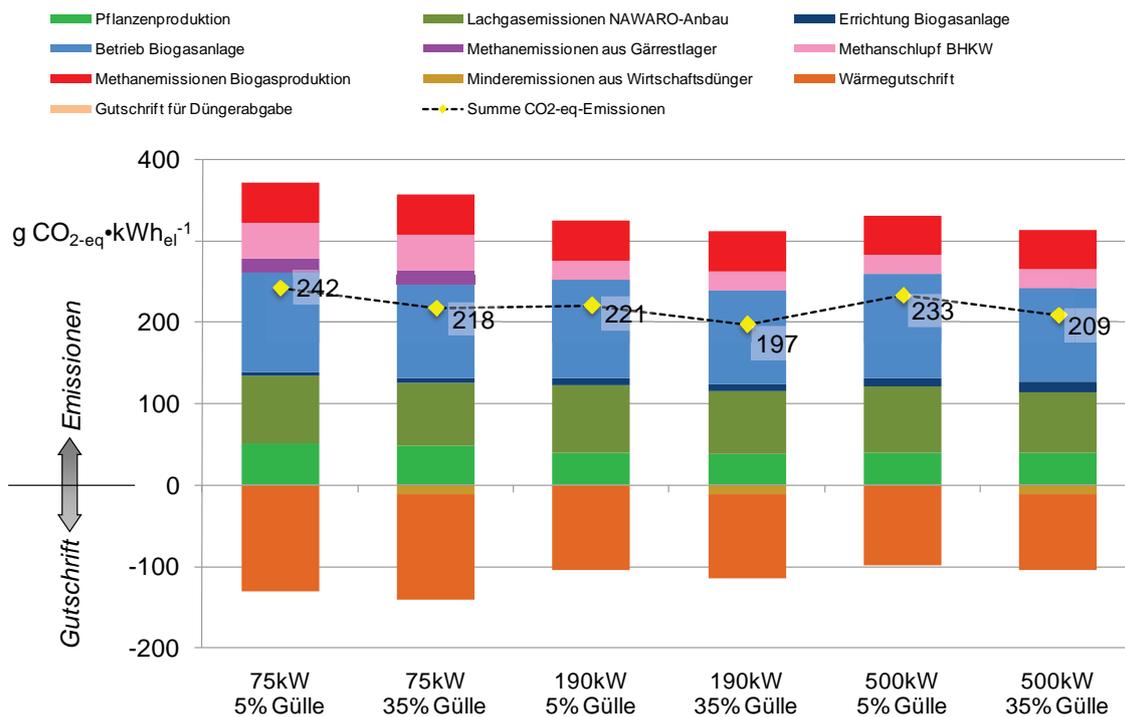


Abb. 42: Treibhausgasbilanz der sechs Anlagenkonzepte ohne Gutschrift für Stromerzeugung („Null-Szenario“)

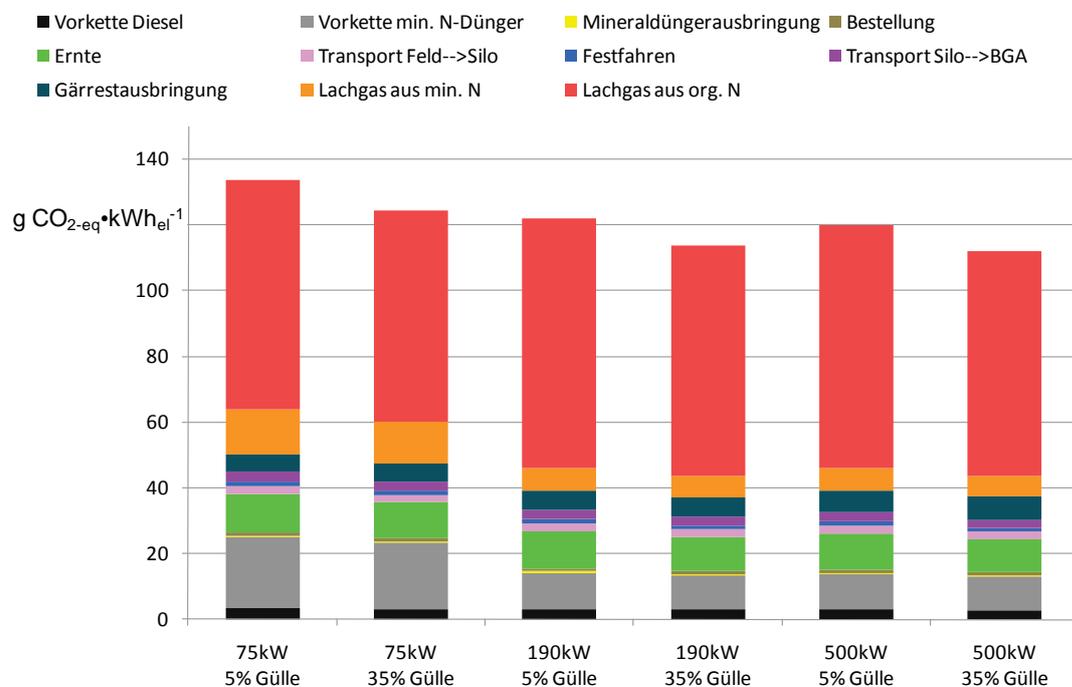


Abb. 43: Detaillierter Blick auf die Emissionen der Grünlandbewirtschaftung für die sechs Anlagenkonzepte

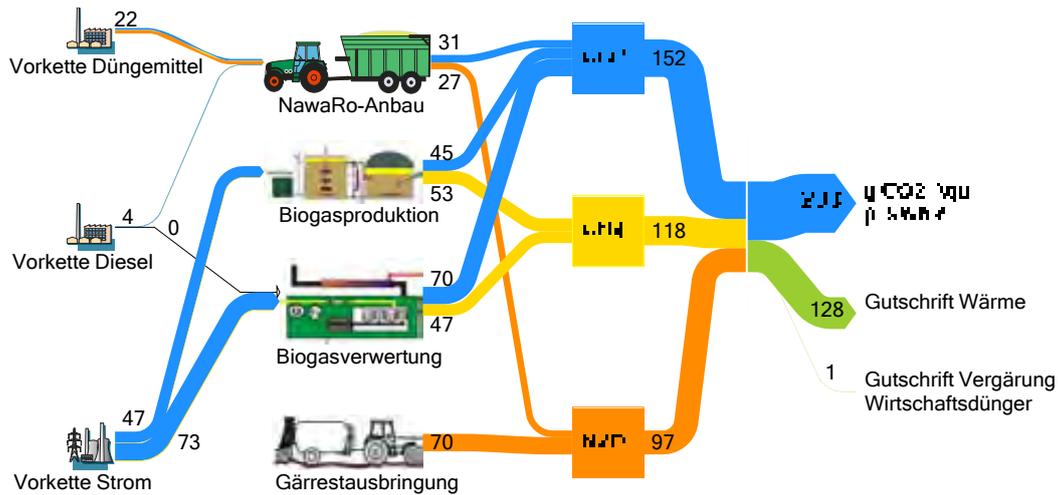


Abb. 44: Sankey-Diagramm der Klimagasemissionen von Anlagenkonzept 1 (75 kW_{el}, 5 % Gülle)

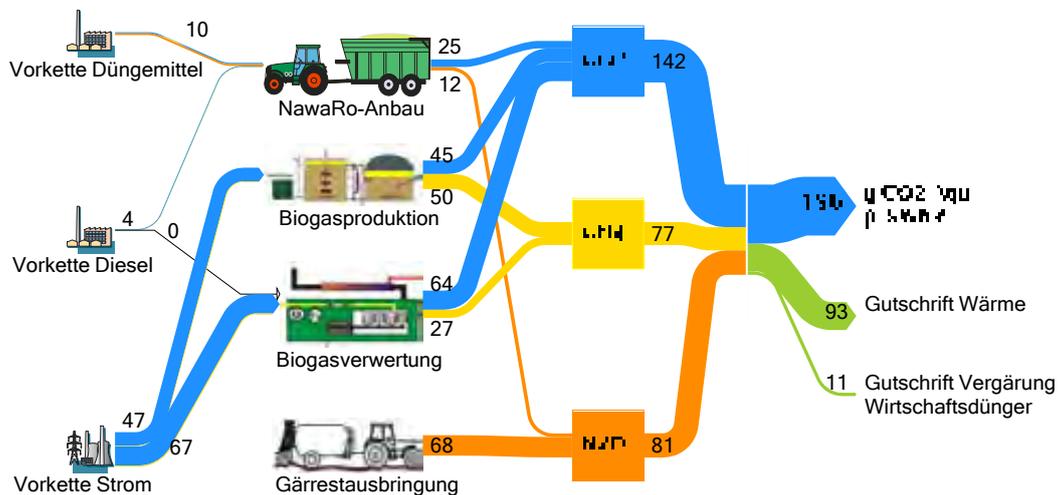


Abb. 45: Sankey-Diagramm der Klimagasemissionen von Anlagenkonzept 6 (500 kW_{el}, 35 % Gülle)

7.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für die betrachteten Anlagenkonzepte ergibt sich unter den dargestellten Annahmen eine für die Stromproduktion aus Biogas vergleichsweise ungünstige Treibhausgasbilanz. Hauptursachen hierfür sind der relativ hohe Stickstoffumsatz beim Einsatz von Grassilage, der zu hohen Lachgasemissionen von der Fläche führt, die aufwendige Ernte von Grünland sowie der relativ hohe Strombedarf der Anlagen, der aus dem Stromnetz gedeckt wurde. Die Treibhausgasbilanz lässt sich effektiv verbessern, indem die verfügbare Wärme möglichst weitgehend effizient genutzt wird und der Strombedarf der Anlage durch die Eigenstromproduktion gedeckt wird. Die vorliegende Treibhausgasbilanz reicht nicht aus um die Umweltwirkungen der sechs Anlagenkonzepte umfassend zu bewerten, da bei Grünlandnutzung auch Aspekte wie Bodenschutz, Wasserschutz, Erhaltung des Landschaftsbildes oder Biodiversität berücksichtigt werden sollten.

8 Betriebswirtschaftliche Bewertung

8.1 Ermittlung der Kosten auf der Basis von regionsspezifischen ÜMV-Ketten bzw. LU-Angeboten für landwirtschaftliche Unternehmen

Autoren: Stefan Wank, Ulrich Keymer

In den drei ausgewählten Regionen (vgl. Kap. 3) wurden Maschinenringe (MR), Lohnunternehmen (LU) und Berater zu den üblichen bzw. verfügbaren Verfahren der Grünfuterternte sowie zu regionalen Besonderheiten befragt und die Verrechnungspreise für einzelne Arbeitsgänge erfasst. Ziel der Befragungen war es, standorttypische Transport- und Ernteketten abzuleiten und die Kosten der Ernte und Einlagerung sowie der Gärrestaubsbringung realitätsnah abzubilden. Ein Vergleich mit KTBL-Planungsdaten soll eventuell vorhandene Kostenreserven aufzeigen.

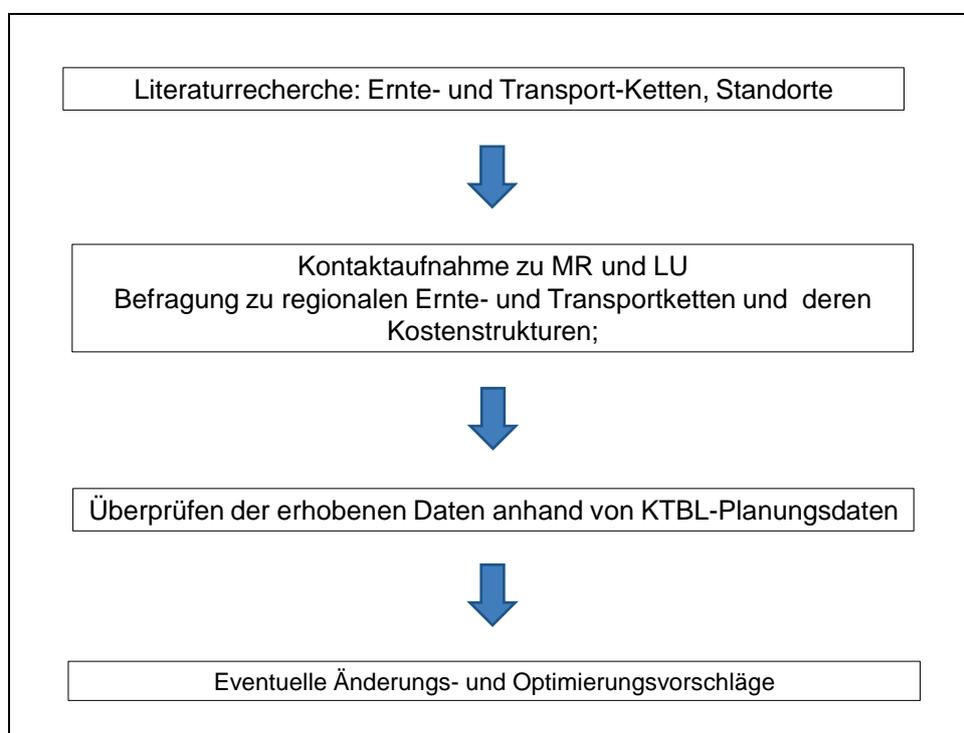


Abb. 46: Vorgehensweise

8.1.1 Standortbeschreibung im Hinblick auf die Erntelogistik

8.1.1.1 Sandberg

Das Gebiet ist kleinstrukturiert. Die einzelnen Schläge liegen verstreut. Die durchschnittliche Parzellengröße der Wiesen beträgt ca. 1 ha. Die Pachtpreise schwanken zwischen 50 €/ha in der Hoch-Rhön und 60 bis 70 €/ha in den tieferen Lagen. „Saalewiesen“ (Wiesen im Saaletal) können auch rund 100 €/ha erzielen. Diese dreischürigen und damit vergleichsweise ertragreichen Wiesen sind bei den Milchviehhaltern der näheren Umgebung begehrt und stehen der Biogaserzeugung derzeit nur sehr eingeschränkt zur Verfügung. Zur Werbung des Anwelkgutes kommen auch Häckselketten zum Einsatz. Schlagkräftige Erntetechnik ist somit vorhanden. Die Grünlandgrenzstandorte in der Hohen Rhön, die für die Biogasnutzung gedacht wären, sind meist als Schafweiden genutzt. In tieferen Lagen

wird der Grünlandaufwuchs als Heu geworben, das sich einer regen Nachfrage aus den Niederlanden erfreut.

Ein Großteil der Flächen am Standort Sandberg liegt im Naturschutzgebiet bzw. dem Biosphärenreservat. und ist auf Grund der Artenvielfalt aus ökologischer Sicht wertvoll und schützenswert. Mehr als 70 % der landwirtschaftlichen Betriebe nehmen das Bayerische Vertragsnaturschutzprogramm in Anspruch, das für eine extensive Mäh- oder Weidenutzung naturschutzfachlich wertvoller Lebensräume (später Schnitzeitpunkt, Verzicht auf jegliche Düngung) Ausgleichszahlungen vorsieht. Daraus ergibt sich bezüglich der Biogasnutzung eine Reihe von Problemen:

- Die Erträge der höchstens 2-schürigen Wiesen liegen bei ca. 3,5 t TM/ha. Dieser niedrige Ertrag bedingt ein entsprechend größeres Einzugsgebiet um den Substratbedarf einer Biogasanlage zu decken
- Qualitativ hochwertige Silagen sind wegen der späten Schnittnutzung des Grünlandes kaum zu erzielen. Der oft überständige, verholzte Aufwuchs könnte in der Anlage Probleme bereiten
- Bisher gibt es vor Ort wenig Erfahrung mit der Werbung von Grassilage. Die Flächen werden überwiegend beweidet oder für die Heuwerbung genutzt. Praxisdaten über die Kosten einzelner Arbeitsgänge der Ernte und der Gärrestausbringung liegen in der Region kaum vor
- Die Ausbringung der Gärreste im näheren Umkreis der Anlage kann voraussichtlich nicht gewährleistet werden, da ca. 80 % der Gesamteinzugsfläche der Anlage im Biosphärenreservat liegt. Zudem sind Naturschutzflächen ausgewiesen, die nicht oder nur eingeschränkt gedüngt werden dürfen, um die Biodiversität der Flora und Fauna nicht zu gefährden
- Der Einsatz schlagkräftiger konventioneller Ernte- und Gülletechnik wird häufig nicht möglich sein. In der Hohen Rhön sind die Flächen oft so steil, dass sie wahrscheinlich nur mit besonders hangtauglichen Spezialmaschinen gefahrlos zu befahren sind. Zudem sind die Grünlandflächen mit Basaltklötzen übersät. Häcksler, Ladewagen und Pressen sind auf diese Bedingungen nicht ausgelegt. Die Tallagen der Saale sind häufig vernässt. Die Befahrbarkeit dieser Feuchtwiesen mit schlagkräftiger überbetrieblicher Erntetechnik ist nicht immer gegeben
- Die Verkehrswege in einem 10 km Radius um Sandberg sind sehr kurvenreich. Erschwerend kommt hinzu, dass wegen des kupierten Geländes viele Steigungen bzw. Gefälle zu überwinden sind. Im Vergleich zu einer geradlinigen Verbindung (Luftlinie) muss deshalb mit einer Verdoppelung der Transportstrecke, geringen Transportgeschwindigkeiten und einem überdurchschnittlich hohen Treibstoffverbrauch gerechnet werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Versorgung einer Biogasanlage mit Gras bzw. Grassilage aus dem näheren Umfeld nicht gesichert ist. Eine schlagkräftige Mechanisierung der Grasernte und der Gärrestausbringung ist nach den derzeitigen Erkenntnissen auf den Grenzstandorten kaum sinnvoll realisierbar. Belastbare Zahlen bezüglich der Ernte von Grassilage und der Ausbringung von Gärresten waren vor Ort nicht zu erheben. Aus den dargelegten Gründen wird der Standort Rhön bezüglich der Erntelogistik im Folgenden nicht näher betrachtet.

8.1.1.2 Hinterschmiding

Das Einzugsgebiet rund um Hinterschmiding liegt auf einem Hochplateau und ist mit einer Ringstraße erschlossen. Da kaum abkürzende Verbindungswege vorhanden sind, müssen die Transporte größtenteils auf dieser Straße abgewickelt und längere Wegstrecken in Kauf genommen werden. Die gut ausgebaute, flache Ringstraße erlaubt allerdings einen zügigen und treibstoffsparenden Transport. Die Feldwege, die auf diese Ringstraße zuführen, sind größtenteils gekiest. Die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit schätzt das AELF Regen auf circa 30 km/h.

Die Grünlandflächen sind in der Regel hügelig, bedingen aber nur in Ausnahmen Einschränkungen in der Mechanisierung. Die Pachtpreise für das Grünland liegen bei 200 bis 300 €/ha. Die betriebseigenen Flächen der Landwirte vor Ort sind arrondiert. Bei Pachtflächen beträgt die Hof-Feld-Entfernung nicht selten 10 bis 20 Kilometer. Der nächste Lohnunternehmer liegt 35 Kilometer von dem Einzugsgebiet Hinterschmiding entfernt. Ein Großteil der Flächen wird über das Kulturlandschaftsprogramm (Maßnahme A22 und A23) gefördert. Über die KuLaP-Bedingungen hinaus bestehen keine weiteren Einschränkungen bezüglich der organischen Düngung. Demnach sind 2 bis 3 Nutzungen das Maximum, um weiterhin die Voraussetzungen des KuLaP zu erfüllen. Die Erträge in Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit wurden vom Pflanzenbauberater vor Ort geschätzt (vgl. Tab. 90). Am Standort sind genügend Grünlandflächen vorhanden, um eine Biogasanlage mit Substrat versorgen zu können.

Tab. 90: Abschätzung der Ernteerträge am Standort Hinterschmiding

| Nutzung | Anteil am Gesamtertrag [%] | Ertrag | |
|------------|----------------------------------|---------------|--------------|
| | | TM [t /ha] | FM [t/ha] |
| 1. Schnitt | 50 | 3,50 | 10,00 |
| 2. Schnitt | 30 | 2,10 | 6,00 |
| 3. Schnitt | 20 | 1,40 | 4,00 |
| Gesamt | 100 | 7,00 | 20,00 |

8.1.1.3 Raisting

Die Region Raisting liegt 545 m bis 580 m über dem Meeresspiegel und weist einen Jahresniederschlag von über 1.000 mm im Jahr auf. Ungefähr 60 % der Flächen des Gemeindegebietes Raisting befinden sich im Verlandungsgebiet des Ammersees auf moorigem Untergrund und stellen somit einen Grenzstandort dar. Die moorigen Wiesen sind nicht jederzeit befahrbar. Insbesondere nach niederschlagsreichen Wintern reicht im Frühjahr die Tragfähigkeit der Böden nicht aus, um den Aufwuchs zum optimalen Zeitpunkt zu werben.

Das Einzugsgebiet rund um Raisting ist vor längerer Zeit flurbereinigt worden. Die Flächen liegen arrondiert um die Betriebe. Das Gebiet weist ein gut ausgebautes Verkehrsnetz mit größtenteils geteerten Feldwegen auf. Die Straßen sind flach und lassen eine schlagkräftige Ernte bzw. eine zügige und treibstoffsparende Abfuhr der Erntegüter zu. Zu beachten ist, dass einzelne Strecken und Brücken mit schwerem Gerät wegen einer Be-

grenzung des zulässigen Gesamtgewichts nicht befahren werden dürfen. Erhebliche Umwege bedingt auch die Sperrung eines forstwirtschaftlichen Wegs. Die schmalen Zufahrten zu den Wiesen stellen laut den Lohnunternehmern vor Ort keine ernststen Probleme dar. Das Kernproblem des angesprochenen Standortes liegt in den moorigen Böden. Die Bedenken des AELF Weilheim bezüglich der Befahrbarkeit der Schläge teilen allerdings nicht alle Lohnunternehmer. Nach ihrer Auffassung lässt sich das Problem in den Griff bekommen, wenn die Maschinen und Geräte nicht zu schwer gebaut sind und über ausreichende Aufstandsflächen verfügen. Ein Lohnunternehmer in der Region rüstete beispielsweise kürzlich einen Häcksler mit Zwillingsbereifung aus, um diesen Standorten besser Rechnung tragen zu können. Außerdem wies er auf die geringe Ausladung der Gespanne hin, die auf diesen Standorten akzeptiert werden muss.

Das AELF Weilheim schätzt, dass am Standort Raisting in einem Radius von circa 10 Kilometern 300 bis 400 ha Grünfläche für eine Biogasanlage verfügbar sind, ohne eine starke Konkurrenz zu den bestehenden Betrieben aufzubauen. Der Gesamtertrag der im Durchschnitt 3-schürigen Wiesen liegt bei rund 7,0 t TM/ha (vgl. Tab. 91). Die Erträge sind vorsichtig geschätzt und können je nach Befahrbarkeit der Flächen stark variieren.

Tab. 91: Abschätzung der Ernteerträge am Standort Raisting

| Nutzung | Anteil am Gesamtertrag [%] | Ertrag | |
|------------|----------------------------------|---------------|--------------|
| | | TM [t /ha] | FM [t/ha] |
| 1. Schnitt | 45 | 3,15 | 9,00 |
| 2. Schnitt | 40 | 2,80 | 8,00 |
| 3. Schnitt | 15 | 1,05 | 3,00 |
| Gesamt | 100 | 7,00 | 20,00 |

8.1.2 Regional verfügbare Maschinen und Verrechnungspreise

Um die Kosten (vgl. 8.1.3) möglichst standortgerecht abbilden zu können, wurden bei Maschinenringen, Lohnunternehmern und Biogasanlagen die an den jeweiligen Standorten verfügbaren Maschinen und Ernteketten sowie die in der Gegend üblichen Verrechnungspreise erhoben. Die in den Tabellen 89 und 90 angegebenen Verrechnungspreise sind Nettopreise und beinhalten, soweit nicht anders angegeben, die Maschinen, den Fahrer und den Treibstoff.

8.1.2.1 Hinterschmiding

Die in Tab. 92 zusammengefassten Kennzahlen und Verrechnungspreise basieren auf den Angaben eines Lohnunternehmens. Weitere Anbieter schlagkräftiger Mechanisierungsketten sind im Gebiet Hinterschmiding nicht vorhanden.

Tab. 92: Technik und Verrechnungspreise Hinterschmiding

| Arbeitsverfahren | Maschinen | Leistung | Netto-Verrechnungspreise (Landwirtschaft) | Einheit |
|-----------------------|--|---|---|------------------|
| Mähen | BigM 400 mit Aufbereiter und Schwadzusammenführung | 7 ha/h; 350 PS; 12 km/h; 9,7 m AB | 30,00 | €/ha |
| Kreiseln | --- | 13 m AB | 42,00 | €/h |
| Schwaden | Großflächenschwader | 3-5 ha/h; 8,70 m AB | 53,00 | €/h |
| Häckseln | Class 940 und 950, Krone Big X | 4-5 ha/h | 126,00 | €/h |
| Ladewagen | Pöttinger Jumbo | 66 m ³ | 130,00 | €/h |
| Schlepper | 820 Fendt | 50km/h | 60,00 | €/h |
| Transport | Abschiebwagen Fliegl | 40 m ³ | 65,00-75,00 | €/h |
| Walzen | Schlepper, Radlader | 17t | 61,00 | €/h |
| Pressen inkl. Wickeln | Pressen: Krone 1270 Wickeln: eigener Arbeitsgang | H: 0,7 m B: 1,2 m L: 1,6 m | 15,00 | €/Ballen |
| Ausbringung Gülle | Pumptankwagen, Breitverteiler, Schleppschuh (ohne Schlepper) | 11-19 m ³ | 0,75 | €/m ³ |

8.1.2.2 Raisting

Die Maschinendaten und Preise resultieren aus Gesprächen mit zwei Lohnunternehmern und dem Maschinenring Starnberg. Das Unternehmen A hat seinen Sitz direkt in Raisting, das Lohnunternehmen B liegt circa 15 Kilometer von Raisting entfernt.

Tab. 93: Technik und Verrechnungspreise Raisting

| Arbeitsverfahren | Maschinen | Leistung | Netto-Verrechnungspreise (Landwirtschaft) | Einheit |
|-----------------------|---|------------------------------------|---|------------------|
| Mähen | Kuhn | 8,8 m AB | 26,00-35,30 | €/ha |
| Kreiseln | --- | 13 m AB | 13,90-37,80 | €/ha €/h |
| Schwaden | Krone | 7 m AB | 14,30-20,00 | €/ha |
| Häckseln | Claas 870 | 500 PS, 14 m AB | 142,90-180,70 | €/h |
| Ladewagen | Pöttinger Euro Profi (ohne Schlepper) | 31 m ³ | 15,50 | €/Fuhre |
| Schlepper | 718 Fendt, John Deere, JCB 3185, Case 110 | 85 PS 85 PS 185 PS 110 PS | 41,60- 46,20 | €/h |
| Transport | Krampe 550 | 25 m ³ | 52,50 | €/h |
| Walzen | Radlader | 14-18 t | 52,10-61,00 | €/h |
| Ausbringung Gülle | Holmer SF | 15 m ³ | 2,00 | €/m ³ |
| Zubringer Gülle | Zubringfass | 15 m ³ | 0,80 | €/m ³ |
| Pressen inkl. Wickeln | Pressen: Krone 1270 Wickeln: eigener Arbeitsgang | H: 0,7 m B: 1,2 m L: 1,6 m | 14,00 | €/Ballen |

8.1.3 Substratbereitstellungskosten frei Eintrag

Geht man in einer ersten Näherung davon aus, dass an Grenzstandorten der Aufwuchs kostenfrei zur Verfügung steht, umfassen die Substratbereitstellungskosten frei Eintrag die Kosten der Ernte, der Einlagerung und der Silierung sowie die Kosten der Entnahme aus dem Lager und des Transportes bis zur Eintragsvorrichtung der Biogasanlage einschließlich Lohn. Für die beiden Standorte Hinterschmiding und Raisting werden die Substratbereitstellungskosten frei Eintrag in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik ermittelt. Grundlage der Berechnung sind die Kapitel 8.1.2 aufgeführten überbetrieblichen Arbeitsverfahren und Verrechnungspreise. Damit geht einerseits das regionale Preisniveau in die Berechnung ein, andererseits sind in den Verrechnungspreisen Festkosten- und Lohnanteile bereits berücksichtigt.

Für die Berechnungen gelten folgende Bedingungen:

- Die Silo-Feld-Entfernung beträgt 6 Kilometer und die durchschnittliche Schlaggröße 1 bis 2 Hektar.
- Die Silierverluste sind für alle Verfahren mit 12 % Trockenmasse angesetzt.
- Die Flächenleistungen der Arbeitsverfahren sind auf Grund des niedrigen Ertrags, der geringen Schlaggröße und des häufigen Umsetzens der Leitmaschine herabgesetzt.
- Kosten für den Arbeitsgang Zetten/Wenden fallen nicht an. Unter normalen Witterungsverhältnissen ist der Arbeitsgang nicht erforderlich, da die Aufbereitung des Mähgutes ein zügiges Anwelken des Grüngutes gewährleistet.
- Die Anschaffungskosten der Fahrsilos betragen 20 €/m³.
- Für das Abdecken der Silos sind Kosten in Höhe von 0,40 €/m³ einschließlich Lohn angesetzt.
- Die Maschinenkosten der Entnahme aus dem Silo und der Transport zum Feststoffeintrag sollen 1,20 €/m³ betragen. Für den Ballentransport sind 0,50 €/m³ angesetzt. Der Arbeitszeitbedarf für die Entnahme und den Transport zum Feststoffeintrag ist für alle Verfahren mit 5 Min./m³ Silage angenommen.

Die Kosten sind in Euro pro Tonne Trockenmasse ausgewiesen. Zur Überprüfung und Bewertung der ermittelten Kosten werden für alle Schnitte auch Berechnungen mit KTBL-Standardwerten durchgeführt und diskutiert. Die Details der Berechnung sind in den Anhang zu diesem Kapitel (Tab. 116 bis Tab. 121) dargestellt.

8.1.3.1 Ergebnisse der Berechnungen

Die Substratbereitstellungskosten in Abhängigkeit von der eingesetzten Verfahrenstechnik sind für beide Standorte in Tabelle 90 zusammengefasst.

Kurzgehäckseltes Substrat eignet sich aus Sicht der Biogasanlagentechnik am Besten (vgl. Kapitel 5.4). Grünlandaufwuchs sollte deshalb, wenn möglich, als Häckselgut siliert werden. Es kann in Hinterschmiding bei überbetrieblicher Ernte und schlagkräftiger Einlagerung im Durchschnitt für etwa 71 €/t Trockenmasse frei Eintrag für die Biogaserzeugung bereitgestellt werden. Am Standort Raisting liegen die Bereitstellungskosten aufgrund der ungünstigeren Erntebedingungen (vgl. 8.1.1.3) mit standortspezifischer Mechanisierung gerechnet bei rund 76 €/t Trockenmasse. Betrachtet man die einzelnen Schnitte, zeigt sich, dass mit abnehmendem Ertrag die Erntekosten und damit die Bereitstellungskosten deutlich steigen. Die geringere Erntemenge kann nicht durch höhere Flächenleistung ausgeglichen werden. Insbesondere der 3. Schnitt ist mit sehr hohen Kosten belastet. Kostengünstiger wäre es insbesondere am Standort Raisting, den 3. Schnitt mit dem Ladewagen zu werben. Die geringen Mengen an Kurzschnittladewagengut sollten von der Biogasanlagentechnik noch ohne Zusatzaufwand zu bewältigen sein.

Soll die komplette Werbung des Anwelkgutes mit Kurzschnittladewagen erfolgen, ist dies schon bei der Planung der Biogasanlage zu berücksichtigen. Größere Leitungsquerschnitte, angepasste Rührtechnik oder eine Nachzerkleinerung können im Einzelfall die Anlagen teurer machen und die Betriebskosten der Anlage deutlich erhöhen. Unabhängig davon verteuert die Ladewagenkette die Bereitstellung der Silage am Standort Hinterschmiding um rund 3 €/t TM gegenüber der Häckselerkette. In Raisting ist auf Grund der örtlichen Gegebenheiten Kurzschnittladewagengut im Durchschnitt um ca. 3 €/t TM günstiger bereitzustellen als Häckselgut.

Ballensilage ist in der Regel keine ökonomisch sinnvolle Option der Silagebereitung für die Biogaserzeugung. Die Kosten betragen im Durchschnitt aller Schnitte mehr als 110 €/t TM und sind damit rund 50 % höher als die des nächstgünstigen Verfahrens. Hinzu kommt ein zusätzlicher Arbeitsgang für das Auflösen der Ballen, der in den Berechnungen noch nicht enthalten ist.

Tab. 94: Durchschnittliche Substratbereitstellungskosten **frei Eintrag** – ortsübliche überbetriebliche Ernteverfahren und Verrechnungspreise

| Standort | Hinterschmiding | | | | Raisting | | | |
|--------------|-----------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|
| | 1. | 2. | 3. | Ø | 1. | 2. | 3. | Ø |
| Ertrag [TM] | 3,50 | 2,10 | 1,40 | 7,00 | 3,15 | 2,80 | 1,05 | 7,00 |
| Verfahren | €/t TM | | | | €/t TM | | | |
| Häcksler | 60,71 | 73,21 | 92,62 | 70,84 | 65,85 | 71,36 | 121,77 | 76,44 |
| Ladewagen | 65,62 | 77,16 | 90,88 | 74,14 | 66,21 | 68,93 | 104,66 | 73,07 |
| Quaderballen | 107,58 | 116,37 | 127,36 | 114,17 | 106,81 | 108,97 | 141,30 | 112,85 |

Ein Vergleich der Ernte- und Einlagerungskosten mit KTBL-Planungswerten ähnlicher Mechanisierungen (vgl. Tab. 95 und Anhang Tab. 124 bis Tab. 129) zeigt, dass die mit standortüblicher Mechanisierung kalkulierten Kosten nicht zu optimistisch angesetzt sind. Nur die Häckslerkette am Standort Hinterschmiding unterschreitet im Durchschnitt aller drei Schnitte die mit Planzahlen ermittelten Kosten. Der Grund dafür sind die moderaten Verrechnungspreise. Die Ladewagenkette sollte, wie die Planungswerte zeigen, etwas günstiger sein, als die Häckslerkette. Am Standort Hinterschmiding wird das nicht erreicht. Auf Grund der derzeitigen Abrechnungsmodalitäten (Festpreis pro Hektar für den Ladewagen) liegen die Substratbereitstellungskosten (frei Silo gewalzt) geringfügig über den vergleichbaren Kosten der Häckslerkette.

Tab. 95: Vergleich der Substratbereitstellungskosten **frei Silo gewalzt** – ortsübliche überbetriebliche Ernteverfahren und KTBL-Planungsdaten

| | Häckslerkette | | Ladewagenkette | | Ballenkette | |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| | ÜMV €/t FM | KTBL €/t FM | ÜMV €/t FM | KTBL €/t FM | ÜMV €/t FM | KTBL €/t FM |
| Hinterschmiding | | | | | | |
| 1. Schnitt | 12,00 | 12,59 | 13,51 | 10,85 | 30,94 | 25,06 |
| 2. Schnitt | 15,85 | 17,94 | 17,07 | 14,36 | 33,64 | 27,80 |
| 3. Schnitt | 21,83 | 23,70 | 21,29 | 18,78 | 37,03 | 47,64 |
| Raisting | | | | | | |
| 1. Schnitt | 13,58 | 13,29 | 13,69 | 10,92 | 30,70 | 27,10 |
| 2. Schnitt | 15,28 | 13,72 | 14,53 | 11,28 | 31,36 | 26,98 |
| 3. Schnitt | 30,81 | 29,04 | 25,54 | 20,78 | 41,32 | 47,06 |

Insgesamt betrachtet erscheint es gerechtfertigt, für die weiteren Kalkulationen für beide Standorte die durchschnittlichen Substratbereitstellungskosten **frei Eintrag** sowohl für die Häckslerkette als auch für die Ladewagenkette mit 75 €/t TM anzusetzen. Grünlandaufwuchs, der wegen seines hohen Trockenmassegehalts nur noch in Form von Ballensilage sicher zu konservieren ist, verursacht Substratbereitstellungskosten **frei Eintrag** von ca. 110 €/t TM ohne Berücksichtigung zusätzlicher Arbeitsgänge für das Auflösen der Ballen und das weitere Zerkleinern des Materials.

8.1.4 Gärrest-Ausbringung

Der Gärrest bzw. die Nährstoffe der Substrate werden in der Regel auf die beernteten Flächen zurückgebracht. Die Kosten der Rückführung und Ausbringung hat die Biogasanlage zu tragen. Bei ortsüblicher, überbetrieblicher Mechanisierung ergeben sich für die beiden Standorte Kosten in Höhe von 4,77 €/m³ bzw. 4,19 €/m³ (vgl. Tab. 96 und Anhang Tab. 122 und Tab. 123). Geht man davon aus, dass pro Tonne Grassilage ca. 0,76 Tonnen Gärrest anfallen, ist jede Tonne Substrat am Standort Hinterschmiding mit zusätzlich 3,20 € und in Raisting mit 3,64 € belastet. Bezogen auf die Trockenmasse des Substrats betragen die Ausbringkosten 9,15 € bzw. 10,40 €. Auch hier zeigt ein Vergleich mit KTBL-Planungswerten (siehe Tab. 96 und Anhang Tab. 130 und Tab. 131), dass die Kosten vorsichtig angesetzt sind. Für die betriebswirtschaftliche Bewertung (vgl. Kapitel 8.2.2) wird mit Ausbringkosten von 10 €/t TM kalkuliert.

Tab. 96: Kosten Gärrest-Ausbringung

| Hinterschmiding | | Raisting | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Pumpentankwagen (15 m ³) + Schlepper | | Zubringer (15 m ³) + Selbstfahrer (15 m ³) | |
| Ortsübliche Verrechnungspreise | Arbeits erledigungskosten nach KTBL | Ortsübliche Verrechnungspreise | Arbeits erledigungskosten nach KTBL |
| 4,19 €/m ³ Gärrest | 3,59 €/m ³ Gärrest | 4,77 €/m ³ Gärrest | 4,07 €/m ³ Gärrest |
| 3,20 €/t FM _{Substrat} | 2,74 €/t FM _{Substrat} | 3,64 €/t FM _{Substrat} | 3,11 €/t FM _{Substrat} |
| 9,15 €/t TM _{Substrat} | 7,83 €/t TM _{Substrat} | 10,40 €/t TM _{Substrat} | 8,88 €/t TM _{Substrat} |

8.2 Vergleichende Bewertung der Anlagenkonzepte hinsichtlich ihrer Faktoransprüche und der ökonomischen Effizienz

Autor: Ulrich Keymer

Entsprechend der Definition von Anlagenvarianten (siehe Kapitel 5.5) sind für Biogasanlagen zur Grasvergärung folgende spezifische Anschaffungskosten angesetzt:

- Elektrische Leistung bis 100 kW: 6.000 €/kW_{el}
- Elektrische Leistung 190 kW: 5.500 €/kW_{el}
- Elektrische Leistung 500 kW: 4.500 €/kW_{el}

Die Anschaffungskosten sind Nettowerte (ohne Umsatzsteuer). Zu ihnen gehören entsprechend VDI 4631 [142] alle Kosten für die vollständige Herstellung der Anlage beginnend bei der Planung über die Genehmigung einschließlich der Inbetriebnahme bis hin zur Erstellung der Dokumentation. Der Neubau der notwendigen Futterberge- und Gärrestlager-

räume ist in diesem Betrag enthalten. Deutlich günstigere Anschaffungskosten sind erreichbar, wenn die weitere Nutzung vorhandener Silo- bzw. Güllelager möglich ist, in hohem Maße Eigenleistungen erbracht oder einzelne technische Komponenten sehr kostengünstig erworben werden können. Die VDI 3475 [22] fordert allerdings für alle Neuanlagen, die nicht ausschließlich Wirtschaftsdünger behandeln, „neu zu errichtende Gärrestlagerbehälter am Standort der Biogaserzeugung gasdicht auszuführen“ und „in jedem Fall (auch bei externer Gärrestlagerung) eine durchschnittliche hydraulische Verweilzeit von mindestens 150 Tagen im gasdichten und an eine Gasverwertung angeschlossenen System (Fermenter und Gärrestlagerbehälter) einzuhalten“.

Dies erzwingt größere Fermentervolumina und macht die Integration vorhandener Güllegruben immer schwieriger. Die Folge ist eine weitere Verteuerung der Anlagen.

8.2.1 Anschaffungs- und Betriebskosten von Pilotanlagen mit Grasvergärung

Im Rahmen der vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanzierten Projekte „Wissenschaftliche Begleitung von Pilotanlagen zur Biogaserzeugung“ [143] und „Kennzahlen der Biogaserzeugung“ [144] konnten auch die Anschaffungskosten zweier Pilotbiogasanlagen, die überwiegend Gras vergären, detailliert ermittelt werden. Sie lagen um **14% bis 25%** höher als die Anschaffungskosten maisbetonter Biogasanlagen vergleichbarer Größe. Diese Mehrkosten entstehen in der Regel durch eine aufwändigere Rühr- und Substrateinbringtechnik. Die erhöhte Viskosität des Gärgemischs erfordert beispielsweise eine mechanische Aufbereitung (Pilotanlage 5) bzw. größere Fermenter mit robusten Rührwerken und teilweiser Rezirkulation der separierten flüssigen Phase des Gärrestes (Pilotanlage 101).

Der Betrieb dieser zusätzlichen Technik erhöht den Eigenstromverbrauch der Anlagen deutlich. So lag der Eigenstrombedarf der Pilotanlage 5 (Klee grasanteil ca. 70 %) mit 17 % um rund 8 % über dem Mittelwert der Pilotanlagen [143]. In der Pilotanlage 101, ebenfalls mit einem Grasanteil am Gesamtmasseinput in Höhe von rund 70 %, sind zwei 15 kW_{el} Vertikalrührwerke aufgrund des „zähen“ Fermenterinhalt nahezu rund um die Uhr in Betrieb. Nach Angabe des Betreibers beträgt der Eigenstromverbrauch incl. Leitungsverlusten rund 11,4 %. Da die Gärrestlager der zweiten Anlage mit einem zapfwel lengetriebenen Rührwerk aufgerührt werden, sind die Wert der beiden Anlagen allerdings nur eingeschränkt vergleichbar. Hinzu kommt, dass beide Anlagen als sogenannte „Trockenfermentationsanlagen“ betrieben werden, für die systembedingt mit einem erhöhten Rühraufwand zu rechnen ist.

Die Betriebskosten (ohne Lohn- und Substratkosten), ermittelt für die Jahre 2006 und 2007 (Pilotanlage 5) bzw. 2009 (Pilotanlage 101), betragen mehr als 4,5 Cent/kWh_{el} und lagen damit deutlich über dem jeweiligen Durchschnitt. Insbesondere die Instandhaltung der Pumpen, der Beschickungseinrichtungen, des Nass-Zerkleinerers und des Separators verursachten höhere Kosten.

Vorläufige Messergebnisse deuten darauf hin, dass auch der Arbeitsaufwand bei Grasvergärungsanlagen höher anzusetzen ist. Ursachen dafür sind einerseits die häufigeren Störungen und andererseits der höhere Zeitaufwand für die Koordinierung von Erntemaßnahmen.

8.2.2 Vergleichende Bewertung der Anlagenkonzepte

Die Kalkulationen und Bewertungen basieren auf den in Kapitel 5.5 definierten Anlagenkonfigurationen und den in Kapitel 5.6 diskutierten prozess- und verfahrenstechnischen Parametern. Für die ökonomische Bewertung sind weitere Parameter zu bestimmen.

8.2.2.1 Kalkulationsgrundlagen

8.2.2.1.1 Substrate und Gasausbeuten

Als Substrate kommen bei allen Anlagen ausschließlich Rindergülle und Grassilage zum Einsatz. Die Qualitätsparameter der Rindergülle (vgl. Tab. 108) orientieren sich an den KTBL-Richtwerten für Rindergülle mit Futterresten [146]. Der TM- und oTM-Gehalt der Gülle wurde allerdings der bayerischen Praxis angenähert. Die unterstellte Gasausbeute der Grassilage liegt um 50 Nm³/kg oTM unter dem KTBL-Richtwert. Dies ist gerechtfertigt, da die Nutzung an Grenzstandorten nicht immer zum physiologisch optimalen Erntezeitpunkt erfolgen kann und deshalb dem Gebot der Vorsicht folgend von einer im Durchschnitt geringeren Gasausbeute auszugehen ist (siehe auch Kap. 5.5.1.2). Nicht sachgerecht wäre es auch die deutlich niedrigere Gasausbeute von Landschaftspflegegras (200 bis 400 Nm³/kg oTM) anzusetzen, da die Studie von der Prämisse ausgeht, dass sich der Grünlandaufwuchs grundsätzlich auch für die Rinderfütterung geeignet und ohne zusätzliche Zerkleinerungs- oder Aufschlussverfahren in einer Biogasanlage verwertbar ist. Überständiges Gras bzw. stark verholztes Material kann gleichwohl gut zerkleinert in untergeordneten Mengenanteilen mit verarbeitet werden. Allerdings ist dieses Material als Bioabfall einzustufen. Die Behandlung von Bioabfall kann im Einzelfall zu erheblichen genehmigungs-, abfall- und düngerrechtlichen Konsequenzen verbunden sein. Beispielsweise löst der Einsatz von Bioabfällen in baurechtlich genehmigten Biogasanlagen automatisch ein neues Genehmigungsverfahren nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz aus, wenn einer der beiden folgenden Schwellenwerte überschritten wird:

- Mögliche Durchsatzleistung der Anlage ≥ 10 Tonnen je Tag
- Gärrest-Gesamtlagerkapazität ≥ 100 Tonnen.

Dabei ist für die Ermittlung der Durchsatzleistung nicht der Bioabfallmengenstrom, sondern der Gesamt-Input-Strom relevant: Hat beispielsweise eine Biogasanlage einen täglichen Durchsatz von 10 Tonnen oder mehr, ist es unerheblich, wie viel davon aus Bioabfällen stammt. Das Gleiche gilt für die Lagerkapazität [145]. Insbesondere der Schwellenwert der Gärrest-Gesamtlagerkapazität wird auch von Kleinanlagen sehr schnell erreicht.

Tab. 97: Substrate und ihre Qualitätsparameter

| Substrat | TM | oTM | Nm ³ /t oTM | Nm ³ /t FM | Methan |
|-------------|-------|-------|------------------------|-----------------------|--------|
| Rindergülle | 8,5% | 85,0% | 380 | 27,5 | 55,0% |
| Grassilage | 35,0% | 90,0% | 550 | 173,3 | 53,0% |

Alle Gasausbeuten bzw. Gaserträge sind als Normvolumen (z. B. Nm³) ausgewiesen. Um Volumenangaben von Gasen vergleichen bzw. bewerten zu können, müssen sich die Angaben auf den Normzustand (Normtemperatur $T = 273,15$ K oder $t = 0$ °C; Normdruck $P = 1,013$ bar; trockenes Gas) beziehen. Das Gasvolumen verändert sich in Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Mit zunehmender Gastemperatur vergrößert sich das Volumen bei konstantem Druck. Je größer der Druck, desto kleiner ist das Gasvolumen bei

konstanter Temperatur. Die Änderung des Volumens in Abhängigkeit von Druck und Temperatur kann in Extremfällen bis zu 20 % betragen.

8.2.2.1.2 Gülleanteil

Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz in der derzeit gültigen Fassung [147] hat der Gülleanteil einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Stromvergütung der Biogasanlagen. Für die ökonomische Bewertung sind deshalb jeweils zwei Varianten angenommen. In der Variante mit Gülle-Bonus sind die Anlagen so ausgelegt, dass kalendertäglich 35 Masseprozent Rindergülle bezogen auf die Gesamtsubstratmenge verarbeitet werden können. Die Variante ohne Gülle-Bonus sieht eine weitgehende Monovergärung von Gras vor. Zur Stabilisierung der Prozessbiologie soll aber auch in diesen Auslegungsfällen auf einen Mindestanteil von 5 Masseprozent Rindergülle nicht verzichtet werden (siehe auch Kap. 5.5.1.3).

8.2.2.1.3 Methanertrag und Bruttoenergieerzeugung

Der Methanertrag errechnet sich aus der Masse der eingesetzten Substrate, der substratspezifischen Gasausbeute und dem substratspezifischen Methangehalt. Die Bruttoenergieerzeugung ergibt sich durch Multiplikation des Methanertrags mit dem unteren Heizwert (H_i) von Methan, der hier vereinfacht mit 10 kWh/Nm^3 angesetzt ist.

8.2.2.1.4 Erzeugte thermische Energie und nutzbare thermische Energie

Die erzeugte thermische Energie ist das Produkt der Multiplikation der Bruttoenergieerzeugung und des thermischen Nutzungsgrads des BHKW. Wobei der thermische Nutzungsgrad der Quotient aus der in einem bestimmten Zeitraum nutzbar abgegebenen Wärmeenergie und der gesamten zugeführten Energie (Bruttoenergie) ist.

Die nutzbare thermische Energie ist der Anteil der erzeugten thermischen Energie, der nach Abzug des Eigenwärmeverbrauchs der Biogasanlage zur anlagenexternen Nutzung zur Verfügung steht. Der Eigenwärmeverbrauch entspricht der kalenderjährlich zugeführten Wärmemenge, die zum Anwärmen der Substrate und zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs notwendig ist. Er ist abhängig von der Außentemperatur, der Temperatur der Substrate und deren Zusammensetzung sowie der baulichen Ausführung der Biogasanlage. Zur Berechnung der Aufheizenergie für das Anwärmen der Substrate gelten folgende Annahmen:

- Ø Substrattemperatur bei Zugabe: 8°C
- Temperaturniveau im Fermenter: 40°C
- Spezifische Wärmekapazität der Substrate: $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Der Energiebedarf für das Anwärmen der Substrate wird durch die Annahme der spezifischen Wärmekapazität von Wasser etwas überschätzt, da mit zunehmendem TM-Gehalt der spezifische Wärmebedarf sinkt. Hinzu kommt der Wärmebedarf zum Ausgleich der Abstrahlungsverluste der Fermenter. Die Höhe dieser sogenannten Transmissionsverluste hängt ab von der Oberfläche der Fermenter, der Isolierung und der Temperaturdifferenz zwischen Betriebstemperatur im Fermenter und der Umgebungstemperatur. Folgende Ansätze liegen den Berechnungen zu Grunde:

- Ø Lufttemperatur: 8°C
- Ø Erdtemperatur: 4°C
- Fermenterhöhe: 6 m
- Einbautiefe der Fermenter ins Erdreich: 2,0 m
- U-Wert eines gut isolierten Stahlbetonfermenters: $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- U-Wert der Doppelmembranabdeckung: $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

8.2.2.1.5 Erzeugte elektrische Energie und eingespeiste elektrische Energie

Die erzeugte elektrische Energie ergibt sich aus der Multiplikation der Bruttoenergieerzeugung und des elektrischen Nutzungsgrads des BHKW. Wobei der elektrische Nutzungsgrad des BHKW der Quotient ist aus der in einem bestimmten Zeitraum auf der Nutzstromseite des BHKW abgegebenen elektrischen Energie, vermindert um die verbrauchte elektrische Arbeit aller Hilfs- und Nebenanlagen dieses BHKW, und der gesamten zugeführten Energie (Bruttoenergie).

Die eingespeiste elektrische Energie errechnet sich aus der erzeugten elektrischen Energie abzüglich des Eigenstromverbrauchs der Biogasanlage sowie der Transformationsverluste. Der Eigenstromverbrauch ist die elektrische Energiemenge, welche durch die Vorrichtungen der Biogasanlage (z. B. Rührwerke, Kühler, Pumpen) verbraucht wird. Der Transformationsverlust ist die Summe der unvermeidbaren Leitungs- und Umspannungsverluste. Den Kalkulationen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Eigenstromverbrauch der Anlagen mit 35 % Gülleanteil: 10 %
- Eigenstromverbrauch der Anlagen mit 5 % Gülleanteil: 11 %
- Transformationsverluste: 1 %

8.2.2.1.6 Vergütungen der Biogasanlagen

Die Erlöse der Biogasanlagen sind auf der Basis des EEG 2009 [147] mit den für Neuanlagen im Jahr 2011 gültigen Vergütungssätzen kalkuliert (vgl. Tab. 98). Keine Bonuszahlungen sind angesetzt für

- die Einhaltung der dem Emissionsminimierungsgebot der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [148] entsprechenden Formaldehydgrenzwerte (TA-Luft-Bonus)
- den Einsatz innovativer Verfahren (Technologie-Bonus).

Der TA-Luft-Bonus ist immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen bis 500 kW_{el} vorbehalten. Der derzeit geltende Grenzwert für Formaldehyd beträgt 40 mg/m³ Abgas. Mittelfristig ist auf Grund der Einstufung des Formaldehyds als krebserzeugend eine kontinuierliche Absenkung des Grenzwerts zu erwarten, der dann ohne geeignete technische Maßnahmen kaum noch einzuhalten sein wird. Es ist deshalb sachgerecht, bei längerfristigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Erlöse aus dem TA-Luft-Bonus zu verzichten, wenn keine erhöhten Aufwendungen für die Einhaltung des Grenzwertes einkalkuliert sind.

Der Technologie-Bonus soll einen Anreiz zum Einsatz innovativer und besonders energieeffizienter Anlagentechniken setzen, die aber regelmäßig mit höheren Investitionskosten belastet sind und noch keine Marktreife erreicht haben. Die hier konzipierten Anlagen erfüllen diese Anforderungen nicht.

Tab. 98: Vergütungssätze 2011

| Nennleistung der Anlage [kW _{el}] | Eingespeiste elektrische Energie [kWh _{el}] | Ø Grundvergütung [Ct/kWh _{el}] | NawaRo-Bonus [Ct/kWh _{el}] | Ø Gülle-Bonus [Ct/kWh _{el}] | Lapf-Bonus ^{*)} [Ct/kWh _{el}] | KWK-Bonus [Ct/kWh _{el}] |
|--|--|---|---|--|---|--------------------------------------|
| 75 | 594.000 | 11,44 | 6,86 | 3,92 | 1,96 | 2,94 |
| 190 | 1.504.800 | 11,13 | 6,86 | 3,55 | 1,96 | 2,94 |
| 500 | 3.960.000 | 9,81 | 6,86 | 1,96 | 1,96 | 2,94 |

*) Landschaftspflege

Für alle Anlagen ist angenommen, dass 30 % der nutzbaren thermischen Energie zu vermarkten sind und nach Abzug der Kosten für die Wärmebereitstellung ein Überschuss von 2,00 Ct/kWh_{therm} zu erzielen ist. Zusätzlich sollen 40.000 kWh Abwärme im Wohngebäude des Anlagenbetreibers sowohl zur Brauchwasserbereitung als auch zur Beheizung genutzt werden und einen fossilen Brennstoff ersetzen. Als Substitutionswert sind 6,00 Ct/kWh_{therm} angesetzt. Für die Verkaufswärme und die Eigennutzung haben die Anlagen zusätzlich einen Anspruch auf den KWK-Bonus, der bei nachweislich KWK-Bonuskonformer Wärmenutzung für den bei der Erzeugung der Nutzwärme anfallenden Stromanteil bezahlt wird. Der KWK-Bonus-fähige Stromanteil ergibt sich aus der Multiplikation der nachweislich verkauften bzw. genutzten Wärme mit der vom Hersteller bescheinigten Stromkennzahl des BHKW. Der einfache Nachweis durch eine Bescheinigung des Herstellers gilt allerdings nur für BHKW mit einer elektrischen Leistung von bis zu zwei Megawatt.

Die Stromkennzahl (SKZ) ist das Verhältnis der KWK-Nettostromerzeugung zur KWK-Nutzwärmeerzeugung in einem bestimmten Zeitraum [149]; vereinfacht ausgedrückt, das Verhältnis der elektrischen Leistung zur thermischen Leistung oder analog des elektrischen Wirkungsgrads zum thermischen Wirkungsgrad.

8.2.2.1.7 Festkosten

Für die Berechnung der Festkosten der Biogasanlage sind die spezifischen Anschaffungskosten der Silos (20 €/m³ ohne Umsatzsteuer) von den spezifischen Anschaffungskosten der Gesamtanlage abgezogen. Die Kosten des Lagerraums wurden bereits bei den Bereitstellungskosten der Substrate berücksichtigt. Für die Berechnung der Festkosten gelten folgende Ansätze:

- Der auf Gebäude, Anlagen und längerfristig nutzbare Wirtschaftsgüter entfallende Anteil beträgt 65 % der Anschaffungskosten (ohne BHKW) und wird auf die maximale Dauer der festgeschriebenen Vergütung durch das EEG (21 Jahre) abgeschrieben.
- Rund 35 % der Anschaffungskosten (ohne BHKW) entfallen auf die Anlagentechnik und weitere Komponenten, die absehbar eine deutlich kürzere Nutzungsdauer aufweisen (z.B. die gasdichten Abdeckungen der Fermenter und Gärrestlager). Die Absetzung für Abnutzung beträgt 14,29 % (Nutzungsdauer 7 Jahre).
- Die Anschaffungskosten der BHKW sind nach der Ausgleichsfunktion der ASUE [150] ($4639 \cdot p_{el}^{-0,333}$ [€/kW_{el}]) abgeschätzt. Die kalkulatorische Nutzungsdauer der BHKW liegt bei knapp 60.000 Volllaststunden oder 7 Jahren.
- Der durchschnittliche Zinssatz der Annuität für das eingesetzte Kapital abzüglich der Anschaffungskosten des erforderlichen Siloraums beträgt 4 %. Die Laufzeit der Annuitätendarlehen richtet sich nach der jeweiligen Nutzungsdauer.

- Die Versicherungen schlagen mit 0,7 % der Anschaffungskosten zu Buche.
- Nutzungskosten in Höhe von 1.000 € bzw. 2.000 € pro Jahr fallen für das Betriebsgrundstück der Anlagen mit 190 bzw. 500 kW elektrischer Leistung an.

8.2.2.1.8 Betriebskosten

Die Betriebskosten der Anlagen setzen sich zusammen aus den Kosten für die Instandhaltung, dem Eigenstromverbrauch, den sonstigen Kosten sowie den Lohnkosten bzw. dem Lohnansatz für die Anlagenbetreuung und das Substratmanagement. Der Block der Substratkosten wird wegen seiner Bedeutung separat geführt.

Instandhaltungskosten

Die Instandhaltung der Gebäude, Anlagen und längerfristig nutzbare Wirtschaftsgüter ist mit 1,5 % der Anschaffungskosten kalkuliert. Die Technik schlägt mit 5 % der Anschaffungskosten zu Buche. Die relativ geringen Instandhaltungskosten sind gerechtfertigt, da die durchschnittliche Nutzungsdauer der Technik mit 7 Jahren vorsichtig angesetzt ist. Die Instandhaltungskosten des kleinen BHKW betragen ca. 1,0 Ct/kWh_{el}. Für das BHKW mit 190 kW_{el} liegen die Kosten in einer Größenordnung von rund 1,3 Ct/kWh_{el}. Ein Vollwartungsvertrag für ein 500 kW-Aggregat ist mit ca. 1,2 Ct/kWh_{el} zu veranschlagen.

Eigenstromverbrauchskosten

Der von der Biogasanlage benötigte Strom soll zu einem Preis von 16 Ct/kWh zugekauft werden.

Sonstige Kosten

Die sonstigen Kosten können in Art und Umfang stark schwanken. Deshalb sind in den Kalkulationen abhängig von der Anlagenleistung Pauschbeträge in Höhe von 5.500 € bis 13.000 € angesetzt. Zu den sonstigen Kosten gehören Aufwendungen für

- die nach dem EEG jährlich erforderlichen Umweltgutachten (Gülle-, Landschaftspflege-, KWK-Bonus)
- die regelmäßigen sicherheitstechnischen Prüfungen
- die regelmäßige gutachterliche Überprüfung der Emissionen oder Immissionen von genehmigungsbedürftigen Anlagen
- Laboranalysen
- das Büro
- die Buchführung
- Hilfsstoffe.

Der Einsatz von Hilfsstoffen in Form von Enzymen und Enzympräparaten, mineralischen Zuschlagsstoffen oder Spurenelementen in Reinform oder in Mischungen ist bei den hier diskutierten Anlagen nicht vorgesehen und auch nicht erforderlich. Auf Grund des Anteils von mindestens 5 Masseprozent Rindergülle bezogen auf den gesamten Substratinput und die teilweise Rückführung der flüssigen Phase des Gärrestes sind ertragsbeeinflussende Nährstoffschwankungen nicht zu erwarten. Eine Auswaschung der Biozönose ist auf Grund der langen Verweilzeiten wenig wahrscheinlich.

Anlagenbetreuung

Die Anlagenbetreuung umfasst im Wesentlichen Routinearbeiten, wie Betriebskontrollen oder Wartungen, Zeiten für Störungsbeseitigungen und Reparaturen sowie Büroarbeiten (z. B.: Betriebsdatenerfassung, Einsatzstofftagebuch etc.) und Organisationsaufgaben – also Tätigkeiten

mit hohem Anspruch an die Qualifikation und Zuverlässigkeit. Für die unterschiedlichen Anlagenleistungen gelten die folgenden Annahmen.

Tab. 99: Arbeitszeitbedarf für die Betreuung von NawaRo-Biogasanlagen (ohne Entnahme und Beschickung)

| | | | | |
|------------------|---|-----|-----|-----|
| BHKW-Leistung | kW _{el} | 75 | 190 | 500 |
| Anlagenbetreuung | AKh/100 kW _{el} *d ⁻¹ | 1,5 | 1,2 | 0,5 |

Der Arbeitszeitbedarf für Entnahme und Beschickung ist bereits in den Substratkosten enthalten.

Substratmanagement

Die Organisation der Grassilagewerbung und der Gärrestrückführung auf die beernteten Flächen erfordert einen nicht unerheblichen Koordinationsaufwand, der mit dem Arbeitszeitbedarf für die Anlagenbetreuung nicht abgedeckt ist. Für die Kalkulationen wurden deshalb folgende Annahmen getroffen:

Tab. 100: Arbeitszeitbedarf für Substratmanagement

| | | | | |
|--------------------|------------------|-----|-----|-----|
| BHKW-Leistung | kW _{el} | 75 | 190 | 500 |
| Substratmanagement | AKh/ha | 0,7 | 0,5 | 0,3 |

8.2.2.1.9 Substratkosten

Die Rindergülle aus der betriebseigenen Tierhaltung steht der Biogasanlage kostenfrei zur Verfügung. Nur im Falle der Anlage mit einer elektrischen Leistung von 500 kW und einem Gülleanteil von 35 Masseprozent ist angenommen, dass Gülle von mehreren Partnerbetrieben zur Anlage transportiert werden muss. Die Vergütung für die Zulieferung der Gülle soll 5 €/t betragen. Die Lagerung der ausgefaulten Gülle erfolgt in der Biogasanlage. Der Rücktransport bzw. die Ausbringung des anteiligen Gärrestes erfolgt auf Kosten der Gülle liefernden Betriebe.

Die Kosten der Grassilagebereitstellung frei Feststoffeintrag sind mit 85 €/t TM oder 29,75 €/t FM, einschließlich der Gärrestrückführung kalkuliert (siehe Kap. 8.1). Nutzungskosten der Grünlandfläche oder flächengebundene Gemeinkosten sind in diesem Betrag nicht enthalten. Für die Berechnungen ist angenommen, dass keine Nutzungskonkurrenz besteht und der Aufwuchs kostenfrei zur Verfügung steht. Die Substraternte muss bis zu einem Jahr vorfinanziert werden. Die durchschnittlichen Ernte- und Einlagerungskosten einschließlich Abdeckung betragen 18,80 €/t FM. Der Kalkulationszinssatz ist mit 6 % angesetzt.

8.2.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den vorgenannten Prämissen Biogasanlagen an Grünlandgrenzstandorten, die neben dem Gülle-Bonus den Landschaftspflege-Bonus in Anspruch nehmen können, bei den derzeitigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich erfolgreich zu betreiben sind. Neben einer angemessenen Entlohnung der Arbeit bleibt ein substantieller Unternehmergewinn. Die Gesamtkapitalrendite liegt zwischen 9 % und 11,5 %.

Der derzeit gültige Landschaftspflege-Bonus alleine reicht nicht aus, die Biogaserzeugung an Grünlandgrenzstandorten zu etablieren.

Die Details der Kalkulationen sind in den Tabellen 98 bis 101 zusammengefasst.

Tab. 101: Kalkulationen mit Gülle-Bonus – Erlöse

| Anlageleistung | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| Substrate | Rindergülle | t/Jahr | 898 | 2.213 | 5.671 | |
| | Niederschlagswasser | t/Jahr | 70 | 70 | 70 | |
| | Grassilage | t/Jahr | 1.667 | 4.110 | 10.531 | |
| Gülleanteil | % | 35 | 35 | 35 | | |
| Gas ertrag | Nm³ | | 313.535 | 772.822 | 1.980.222 | |
| Bruttoenergieerzeugung | Heizwert Substrat | Wh/m ³ | 5,32 | 5,32 | 5,32 | |
| | | kWh/Jahr | 1.666.667 | 4.108.109 | 10.526.316 | |
| Prozessparameter | Fermenternutzvolumen | m ³ | 600 | 2.000 | 4.200 | |
| | Raumbelastung | kg oTM/(m ³ *d) | 2,69 | 1,99 | 2,43 | |
| | Verweilzeit | Tage | 83 | 114 | 94 | |
| | Temperaturniveau im Fermenter | °C | 40 | 40 | 40 | |
| | Ø Substrattemperatur bei Zugabe | °C | 8 | 8 | 8 | |
| Gas-Otto-BHKW | Nutzungsgrad _{therm} | % | 44 | 43 | 42 | |
| | Nutzungsgrad _{el} | % | 36 | 37 | 38 | |
| | Stromkennzahl | | 0,77 | 0,81 | 0,85 | |
| | Ø Vollbenutzungstunden | Std/Jahr | 8.000 | 8.000 | 8.000 | |
| Erzeugte thermische Energie | | kWh _{therm} /Jahr | 733.333 | 1.766.487 | 4.421.053 | |
| Eigenwärmeverbrauch (gerundet) | % | 26 | 28 | 27 | | |
| Nutzbare thermische Energie | | kWh/Jahr | 542.667 | 1.271.871 | 3.227.368 | |
| erzeugte elektrische Energie | | kWh_{el}/Jahr | 600.000 | 1.520.000 | 4.000.000 | |
| Transformationsverluste 1,0% | | kWh _{el} /Jahr | 6.000 | 15.200 | 40.000 | |
| Eigenstromverbrauch | % | 10 | 10 | 10 | | |
| Eingespeiste elektrische Energie | | kWh_{el}/Jahr | 594.000 | 1.504.800 | 3.960.000 | |
| | | | <i>Zukauf ist kostengünstiger</i> | | | |
| | | | 594.000 | 1.504.800 | 3.960.000 | |
| | | | 2011 | 2011 | 2011 | |
| Leistungen | Grundvergütung | €/Jahr | 67.954 | 167.494 | 388.462 | |
| | TA-Luft-Bonus | €/Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| | Stromverkauf | NawaRo- Bonus | €/Jahr | 40.748 | 103.229 | 271.656 |
| | | Gülle- Bonus | €/Jahr | 23.285 | 53.379 | 77.440 |
| | | KWK- Bonus | €/Jahr | 4.591 | 10.039 | 25.195 |
| | Landschaftspflege- Bonus | €/Jahr | 11.642 | 29.494 | 77.616 | |
| Wärmeverkauf in Prozent der nutzbaren Energie | % | 30 | 30 | 30 | | |
| Wärmeerlös abz. -kosten 2,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 3.256 | 7.631 | 19.364 | | |
| Wärmenutzung | kWh | 40.000 | 40.000 | 40.000 | | |
| Substitutionswert 6,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 2.400 | 2.400 | 2.400 | | |
| Summe Erlöse | | €/Jahr | 153.876 | 373.666 | 862.133 | |

Tab. 102: Kalkulationen mit Gülle-Bonus – Kosten und Gewinn

| Anlageleistung | | | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|--|--|--|--|--|----------------------|----------------------|------------------|
| Spezifischen Anschaffungskosten gesamt | | | | | €kW _{el} | 6.000 | 5.500 | 4.500 |
| davon spezifischen Anschaffungskosten Siloraum | | | | | €kW _{el} | 541 | 527 | 513 |
| Spezifischen Anschaffungskosten ohne Silo | | | | | €kW _{el} | 5.459 | 4.973 | 3.987 |
| Anschaffungskosten ohne Silo | | | | | € | 409.397 | 944.918 | 1.993.558 |
| davon Bauliche Anlagen und Technik | | | | | € | 326.776 | 791.332 | 1.700.713 |
| BHKW | | | | | € | 82.621 | 153.586 | 292.845 |
| Festkosten | | | | | | | | |
| Abschreibung | | | | | | | | |
| Gebäude, bauliche Anlagen | | | | | 65,0% 21,0 Jahre €/Jahr | 10.114 | 24.494 | 52.641 |
| Technik | | | | | 35,0% 7,0 Jahre €/Jahr | 16.339 | 39.567 | 85.036 |
| BHKW | | | | | 7,0 Jahre €/Jahr | 11.803 | 21.941 | 41.835 |
| Ø Zinsen/Zinsansatz | | | | | 4,00 % €/Jahr | 9.705 | 22.397 | 47.251 |
| Versicherung | | | | | 0,7 % €/Jahr | 2.866 | 6.614 | 13.955 |
| Pacht Betriebsgrundstück | | | | | €/Jahr | 0 | 1.000 | 2.000 |
| Summe | | | | | €/Jahr | 50.827 | 116.013 | 242.718 |
| Betriebskosten | | | | | | | | |
| Instandhaltung: Bauliche Anlagen | | | | | 1,5 % €/Jahr | 3.186 | 7.715 | 16.582 |
| Technik | | | | | 5,0 % €/Jahr | 5.719 | 13.848 | 29.762 |
| BHKW | | | | | Ct/kWh _{el} €/Jahr | 1,00 | 1,30 | 1,20 |
| elektrische Prozessenergie | | | | | kWh/Jahr | 60.000 | 152.000 | 400.000 |
| Zukaufspreis | | | | | 16,00 Ct/kWh €/Jahr | 9.600 | 24.320 | 64.000 |
| Sonstige Kosten (z.B.: Gutachten, BF, ...) | | | | | €/Jahr | 6.500 | 8.500 | 13.000 |
| Anlagenbetreuung | | | | | Arbeitszeitbedarf Std./Jahr | 411 | 832 | 913 |
| Lohnkosten/-ansatz | | | | | 25,00 €/Std €/Jahr | 10.266 | 20.805 | 22.813 |
| Substratmanagement/Logistik | | | | | Arbeitszeitbedarf Std./Jahr | 66 | 117 | 180 |
| Lohnkosten/-ansatz | | | | | 25 €/Std €/Jahr | 1.658 | 2.919 | 4.488 |
| Summe | | | | | €/Jahr | 42.928 | 97.868 | 198.645 |
| NawaRo-Kosten frei Eintrag einschl. Gärrestausbringung | | | | | | | | |
| Rindergülle - Transportkosten | | | | | 5,00 €/t FM €/Jahr | 0 | 0 | 28.353 |
| Niederschlagswasser Ø | | | | | 0,00 €/t FM €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| Grassilage Ø | | | | | 29,75 €/t FM €/Jahr | 49.606 | 122.273 | 313.304 |
| Vorfinanzierung Substraternte | | | | | 18,80 €/t FM €/Jahr | 1.881 | 4.637 | 11.882 |
| 6 % Zins für 1,0 Jahre | | | | | | | | |
| Nutzungsentgelt | | | | | 0 €/ha €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| Ausbringung Niederschlagswasser | | | | | 4,60 €/t FM €/Jahr | 322 | 322 | 322 |
| Flächendbedarf | | | | | Nettoertrag 17,6 t FM/ha ha | 95 | 234 | 598 |
| RiGV-Bedarf | | | | | Gülleanfall 20 m ³ /RiGV RiGV | 45 | 111 | 284 |
| Gärrestmasse insgesamt | | | | | t/Jahr | 2.225 | 5.381 | 13.679 |
| Separation Volumensverminderung | | | | | 25 % t/Jahr | -- | -- | 3.420 |
| Notw. Lagerkapazität für | | | | | 180 Tage t/Jahr | 1.097 | 2.654 | 5.059 |
| Substratkosten | | | | | €/Jahr | 51.810 | 127.232 | 353.861 |
| Gewinnerwartung (ohne Lohnkosten/-ansatz) | | | | | €/Jahr | 20.235 | 56.277 | 94.209 |
| (Unternehmer-) Gewinnerwartung | | | | | €/Jahr | 8.311 | 32.553 | 66.909 |
| Kapitalrendite (U'Gewinn+Zinsansatz)/(Anschaffungskosten/2) | | | | | % | 8,8 | 11,6 | 11,5 |

Tab. 103: Kalkulationen ohne Gülle-Bonus – Erlöse

| Anlageleistung | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|---|--|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| Substrate | Rindergülle | t/Jahr | 95 | 233 | 598 | |
| | Niederschlagswasser | t/Jahr | 70 | 70 | 70 | |
| | Grassilage | t/Jahr | 1.800 | 4.436 | 11.365 | |
| Gülleanteil | | % | 5 | 5 | 5 | |
| Gas ertrag | | Nm³ | 314.367 | 774.873 | 1.985.478 | |
| Bruttoenergieerzeugung | Heizwert Substrat | Wh/m ³ | 5,30 | 5,30 | 5,30 | |
| | | kWh/Jahr | 1.666.667 | 4.108.107 | 10.526.316 | |
| Prozessparameter | Fermenternutzvolumen | m ³ | 600 | 2.000 | 5.100 | |
| | Raumbelastung | kg oTM/(m ³ *d) | 2,62 | 1,94 | 1,95 | |
| | Verweilzeit | Tage | 111 | 154 | 155 | |
| | Temperaturniveau im Fermenter | °C | 40 | 40 | 40 | |
| | Ø Substrattemperatur bei Zugabe | °C | 8 | 8 | 8 | |
| Gas-Otto-BHKW | Nutzungsgrad _{therm} | % | 44 | 43 | 42 | |
| | Nutzungsgrad _{el} | % | 36 | 37 | 38 | |
| | Stromkennzahl | | 0,77 | 0,81 | 0,85 | |
| | Ø Vollbenutzungsstunden | Std/Jahr | 8.000 | 8.000 | 8.000 | |
| Erzeugte thermische Energie | | kWh _{therm} /Jahr | 733.334 | 1.766.486 | 4.421.053 | |
| | Eigenwärmeverbrauch (gerundet) | % | 22 | 25 | 25 | |
| Nutzbare thermische Energie | | kWh/Jahr | 572.000 | 1.324.865 | 3.315.790 | |
| erzeugte elektrische Energie | | kWh _{el} /Jahr | 600.000 | 1.520.000 | 4.000.000 | |
| | Transformationsverluste 1,0% | kWh _{el} /Jahr | 6.000 | 15.200 | 40.000 | |
| | Eigenstromverbrauch | % | 11 | 11 | 11 | |
| | | kWh _{el} /Jahr | <i>Zukauf ist kostengünstiger</i> | | | |
| Eingespeiste elektrische Energie | | kWh/Jahr | 594.000 | 1.504.800 | 3.960.000 | |
| Jahr der Inbetriebnahme | | | 2011 | 2011 | 2011 | |
| Leistungen | Grundvergütung | €/Jahr | 67.954 | 167.494 | 388.462 | |
| | TA-Luft-Bonus | €/Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| | Stromverkauf | NawaRo-Bonus | €/Jahr | 40.748 | 103.229 | 271.656 |
| | | Gülle-Bonus | €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| | | KWK-Bonus | €/Jahr | 4.790 | 10.418 | 25.858 |
| | | Landschaftspflege-Bonus | €/Jahr | 11.642 | 29.494 | 77.616 |
| Wärmeverkauf in Prozent der nutzbaren Energie | | % | 30 | 30 | 30 | |
| Wärmeerlös abz. -kosten | 2,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 3.432 | 7.949 | 19.895 | |
| Wärmenutzung | | kWh | 40.000 | 40.000 | 40.000 | |
| | Substitutionswert 6,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 2.400 | 2.400 | 2.400 | |
| Summe Erlöse | | €/Jahr | 130.967 | 320.984 | 785.886 | |

Tab. 104: Kalkulationen ohne Gülle-Bonus – Kosten und Gewinn

| Anlageleistung | | | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|--|--|--|--|--|----------------------|----------------------|------------------|
| Spezifischen Anschaffungskosten gesamt | | | | | €kW _{el} | 6.000 | 5.500 | 4.500 |
| davon spezifischen Anschaffungskosten Siloraum | | | | | €kW _{el} | 584 | 568 | 554 |
| Spezifischen Anschaffungskosten ohne Silo | | | | | €kW _{el} | 5.416 | 4.932 | 3.946 |
| Anschaffungskosten ohne Silo | | | | | € | 406.180 | 936.991 | 1.973.245 |
| davon Bauliche Anlagen und Technik | | | | | € | 323.560 | 783.404 | 1.680.401 |
| BHKW | | | | | € | 82.621 | 153.586 | 292.845 |
| Festkosten | | | | | | | | |
| Abschreibung | | | | | | | | |
| Gebäude, bauliche Anlagen | | | | | 65,0% 21,0 Jahre €/Jahr | 10.015 | 24.248 | 52.012 |
| Technik | | | | | 35,0% 7,0 Jahre €/Jahr | 16.178 | 39.170 | 84.020 |
| BHKW | | | | | 7,0 Jahre €/Jahr | 11.803 | 21.941 | 41.835 |
| Ø Zinsen/Zinsansatz | | | | | 4,00 % €/Jahr | 9.629 | 22.209 | 46.770 |
| Versicherung | | | | | 0,7 % €/Jahr | 2.843 | 6.559 | 13.813 |
| Pacht Betriebsgrundstück | | | | | €/Jahr | 0 | 1.000 | 2.000 |
| Summe | | | | | €/Jahr | 50.468 | 115.128 | 240.450 |
| Betriebskosten | | | | | | | | |
| Instandhaltung: Bauliche Anlagen | | | | | 1,5 % €/Jahr | 3.155 | 7.638 | 16.384 |
| Technik | | | | | 5,0 % €/Jahr | 5.662 | 13.710 | 29.407 |
| BHKW | | | | | Ct/kWh _{el} €/Jahr | 1,00 | 1,30 | 1,20 |
| elektrische Prozessenergie | | | | | kWh/Jahr | 66.000 | 167.200 | 440.000 |
| Zukaufspreis | | | | | 16,00 Ct/kWh €/Jahr | 10.560 | 26.752 | 70.400 |
| Sonstige Kosten (z.B.: Gutachten, BF, ...) | | | | | €/Jahr | 5.500 | 7.500 | 12.000 |
| Anlagenbetreuung | | | | | Arbeitszeitbedarf Std./Jahr | 411 | 832 | 913 |
| Lohnkosten/-ansatz | | | | | 25,00 €/Std €/Jahr | 10.266 | 20.805 | 22.813 |
| Substratmanagement/Logistik | | | | | Arbeitszeitbedarf Std./Jahr | 72 | 126 | 194 |
| Lohnkosten/-ansatz | | | | | 25 €/Std €/Jahr | 1.789 | 3.150 | 4.843 |
| Summe | | | | | €/Jahr | 42.932 | 99.315 | 203.847 |
| NawaRo-Kosten frei Eintrag einschl. Gärrestausbringung | | | | | | | | |
| Rindergülle - Transportkosten | | | | | 5,00 €/t FM €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| Niederschlagswasser Ø | | | | | 0,00 €/t FM €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| Grassilage Ø | | | | | 29,75 €/t FM €/Jahr | 53.536 | 131.958 | 338.120 |
| Vorfinanzierung Substraternte | | | | | 18,80 €/t FM €/Jahr | 2.030 | 5.005 | 12.823 |
| 6 % Zins für 1,0 Jahre | | | | | | | | |
| Nutzungsentgelt | | | | | 0 €/ha €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| Ausbringung Niederschlagswasser | | | | | 4,60 €/t FM €/Jahr | 322 | 322 | 322 |
| Flächendbedarf | | | | | Nettoertrag 17,6 t FM/ha ha | 102 | 252 | 646 |
| RiGV-Bedarf | | | | | Gülleanfall 20 m ³ /RiGV RiGV | 5 | 12 | 30 |
| Gärrestmasse insgesamt | | | | | t/Jahr | 1.552 | 3.723 | 9.430 |
| Separation Volumensverminderung | | | | | 25 % t/Jahr | -- | -- | 2.358 |
| Notw. Lagerkapazität für | | | | | 180 Tage t/Jahr | 765 | 1.836 | 3.488 |
| Substratkosten | | | | | €/Jahr | 55.888 | 137.285 | 351.266 |
| Gewinnerwartung (ohne Lohnkosten/-ansatz) | | | | | €/Jahr | -6.266 | -6.789 | 17.980 |
| (Unternehmer-) Gewinnerwartung | | | | | €/Jahr | -18.321 | -30.744 | -9.676 |
| Kapitalrendite (U'Gewinn+Zinsansatz)/(Anschaffungskosten/2) | | | | | % | -4,3 | -1,8 | 3,8 |

8.2.2.3 Diskussion der Ergebnisse

8.2.2.3.1 Grasvergärungsanlagen mit Gülle-Bonus

Die Grasvergärungsanlagen, sofern sie neben dem Gülle-Bonus auch den Landschaftspflege-Bonus erhalten, erweisen sich unter den getroffenen Annahmen als relativ stabil. Wie die Sensitivitätsanalyse zeigt (vgl. Tab. 105), müssen mehrere negative Faktoren zusammenkommen, um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu gefährden. Die den Berechnungen zu Grunde liegenden verfahrenstechnischen Parameter sind allerdings anspruchsvoll und lassen sich nur bei einem überdurchschnittlich guten Anlagenbetrieb erreichen. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit sind die Substratbereitstellungskosten. Mit dem Einsatz schlagkräftiger, überbetrieblicher Verfahren sind die Möglichkeiten der Kostensenkung nach dem derzeitigen Stand der Technik weitgehend ausgeschöpft. Es wird nicht einfach sein, die Substratbereitstellungskosten in Höhe von rund 30 €/t FM bzw. 85 €/t TM einschließlich Gärrestausbringung und der Festkosten für den beanspruchten Siloraum dauerhaft zu erreichen. Der Spielraum für die Bezahlung eines Entgelts für die Flächennutzung – auf Kosten des Unternehmergewinns – ist gering; d. h. die Grasvergärung wird, rationales Handeln vorausgesetzt, um Flächen nur dann konkurrieren, wenn realiter die Kalkulationsannahmen deutlich übertroffen bzw. die Anschaffungskosten merklich unterschritten werden.

Tab. 105: Sensitivitätsanalyse – Grasvergärungsanlagen mit Gülle-Bonus

| Parameter | Änderung | 75 kW _{el} [€ ¹⁾] | 190 kW _{el} [€ ¹⁾] | 500 kW _{el} [€ ¹⁾] |
|-------------------------------|------------|---|--|--|
| Unternehmergewinn | IST | 8.311 | 32.553 | 66.909 |
| Gasausbeute | ±5% | ±6.500 | ±12.000 | ±32.000 |
| Elektrischer Nutzungsgrad | ± 5% | ±6.200 | ±11.400 | ±30.300 |
| Substratbereitstellungskosten | ± 10% | ±5.000 | ±12.200 | ±31.300 |
| Eigenstromverbrauch | ± 10% | -1.000 | -2.400 | -6.400 |
| Anschaffungskosten | ± 10% | -5.700 | -13.100 | -27.700 |
| Zinssatz | + 1%punkt | -2.700 | -6.100 | -12.900 |
| Nutzungskosten der Fläche | 100 €/ha | -9.500 | -23.400 | -59.800 |

¹⁾ Gerundete Ergebnisse

75 kW_{el}-Anlage

Die kleine Hofbiogasanlage verarbeitet rund 1.670 t Grassilage, für deren Bereitstellung an den ertragsschwächeren Grenzstandorten rund 95 ha Dauergrünland zur Verfügung stehen müssen. Um den erforderlichen Gülleanteil sicher einzuhalten, reichen rein rechnerisch ca. 45 Rinder-GV. Die kleine Anlage hat relativ hohe Anschaffungskosten. Die entsprechend hohen Festkosten belasten das Betriebsergebnis. Der erwartete Unternehmergewinn beträgt bei einer angemessenen Entlohnung der Arbeit in Höhe von 25 €/AKh 8.300 €. Die Gesamtkapitalrendite liegt in einer Größenordnung von 9 %. Trotz Landschaftspflege-Bonus rechnet sich die Investition aber nur dann, wenn ein ökonomisch sinnvolles und tragfähiges Konzept für die Verwertung von knapp 40 % der nutzbaren

Wärme realisiert werden kann. Der Saldo aus den Erlösen und Kosten der Wärmenutzung zuzüglich KWK-Bonus übersteigt den Unternehmergewinn um fast 2.000 €

In ca. 9 Jahren amortisiert sich die Investition bei einer vereinfachten statischen Betrachtung. Dynamisch gerechnet, liegt die Amortisationsdauer der Investition bei rund 13 Jahren, wenn gleichbleibende Erlöse, eine moderate Steigerung der Betriebs- und Rohstoffbereitstellungskosten um ein Prozent pro Jahr und nachfolgende Finanzierungsannahmen unterstellt werden.

Tab. 106: Finanzierung 75 kW_{el}-Anlage

| Art | Laufzeitbeginn | Nennbetrag [€] | Zinssatz [%] | Auszahlung [%] | Laufzeit [Jahre] | Ti.-freie Jahre | Ti-Verrechnung pro Jahr | Gebühren pro Jahr |
|---------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| Eigenkapital | 1. Jahr | 40.000 | - | - | - | - | - | - |
| Annuitäten-darlehen | 1. Jahr | 212.000 | 4,00 | 96,00 | 21 | 2 | 1 | 212 |
| | 1. Jahr | 158.000 | 4,00 | 96,00 | 7 | 0 | 1 | 158 |
| | 8. Jahr | 30.000 | 4,00 | 96,00 | 7 | 0 | 1 | 30 |

Beträgt die Teuerungsrate der Substratbereitstellung unter sonst gleichen Annahmen zwei Prozent pro Jahr, wird die Amortisation erst nach 20 Jahren erreicht. Dies zeigt, dass die Anlage nur bei moderaten Substratpreisen langfristig ökonomisch erfolgreich zu betreiben ist.

190 kW_{el}-Anlage

Die Biogasanlage braucht zur Rohstoffversorgung knapp 234 ha Dauergrünland und die Gülle von ca. 110 Rinder-GV. Sie nutzt die Vergütungsregelungen des EEG 2009 nahezu optimal. Der Unternehmergewinn ist mit rund 32.500 € sehr zufriedenstellend. Die Erlöse aus dem Landschaftspflege-Bonus tragen 29.500 € dazu bei. Die Gesamtkapitalrendite beträgt 11,6 Prozent. Statisch gerechnet, hätte sich die Anlage bereits nach 8 Jahren amortisiert. Auch mit deutlich geringeren Erlösen aus der Wärmenutzung als angenommen, ist die Anlage wirtschaftlich stabil.

Selbst eine Steigerung der Betriebskosten um 1 % pro Jahr und der Substratkosten um 2 % pro Jahr verlängern die Amortisationsdauer nur um 5 Jahre. Die der Berechnung zu Grunde liegende Finanzierung ist in Tab. 107 zusammengefasst.

Tab. 107: Finanzierung 190 kW_{el}-Anlage

| Art | Laufzeitbeginn | Nennbetrag [€] | Zinssatz [%] | Auszahlung [%] | Laufzeit [Jahre] | Ti.-freie Jahre | Ti-Verrechnung pro Jahr | Gebühren pro Jahr |
|---------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| Eigenkapital | 1. Jahr | 95.000 | - | - | - | - | - | - |
| Annuitäten-darlehen | 1. Jahr | 514.000 | 4,00 | 96,00 | 21 | 2 | 1 | 514 |
| | 1. Jahr | 336.000 | 4,00 | 96,00 | 7 | 0 | 1 | 336 |

Neben der Steigerung der Betriebskosten könnte die Biogasanlage Nutzungskosten in Höhe von 110 €/ha oder einen Aufschlag von ca. 6,00 €/t Grassilage langfristig tragen, wenn sich die Substratbereitstellungskosten auf diesem Niveau stabil halten lassen. Die 190 kW_{el}-Anlage ist damit deutlich wettbewerbsfähiger als die kleinere Biogasanlage.

500 kW_{el}-Anlage

Die Biogasanlage nutzt die Vergütungsgrenzen des EEG 2009 nahezu maximal und erzielt unter den Kalkulationsannahmen einen Unternehmergewinn von ca. 67.000 €. Die Gesamtkapitalrendite liegt über 11 % und erreicht damit ein ähnliches Niveau wie die der Anlage mit 190 kW_{el}. Um den Substratbedarf zu decken, werden rund 600 ha Dauergrünland und rund 5.700 t Gülle (284 Rinder-GV) gebraucht.

Trotz der auf den ersten Blick sehr positiven Gewinnsituation ist die Anlage weniger stabil als die nächstkleinere Anlage. Steigen die Betriebs- und Rohstoffbereitstellungskosten um ein Prozent pro Jahr amortisiert sich die Investition nach 13 Jahren, bei den in Tabelle 119 zusammengefassten Finanzierungsbedingungen. Neben der Steigerung der Betriebskosten wären Nutzungskosten in Höhe von 80 €/ha oder ein Aufschlag von ca. 15 % auf die Substratbereitstellungskosten gerade noch finanzierbar. Erhöhen sich unter sonst gleichen Annahmen die Kosten der Substratbereitstellung um 2 % pro Jahr ist die Rückgewinnung des Kapitals innerhalb der Nutzungsdauer von 21 Jahren nicht zu erreichen.

Tab. 108: Finanzierung 500 kW_{el}-Anlage

| Art | Laufzeitbeginn | Nennbetrag [€] | Zinssatz [%] | Auszahlung [%] | Laufzeit [Jahre] | Ti-freie Jahre | Ti-Verrechnung pro Jahr | Gebühren pro Jahr |
|---------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| Eigenkapital | 1. Jahr | 200.000 | - | - | - | - | - | - |
| Annuitäten-darlehen | 1. Jahr | 1.105.000 | 4,00 | 96,00 | 21 | 2 | 1 | 1.100 |
| | 1. Jahr | 689.000 | 4,00 | 96,00 | 7 | 0 | 1 | 689 |

8.2.2.3.2 Grasvergärungsanlagen ohne Gülle-Bonus

Können Biogasanlagen keinen Gülle-Bonus in Anspruch nehmen, ist unter den Modellannahmen mit der Vergärung von Grünlandaufwuchs an Grenzstandorten keine Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Die kleine Anlage mit 75 kW elektrischer Leistung bräuchte Mehrerlöse in Höhe von ca. 23.000 €, wie sie sich aus dem Gülle-Bonus ergeben, um rund 5.000 € Unternehmergewinn zu erzielen. Die Anlage ist auch bei deutlich geringeren Anschaffungskosten langfristig kaum wirtschaftlich zu betreiben. Die 190 kW_{el}-Anlage müsste ca. 30.000 € mehr Erlösen, wenn wenigstens die Arbeit angemessen entlohnt werden soll. Weitere 20.000 € sind erforderlich, um eine moderate Kostensteigerung auffangen zu können. Die Anlage mit 500 kW_{el} kommt auf Grund der geringeren spezifischen Anschaffungskosten in die Nähe der Wirtschaftlichkeit. Die notwendigen Mehrerlöse könnten über eine Steigerung der Wärmeverkaufsmenge um rund 7 % generiert werden. Um langfristig wenigstens die Substrat- und Betriebskostensteigerungen auffangen zu können, braucht die Anlage insgesamt Zusatzeinnahmen in Höhe von 54.000 €. An sehr guten Standorten könnte dieser Betrag über den Verkauf von insgesamt 2/3 der Nutzwärme Erlöst werden.

Insgesamt betrachtet, wird sich die Biogaserzeugung zur Nutzung von Grünlandaufwuchs an Grenzstandorten unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ohne Gülle-Bonus nicht etablieren können.

8.3 Ableitung von Empfehlungen für eine Anpassung des EEG

Die zweite Novelle des EEG hat, wie vom Gesetzgeber beabsichtigt, positive Anreize gesetzt. Nach einer Phase der Stagnation haben im Jahre 2009 die Zahl der Biogasanlagen und die installierte Leistung deutlich zugenommen. Im Jahr 2010 hat sich die Entwicklung nochmals beschleunigt. Allerdings hat das Bestreben des Gesetzgebers, Detailregelungen zu treffen, die Komplexität des Gesetzes deutlich erhöht. Neue Sachverhalte haben neue Probleme geschaffen, die zu Irritationen und anhaltenden Diskussionen geführt haben bzw. immer noch führen. Jede Gesetzesänderung sorgt im Grundsatz für Verunsicherung und muss interpretiert und kommuniziert werden. Bis sich alle Marktteilnehmer an ein neues Gesetz „gewöhnt“ haben, vergeht in der Regel mindestens ein Jahr. Häufige, in die Substanz eingreifende Novellierungen sind kontraproduktiv, behindern mutige Zukunftsentscheidungen und verursachen starke Angebots- und Nachfrageschwankungen.

Trotzdem sind Anpassungen erforderlich, um die Stromerzeugung aus Biogas unter Berücksichtigung des Ressourcen- und Umweltschutzes sowie der Nachhaltigkeitsanforderungen noch effizienter zu gestalten und die Regelungen zu entschärfen, die den Wettbewerb sowohl innerhalb der Biogasbranche als auch zwischen Biogaserzeugern und landwirtschaftlichen Betrieben verzerren.

Im Rahmen dieser Arbeit können allerdings nur die Aspekte andiskutiert werden, die für die Biogaserzeugung an Grünlandgrenzstandorten von besonderer Bedeutung sind.

8.3.1 Anlagensplitting

Die Legaldefinition der „Anlage“² begünstigt in Verbindung mit der Degression der Vergütung bei zunehmender Anlagenleistung die Aufteilung einer Anlage in zwei oder mehrere Stromerzeugungseinheiten. Die räumliche Aufteilung (Satelliten-BHKW an zwei bzw. mehreren Standorten) oder die zeitlich versetzte Inbetriebnahme von BHKW (Inbetriebnahme eines weiteren BHKW nach mehr als 12 Kalendermonaten) sind nicht immer durch eine effiziente Wärmeverwertung mit entsprechenden Wärmeerlösen veranlasst. Die höheren Vergütungssätze für kleinere Anlagen (Grundvergütung, NawaRo- und Gülle-Bonus) machen dieses Anlagensplitting lukrativ. Um diese wettbewerbsverzerrende Praxis zu unterbinden, ist eine Überarbeitung des Anlagenbegriffs notwendig. Die Wirtschaftlichkeit von Satelliten-BHKW muss sich über eine qualitativ und quantitativ effiziente Wärmenutzung sowie entsprechende Erlöse aus dem Verkauf der Wärme sicherstellen lassen, nicht aber über die höhere Stromvergütung für kleinere Anlagen.

Folgende Ergänzungen des bestehenden Gesetzestextes könnten hilfreich sein:

§ 3 Nr. 1 EEG: Im Sinne dieses Gesetzes ist „Anlage“ *jede Einrichtung zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas einschließlich aller für die Stromerzeugung notwendigen technischen und baulichen Einrichtungen. Als Anlagen*

§ 19 EEG Abs. 1 neuer Satz 2: *Abweichend von Nr. 1 bis 4 gelten unabhängig vom Standort, von den Eigentumsverhältnissen und der zeitlichen Abfolge der Inbetriebnahme alle Einrichtungen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien als eine Anlage, die mit dem in einer einzelnen Biogasanlage erzeugten Biogas betrieben werden.*

² § 3 Nr. 1 EEG 2009 definiert „Anlage“ als „jede Einrichtung zur Erzeugung von Strom aus ...“.

Mit diesen Formulierungen würde der „weite Anlagenbegriff“ im Gesetz festgeschrieben und die Vergütungsoptimierung durch Anlagensplitting ausgeschlossen.

8.3.2 NawaRo-Bonus

Der NawaRo-Bonus wurde im Rahmen der EEG-Novelle 2004 eingeführt um „die wirtschaftlichen Nachteile für Anlagen, in denen keine energiereichen Kofemente eingesetzt werden, auszugleichen“. Weiter führte der Gesetzgeber in der Begründung aus: „Durch die Einführung des Bonus soll der Begrenztheit und einer Fehlleitung von Abfallstoffströmen begegnet werden und ein Beitrag zur Erschließung nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung geleistet werden“ [151]. Der NawaRo-Bonus ist, für sich alleine betrachtet, auch unter den derzeitigen Preis-/Kostenrelationen relativ zielgenau. Die Rohstoffkosten von Biogasanlagen ohne Gülle liegen in einem Korridor von ca. 6 bis 8 Ct/kWh_{el}. Für eine Änderung besteht also, sofern der Gesetzgeber an seiner ursprünglichen Intention festhält, keine Notwendigkeit.

Die teilweise zu Recht diskutierten Verzerrungen haben ihre Ursache in anderen Vergütungsbestandteilen. Exemplarisch ist hier der TA-Luft-Bonus – auch als Formaldehyd-Bonus oder Luftreinhalte-Bonus bezeichnet – zu nennen, den der Gesetzgeber für die Einhaltung emissionsschutzrechtlicher Vorgaben in das EEG 2009 eingeführt hat. Den Bonus in Höhe von 1,00 Ct/kWh_{el} können alle immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen bis 500 kW_{el} in Anspruch nehmen, deren BHKW die dem Emissionsminimierungsgebot der TA Luft [148] entsprechenden Formaldehydgrenzwerte nicht überschreiten und dies durch eine Bescheinigung der zuständigen Behörde nachweisen. Wenn die geforderten Grenzwerte mit vergleichsweise geringen Mehrkosten einzuhalten sind, ergeben sich erhebliche Mitnahmeeffekte. Schätzungsweise bekamen 15 bis 20 % aller in Bayern bis Ende des Jahres 2008 neu in Betrieb genommenen Biogasanlagen (Bestandsanlagen) im Jahr 2009 den TA-Luft-Bonus [152].

8.3.3 Gülle-Bonus

Der Gülle-Bonus hat zu einem stärkeren Gülleinsatz in Biogasanlagen geführt. In Bayern reicht das Angebot an Wirtschaftsdüngern in der Regel nicht, um eine Biogasanlage ausschließlich mit diesen Substraten zu betreiben. Tierhalter sind deshalb gezwungen, zusätzlich Energiepflanzen einzusetzen, um eine technisierungswürdige und ökonomisch sinnvolle Anlagengröße zu erreichen. Die Querförderung des NawaRo-Einsatzes – der Gülle-Bonus wird auch für den Stromanteil aus NawaRo bezahlt – führt aus ökonomischen Überlegungen dazu, Gülle (i.e.S. Rinder- und Schweinegülle) nur im unbedingt erforderlichen Umfang (vgl. Tab. 109) einzusetzen und die Förderschwellen auszureizen. Insbesondere der Bonus für Anlagen bis 500 kW_{el} hat hier Fehlanreize gesetzt und eine Fehlentwicklung (verstärkter Anreiz zum Maisanbau) induziert. Die Übertragung der verbesserten Konditionen des EEG 2009 auf Altanlagen hat zudem viele Betreiber veranlasst, den Bonus mitzunehmen bzw. mit überschaubaren Zusatzinvestitionen die Anlage für den Gülleinsatz zu erweitern. Einer Expertenschätzung zu Folge, haben im Jahr 2009 mindestens 60 % der bayerischen Bestandsanlagen den Bonus in Anspruch genommen [152]. Ca. 4 % der bayerischen Anlagen nutzen sogar die Kombinationsmöglichkeit von Gülle- und Technologie-Bonus. Über den Einsatz von Festmist oder Trockenkot können auch diese sogenannten „Trockenfermentationsanlagen“ in den Genuss des Bonus kommen.

Tab. 109: Mindestgüllemengen für die Inanspruchnahmen des Gülle-Bonus (Beispiele)

| BHKW- Leistung kW _{el} | Wirkungs- grad η_{el} | Rindergülle ¹⁾ | | Silagen ²⁾ 70 % t/Jahr | Gülle-Bonus 2012 | |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---|------------------|------------------|
| | | 30 % t/Jahr | ≈ Anzahl RiGV ³⁾ | | EEG 2009 [€] | Vorschlag [€] |
| 50 | 33 % | 529 | 26 | 1.234 | 17.000 | 26.280 |
| 75 | 36 % | 727 | 36 | 1.696 | 25.499 | 39.420 |
| 150 | 37 % | 1.415 | 71 | 3.301 | 50.999 | 39.420 |
| 200 | 37 % | 1.886 | 94 | 4.401 | 55.249 | 39.420 |
| 500 | 38 % | 4.592 | 230 | 10.714 | 80.748 | 39.420 |
| 1.000 | 40 % | 8.724 | 436 | 20.356 | 80.748 | 39.420 |

¹⁾ Rindergülle 8,5 % TM, 85 % oTM, 15,1 Nm³ CH₄/t FM

²⁾ Grassilage 35 % TM, 89 % oTM, 101,1 Nm³ CH₄/t FM

³⁾ Gülleanfall ca. 20 m³/RiGV ($\rho \approx 1.000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Bleibt es ein Ziel des Gesetzgebers, weitere Güllemengen für die Biogasferzeugung zu erschließen, wäre es empfehlenswert, die Systematik beizubehalten, den Gülle-Bonus deutlich zu erhöhen und auf den unteren Leistungsbereich (Schwellenwert 75 kW_{el}) zu begrenzen. Zusatzerlöse in Höhe von 6 Ct/kWh_{el}, beschränkt auf die ersten 75 kW_{el}, machen den Bonus im Vergleich zu der bisherigen Vergütungsregelung ab einer Anlagenleistung von rund 115 kW_{el} zunehmend unattraktiver (vgl. Tab. 120). Im Bereich der kleinen Anlagen werden sich Mitnahmeeffekte allerdings nicht ganz vermeiden lassen. Deshalb wäre es zusätzlich überlegenswert, zukünftig nur flüssige Wirtschaftsdünger im Sinne der Verordnung EU 1774/2002 für die Ermittlung der Mindesteinsatzmenge zuzulassen. Ein Großteil der vermeidbaren Methanemissionen aus der Tierhaltung entsteht während der Lagerung von Flüssigmist. Mit Rindermist (ca. 53 Nm³ CH₄ [146]) und Geflügeltrockenkot (rund 95 Nm³ CH₄ [146]) lassen sich Gasausbeuten erzielen, die den Einsatz dieser Substrate in der Biogasferzeugung auch ohne zusätzlichen Anreiz ökonomisch sinnvoll machen.

Keinesfalls ist es ratsam, eine Neuregelung mit geänderten bzw. in Teilbereichen verbesserten Konditionen auch auf Bestandsanlagen zu übertragen.

8.3.4 Landschaftspflege-Bonus

Der Gesetzgeber hat den Begriff „Landschaftspflegematerial“ nicht näher definiert. Eine gesicherte bzw. von allen Marktteilnehmern anerkannte Auslegung ist bisher nicht gefunden. Diese Rechtsunsicherheit (Auszahlung des Bonus unter Vorbehalt) und die gesetzlich vorgeschriebene Mindesteinsatzmenge von 50 % verhindern derzeit wahrscheinlich vielerorts den Einsatz von Landschaftspflegematerial, das in der Regel von Flächen stammt, die in keiner Nutzungskonkurrenz stehen. Insbesondere für größere Anlagen ist der Einsatz kaum sinnvoll, da nur an wenigen Standorten Landschaftspflegematerial in ausreichendem Umfang ganzjährig anlagennah zur Verfügung steht. Nur schätzungsweise 0,8 – 1 % der Bestandsanlagen in Bayern erhielten im Jahr 2009 den Bonus; davon ca. 60 % bekamen sowohl den Landschaftspflege- als auch den Gülle-Bonus [152].

Der Landschaftspflege-Bonus hat sich nicht bewährt und sollte inhaltlich in einen Ökologie-Bonus überführt werden.

8.3.5 Ökologie-Bonus

Soll die Verwertung von Landschaftspflegematerial in Biogasanlagen an Bedeutung gewinnen, ist vor allem anderen eine klare Begriffsbestimmung notwendig, was unter Landschaftspflegematerial zu subsumieren ist. Die folgende Definition könnte für mehr Klarheit sorgen:

Landschaftspflegematerial ist Aufwuchs von mehrjährigen Kulturen, der von Flächen stammt,

- *die keine Ackerflächen sind und weder mineralisch noch organisch gedüngt werden,*
- *auf denen keine Pflanzenschutzmittel angewendet werden und*
- *die maximal zweimal pro Jahr beerntet werden.*

Der generelle Ausschluss der organischen Düngung würde allerdings Konzepte zur Verwertung von Dauergrünland über die Biogaserzeugung deutlich erschweren oder gänzlich verhindern. Auf Grund stetig sinkender Rinderzahlen ist schon heute die Verwertung von Grünlandaufwuchs über den Rindermagen nicht mehr überall gewährleistet (siehe Kap. 2). Soll Aufwuchs an Grünlandgrenzstandorten über die Biogaserzeugung genutzt werden, muss die Verwertung auf extensiv bewirtschaftete Dauergrünlandflächen beschränkt werden, um die Konkurrenz zu anderen Nutzungen gering zu halten. Es wäre deshalb überlegenswert, extensiv bewirtschaftete Dauergrünlandflächen wie folgt zu beschreiben und in den Ökologie-Bonus aufzunehmen:

Extensiv bewirtschaftete Dauergrünlandflächen im Sinne des Gesetzes sind ausgewiesene Dauergrünlandflächen,

- *die ausschließlich organisch gedüngt werden,*
- *auf denen keine Pflanzenschutzmittel zur Anwendung kommen und*
- *die maximal dreimal pro Jahr beerntet werden.*

Würde die Mindestmenge gestrichen und für Landschaftspflegematerial sowie für den Aufwuchs von extensiv genutztem Dauergrünland, der Systematik des EEG 2009, Anhang 2 Nr. V folgend, ein Standard-Biogasertrag ausgewiesen, könnte das zur Steigerung des Aufkommens beitragen. Sowohl für Landschaftspflegematerial als auch für den Aufwuchs von extensiv genutztem Dauergrünland wird dem folgend ein einheitlicher Standard-Biogasertrag in Höhe von 210 kWh_{el}/t Frischmasse vorgeschlagen. Der Werte errechnen sich aus den Annahmen der Tab. 110.

Tab. 110: Kennwerte für die Ableitung des Standard-Biogasertrages von Landschaftspflegematerial und des Aufwuchses von extensiv genutztem Dauergrünland

| Substrat | TM-Gehalt [%] | oTM-Gehalt [%] | Gasausbeute [Nm ³ /t _{FM}] | Methan [%] | Elektr. Nutzungsgrad [%] | Transformationsverluste [%] | Eigenstromverbrauch [%] |
|---------------|---------------|----------------|---|------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| LaPf-Material | 50 | 85 | 300 | 50 | 37 | 1 | 10 |

Die unterstellten, qualitätsbestimmenden Substratparameter sind KTBL-Richtwerte [146]. Der angenommene elektrische Nutzungsgrad ist überdurchschnittlich gut. Die Vergärung Landschaftspflegematerial und auch Grassilagen erfordert tendenziell einen höheren elektrischen Prozessenergiebedarf für das Rühren und Pumpen des Gärgemischs. Der Eigenstromverbrauch ist deshalb um ein Prozent höher angesetzt als bei den Pilotbetrieben

[143] ermittelt. Rein rechnerisch würde sich für extensiv genutztes Dauergrünland, sofern der Aufwuchs mit einer befriedigende bis gute Futterqualität geworben werden kann, ein höherer Standard-Biogasertrag ergeben. Ihn anzusetzen, erscheint aber aus drei Gründen nicht gerechtfertigt:

1. Extensiv genutztes Dauergrünland brauchbarer Qualität erhält auf Grund der deutlich besseren spezifischen Gasausbeute eine höhere Vergütung über den NawaRo-Bonus.
2. Es ist kaum überprüfbar, ob es sich bei einem konservierten Substrat um Landschaftspflegematerial oder „schlechte“ Grassilage handelt. Der Nachweis, um welches Substrat es sich handelt, wird deshalb im Einzelfall nur schwer zu führen sein.
3. Der relativ niedrige Standard-Biogasertrag bietet kaum Anreize, Nasssilagen zu erzeugen.

Wie bisher soll der Bonus 2,0 Ct/kWh_{el} betragen, den die Biogasanlage allerdings nur für den Stromanteil erhält, der sich aus der Multiplikation des Standard-Biogasertrags und der Masse des entsprechenden Substrates ergibt. Die jeweiligen Einsatzmengen sind in geeigneter Form nachzuweisen. Die Beschränkung der Leistung auf 500 kW elektrischer Leistung könnte entfallen.

Für Anlagen, die überwiegend Aufwuchs von extensiv genutztem Grünland oder Material aus der Landschaftspflege einsetzen und **keinen** Gülle-Bonus erhalten, wäre ein deutlich höherer Bonus zu empfehlen. Ab einem Masseanteil von 50 % am Gesamtinput ist auf Grund der spezifischen Substratanforderungen die Adaption der Anlagentechnik, die nach bisheriger Kenntnis zu erheblichen Mehrkosten führt, unvermeidbar. Die Berechnungen (siehe Kap. 8.4.2) zeigen, dass für diese Anlagen der Bonus bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 75 kW (Schwellenwert) auf ca. 8,0 Ct/kWh_{el} angehoben werden muss, wenn ein Anreiz sowohl zur Verwertung dieser Materialien als auch zur Reduzierung der Anschaffungskosten geschaffen werden soll. Übersteigt die rechnerische Leistung der Anlage den Schwellenwert berechnet sich die Bonusvergütung wie folgt:

$$\text{Bonusvergütung} = \frac{\ddot{O}B_{FM}}{F} \times kWh_{Std} \times \ddot{O}B_{Zu} + \left(\ddot{O}B_{FM} - \frac{\ddot{O}B_{FM}}{F} \right) \times kWh_{Std} \times \ddot{O}B_{Grund}$$

Ökologie-Bonus berechnete Substratmasse: $\ddot{O}B_{FM}$ [t]

Rechnerische Leistung der Biogasanlage: $kW_{Anlage} = \frac{\text{Eingespeister Strom [kWh]}}{8760 [h]}$ [kW]

Schwellenwert: $kW_{Schwelle} = 75$ [kW]

Faktor: $F = \frac{kW_{Anlage}}{kW_{Schwelle}}$

Standard-Biogasertrag: $kWh_{Std} = 210$ [kWh/t_{FM}]

Erhöhter Ökologie-Bonus: $\ddot{O}B_{Zu} = 0,08$ [€/kWh]

Ökologie-Bonus: $\ddot{O}B_{Grund} = 0,02$ [€/kWh]

Der Schwellenwert sorgt damit für eine gleitende Degression der Vergütung mit zunehmender Anlagengröße. Die Beschränkung auf Anlagen, die keinen Gülle-Bonus erhalten, vermeidet eine Überförderung durch einen doppelten Erschwernisausgleich. Die Einsatzmengen sind in geeigneter Form nachzuweisen.

Insgesamt hätte diese Neugestaltung den Vorteil, dass der Ökologie-Bonus zielgerichtet ausschließlich für die verwertete Masse gewährt wird.

Tab. 111: Standardstromerträge und Bonushöhe für Landschaftspflegematerial und Extensivgrünland

| Bezeichnung | Mindestmassenanteil [%] | Standard-Biogasertrag [kWh _{el} /t _{FM}] | Ökologie-Bonus [Ct/kWh _{el}] |
|-----------------------------|-------------------------|---|---|
| Landschaftspflegematerial | -- | 210 | 2,0 |
| Extensiv genutztes Grünland | 50% | | 8,0 (bis 75 kWh _{el}) ¹⁾ |

¹⁾ Nur für Anlagen, die keinen Gülle-Bonus beanspruchen

8.4 Vergleichende ökonomische Bewertung der Anlagenkonzepte unter Berücksichtigung der Empfehlungen für eine Anpassung des EEG

Um die ökonomischen Auswirkungen der Empfehlungen für eine Anpassung des EEG abzuschätzen, werden für die vergleichende Bewertung der Anlagenkonzepte im Folgenden die Empfehlungen zum Gülle- und Ökologie-Bonus für Neuanlagen, die im Jahr 2012 in Betrieb gehen, berücksichtigt. Die Kostenstruktur bleibt unverändert.

8.4.1 Grasvergärungsanlagen mit Gülle- und Ökologie-Bonus

Von der Anhebung des Gülle-Bonus und den im Vergleich zum Landschaftspflege-Bonus nach EEG 2009 nur leicht sinkenden Erlösen aus dem Ökologie-Bonus profitiert die kleine Anlage, die den Unternehmensgewinn gegenüber der IST-Situation um rund 6.500 € steigern kann (siehe Tab. 112 und Tab. 113). Die Gesamtkapitalrendite erreicht 12 %. Die Amortisationsdauer sinkt bei einer vereinfachenden statischen Betrachtung um ein Jahr auf 8 Jahre. Dynamisch gerechnet und mit einer konkreten Finanzierung hinterlegt (siehe Tab. 106), liegt die Amortisationsdauer der Investition bei rund zehn Jahren. Auch bei einer moderaten Steigerung der Betriebs- und Rohstoffbereitstellungskosten um ein bzw. zwei Prozent pro Jahr amortisiert sich die Investition nach 11 bzw. 12 Jahren. Insgesamt gesehen ein sehr stabiles Anlagenkonzept.

Ab dem Schwellenwert von 75 kWh_{el} bleibt der Gülle- und der Ökologie-Bonus konstant; d. h. die Anlage mit 190 kW installierter elektrischer Leistung verliert Einnahmen in eine Größenordnung von 29.000 €. Der Unternehmensgewinn sinkt entsprechend auf rund 3.500 €. Damit sind Arbeit und Kapital entlohnt. Die Gesamtkapitalrendite fällt auf 5,5 %. Zwar ist die Anlage kurzfristig rentabel, der Unternehmensgewinn reicht aber nicht, um ein entsprechendes Polster für inflationsbedingte Kostensteigerungen zu schaffen. Eine moderate, jährliche Kostensteigerung von einem Prozent kann die Anlage bei gleichbleibender Anlageneffizienz auf Dauer nur verkraften, wenn es gelingt, die Anschaffungskosten um mindestens 10 % zu reduzieren oder die Substratkosten über die Verwertung von Landschaftspflegematerial zu senken.

Größere Anlagen haben einen dramatischen Erlöseinbruch. Die Änderungen der Bonusregelungen lassen im Kalkulationsbeispiel die Einnahmen um knapp 78.400 € sinken. Der Unternehmensgewinn ist negativ. Die Anlage kann sich den Zukauf der Fremdgülle nicht mehr leisten. Die Gülle muss kostenfrei zur Verfügung stehen, dann bleibt ein Unternehmensgewinn von rund 16.900 € übrig. Zu wenig, um die Anlage langfristig ohne Effizienzsteigerung über Wasser zu halten, wenn die Kosten nur um ein Prozent pro Jahr steigen. Die Anschaffungskosten sind auch hier zu hoch. Gras teilweise durch kostenfreies Landschaftspflegematerial zu substituieren, ist möglich. Allerdings wird es mit zunehmender

Anlagengröße schwieriger, die notwendigen Tonnagen mit geeignetem Material zu akquirieren.

Die Ergebnisse (siehe Tab. 112 und Tab. 113) zeigen, dass der Gülle-Bonus durch die Absenkung der Schwellenwertes trotz der Anhebung der Vergütung auf 6 Ct/kWh_{el} deutlich an Attraktivität verliert. Auch in Verbindung mit dem Ökologie-Bonus in Höhe von 2 Ct/kWh_{el} ist für größere Anlagen ein auf Dauer ökonomisch sinnvoller Anlagenbetrieb nur bei großer Kostendisziplin erreichbar.

8.4.2 Grasvergärungsanlagen nur mit Ökologie-Bonus

Die Erhöhung des Ökologie-Bonus bis zu einem Schwellenwert von 75 kW_{el} (siehe Kap. 8.2.4) bringt die kleine Anlage knapp an die Schwelle der Wirtschaftlichkeit. Gelingt es beispielsweise, ca. 250 t Grassilage durch 360 t kostenfreies Landschaftspflegematerial zu substituieren, erhöht sich der Unternehmergewinn auf rund 8.000 €. Trotzdem liegt das Ergebnis deutlich unter dem der vergleichbaren Anlage mit Gülle; d.h. der ökonomische Anreiz, Wirtschaftsdünger einzusetzen, bleibt erhalten. Für größere Anlagen reicht der Ökologie-Bonus unter den Modellannahmen nicht. In der Regel wird es auch wenig Sinn machen, diese Anlagen überwiegend mit dem Aufwuchs von extensiv genutztem Dauergrünland und Landschaftspflegematerial zu betreiben.

Die Kalkulationen (vgl. Tab. 114 und Tab. 115) verdeutlichen, dass die vorgeschlagenen Anpassungen des Ökologie-Bonus in toto knapp bemessen sind und kaum Spielraum für Luxusinvestitionen oder Flächenzahlungen lassen.

Tab. 112: Kalkulationen mit geändertem Gülle- und neuem Ökologie-Bonus – Erlöse

| Anlageleistung | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|---|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| Substrate | Rindergülle | t/Jahr | 898 | 2.213 | 5.671 | |
| | Niederschlagswasser | t/Jahr | 70 | 70 | 70 | |
| | Grassilage | t/Jahr | 1.667 | 4.110 | 10.531 | |
| Gülleanteil | | % | 35 | 35 | 35 | |
| Gas ertrag | | Nm³ | 313.535 | 772.822 | 1.980.222 | |
| Bruttoenergieerzeugung | Heizwert Substrat | kWh/m ³ | 5,32 | 5,32 | 5,32 | |
| | | kWh/Jahr | 1.666.667 | 4.108.109 | 10.526.316 | |
| Prozessparameter | Fermenternutzvolumen | m ³ | 600 | 2.000 | 4.200 | |
| | Raumbelastung | kg oTM/(m ³ *d) | 2,69 | 1,99 | 2,43 | |
| | Verweilzeit | Tage | 83 | 114 | 94 | |
| | Temperaturniveau im Fermenter | °C | 40 | 40 | 40 | |
| | Ø Substrattemperatur bei Zugabe | °C | 8 | 8 | 8 | |
| Gas-Otto-BHKW | Nutzungsgrad _{therm} | % | 44 | 43 | 42 | |
| | Nutzungsgrad _{el} | % | 36 | 37 | 38 | |
| | Stromkennzahl | | 0,77 | 0,81 | 0,85 | |
| | Ø Vollbenutzungsstunden | Std/Jahr | 8.000 | 8.000 | 8.000 | |
| Erzeugte thermische Energie | | kWh _{therm} /Jahr | 733.333 | 1.766.487 | 4.421.053 | |
| Eigenwärmeverbrauch | | % | 26 | 28 | 27 | |
| Nutzbare thermische Energie | | kWh/Jahr | 542.667 | 1.271.871 | 3.227.368 | |
| erzeugte elektrische Energie | | kWh_{el}/Jahr | 600.000 | 1.520.000 | 4.000.000 | |
| Transformationsverluste | 1,0% | kWh _{el} /Jahr | 6.000 | 15.200 | 40.000 | |
| Eigenstromverbrauch | | % | 10 | 10 | 10 | |
| | | kWh _{el} /Jahr | <i>Zukauf ist kostengünstiger</i> | | | |
| Eingespeiste elektrische Energie | | kWh/Jahr | 594.000 | 1.504.800 | 3.960.000 | |
| Jahr der Inbetriebnahme | | | 2012 | 2012 | 2012 | |
| Leistungen | Grundvergütung | €/Jahr | 67.241 | 165.745 | 384.503 | |
| | Stromverkauf | NawaRo- Bonus | €/Jahr | 40.333 | 102.176 | 268.884 |
| | | Gülle- Bonus | €/Jahr | 35.640 | 39.420 | 39.420 |
| | | KWK- Bonus | €/Jahr | 4.544 | 9.937 | 24.938 |
| | | Ökologie- Bonus | €/Jahr | 7.003 | 17.262 | 44.231 |
| Wärmeverkauf in Prozent der nutzbaren Energie | | % | 30 | 30 | 30 | |
| Wärmeerlös abz. -kosten | 2,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 3.256 | 7.631 | 19.364 | |
| Wärmenutzung | | kWh | 40.000 | 40.000 | 40.000 | |
| Substitutionswert | 6,00 Ct/kWh _{therm} | €/Jahr | 2.400 | 2.400 | 2.400 | |
| Summe Erlöse | | €/Jahr | 160.417 | 344.571 | 783.741 | |

Tab. 113: Kalkulationen mit geändertem Gülle-Bonus und neuem Ökologie-Bonus – Kosten und Gewinn

| Anlageleistung | | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|--------|------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Spezifischen Anschaffungskosten gesamt | | | | €kW _{el} | 6.000 | 5.500 | 4.500 |
| davon spezifischen Anschaffungskosten Siloraum | | | | €kW _{el} | 541 | 527 | 513 |
| Spezifischen Anschaffungskosten ohne Silo | | | | €kW _{el} | 5.459 | 4.973 | 3.987 |
| Anschaffungskosten ohne Silo | | | | € | 409.397 | 944.918 | 1.993.558 |
| davon Bauliche Anlagen und Technik | | | | € | 326.776 | 791.332 | 1.700.713 |
| BHKW | | | | € | 82.621 | 153.586 | 292.845 |
| Festkosten | | | | | | | |
| Abschreibung | | | | | | | |
| Gebäude, bauliche Anlag | 65,0% | 21,0 Jahre | €Jahr | 10.114 | 24.494 | 52.641 | |
| Technik | 35,0% | 7,0 Jahre | €Jahr | 16.339 | 39.567 | 85.036 | |
| BHKW | | 7,0 Jahre | €Jahr | 11.803 | 21.941 | 41.835 | |
| Ø Zinsen/Zinsansatz | 4,00 % | | €Jahr | 9.705 | 22.397 | 47.251 | |
| Versicherung | 0,7 % | | €Jahr | 2.866 | 6.614 | 13.955 | |
| Pacht Betriebsgrundstück | | | €Jahr | 0 | 1.000 | 2.000 | |
| Summe | | | | €Jahr | 50.827 | 116.013 | 242.718 |
| Betriebskosten | | | | | | | |
| Instandhaltung: | | | | | | | |
| Bauliche Anlagen 1,5 % | | | €Jahr | 3.186 | 7.715 | 16.582 | |
| Technik 5,0 % | | | €Jahr | 5.719 | 13.848 | 29.762 | |
| BHKW | | | Ct/kWh _{el} | 1,00 | 1,30 | 1,20 | |
| | | | €Jahr | 6.000 | 19.760 | 48.000 | |
| elektrische Prozessenergie | | | | kWh/Jahr | 60.000 | 152.000 | 400.000 |
| Zukaufspreis 16,00 Ct/kWh | | | €Jahr | 9.600 | 24.320 | 64.000 | |
| Sonstige Kosten (z.B.: Gutachten, BF, ...) | | | | €Jahr | 6.500 | 8.500 | 13.000 |
| Anlagenbetreuung | | | | | | | |
| Arbeitszeitbedarf | | | Std./Jahr | 411 | 832 | 913 | |
| Lohnkosten/-ansatz 25,00 €/Std | | | €Jahr | 10.266 | 20.805 | 22.813 | |
| Substratmanagement/Logistik | | | | | | | |
| Arbeitszeitbedarf | | | Std./Jahr | 66 | 117 | 180 | |
| Lohnkosten/-ansatz 25 €/Std | | | €Jahr | 1.658 | 2.919 | 4.488 | |
| Summe | | | | €Jahr | 42.928 | 97.868 | 198.645 |
| NawaRo-Kosten frei Eintrag einschl. Gärrestausbringung | | | | | | | |
| Rindergülle - Transportkoste 5,00 €/t FM | | | €Jahr | 0 | 0 | 28.353 | |
| Niederschlagswasser Ø 0,00 €/t FM | | | €Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| Grassilage Ø 29,75 €/t FM | | | €Jahr | 49.606 | 122.273 | 313.304 | |
| Vorfinanzierung Substraternte 18,80 €/t FM | | | €Jahr | 1.881 | 4.637 | 11.882 | |
| 6 % Zins für 1,0 Jahre | | | | | | | |
| Nutzungsentgelt 0 €/ha | | | €Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| Ausbringung Niederschlagswasser 4,60 €/t FM | | | €Jahr | 322 | 322 | 322 | |
| Flächendbedarf Nettoertrag 17,6 t FM/ha | | | ha | 95 | 234 | 598 | |
| RiGV-Bedarf Gülleanfall 20 m ³ /RiGV | | | RiGV | 45 | 111 | 284 | |
| Gärrestmasse insgesamt | | | | t/Jahr | 2.225 | 5.381 | 13.679 |
| Separation Volumensverminderung 25 % | | | t/Jahr | -- | -- | 3.420 | |
| Notw. Lagerkapazität für 180 Tage | | | t/Jahr | 1.097 | 2.654 | 5.059 | |
| Substratkosten | | | | €Jahr | 51.810 | 127.232 | 353.861 |
| Gewinnerwartung (ohne Lohnkosten/-ansatz) | | | | €Jahr | 26.776 | 27.182 | 15.818 |
| (Unternehmer-) Gewinnerwartung | | | | €Jahr | 14.852 | 3.458 | -11.482 |
| Kapitalrendite (U'Gewinn+Zinsansatz)/(Anschaffungskosten/2) | | | | % | 12,0 | 5,5 | 3,6 |

Tab. 114: Kalkulationen mit neuem Ökologie-Bonus – Erlöse

| Anlageleistung | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Substrate | Rindergülle | t/Jahr | 95 | 233 | 598 | |
| | Niederschlagswasser | t/Jahr | 70 | 70 | 70 | |
| | Grassilage | t/Jahr | 1.800 | 4.436 | 11.365 | |
| Gülleanteil | | % | 5 | 5 | 5 | |
| Gas ertrag | | | Nm³ | 314.367 | 774.873 | 1.985.478 |
| Bruttoenergieerzeugung | Heizwert Substrat | kWh/m ³ | 5,30 | 5,30 | 5,30 | |
| | | kWh/Jahr | 1.666.667 | 4.108.107 | 10.526.316 | |
| Prozessparameter | Fermenternutzvolumen | m ³ | 600 | 2.000 | 5.100 | |
| | Raumbelastung | kg oTM/(m ³ *d) | 2,62 | 1,94 | 1,95 | |
| | Verweilzeit | Tage | 111 | 154 | 155 | |
| | Temperaturniveau im Fermenter | °C | 40 | 40 | 40 | |
| | Ø Substrattemperatur bei Zugabe | °C | 8 | 8 | 8 | |
| Gas-Otto-BHKW | Nutzungsgrad _{therm} | % | 44 | 43 | 42 | |
| | Nutzungsgrad _{el} | % | 36 | 37 | 38 | |
| | Stromkennzahl | | 0,77 | 0,81 | 0,85 | |
| | Ø Vollbenutzungsstunden | Std/Jahr | 8.000 | 8.000 | 8.000 | |
| Erzeugte thermische Energie | | kWh _{therm} /Jahr | 733.334 | 1.766.486 | 4.421.053 | |
| Eigenwärmeverbrauch | | % | 22 | 25 | 25 | |
| Nutzbare thermische Energie | | | kWh/Jahr | 572.000 | 1.324.865 | 3.315.790 |
| erzeugte elektrische Energie | | | kWh_{el}/Jahr | 600.000 | 1.520.000 | 4.000.000 |
| Transformationsverluste 1,0% | | kWh _{el} /Jahr | 6.000 | 15.200 | 40.000 | |
| Eigenstromverbrauch | | % | 11 | 11 | 11 | |
| | | | <i>Zukauf ist kostengünstiger</i> | | | |
| Eingespeiste elektrische Energie | | | kWh/Jahr | 594.000 | 1.504.800 | 3.960.000 |
| | | | Jahr der Inbetriebnahme | | | |
| | | | 2012 | 2012 | 2012 | |
| Leistungen | Grundvergütung | €/Jahr | 67.241 | 165.745 | 384.503 | |
| | Stromverkauf | NawaRo-Bonus | €/Jahr | 40.333 | 102.176 | 268.884 |
| | | Gülle-Bonus | €/Jahr | 0 | 0 | 0 |
| | | KWK-Bonus | €/Jahr | 4.741 | 10.311 | 25.594 |
| | | Ökologie-Bonus | €/Jahr | 30.232 | 40.691 | 69.215 |
| Wärmeverkauf in Prozent der nutzbaren Energie | | % | 30 | 30 | 30 | |
| Wärmeerlös abz. -kosten 2,00 Ct/kWh _{therm} | | €/Jahr | 3.432 | 7.949 | 19.895 | |
| Wärmenutzung | | kWh | 40.000 | 40.000 | 40.000 | |
| Substitutionswert 6,00 Ct/kWh _{therm} | | €/Jahr | 2.400 | 2.400 | 2.400 | |
| Summe Erlöse | | | €/Jahr | 148.379 | 329.272 | 770.492 |

Tab. 115: Kalkulationen mit neuem Ökologie-Bonus – Kosten und Gewinn

| Anlageleistung | | | | 75 kW _{el} | 190 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
|--|-------------------------------------|-------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Spezifischen Anschaffungskosten gesamt | | | | €kW _{el} | 6.000 | 5.500 | 4.500 |
| davon spezifischen Anschaffungskosten Siloraum | | | | €kW _{el} | 584 | 568 | 554 |
| Spezifischen Anschaffungskosten ohne Silo | | | | €kW _{el} | 5.416 | 4.932 | 3.946 |
| Anschaffungskosten ohne Silo | | | | € | 406.180 | 936.991 | 1.973.245 |
| davon Bauliche Anlagen und Technik | | | | € | 323.560 | 783.404 | 1.680.401 |
| BHKW | | | | € | 82.621 | 153.586 | 292.845 |
| Festkosten | | | | | | | |
| Abschreibung | | | | | | | |
| Gebäude, bauliche Anlag | 65,0% | 21,0 Jahre | €Jahr | 10.015 | 24.248 | 52.012 | |
| Technik | 35,0% | 7,0 Jahre | €Jahr | 16.178 | 39.170 | 84.020 | |
| BHKW | | 7,0 Jahre | €Jahr | 11.803 | 21.941 | 41.835 | |
| Ø Zinsen/Zinsansatz | 4,00 % | | €Jahr | 9.629 | 22.209 | 46.770 | |
| Versicherung | 0,7 % | | €Jahr | 2.843 | 6.559 | 13.813 | |
| Pacht Betriebsgrundstück | | | €Jahr | 0 | 1.000 | 2.000 | |
| Summe | | | | €Jahr | 50.468 | 115.128 | 240.450 |
| Betriebskosten | | | | | | | |
| Instandhaltung: | Bauliche Anlagen 1,5 % | | €Jahr | 3.155 | 7.638 | 16.384 | |
| | Technik 5,0 % | | €Jahr | 5.662 | 13.710 | 29.407 | |
| | BHKW | | Ct/kWh _{el} | 1,00 | 1,30 | 1,20 | |
| | | | €Jahr | 6.000 | 19.760 | 48.000 | |
| elektrische Prozessenergie | | | kWh/Jahr | 66.000 | 167.200 | 440.000 | |
| Zukaufspreis | 16,00 Ct/kWh | | €Jahr | 10.560 | 26.752 | 70.400 | |
| Sonstige Kosten (z.B.: Gutachten, BF, ...) | | | | €Jahr | 5.500 | 7.500 | 12.000 |
| Anlagenbetreuung | Arbeitszeitbedarf | | Std./Jahr | 411 | 832 | 913 | |
| | Lohnkosten/-ansatz | 25,00 €/Std | €Jahr | 10.266 | 20.805 | 22.813 | |
| Substratmanagement/Logistik | Arbeitszeitbedarf | | Std./Jahr | 72 | 126 | 194 | |
| | Lohnkosten/-ansatz | 25 €/Std | €Jahr | 1.789 | 3.150 | 4.843 | |
| Summe | | | | €Jahr | 42.932 | 99.315 | 203.847 |
| NawaRo-Kosten frei Eintrag einschl. Gärrestaubsbringung | | | | | | | |
| Rindergülle - Transportkosten | 5,00 €/t FM | | €Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| Niederschlagswasser Ø | 0,00 €/t FM | | €Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| Grassilage Ø | 29,75 €/t FM | | €Jahr | 53.536 | 131.958 | 338.120 | |
| Vorfinanzierung Substraternte | 18,80 €/t FM | | €Jahr | 2.030 | 5.005 | 12.823 | |
| | 6 % Zins für 1,0 Jahre | | | | | | |
| Nutzungsentgelt | 0 €/ha | | €Jahr | 0 | 0 | 0 | |
| Ausbringung Niederschlagswasser | 4,60 €/t FM | | €Jahr | 322 | 322 | 322 | |
| Flächendbedarf | Nettoertrag 17,6 t FM/ha | ha | | 102 | 252 | 646 | |
| RiGV-Bedarf | Gülleanfall 20 m ³ /RiGV | RiGV | | 5 | 12 | 30 | |
| Gärrestmasse insgesamt | | | | t/Jahr | 1.552 | 3.723 | 9.430 |
| Separation Volumensverminderung | 25 % | | t/Jahr | -- | -- | 2.358 | |
| Notw. Lagerkapazität für | 180 Tage | | t/Jahr | 765 | 1.836 | 3.488 | |
| Substratkosten | | | | €Jahr | 55.888 | 137.285 | 351.266 |
| Gewinnerwartung (ohne Lohnkosten/-ansatz) | | | | €Jahr | 11.146 | 1.500 | 2.585 |
| (Unternehmer-) Gewinnerwartung | | | | €Jahr | -909 | -22.455 | -25.071 |
| Kapitalrendite (U'Gewinn+Zinsansatz)/(Anschaffungskosten/2) | | | | % | 4,3 | -0,1 | 2,2 |

Literatur

- [1] Würfl P., Halama M. und Keymer U.: Grünlandstudie Bayern. LfL-Schriftenreihe 9/2008.
- [2] Würfl P., Halama M. und Keymer U.: Grünlandstudie Bayern. LfL-Schriftenreihe 9/2008, S. 15 ff.
- [3] Würfl P., Halama M. und Keymer U.: Grünlandstudie Bayern. LfL-Schriftenreihe 9/2008, S. 40 ff.
- [4] Landwirtschaftliche Standortkartierung (LSK) in Bayern. Herausgeber: Bayerische Landesanstalten für Bodenkultur und Pflanzenbau sowie für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. München 1982.
- [5] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Erntestatistik für Feldfrüchte und Grünland nach Agrar- und Erzeugungsgebieten in Bayern. München 2005, 2006 und 2007.
- [6] Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation: Vektor 500. München 2003.
- [7] Mündliche Mitteilung von Herrn Graf, AELF Weilheim, vom 12. März 2010.
- [8] Email von Herrn Seebald, AELF Passau, vom 15. März 2010.
- [9] Mündliche Mitteilung von Herrn Endres, AELF Schweinfurt, vom 18. März 2010.
- [10] Hölker, U.: Grünes Licht für Gras, In: Joule 03/09.
- [11] Lemmer, A., Öchsner, H.: Anspruchsvoll, In: Joule 04/09, S. 37.
- [12] Andrade, D., Heuwinkel H., Gronauer, A.: Optimierung der Prozesskette zur Methangewinnung aus Grünlandaufwuchs mittels Biogastechnologie als Grundlage der Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse, ILT-Forschungsbericht, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, ein Teilprojekt im Biogas Crops-Network (BCN) Grundlagen der Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse, Projektträger: Forschungszentrum Jülich, Freising, 2009, S. 35-38.
- [13] OHLY, N.: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, 2006.
- [14] FNR: Biogas Messprogramm II; CD Beilage; Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow, 2009, ISBN 978-3-9803927-8-5.
- [15] Effenberger, M., Bachmaier, H., Kränsel, E., Lehner, A., Gronauer, A.: Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern, LfL-Schriftenreihe 01/2010, Freising, 2010
[http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_38045.pdf].
- [16] LfU: Biogashandbuch, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, Stand 2009, S. 43-44 [<http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/>].
- [17] FNR: Handreichung Biogas, Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow, 4.Aufl., 2009, S. 41-43, ISBN: 3-00-014333-5.

- [18] Rösch, C., Raab, K., Skarka, J., Stelzer, V.: Energie aus dem Grünland- eine nachhaltige Entwicklung? Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Wissenschaftliche Bericht FZKA 7333, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2007, S. 42, [www.itas.fzk.dedeulit2007roua07b.pdf].
- [19] OWS: Das DRANCO & DRANCO-FARM Verfahren: Trockenvergärung für organische Abfälle und Energiegewächse, Organic Waste Systems nv. (Hrsg.), abgerufen 07/2010, [<http://www.ows.be/pub/AlgemeenartikelOWSDRANCODRANCO-FARMD.pdf>].
- [20] [<http://ecogas-gmbh.de/vorteile.php>], abgerufen am 26.10.2010.
- [21] [http://www.sinnrgie.de/4707__Verfahren.html], abgerufen am 02.12.2010.
- [22] VDI 3475 Blatt 4: Emissionsminderung - Biogasanlagen in der Landwirtschaft - Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger, Stand 2010.
- [23] KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.): Faustzahlen Biogas, 2. Auflage, Darmstadt, 2009.
- [24] GRAF, W.: Kraftwerk Wiese – Strom und Wärme aus Gras, 2. Auflage, s.l., 2001, S. 31, ISBN: 3-89811-193-8.
- [25] Koch, K.: Verfahrenstechnische Untersuchungen und mathematische Modellierung der Prozesse bei der Vergärung von Grassilage, Dissertation an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, 2010.
- [26] Kissel, R., Bachmaier, H., Effenberger, M., Gronauer, A.: Ertragseinbußen an Biogasanlagen, In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, LfL-Schriftenreihe 15/2009, Freising, S. 236 ISSN 1611-4159.
- [27] ECKART-MASCHINENBAU: Firmenhomepage, [www.eckart-maschinenbau.de/html/separation.htm], abgerufen am 09/2010].
- [28] [Würfl, P., Halama, M., Keymer, U.: Grünland Studie Bayern, LfL-Schriftenreihe 09/2008, S.73, ISSN 1611-4159 [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_31842.pdf].
- [29] Gaderer, M., Lautenbach, M., Fischer, T., Ebertsch, G.: Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (Hrsg.), Augsburg, 2007, ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6 [http://www.lfu.bayern.de/luft/forschung_und_projekte/biogasanlagen/doc/machbarkeitsstudie_abwaermenutzung.pdf].
- [30] GRONAUER, A., HENKELMANN, G., MEYER ZU KÖCKER, K., EFFENBERGER, M., HEUWINKEL, H., LEBUHN, M.: Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses - Laboranalytik. Publikation 6/2010 im „Biogasforum-Bayern“, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (Hrsg.), Freising, 2010, [http://www.biogasforumbayern.de/publikationen/Schlusselparameter_zur_Kontrolle_des_Garprozesses_Laboranalytik.pdf].
- [31] Bauer, C., Lebuhn, M., Gronauer, A.: Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, LfL-Schriftenreihe 12/2009, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising, 2009.
- [32] [<http://www.graskraft-reitbach.at>], abgerufen am 26.10.2010.

- [33] [<http://www.prograss.eu/index.php?id=75&L=2>], abgerufen am 26.10.2010
- [34] [<http://www.br-online.de/bayerisches-fernsehen/unsere-land/landwirtschaft-und-forst-umwelt-biogas-aus-strassengruen-ID1286445346263.xml>], abgerufen am 30.10.2010
- [35] [Ahlers, J.G.: Gas aus Gras. In: Biogas Journal 2/2008, S. 46-48.
- [36] Keymer, U.: Alternative Verwertung von Grünlandaufwuchs, Teil II. In: Würfl, P., Halama, M. und Keymer, U.: Grünlandstudie Bayern, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Schriftenreihe 9/2008, S. 51-62.
- [37] KTBL: Faustzahlen Biogas. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, 2. Aufl. 2009, S. 11-13.
- [38] Keymer, U.: Interne Berechnung von Faustzahlen, Institut für Agrarökonomie, 2010.
- [39] Spiekers, H., Demmel, M., Diepolder, M., Mayr, J., Köhler, B., Gaigl, J., Keyselt, B., Zimmermann, N. und Thurner, S.: Effiziente Futterwirtschaft und Nährstoffeinflüsse in Futterbaubetrieben. In: Demmel, M., Fröhlich, G., Gobor, Z., Gronauer, A., Haidn, B., Harms, J., Jais, C., Naser, S., Reiter, K., Simon, J., Spann, B. und Wendl, G.: Jahresbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 2009, S. 24-25.
- [40] Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Bodiroza, V., Zollitsch, W. und Boxberger, J. : Biogaserzeugung aus Grünlandbiomasse im Alpenraum. In: Landtechnik, 60, 2005, H. 6, S. 336-337.
- [41] Thaysen, J.: Dann fressen die Kühe mehr – Siliertechnik und -management für eine kostengünstige Top-Silage. In: Fleckvieh 2/2008, S. 52-55.
- [42] Harms, H.H.: Ernte- und Aufbereitungstechnik von Halmgütern. In: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, 1995, Bd. 5, Stuttgart, S. 23-40.
- [43] LfL: Was kosten Substrate frei Fermenter? In: LfL-Information, 2. Aufl., 9/2008, 6 S.
- [44] Rolink, D.: Gas aus Gras – und es geht doch! In: top agrar 5/2010, S. 112-119.
- [45] Oechsner, H. und Lemmer, A.: Gras vergären: Eine Alternative für Restgrünland? In: Biogas, Strom aus Gülle und Biomasse. Top agrar Fachbuch, Landw. Verlag Münster, 2002, S. 92-96.
- [46] Sauter, J.: Verluste bei der Futterbergung – Vom Schwader bis zur Ballenpresse. In: ART-Schriftenreihe 7, 2008, S. 29-33.
- [47] Graf, W.: Kraftwerk Wiese, Strom und Wärme aus Gras. In: Books on Demand, 1999, 1. Aufl., S. 29-30.
- [48] Peyker, W.: Standpunkt zur Silierung von Grünfütterstoffen. In: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2003.
- [49] Rösch, C., Raab, K. und Stelzer, V.: Potenziale der Biogasgewinnung aus Gras von Überschussgrünland in Baden-Württemberg. In: Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Auf dem Weg zum nachhaltigen Ausbau, Tagung vom 13. Febr. 2006, Stuttgart, Haus der Wirtschaft.
- [50] Thaysen, J.: Die Grassilage erfüttert die Milch. In: Milchpraxis 1/2008, 46. Jg., S. 35-37.

- [51] Diepolder, M., Rieder, J., Hartmann, S., Gehring, K., Zellner, M. und Demmel, M.: Dauergrünland. In: Munzert, M. und Frahm, J., Pflanzliche Erzeugung, BLV-Verlagsgesellschaft München, 12. Aufl., 2006, S. 761-863.
- [52] Rutzmoser, K.: Aufwuchsuntersuchung 2010 - Futterwert und Ertrag von Aufwuchs auf Grünland in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/ite/gruenlandnutzung/25779/index.php>, abgerufen am 21.6.2010.
- [53] Nußbaum, H.: Der neue Grundfutterreport Baden-Württemberg – aktuelle Praxisdaten und Konsequenzen für die Beratung. In: 15. Alpenländisches Expertenforum, 26.3.2009, Raumberg-Gumpenstein, S. 21-24.
- [54] Richter, W., Zimmermann, N., Abriel, M., Schuster, M., Kölln-Höllrigl, K., Ostertag, J., Meyer, K., Bauer, J. und Spiekers, H.: Hygiene bayerischer Silagen: Validierung einer Checkliste zum Controlling am Silo, Endbericht. In: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 1. Aufl., Juni 2009, S. 78.
- [55] Müller, J. und Bauer, R.: Futterkonservierung. In: Munzert, M. und Frahm, J., Pflanzliche Erzeugung, BLV-Verlagsgesellschaft München, 12. Aufl., 2006, S. 865-932.
- [56] Fischer, T.: Monovergärung von Silage mit Schwerpunkt Gras – Möglichkeiten und Praxiserfahrungen. In: Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, 37085 Göttingen, Hannah-Vogt-Str. 1, Leipzig, 8. März 2006.
- [57] [Herrmann, A.: Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen. In: Habilitation, Landw. Fak., Martin-Luther Univ. Halle/Wittenberg, 1999, S. 204.
- [58] Fröba, N. und Jäger, P.: Transporttechnik in der Futterernte. In: Fröba, N. (Hrsg.), Futterernte in Großbetrieben, Arbeitspapier 228, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, 1996, S. 64-87.
- [59] Hahn, J. und Fröba, N.: Logistik – Mode oder Schlüssel? In: KTBL-Schrift 467, 2009, S. 58-66.
- [60] Buckmaster, D. R.: Equipment matching for silage harvest. In: Appl. engineering in agriculture, 25 (1), 2009, S. 31-36.
- [61] Kowalewsky, H.-H.: Arbeitsgänge zusammenlegen. In: Landpost, 2009, S. 26-29.
- [62] Sauter, J.: Grünfütterernte. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, ETH Zürich, Agrartechnik II, Frühlingsemester 2010.
- [63] Eichhorn, H.: Landtechnik. Verlag E. Ulmer, Stuttgart, 7. Aufl., 1999.
- [64] Süß, H.: Neuer „Super-Drescher“. In: BLW 33, 20.8.2010, S. 54.
- [65] Cielejewski, H.: Trends bei der Technik für die Futterernte. In: Landtechnik 60, 6/2005, S. 318-319.
- [66] Geischer, R., Demmel, M., Weber, A. und Rothmund, M.: Untersuchungen zum Einsatz von selbstfahrenden und traktorangebauten Großflächenmäherwerken. In: VDI-Berichte 1895, Tagung Landtechnik 2005, Hannover, 4. und 5. Nov. 2005, S. 389-400.
- [67] Schön, H., Auernhammer, H., Bauer, R., Boxberger, J., Demmel, M., Estler, M., Gronauer, A., Haidn, B., Meyer, J., Pirkelmann, H., Strehler, A. und Widmann, B.: Die Landwirtschaft, Landtechnik/Bauwesen, Bd. 3. BLV-Verlagsgesellschaft München, 9. Aufl., 1998.

- [68] Löbber, M., Kromer, K.-H. und Wieland, C.C.: Einfluss von Mäh- und Mulchgeräten auf die bodennahe Fauna. In: Integrative Extensivierungs- und Naturschutzstrategien, Forschungsberichte, 15, 8. Wiss. Fachtagung 5. Mai 1994, Rhein. F.-W.-Univ. Bonn, S. 7-26.
- [69] Kirchmeier, H. und Demmel, M.: Mähwerke mit Flächenleistung. In: Allgäuer Bauernblatt 15/2009, S. 27-29.
- [70] Pötsch, E.M. und Resch, R.: Einfluss der Futteraufbereitung und Erntetechnik auf den Gärverlauf und die Silagequalität von Grünlandfutter. In: 8. Alpenländisches Expertenforum 2002 – Zeitgemäße Futtermittelkonservierung, Gumpenstein, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft (Hrsg.), S. 11-15.
- [71] Thaysen, J., Bosma, A.H., Frick, R., Gerighausen, H.G., Honig, H., Hörner, R., Nußbaum, H.J., Raue, F. und Sarreiter, R.: Mäh- und Intensivaufbereiter. In: DLG-Merkblatt 313, Frankfurt/Main, 1999, S. 1-16.
- [72] Auernhammer, H.: Vorlesung „Einführung in die Landnutzungstechnik 2“, Sommersemester 2007, Kapitel 1: Mähen, Werben, Aufbereiten, Folie 47.
- [73] Frick, R. und Ammon, H.: Einsatz von Intensivaufbereitern in der Futterwerbung. In: FAT Berichte 532, 1999, 20 S.
- [74] Gerhold, K.H.: Normal- oder Intensivaufbereitung?
<http://www.bmlfuw.gv.at/article/articleview/16736/1/4996>, abgerufen am 26.7.2010.
- [75] Frick, R.: Gezogene Aufbereiter im Vergleich. In: FAT Berichte 584, 2002, 12 S.
- [76] Claas:
http://www.claas.de/countries/generator/clpw/de/products/futterernte/cougar/start,lang=de_DE.html, abgerufen am 4.5.2010.
- [77] Matthias, J.: Trends bei der Technik für die Futterernte. In: Landtechnik 56, 6/2001, S. 386-387.
- [78] Schick, M. und Stark, R.: Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte. In: FAT-Berichte 588, Tänikon, 2002, 12 S.
- [79] Gerighausen, H.G. und Lenge, R.: Wer zieht die saubersten Schwade? In: top agrar, 1/2007, S. 110-117.
- [80] Cundiff, J.S.: Simulation of five large round bale harvesting systems for biomass. In: Bioresource Technology 56 (1996), S. 77-82.
- [81] Mitterndorfer: <http://www.mitterndorfer-landtechnik.at/index.php?id=72>, abgerufen am 4.5.2010.
- [82] Kutschenreiter: Schnell ins Silo. In: Agrartechnik 4/2007, S. 26-34.
- [83] Kuhn:
<http://www.kuhn.de/internet/webde.nsf/0/E67B3F6FB6D45048C125739C00495265?OpenDocument&p=8.6.4.4.1>, abgerufen am 27.4.2010.
- [84] Bernhardt, H., Kilian, M. und Seufert, H.: Silageketten für wachsende Milchviehbetriebe“. In: Landtechnik 59, 1/2004, S. 40-41.
- [85] Fürll, C., Schemel, H. und Hoffmann, T.: Logistik der Silageeinlagerung bei hohen Masseströmen. In: Landtechnik, 3/2009, S. 168-171.
- [86] Poulsen, E.: Häcksler trifft Großpackenpresse. In: Lohnunternehmen, 1/2009, S. 31.

- [87] Küper, J.M.: Ladewagen contra Feldhäcksler. In: top agrar 5/2009, S. 84-87.
- [88] Hermle, M., Grube, J. und Klöble, U.: Verfahrenskosten der Grundfuttererzeugung auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben am Beispiel der Anwelksilage. In: Tierhaltung, Agrarpolitik und Betriebswirtschaft, Märkte und Lebensmittel, Bd. 2, Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verl. Dr. Köster, Berlin, 2009, S. 294-297.
- [89] Eikel, G.: Jetzt das Zeug zum Klassenprimus. In: Profi Sonderdruck aus 2/2010, Praxistest, S. 18-22.
- [90] Egbers, M., Kronsbein, C.F. und Ruckelshausen, A.: Der Reifegrad bestimmt die Häcksellänge. In: Landtechnik, 3, 2006, S. 136-137.
- [91] Handler, F. und Blumauer, E.: Ernte der Substrate. In: Handbuch „Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen“, Projektnummer 810695/8539, Univ. für Bodenkunde Wien, 2007, S. 4-21.
- [92] Krone: Krone-Prospekt „Exakt-Feldhäcksler“.
<https://infoportal.krone.de/DisplayInfo.aspx?id=3400>, abgerufen am 27.4.2010.
- [93] Thaysen, J.: Wann, wie und welches Siliermittel einsetzen? In: Milchpraxis 1/2008, 46. Jg., S. 38-40.
- [94] Frick, R.: Lade- und Erntewagen. In: FAT-Berichte 576, 2001, S. 1-16.
- [95] Fehrmann, J., Günther, A. und Bernhardt, G.: Kurzschnittladewagen im Vergleich. In: Landtechnik 62, 6/2007, S. 398-399.
- [96] Matthias, J.: Geringe Kostendifferenz bei großen Flächen. In: Neue Landw. 4, 1996, S. 76-79.
- [97] Demmel, M.: Traktoren- und Transporttechnik. In: Munzert, M. und Frahm, J., Pflanzliche Erzeugung, BLV-Verlagsgesellschaft München, 12. Aufl., 2006, S. 135-165.
- [98] Thaysen, J.: Futterernte mit der Ballenpresse – was sind die Erfolgsfaktoren? In: Futterernte auf dem Grünland – Technik für Qualität und Leistung. DLG-Grünlandtagung 2007 und interne Sitzung des DLG-Ausschusses „Grünland und Futterbau“ in Arnstadt, 21.6.2007, <http://www.dlg.org/gruenlandtagung2007.html>, S. 51-54.
- [99] Sauter, J. und Dürr, L.: Rundballen-Presssysteme. In: FAT-Berichte 655, Schweizer Landtechnik 8/2006, S. 43-46.
- [100] Fendt: Mit größeren Ballen zu mehr Gewinn.
<http://www.fendt.com/int/de/quaderballenpressen-mehrgewinn.asp>, abgerufen am 20.7.2010.
- [101] Ammann, H. und Frick, R.: Silierverfahren im Vergleich. In: FAT-Berichte 627, 2005, 20 S.
- [102] Thaysen, J.: Worauf kommt es an? In: Landpost, Tag der Ballensilage 20.02.2010, S. 45-46.
- [103] Gerighausen, H.G.: Betriebswirtschaftliche Bewertung der Futterproduktion vom Grünland. In: Futterernte auf dem Grünland – Technik für Qualität und Leistung. DLG-Grünlandtagung 2007 und interne Sitzung des DLG-Ausschusses „Grünland und Futterbau“ in Arnstadt, 21.6.2007, S. 55-59.
- [104] Kutschenreiter: Leistung zählt. In: Agrartechnik 4/2008, S. 35-45.

- [105] Nußbaum, H.: Futterkonservierung. In: Spiekers, H., Nußbaum, H. und Potthast, V. (2009): Erfolgreiche Milchviehfütterung. DLG-Verlag, 5. Aufl., S. 114-182.
- [106] Sommer, M., von Borstel, U., Meyer, S. und Meinen, D.: Futterwert und Gärqualität von Grassilagen in Abhängigkeit von Erntetechnik und Siliermitteleinsatz. In: Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2003, Bd. 5, S. 219-222.
- [107] Nysand, M. und Leppälä, J.: Improving the application technique for silage additive in loader wagons and precision choppers. AgEng2010: Towards, Environmental, Technologies, Clermont – Ferrand France, 6.-8. Sept. 2010, Ref. 258, 4 S.
- [108] Sauter, J., Latsch, R. und Albisser, G.: Raufutterernte in Hanglagen - Maschineneinsatzgrenzen und deren Einflussfaktoren. In: ART-Bericht 729, 2010, 8 S.
- [109] Büser, C.: Halmgutbergung. In: Jahrbuch Agrartechnik 18, Hrsg. Harms, H.-H. und Meier, F., 2006, S. 134-141.
- [110] Dorsch, K. und Neumann, H.: Ladewagen auf dem Vormarsch? In: top agrar, 6/2001, S. 86-89.
- [111] Dörpmund, H.G. und Ehnts, A.: Häckselketten für Biogas: Knackpunkt ist die Logistik. In: Lohnunternehmen, 5, 2006, S. 10-18.
- [112] Dörpmund, H.G. und Lützen, B.A.: Biomasse: Von der Welle getrieben. In: Lohnunternehmen spezial, Agrologistik 3/2007, S. 24-37.
- [113] Thaysen, J.: Dem Häcksler Paroli bieten. In: Landpost 61, 12.09.2009, S. 59-61.
- [114] Döring, G. und Schleicher, R.: Verfahrensalternativen für Biomassetransporte. In: Biogas Forum Bayern, 9/2010.
- [115] Döring, G., Schilcher, A., Strobl, M., Schleicher, R., Seidl, M. und Mitterleitner, J.: Verfahren zum Transport von Biomasse. In: Biogas Forum Bayern, 6/2010.
- [116] Bernhardt, H.: Schüttguttransport. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, 2006, S. 393-410.
- [117] Bressel und Lade: <http://www.bressel-lade.de/>, abgerufen am 27.5.2010.
- [118] Mitterleitner, H.: Ballen laden, stapeln, transportieren... In: top agrar 6/1992, S. 68-71.
- [119] Moriz, C.: Quaderballen gegen Häcksler. In: Lohnunternehmen 5, 2009, S. 30-34.
- [120] Holtmann, W., Holz, W. und Uppenkamp, N.: Schlagkraft kostet Geld. In: Profi 7/1999, S. 60-62.
- [121] Schmerbauch, K.J.: Gärqualität und Schimmelpilzwachstum in Silagen in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluss. In: Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, 1999.
- [122] Brüse, C.: Für Berge und zum Bergen gut. In: Profi 12/2009, S. 64-66.
- [123] Nußbaum, H.: Technische Verfahrenslösungen für die Futterernte, Clever einsilieren ins Fahrsilo. In: Futterernte auf dem Grünland – Technik für Qualität und Leistung. DLG-Grünlandtagung 2007 und interne Sitzung des DLG-Ausschusses „Grünland und Futterbau“ in Arnstadt, 21.6.2007, S. 45-49.
- [124] DLG: PistenBully 300 GreenTech – Verteilen und Verdichten von Silage. In: DLG-Prüfbericht 5936 F, DLG e.V. Testzentrum Technik u. Betriebsmittel Groß-Umstadt, 5/2010, 12 S.

- [125] Richter, W. und Rößl, G.: Höhere Verluste bei nicht angedeckten Silos, Ergebnisse einer Feldstudie. In: Biogas Forum Bayern, 2/2010.
- [126] DLG: Arcusin Ballenladewagen Typ „E-2200“ Bergeleistung. In: DLG-Prüfbericht 5195 F, DLG e.V. Testzentrum Technik u. Betriebsmittel Groß-Umstadt, 10/2003, 2 S.
- [127] Uppenkamp, N.: Anwelksilage – ein Verfahrenvergleich. In: AID e.V., Bonn, 1284, 1994, S. 3-31.
- [128] Aspla: Anleitung für erfolgreiches Wickeln.
<http://www.aspla.net/agri/aleman/consejos.pdf>, abgerufen am 22.6.2010.
- [129] DLZ-Feldprobe: Razz, fazz. Der Ballenladewagen BLW 2.3 von DLM in der dlz-Feldprobe. In: Technik, DLZ-Feldprobe 8/1998, S. 58-60.
- [130] Schiel, A. und Winter, P.: Gute Silage aus dem Schlauch. In: top agrar, 8/1996, S. 72-75.
- [131] Jäkel, K.: Einsatz von Folienschlauchtechnologie. In: GKL-Frühjahrstagung, Sektion Bau und Technik „Siliererfolg auch bei großen Erntemassen“, Inst. für Landtechnik, Univ. Bonn, 2006, Tagungsband, S. 7-8.
- [132] Witte, F. und Rahn, S.: Die Kosten im Blick behalten, Lagerungsverfahren von Silage im Vergleich. In: AGRAVIS aktuell 2/2010, S. 18-19.
- [133] Thaysen, J.: Mit Ballensilage individuell füttern. In: Milchpraxis 1/2010, 48. Jg., S. 26-29.
- [134] KBM: Komplettte Arbeitsverfahren, Kennziffer-300, Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V., <http://www.kbm-info.de/content>, abgerufen am 16.9.2010.
- [135] KTBL: Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09, KTBL-Datensammlung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, 21. Aufl., 2008, S. 439-453.
- [136] Fürll, C., Schemel, H., Idler, C. und Scholz, V.: Anforderungen an die Logistik zur Sicherung hoher Silagequalitäten. In: Agric. Eng. Res.13 (2007), S. 214-220.
- [137] Bachmaier, H.; Effenberger, M.; Gronauer, A.: Treibhausgasbilanz und Ressourcenverbrauch von Praxis-Biogasanlagen, Landtechnik, 2010, 3, 208–212.
- [138] BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Berlin, 2007.
- [139] KTBL (2006): Energiepflanzen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, 2006.
- [140] KTBL (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft - mit Internetangebot. 21., Aufl., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, 2008.
- [141] Umweltbundesamt, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009. Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar (1990-2007), Dessau 2009.
- [142] Gütekriterien für Biogasanlagen (VDI 4631 - Richtlinienentwurf), Herausgeber: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt - VDI-Fachbereich Energiewandlung und -anwendung, Beuth Verlag 2008.

-
- [143] Röhling, I., Schilcher A. Strobl M., Keymer U.: Wissenschaftliche Begleitung von Pilotanlagen zur Biogaserzeugung, LfL 2009 (Endbericht nicht veröffentlicht).
- [144] Vogler S.: Erste Auswertungen aus dem Projekt „Kennzahlen der Biogaserzeugung“, LfL 2010 (unveröffentlicht).
- [145] Bayer, K., Keymer U., Wilken D., Hinweise zum Einsatz rein pflanzlicher Nebenprodukte in NawaRo-Anlagen, Biogas Forum Bayern, Nr. V – 4/2009.
- [146] Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (Heft 88), KTBL, Darmstadt 2010.
- [147] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt geändert durch G. v. 11.8.2010 I 1170.
- [148] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) vom 24.07.2002, GMBL S. 511 – 605.
- [149] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG) BGBl I 2002, 1092; zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 25.10.2008 I 2101; § 3 Nr. 7.
- [150] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE); BHKW-Kenndaten 2005; Verlag Rationeller Erdgaseinsatz, 2005.
- [151] Konsolidierte Fassung der Begründung zu dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 21. Juli 2004; BGBl. 2004 I S. 1918 Zu § 8 („Vergütung für Strom aus Biomasse“), Zu Absatz 2; S. 33.
- [152] Strobl, M., unveröffentlichte Auswertung der nach § 52 EEG 2009 von Übertragungsnetzbetreibern zu veröffentlichenden Einspeisedaten; LfL, 2010.

Anhang zu Kap. 8.1

Tab. 116: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Häckselkette

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 50 | 30 | 20 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 206 | 124 | 82 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 100 | 60 | 40 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 35 | 21 | 14 |
| TM-Verluste /Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 31 | 18 | 12 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 88 | 53 | 35 |
| Mähen, Häckseln, Festwalzen: Lohnunternehmer | €/ha | 78,00 | 71,77 | 67,31 |
| Transportkosten je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 4,20 | 3,89 | 5,00 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 42,00 | 23,33 | 20,00 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Siloabdeckung | €/ha | 5,71 | 3,43 | 2 |
| Entnahme aus Silo und Transport zum Feststoffeintrag | €/m ³ | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| | €/ha | 15 | 9 | 6 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,72 | 4,03 | 2,69 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,19 | 4,19 | 4,19 |
| | €/ha | 28,17 | 16,90 | 11 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 169 | 124 | 107 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 1,05 | 0,63 | 0,42 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 15,71 | 9,43 | 6 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 185 | 134 | 113 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 20 | 20 | 20 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 30 | 18 | 12 |
| | €/ha | 215 | 152 | 125 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 24 | 29 | 36 |
| | €/t TM | 70 | 82 | 102 |
| | €/ha | 493 | | |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/t Substrat | 28 | | |
| | €/t TM | 80 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge (Frischmasse) | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Mähen | | | | |
| SF-Mäher | €/ha | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| Mähen | €/t | 3,00 | 5,00 | 7,50 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwaden | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwader | €/h | 53,00 | 53,00 | 53,00 |
| Schwaden | €/t | 1,06 | 1,77 | 2,65 |
| Häckseln | | | | |
| Leistung SF-Feldhäcksler | ha/h | 5,00 | 6,00 | 7,00 |
| Leistung Feldhäcksler | t FM/h | 50 | 36 | 28 |
| Claas 940/Krone Big X | €/h | 126,00 | 126,00 | 126,00 |
| Häckseln | €/t | 2,52 | 3,50 | 4,50 |
| Transport | | | | |
| Häckselguttransportwagen, 40 km/h | €/h | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| Nutzvolumen | m ³ | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Leistung SF-Feldhäcksler | ha/h | 5,00 | 6,00 | 7,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Entladen | min | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Feldhäcksler | t FM/h | 50,00 | 36,00 | 28,00 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 18,00 | 18,00 | 18,00 |
| Dauer Beladung inkl. 10 % Zeitzuschlag | min. | 23,76 | 33,00 | 42,43 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport inkl. Fahrzeitverlängerung | min. | 53,45 | 62,69 | 72,11 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 20,21 | 17,23 | 14,98 |
| Kosten Schlepper, Anhänger + Fahrer | €/h | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 4,20 | 3,89 | 5,00 |
| Walzen | | | | |
| Notwendiges Walzgewicht | t | 14,29 | 10,29 | 8,00 |
| Gewicht Radlader oder Walzschlepper | t | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Notwendige Zahl an Walzschleppern | n | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Radlader (Silofutter festwalzen) | €/h | 61,00 | 61,00 | 61,00 |
| Walzen | €/t | 1,22 | 1,69 | 2,18 |
| Ernte und Einlagerung Anwelkgut | €/t | 12,00 | 15,85 | 21,83 |

Tab. 117: Bereitstellungskosten in Raisting – Häckselkette

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 45 | 40 | 15 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 185 | 165 | 62 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 90 | 80 | 30 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 32 | 28 | 11 |
| TM-Verluste/Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 28 | 25 | 9 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 79 | 70 | 26 |
| Mähen, Häckseln, Festwalzen: Lohnunternehmer | €/ha | 84,06 | 84,06 | 72,73 |
| Transportkosten je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 4,24 | 4,77 | 6,56 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 38,18 | 38,18 | 19,69 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Siloabdeckung | €/ha | 5,14 | 4,57 | 2 |
| Entnahme aus Silo und Transport zum Fermenter | €/m ³ | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| | €/ha | 14 | 12 | 5 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,05 | 5,38 | 2,02 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,77 | 4,77 | 4,77 |
| | €/ha | 28,82 | 25,61 | 10 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 170 | 164 | 108 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 0,94 | 0,84 | 0,31 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 14,14 | 12,57 | 5 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 184 | 177 | 113 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 20 | 20 | 20 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 27 | 24 | 9 |
| | €/ha | 211 | 201 | 122 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 27 | 29 | 46 |
| | €/t TM | 76 | 82 | 132 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/ha | 535 | | |
| | €/t Substrat | 30 | | |
| | €/t TM | 87 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge (Frischmasse) | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Mähen | | | | |
| Mähen | €/ha | 30,65 | 30,65 | 30,65 |
| Mähen | €/t | 3,41 | 3,83 | 10,22 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwader | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwader | €/h | 85,75 | 85,75 | 85,75 |
| Schwaden | €/t | 1,91 | 2,14 | 5,72 |
| Häckseln | | | | |
| Leistung SF-Feldhäcksler | ha/h | 5,50 | 5,50 | 8,00 |
| Leistung Feldhäcksler | t FM/h | 50 | 44 | 24 |
| Claas 870 | €/h | 142,90 | 142,90 | 142,90 |
| Häckseln | €/t | 2,89 | 3,25 | 5,95 |
| Transport | | | | |
| Häckselguttransportwagen, 40 km/h | €/h | 52,50 | 52,50 | 52,50 |
| Nutzvolumen | m ³ | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Leistung SF-Feldhäcksler | ha/h | 5,50 | 5,50 | 8,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Entladen | min | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Feldhäcksler | t FM/h | 49,50 | 44,00 | 24,00 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 9,25 | 9,25 | 9,25 |
| Dauer Beladung inkl. 10 % Zeitzuschlag | min. | 12,33 | 13,88 | 25,44 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport inkl. Fahrzeitverlängerung | min. | 42,02 | 43,56 | 55,12 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 13,21 | 12,74 | 10,07 |
| Kosten Schlepper, Anhänger + Fahrer | €/h | 52,50 | 52,50 | 52,50 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 4,24 | 4,77 | 6,56 |
| Walzen | | | | |
| Notwendiges Walzgewicht | t | 14,14 | 12,57 | 6,86 |
| Gewicht Radlader oder Walzschlepper | t | 16,00 | 16,00 | 16,00 |
| Notwendige Zahl an Walzschleppern | n | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Radlader (Silofutter festwalzen) | €/h | 56,55 | 56,55 | 56,55 |
| Walzen | €/t | 1,14 | 1,29 | 2,36 |
| Ernte und Einlagerung Anwelkgut | €/t | 13,58 | 15,28 | 30,81 |

Tab. 118: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Ladewagen

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 50 | 30 | 20 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 206 | 124 | 82 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 100 | 60 | 40 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 35 | 21 | 14 |
| TM-Verluste /Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 31 | 18 | 12 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 88 | 53 | 35 |
| Mähen, Schwaden, Festwalzen: Lohnunternehmer | €/ha | 53,38 | 48,96 | 46,63 |
| Laden+Transport je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 8,17 | 8,91 | 9,64 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 81,74 | 53,44 | 38,54 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Siloabdeckung | €/ha | 5,71 | 3,43 | 2 |
| Entnahme aus Silo und Transport zum Fermenter | €/m ³ | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| | €/ha | 15 | 9 | 6 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,72 | 4,03 | 2,69 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,19 | 4,19 | 4,19 |
| | €/ha | 28,17 | 16,90 | 11 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 184 | 132 | 105 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 1,05 | 0,63 | 0,42 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 15,71 | 9,43 | 6 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 200 | 141 | 111 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 20 | 20 | 20 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 30 | 18 | 12 |
| | €/ha | 230 | 159 | 123 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 26 | 30 | 35 |
| | €/t TM | 75 | 86 | 100 |
| | €/ha | 513 | | |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/t Substrat | 29 | | |
| | €/t TM | 83 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Mähen | | | | |
| SF-Mäher | €/ha | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| SF-Mäher | €/t | 3,00 | 5,00 | 7,50 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwaden | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwaden | €/h | 53,00 | 53,00 | 53,00 |
| Schwaden | €/t | 1,06 | 1,77 | 2,65 |
| Ladewagen | | | | |
| Leistung Feld | ha/h | 5,00 | 6,50 | 8,00 |
| Leistung Feld | t FM/h | 50 | 39 | 32 |
| Ladewagen Laden + Transport | | | | |
| Häckselguttransportwagen, 40 km/h | €/h | 130,00 | 130,00 | 130,00 |
| Nutzvolumen | m ³ | 31,19 | 31,19 | 31,19 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Leistung SF-Feldhäcksler | ha/h | 5,00 | 6,50 | 8,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Entladen | min | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Ladewagen | t FM/h | 50,00 | 39,00 | 32,00 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 11,54 | 11,54 | 11,54 |
| Dauer Beladung | min. | 13,85 | 17,75 | 21,64 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport inkl. Fahrzeitverlängerung | min. | 43,53 | 47,44 | 51,32 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 15,90 | 14,60 | 13,49 |
| Kosten Schlepper, Anhänger + Fahrer | €/h | 130,00 | 130,00 | 130,00 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 8,17 | 8,91 | 9,64 |
| Walzen | | | | |
| Notwendiges Walzgewicht | t | 13,63 | 12,51 | 11,56 |
| Gewicht Radlader oder Walzschlepper | t | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Notwendige Zahl an Walzschleppern | n | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Radlader (Silofutter festwalzen) | €/h | 61,00 | 61,00 | 61,00 |
| Radlader (Silofutter festwalzen) | €/t | 1,28 | 1,39 | 1,51 |
| Ernte und Einlagerung Anweilgut | €/t | 13,51 | 17,07 | 21,29 |

Tab. 119: Bereitstellungskosten in Raisting – Ladewagen

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 45 | 40 | 15 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 185 | 165 | 62 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 90 | 80 | 30 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 32 | 28 | 11 |
| TM-Verluste/Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 28 | 25 | 9 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 79 | 70 | 26 |
| Mähen, Schwaden, Festwalzen | €/ha | 64,17 | 62,77 | 54,36 |
| Laden+Transport je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 6,56 | 6,69 | 7,42 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 59,08 | 53,49 | 22,25 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Siloabdeckung | €/ha | 5,14 | 4,57 | 2 |
| Entnahme aus Silo und Transport zum Fermenter | €/m ³ | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| | €/ha | 14 | 12 | 5 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,05 | 5,38 | 2,02 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,77 | 4,77 | 4,77 |
| | €/ha | 28,82 | 25,62 | 10 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 171 | 159 | 92 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 0,94 | 0,84 | 0,31 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 14,14 | 12,57 | 5 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 185 | 171 | 97 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 20 | 20 | 20 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 27 | 24 | 9 |
| | €/ha | 212 | 195 | 106 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 27 | 28 | 40 |
| | €/t TM | 77 | 79 | 115 |
| | €/ha | 514 | | |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/t Substrat | 29 | | |
| | €/t TM | 83 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|--|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Mähen | | | | |
| Mähen | €/ha | 30,65 | 30,65 | 30,65 |
| Mähen | €/t | 3,41 | 3,83 | 10,22 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwaden | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwaden | €/h | 85,75 | 85,75 | 85,75 |
| Schwaden | €/t | 1,91 | 2,14 | 5,72 |
| Ladewagen | | | | |
| Leistung Feld | ha/h | 5,00 | 5,00 | 8,00 |
| Leistung Feld | t FM/h | 45 | 40 | 24 |
| Transport | | | | |
| Ladewagen | €/Fuhre | 15,50 | 15,50 | 15,50 |
| Nutzvolumen | m ³ | 18,00 | 18,00 | 18,00 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Leistung LW | ha/h | 5,00 | 5,00 | 8,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Entladen | min | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Ladewagen | t FM/h | 45,00 | 40,00 | 24,00 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 6,66 | 6,66 | 6,66 |
| Dauer Beladung | min. | 8,88 | 9,99 | 16,65 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport | min. | 38,57 | 39,68 | 46,34 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 10,36 | 10,07 | 8,62 |
| Kosten Schlepper+LW | €/h | 68,01 | 67,34 | 63,97 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 6,56 | 6,69 | 7,42 |
| Walzen | | | | |
| Notwendiges Walzgewicht | t | 8,88 | 8,63 | 7,39 |
| Gewicht Radlader oder Walzschlepper | t | 16,00 | 16,00 | 16,00 |
| Notwendige Zahl an Walzschleppern | n | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Radlader | €/h | 56,55 | 56,55 | 56,55 |
| Walzen | €/t | 1,82 | 1,87 | 2,19 |
| Ernte und Einlagerung Anwelkgut | €/t | 13,69 | 14,53 | 25,54 |

Tab. 120: Bereitstellungskosten in Hinterschmiding – Pressen

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 50 | 30 | 20 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 206 | 124 | 82 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 100 | 60 | 40 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 35 | 21 | 14 |
| TM-Verluste /Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 31 | 18 | 12 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 88 | 53 | 35 |
| Mähen, Schwaden, Pressen, Wickeln | €/ha | 263,81 | 174,53 | 129,89 |
| Transportkosten je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 4,55 | 4,55 | 4,55 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 45,54 | 27,33 | 18,22 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Siloabdeckung | €/ha | 0,00 | 0,00 | 0 |
| Ballenransport zum Feststoffeintrag | €/m ³ | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | €/ha | 6 | 4 | 3 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,72 | 4,03 | 2,69 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,19 | 4,19 | 4,19 |
| | €/ha | 28,17 | 16,90 | 11 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 344 | 223 | 162 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 1,05 | 0,63 | 0,42 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 15,71 | 9,43 | 6 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 360 | 232 | 168 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 0 | 0 | 0 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 0 | 0 | 0 |
| | €/ha | 360 | 232 | 168 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 41 | 44 | 48 |
| | €/t TM | 117 | 126 | 137 |
| | €/ha | 760 | | |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/t Substrat | 43 | | |
| | €/t TM | 123 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Mähen | | | | |
| SF-Mäher | €/ha | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| SF-Mäher | €/t | 3,00 | 5,00 | 7,50 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwaden | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwaden | €/h | 53,00 | 53,00 | 53,00 |
| Schwaden | €/t | 1,06 | 1,77 | 2,65 |
| Pressen und Wickeln | | | | |
| Abmessungen Ballen (0,7 x 1,2 x 1,6) | m ³ | 1,34 | 1,34 | 1,34 |
| Spezifisches Gewicht Ballen | kg/m ³ | 500 | 500 | 500 |
| Kosten Ballen | €/Ballen | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| Pressen und Wickeln | €/t | 22,32 | 22,32 | 22,32 |
| Laden + Transport | | | | |
| Lohnkosten/-ansatz | €/AKh | 12,00 | 12,00 | 12,00 |
| Standardtraktor+Ballenzange | €/h | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| Transport (3-Seiten-Kipper) x 2 | €/h | 5,95 | 5,95 | 5,95 |
| Anzahl Ballen/Transportzug | n | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 10,00 | 6,00 | 4,00 |
| Abmessungen Ballen (0,7 x 1,2 x 1,6) | m ³ | 1,34 | 1,34 | 1,34 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Laden/Entladen | min | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Presse | t FM/h | 13,44 | 8,06 | 5,38 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 13,40 | 13,40 | 13,40 |
| Dauer Be-/Entladung | min. | 59,60 | 59,60 | 59,60 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport inkl. Fahrzeitverlängerung | min. | 87,29 | 87,29 | 87,29 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 9,21 | 9,21 | 9,21 |
| Kosten Schlepper, Anhänger + Fahrer | €/h | 41,95 | 41,95 | 41,95 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 4,55 | 4,55 | 4,55 |
| Ernte und Einlagerung Anwelkgut | €/t | 30,94 | 33,64 | 37,03 |

Tab. 121: Bereitstellungskosten in Raisting – Presse

| | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Feld - Silo - Entfernung: | 6 km | Grünmasse brutto | 412 dt | 17 % TM |
| | | Silage brutto: | 200 dt | 35 % TM |
| | | Schnitte: | 3 | |

| Bezeichnung | Einheit | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|----------------------|------------|------------|------------|
| Ertragsanteile je Schnittnutzung | % | 45 | 40 | 15 |
| Grünmasse Brutto-Ertrag | dt/ha | 185 | 165 | 62 |
| Anwelkgut Brutto-Ertrag | dt/ha | 90 | 80 | 30 |
| TS-Gehalt | % | 35 | 35,0 | 35,0 |
| TM brutto | dt/ha | 32 | 28 | 11 |
| TM-Verluste/Lagerverlust | % | 12 | 12 | 12 |
| TM netto | dt/ha | 28 | 25 | 9 |
| Raumgewicht | dt/m ³ | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Silage Netto-Ertrag | dt/ha | 79 | 70 | 26 |
| Mähen, Schwaden, Pressen, Wickeln | €/ha | 235,30 | 214,47 | 110,30 |
| Transportkosten je Tonne Grünmasse inkl. Lohn | €/t FM | 4,55 | 4,55 | 4,55 |
| Transportkosten gesamt | €/ha | 40,99 | 36,43 | 13,66 |
| Siloabdeckung | €/m ³ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Siloabdeckung | €/ha | 0,00 | 0,00 | 0 |
| Ballenransport zum Fermenter | €/m ³ | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | €/ha | 6 | 5 | 2 |
| Gärrestmenge 0,76 m ³ /t Substrat | m ³ /ha | 6,05 | 5,38 | 2,02 |
| Ausbringung Gärrest | €/m ³ | 4,33 | 4,33 | 4,33 |
| | €/ha | 26,16 | 23,25 | 9 |
| Variable Kosten insgesamt | €/ha | 308 | 279 | 135 |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| Abdecken, Entnahme und Transport zum Fermenter | AKMin/m ³ | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Arbeitszeit insgesamt | AKh/ha | 0,94 | 0,84 | 0,31 |
| Lohnansatz 15,00 €/AKh | €/ha | 14,14 | 12,57 | 5 |
| Variable Kosten und Lohnansatz | €/ha | 322 | 292 | 139 |
| Festkosten Silo /Lagerraum | | | | |
| Anschaffungskosten | €/m ³ | 0 | 0 | 0 |
| AfA/Zins/Uha 6,7 % 4,0 % 2,0 % | €/ha | 0 | 0 | 0 |
| | €/ha | 322 | 292 | 139 |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag je Schnitt | €/t Substrat | 41 | 41 | 53 |
| | €/t TM | 116 | 118 | 151 |
| | €/ha | 753 | | |
| Gesamtkosten Grassilage frei Eintrag alle Schnitte | €/t Substrat | 43 | | |
| | €/t TM | 122 | | |

| | | 1. Schnitt | 2. Schnitt | 3. Schnitt |
|---|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Mähen | | | | |
| Mähen | €/ha | 30,65 | 30,65 | 30,65 |
| Mähen | €/t | 3,41 | 3,83 | 10,22 |
| Schwaden | | | | |
| Leistung Schwaden | ha/h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kosten Schwaden | €/h | 85,75 | 85,75 | 85,75 |
| Schwaden | €/t | 1,91 | 2,14 | 5,72 |
| Pressen und Wickeln | | | | |
| Abmessungen Ballen (0,7 x 1,2 x 1,6) | m ³ | 1,34 | 1,34 | 1,34 |
| Spezifisches Gewicht Ballen | kg/m ³ | 500 | 500 | 500 |
| Kosten Ballen | €/Ballen | 14,00 | 14,00 | 14,00 |
| Pressen und Wickeln | €/t | 20,83 | 20,83 | 20,83 |
| Laden + Transport | | | | |
| Lohnkosten/-ansatz | €/AKh | 12,00 | 12,00 | 12,00 |
| Standardtraktor+Ballenzange | €/h | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| Transport (3-Seiten-Kipper) x 2 | €/h | 5,95 | 5,95 | 5,95 |
| Anzahl Ballen/Transportzug | n | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Raumgewicht Transportgut | t/m ³ | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| Ernte-/Transportmenge | t/ha | 9,00 | 8,00 | 3,00 |
| Abmessungen Ballen (0,7 x 1,2 x 1,6) | m ³ | 1,34 | 1,34 | 1,34 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Feldfahrten | km/h | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Länge Feldfahrten | km | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Dauer Laden/Entladen | min | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Transportentfernung | km | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Leistung Presse | t FM/h | 12,10 | 10,75 | 4,03 |
| Nutzlast Transportgespann | t | 13,40 | 13,40 | 13,40 |
| Dauer Be-/Entladung | min. | 59,60 | 59,60 | 59,60 |
| Transportzeit Feld-Silo "voll" | min. | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Transportzeit Silo-Feld "leer" | min. | 10,29 | 10,29 | 10,29 |
| Feldfahrten | min. | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Gesamtzeit Transport inkl. Fahrzeitverlängerung | min. | 87,29 | 87,29 | 87,29 |
| Kapazität eines Zuges | t FM/h | 9,21 | 9,21 | 9,21 |
| Kosten Schlepper, Anhänger + Fahrer | €/h | 41,95 | 41,95 | 41,95 |
| Kosten Transporteinheit | €/t FM | 4,55 | 4,55 | 4,55 |
| Ernte und Einlagerung Anwelkgut | €/t | 30,70 | 31,36 | 41,32 |

Tab. 122: Kosten Gärrestausbringung Hinterschmiding

| | | |
|--|--------------------|-------|
| Schlepper + Mann | €/h | 60,00 |
| Nutzvolumen Pumptankwagen | m ³ | 15,00 |
| Gärrestmenge | m ³ /ha | 13,44 |
| Dauer Befüllen und Entladen | min | 8,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 20,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 |
| Transportzeit Biogasanlage-Feld "voll" | min. | 18,00 |
| Transportzeit Feld-Biogasanlage "leer" | min. | 10,29 |
| Gesamtzeit Transport und Befüllen | min. | 36,29 |
| | | |
| Geschwindigkeit Feld | km/h | 4,00 |
| effektive Arbeitsbreite Güllefass | m | 12 |
| Flächenleistung pro Füllung | ha | 1,12 |
| Feldlänge | m | 100 |
| Wendungen | n | 9,30 |
| Zusatzstrecke pro Wendung | m | 10 |
| Zusatzstrecke gesamt | m | 93 |
| Gesamtfahrstrecke Feld | m | 1.023 |
| Hauptzeiten, Nebenzeiten Ausbringung | min. | 15,35 |
| | | |
| Kapazität eines Zuges | m ³ /h | 17,43 |
| Kosten Schlepper + Fahrer | €/m ³ | 3,44 |
| PTW mit Schleppschuhverteiler | €/m ³ | 0,75 |
| Ausbringkosten Gärrest | €/ha | 56,33 |
| | €/m ³ | 4,19 |
| | €/t TM | 9,15 |

Tab. 123: Kosten Gärrestausbringung Raisting

| | | |
|--|----------------------|-------|
| Schlepper+Mann | €/h | 46,20 |
| Nutzvolumen | m ³ | 15,00 |
| Gärrestmenge | m ³ /ha | 13,44 |
| | m ³ /t TM | 2,18 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "voll" | km/h | 20,00 |
| Durchschn. Geschwindigkeit "leer" | km/h | 35,00 |
| Dauer Befüllen und Entladen | min | 10,00 |
| Transportentfernung | km | 6,00 |
| Transportzeit Biogasanlage-Feld "voll" | min. | 18,00 |
| Transportzeit Feld-Biogasanlage "leer" | min. | 10,29 |
| Gesamtzeit Transport | min. | 38,29 |
| | | |
| Kapazität eines Zuges | m ³ /h | 23,51 |
| Kosten Schlepper + Fahrer | €/h | 46,20 |
| Kosten Schlepper + Fahrer | €/m ³ | 1,97 |
| Kosten Zubringfass inkl. Grundbeitrag | €/m ³ | 0,80 |
| Kosten Ausbringfahrzeug Holmer SF | €/m ³ | 2,00 |
| Ausbringkosten Gärrest | €/ha | 64,03 |
| | €/m ³ | 4,77 |
| | €/t TM | 10,40 |

Tab. 124: Kosten Häcklerkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|-------------|-------|-----|--|--|--|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 20 t/ha | | | | | | | |
| Frischmasse angelwalkt (35% TM) | 10 t/ha | Erntekosten | 12,59 | €/t | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 3,5 t/ha | Erntekosten | 35,97 | €/t | | | | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,75 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 4,13 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 400 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,14 | 34,69 | 17,51 | 3,43 | 0,06 | 7,09 | 6,6 |
| Häckselgutwagen 50 m ³ , 11 t; 140 kW | 1,1 | 0 | 23,06 | 9,26 | 2,06 | 0,31 | 6,45 | 4,98 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,4 | 0 | 6,1 | 2,85 | 0,68 | 0,01 | 1,41 | 1,15 |
| | 2,2 | | 99,51 | 47,97 | 9,89 | 0,53 | 22,13 | 18,99 |

2. Schnitt

| | | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 12,4 t/ha | Erntekosten | | |
| Frischmasse angelwalkt (35% TM) | 6 t/ha | 17,94 | €/t FM | |
| Trockenmasse (netto) | 2,1 t/ha | 51,25 | €/t TM | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,37 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,75 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 400 kW Selbstfahrer | 0,2 | 8,33 | 31,2 | 16,41 | 3,22 | 0,06 | 6,65 | 4,86 |
| Häckselgutwagen 50 m ³ , 11 t; 140 kW | 0,8 | 0 | 14,79 | 5,84 | 1,31 | 0,2 | 4,12 | 3,32 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,4 | 0 | 3,55 | 1,66 | 0,39 | 0,01 | 0,82 | 0,67 |

3. Schnitt

| | | | | |
|---------------------------------|----------|-------------|--------|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Erntekosten | | |
| Frischmasse angelwalkt (35% TM) | 4 t/ha | 23,70 | €/t FM | |
| Trockenmasse (netto) | 1,4 t/ha | 67,71 | €/t TM | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,16 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,54 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 400 kW Selbstfahrer | 0,2 | 8,33 | 30,4 | 16,38 | 3,21 | 0,06 | 6,63 | 4,12 |
| Häckselgutwagen 50 m ³ , 11 t; 140 kW | 0,4 | 0 | 11,3 | 4,37 | 0,99 | 0,16 | 3,14 | 2,64 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,2 | 0 | 2,43 | 1,13 | 0,27 | 0,01 | 0,56 | 0,46 |
| | 1,3 | | 79,2 | 40,23 | 8,19 | 0,38 | 17,51 | 12,89 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 125: Kosten Häckslerkette Raisting – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------|-----|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 18,5 t/ha | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 9 t/ha | Erntekosten | 13,29 | €/t | |
| Trockenmasse (netto) | 3,15 t/ha | Erntekosten | 37,97 | €/t | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,37 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,59 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 300 kW Selbstfahrer | 0,2 | 6,25 | 32,94 | 16,82 | 3,3 | 0,07 | 7,08 | 5,67 |
| Häckselgutwagen 33 m ³ , 7 t; 102 kW | 1,4 | 0 | 22,44 | 8,16 | 1,85 | 0,4 | 7,13 | 4,9 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,5 | 0 | 5,4 | 2,52 | 0,6 | 0,01 | 1,25 | 1,02 |
| | 2,7 | | 87,21 | 37,54 | 7,93 | 0,68 | 23,83 | 17,23 |

2. Schnitt

| | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------|--------|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 16,5 t/ha | Erntekosten | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 8 t/ha | | 13,72 | €/t FM |
| Trockenmasse (netto) | 2,8 t/ha | | 39,20 | €/t TM |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 300 kW Selbstfahrer | 0,2 | 6,25 | 32,41 | 16,79 | 3,29 | 0,07 | 7,07 | 5,19 |
| Häckselgutwagen 33 m ³ , 7 t; 102 kW | 1,2 | 0 | 20,01 | 7,25 | 1,65 | 0,36 | 6,35 | 4,4 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,5 | 0 | 4,69 | 2,18 | 0,52 | 0,01 | 1,09 | 0,89 |
| | 2,2 | | 83,35 | 36,26 | 7,64 | 0,64 | 22,88 | 15,93 |

3. Schnitt

| | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------|--------|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Erntekosten | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 3 t/ha | | 29,04 | €/t FM |
| Trockenmasse (netto) | 1,05 t/ha | | 82,97 | €/t TM |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 300 kW Selbstfahrer | 0,2 | 6,25 | 30,54 | 16,69 | 3,27 | 0,07 | 7,03 | 3,48 |
| Häckselgutwagen 33 m ³ , 7 t; 102 kW | 0,5 | 0 | 10,45 | 3,68 | 0,85 | 0,2 | 3,28 | 2,44 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m ³ | 0,2 | 0 | 1,89 | 0,88 | 0,21 | 0 | 0,44 | 0,36 |
| | 1,5 | | 69,12 | 31,29 | 6,51 | 0,47 | 19,12 | 11,73 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 126: Kosten Ladewagenkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|----------|-------------|-------|-----|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 20 t/ha | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 10 t/ha | Erntekosten | 10,85 | €/t | |
| Trockenmasse (netto) | 3,5 t/ha | Erntekosten | 30,99 | €/t | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,75 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 4,13 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 40 m³, 10,6 t; 200 kW | 0,5 | 2 | 48,88 | 26,39 | 4,83 | 0,35 | 7,97 | 9,34 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,5 | 0 | 5,92 | 2,76 | 0,66 | 0,01 | 1,37 | 1,12 |
| | 1,5 | | 90,46 | 47,5 | 9,21 | 0,51 | 16,52 | 16,72 |

2. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 12,4 t/ha | Erntekosten | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 6 t/ha | 14,36 | €/t FM | | |
| Trockenmasse (netto) | 2,1 t/ha | 41,02 | €/t TM | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,37 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,75 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 40 m³, 10,6 t; 200 kW | 0,4 | 2,94 | 31,72 | 16,47 | 3,05 | 0,23 | 5,2 | 6,77 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,4 | 0 | 3,55 | 1,66 | 0,39 | 0,01 | 0,82 | 0,67 |
| | 1,3 | | 70,55 | 36,48 | 7,16 | 0,39 | 13,2 | 13,32 |

3. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|----------|-------------|--------|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Erntekosten | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 4 t/ha | 18,78 | €/t FM | | |
| Trockenmasse (netto) | 1,4 t/ha | 53,66 | €/t TM | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,16 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,54 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 40 m³, 10,6 t; 200 kW | 0,3 | 3,33 | 24,42 | 12,17 | 2,31 | 0,19 | 4,15 | 5,6 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,3 | 0 | 2,43 | 1,13 | 0,27 | 0,01 | 0,56 | 0,46 |
| | 1,1 | | 61,92 | 31,65 | 6,3 | 0,35 | 11,89 | 11,73 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 127: Kosten Ladewagenkette Raisting – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------|-----|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 18,5 t/ha | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 9 t/ha | Erntekosten | 10,92 | €/t | |
| Trockenmasse (netto) | 3,15 t/ha | Erntekosten | 31,21 | €/t | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,37 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,59 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 28 m³, 7 t; 102 kW | 0,7 | 1,54 | 42,47 | 22,43 | 4 | 0,44 | 7,73 | 7,87 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,7 | 0 | 5,4 | 2,52 | 0,6 | 0,01 | 1,25 | 1,02 |
| | 2 | | 74,3 | 34,99 | 6,78 | 0,65 | 17,35 | 14,53 |

2. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 16,5 t/ha | Erntekosten | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 8 t/ha | 11,28 | €/t FM | | |
| Trockenmasse (netto) | 2,8 t/ha | 32,22 | €/t TM | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 28 m³, 7 t; 102 kW | 0,6 | 1,72 | 37,68 | 19,58 | 3,5 | 0,39 | 6,82 | 7,39 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,6 | 0 | 4,69 | 2,18 | 0,52 | 0,01 | 1,09 | 0,89 |
| | 1,8 | | 68,61 | 31,8 | 6,2 | 0,6 | 16,28 | 13,73 |

3. Schnitt

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Erntekosten | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 3 t/ha | 20,78 | €/t FM | | |
| Trockenmasse (netto) | 1,05 t/ha | 59,37 | €/t TM | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 28 m³, 7 t; 102 kW | 0,4 | 3,03 | 17,59 | 8,16 | 1,52 | 0,21 | 3,43 | 4,27 |
| Radlader, 13,5 t, 105 kW; Leichtgutschaufel, 4 m³ | 0,4 | 0 | 1,71 | 0,8 | 0,19 | 0 | 0,4 | 0,32 |
| | 1,4 | | 45,54 | 19 | 3,89 | 0,41 | 12,2 | 10,04 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 128: Kosten Ballenkette Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-------------|-------|-----|--|--|--|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 20 t/ha | | | | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 10 t/ha | Ertekkosten | 25,06 | €/t | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 3,5 t/ha | Ertekkosten | 71,59 | €/t | | | | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | | | | |

| Teilarbeit | Zeit | Leistung | Maschinenkosten | Abschreibung | Zinsansatz | Versicherung | Reparaturen | Betriebsstoffe |
|---|------------|----------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
| | [Akh/ha] | [ha/h] | Summe | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] |
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,75 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 4,13 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5,56 | 57,19 | 24,52 | 4,09 | 0,14 | 16,28 | 12,16 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,8 | 1,75 | 63,41 | 11,56 | 2,43 | 0,21 | 9,78 | 39,43 |
| Doppelzug je 14 t, Dreiseitenkipphanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 2,1 | 0 | 49,9 | 21,47 | 5,34 | 1,2 | 18,56 | 3,33 |
| | 3,7 | | 206,16 | 75,9 | 15,58 | 1,7 | 51,8 | 61,18 |

2. Schnitt

| | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|-------|--------|--|--|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 12,4 t/ha | Ertekkosten | | | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 6 t/ha | | 27,80 | €/t FM | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 2,1 t/ha | | 79,43 | €/t TM | | | | |

| Teilarbeit | Zeit | Leistung | Maschinenkosten | Abschreibung | Zinsansatz | Versicherung | Reparaturen | Betriebsstoffe |
|---|------------|----------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| | [Akh/ha] | [ha/h] | Summe | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] |
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,37 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,75 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5 | 32,43 | 13,51 | 2,34 | 0,15 | 9,34 | 7,09 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,6 | 2,38 | 39,99 | 7,47 | 1,59 | 0,16 | 6,71 | 24,06 |
| Doppelzug je 14 t, Dreiseitenkipphanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 1,2 | 0 | 27,9 | 11,89 | 2,95 | 0,67 | 10,36 | 2,03 |
| | 2,6 | | 135,6 | 51,22 | 10,6 | 1,13 | 33,59 | 39,06 |

3. Schnitt

| | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------|--------|--|--|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Ertekkosten | | | | | | |
| Frischmasse angewelkt (35% TM) | 3 t/ha | | 47,64 | €/t FM | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 1,05 t/ha | | 136,11 | €/t TM | | | | |

| Teilarbeit | Zeit | Leistung | Maschinenkosten | Abschreibung | Zinsansatz | Versicherung | Reparaturen | Betriebsstoffe |
|---|------------|----------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| | [Akh/ha] | [ha/h] | Summe | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] | [€/ha] |
| 9,7 m, 225 kW Selbstfahrer | 0,2 | 7,69 | 24,16 | 14,42 | 2,89 | 0,07 | 3,24 | 3,54 |
| 8,5 m; 67 kW | 0,3 | 5,26 | 10,91 | 3,93 | 0,83 | 0,08 | 3,94 | 2,13 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5,56 | 26,55 | 10,98 | 1,92 | 0,14 | 7,66 | 5,85 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,5 | 2,86 | 28,94 | 5,55 | 1,19 | 0,14 | 5,29 | 16,77 |
| Doppelzug je 14 t, Dreiseitenkipphanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 1 | 0 | 24,76 | 10,46 | 2,59 | 0,59 | 9,18 | 1,94 |
| | 2,3 | | 115,32 | 45,34 | 9,42 | 1,02 | 29,31 | 30,23 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 129: Kosten Ballenkette Raisting – KTBL Planungsdaten

1. Schnitt

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|-------|-----|--|--|--|--|
| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | | | | |
| Parzellengröße | 2 ha | | | | | | | |
| Frischmasse brutto (17% TM) | 18,5 t/ha | | | | | | | |
| Frischmasse angelwelkt (35% TM) | 9 t/ha | Erntekosten | 27,10 | €/t | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 3,15 t/ha | Erntekosten | 77,42 | €/t | | | | |
| Lohnansatz | 12 €/h | | | | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,37 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,59 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5,56 | 50,77 | 21,67 | 3,64 | 0,14 | 14,47 | 10,86 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,8 | 1,92 | 58,01 | 10,6 | 2,23 | 0,19 | 9,03 | 35,96 |
| Doppelzug je 8 t, Dreiseitenkippanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 2,5 | 0 | 58,265 | 25,09 | 6,2 | 1,46 | 21,93 | 3,585 |
| | 4,2 | | 193,47 | 67,4 | 14,245 | 1,99 | 53,795 | 56,04 |

2. Schnitt

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------|--|--|--|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 16,5 t/ha | Erntekosten | | | | | | |
| Frischmasse angelwelkt (35% TM) | 8 t/ha | 26,98 | €/t FM | | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 2,8 t/ha | 77,07 | €/t TM | | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5,56 | 44,34 | 18,82 | 3,18 | 0,14 | 12,65 | 9,55 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,7 | 2,08 | 51,02 | 9,39 | 1,98 | 0,18 | 8,13 | 31,34 |
| Doppelzug je 8 t, Dreiseitenkippanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 2,1 | 0 | 49,8 | 21,44 | 5,3 | 1,25 | 18,74 | 3,07 |
| | 3,7 | | 171,4 | 59,69 | 12,64 | 1,77 | 47,89 | 49,41 |

3. Schnitt

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------|--|--|--|--|--|
| Frischmasse brutto (17% TM) | 6,2 t/ha | Erntekosten | | | | | | |
| Frischmasse angelwelkt (35% TM) | 3 t/ha | 47,06 | €/t FM | | | | | |
| Trockenmasse (netto) | 1,05 t/ha | 134,47 | €/t TM | | | | | |

| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 Mähwerke in Schubfahrt, 8,5 m; 175 kW | 0,3 | 6,67 | 16,18 | 6,7 | 1,47 | 0,13 | 4,48 | 3,4 |
| 7,5 m; 54 kW | 0,3 | 4,76 | 10,06 | 3,34 | 0,71 | 0,07 | 3,89 | 2,05 |
| 120x70x120cm, 505 kg/Ballen Anwelkgut; 102 kW | 0,3 | 5,56 | 26,55 | 10,98 | 1,92 | 0,14 | 7,66 | 5,85 |
| angehängter Ballenwickler, 505 kg Quader 120*70*120 cm; 54 kW | 0,5 | 2,86 | 28,94 | 5,55 | 1,19 | 0,14 | 5,29 | 16,77 |
| Doppelzug je 8 t, Dreiseitenkippanhänger; Frontlader, 1 900 daN; Quaderballenzange; 83 kW | 1,2 | 0 | 28,26 | 12,11 | 2,99 | 0,71 | 10,62 | 1,83 |
| | 2,6 | | 109,99 | 38,68 | 8,28 | 1,19 | 31,94 | 29,9 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 130: Kosten Gärrestaubsbringung ab Biogasanlage Hinterschmiding – KTBL Planungsdaten

| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | | | | | |
|--|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|--|
| Parzellengröße | 2 ha | | Ausbringkosten | 3,59 €/t Gärrest | | | | | |
| Menge | 13,5 m³/ha | | | | | | | | |
| Lohnansatz | 12 €/AKh | | | | | | | | |
| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] | |
| Pumptankwagen, 15 m³; Schleppschlauchverteiler, 15 m; 120 kW | 0,80 | 1,34 | 38,92 | 13,00 | 2,90 | 0,45 | 15,69 | 6,90 | |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

Tab. 131: Kosten Gärrestaubsbringung Raisting – KTBL Planungsdaten

| Entfernung Hof-Feld | 6 km | | | | | | | |
|---|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Parzellengröße | 2 ha | | Ausbringkosten | 4,07 €/t Gärrest | | | | |
| Menge | 13,5 m³/ha | | | | | | | |
| Lohnansatz | 12 €/AKh | | | | | | | |
| Teilarbeit | Zeit [Akh/ha] | Leistung [ha/h] | Maschinenkosten Summe | Abschreibung [€/ha] | Zinsansatz [€/ha] | Versicherung [€/ha] | Reparaturen [€/ha] | Betriebsstoffe [€/ha] |
| Tauchmotorpumpe Elektromotor, 25 kW | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,14 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,17 |
| Gülletransportanhänger, 15 m³; 83 kW | 0,80 | 0,00 | 12,42 | 4,35 | 0,97 | 0,23 | 4,50 | 2,37 |
| Aufbautank, 15 m³; Schleppschlauchverteiler, 6 m; Selbstfahrer, 30l | 0,40 | 4,01 | 27,72 | 10,95 | 2,48 | 0,22 | 9,60 | 4,48 |
| | 1,20 | 4,01 | 40,51 | 15,44 | 3,49 | 0,45 | 14,12 | 7,02 |

Quelle: KTBL-Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf (ergänzt)

