

Abschlussbericht

Verbundprojekt

Optimierung der nachhaltigen Biomasse- bereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die energetische Verwertung Schwerpunkt Biogasproduktion (GNUT-Biogas)

Projekt-Nr.: 99.21

FKZ: 2200-7509



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

über die



Langtitel: Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die energetische Verwertung Schwerpunkt Biogasproduktion

Kurztitel: GNUT-Biogas

Projektleiter: PD Dr. habil. Hans Hochberg

Abteilung: Tierproduktion

Abteilungsleiter: PD Dr. habil. Hans Hochberg

Projektlaufzeit: 01.05.2010 – 30.09.2014

Projektleitung und Koordination: **Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)**

Beteiligte: **Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL):**
Florian Schmidt, Dr. Katja Gödeke, Dr. Hans Hochberg, Dorit Zopf
Deutscher Grünlandverband (DGV):
Stefan Zart, Elisabeth Hochberg
Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK-NI):
Dr. Matthias Benke, Frerich Wilken, Christian Thomßen
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG):
Dr. Gerhard Riehl, Holger Müller
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):
Dr. Stefan Hartmann, Andrea Wosnitza
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB):
Christiane Manthey, Dr. Monika Heiermann, Dr. Christiane Herrmann
Prof. Annette Prochnow
Büro für Ökologie und Landschaftsplanung (SALIX):
Urs Jäger
BioenergieBeratungBornim GmbH (B³):
Dr. Matthias Plöchl

Veröffentlichung: 15.12.2015

Autoren: Florian Schmidt¹, Katja Gödeke¹, Hans Hochberg¹, Christiane Manthey², Matthias Plöchl³, Annette Prochnow², Christiane Herrmann², Monika Heiermann²

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
² Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
³ BioenergieBeratungBornim GmbH

Für den Endbericht wurden große Teile aus der Dissertationsschrift von Dr. Florian Schmidt (2015) „Alternative Verwertung der Biomasse von Dauergrünland für die Bioenergiegewinnung“ übernommen, die im Rahmen des Projekts erstellt wurde, und mit den weiteren Bearbeitungspunkten im Projekt ergänzt.

Jena, im Dezember 2015



Dr. Armin Vetter
(Stellv. Präsident)



Dr. Hans Hochberg
(Projektleiter)

Inhalt

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
1	Einleitung 16
2	Literatur 17
2.1	Dauergrünland in Deutschland 17
2.1.1	<i>Pflanzengesellschaften</i> 20
2.1.2	<i>Bewirtschaftung</i> 22
2.2	Qualitätsanforderungen an die Dauergrünlandbiomasse 25
2.2.1	<i>Milchviehfütterung</i> 25
2.2.2	<i>Stoffliche Verwertung</i> 27
2.2.3	<i>Energetische Verwertung</i> 27
2.3	Potenziale von Dauergrünlandbiomasse 34
2.4	Treibhausgas- und Energiebilanzierung 35
3	Material und Methoden 36
3.1	Versuchsanlage und -durchführung 36
3.1.1	<i>Standorte, Witterung und Nutzungsvarianten</i> 36
3.1.2	<i>Probenahme, -aufbereitung und -analysen</i> 45
3.2	Durchführung der Batchtests 49
3.3	Ökologische Erhebungen 49
3.4	Bilanzierungsmethoden 50
3.4.1	<i>Nährstoffbilanz</i> 50
3.4.2	<i>Treibhausgas- und Energiebilanzen</i> 51
3.5	Ökonomische Modelle 56
3.5.1	<i>Biomasseherstellungskosten</i> 56
3.5.2	<i>Verfahrensbewertung der Verwertung von Dauergrünlandbiomasse</i> 57
3.6	Berechnung des Biomassepotenzials vom Dauergrünland in Deutschland 67
3.7	Biostatistische Auswertung 70

4	Ergebnisse	71
4.1	Erträge vom Dauergrünland	71
4.2	Biomassequalität vom Dauergrünland	78
4.3	Methanausbeuten und Methanhektarerträge	94
4.4	Ökologische Bewertung der Nutzungsvarianten	103
4.4.1	<i>Pflanzenbestandsentwicklung</i>	103
4.4.2	<i>Nährstoffbilanz</i>	108
4.4.3	<i>Treibhausgas- und Energiebilanzen</i>	111
4.5	Wirtschaftlichkeit der Verwertung von Dauergrünland- biomasse	120
4.5.1	<i>Biomasseherstellungskosten</i>	120
4.5.2	<i>Verfahrensbewertung der Verwertung von Dauergrünlandbio- masse</i>	122
4.6	Biomassepotenzial vom Dauergrünland in Deutschland	130
5	Diskussion	138
6	Handlungsempfehlungen	155
7	Zusammenfassung	158
8	Literaturverzeichnis	160
9	Anhang	171

Abkürzungsverzeichnis

ADF _{org}	saure Detergenzienfaser (acid detergent fiber)
ADL	säureunlösliches Lignin (acid detergent lignin)
BS	Buttersäure
CL	Cellulose
CS	Capronsäure
DGL	Dauergrünland
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
ES	Essigsäure
EulOS	Enzymunlösliche organische Substanz
FM	Frischmasse
FoTS	fermentierbare organische Substanz
GL	Grünland
HC	Hemicellulose
iBS	Iso-Buttersäure
iVS	Iso-Valeriansäure
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
ME	umsetzbare Energie (metabolisable energy)
MS	Milchsäure
NDF _{org}	neutrale Detergenzienfaser (neutral detergent fiber)
NEL	Netto-Energie-Laktation
NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
NN	Normal Null
OR	organischer Rest
OS	organische Substanz
oTM	organische Trockenmasse
PS	Propionsäure
RA	Rohasche
RF	Rohfaser
RL	Rohfett
RP	Rohprotein
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VS	Valeriansäure

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Grünlandanteile [%] und Veränderung der Dauergrünlandanteile an der LF [%] der einzelnen Bundesländer und Deutschland im Zeitraum 2003 bis 2012 (BEHM, 2012)	18
Abbildung 2: Rinder- und Schafbestand 1990 bis 2013 (*weibliche Schafe und Schafböcke zur Zucht) (DESTATIS, 2014)	19
Abbildung 3: Entwicklung von Milchertrag [kg Jahr ⁻¹], Anzahl Milchkühe und Milcherzeugung [1 000 t Jahr ⁻¹] in Deutschland 1991 bis 2013 (BLE, 2013)	19
Abbildung 4: Dauergrünlandtypen in einem Feuchtigkeits-Intensitäts-Ökogramm (nach DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002)	22
Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Methanhektarertrag vom Dauergrünland in Anlehnung an Prochnow et al. (2007b)	30
Abbildung 6: Lage der untersuchten produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften	36
Abbildung 7: Mittlere Methanausbeuten mit Spannweiten der Dauergrünlandpflanzengesellschaften als gewichtetes Mittel der Nutzungsvariante [I _N kg ⁻¹ oTM]	98
Abbildung 8: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der dezentralen Verbrennung im Biomasseheizwerk 300 kW	111
Abbildung 9: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der zentralen Verbrennung im Biomasseheizkraftwerk 8 MW (2,5 MW _{el} , 5,5 MW _{th})	112
Abbildung 10: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der dezentralen Verbrennung im Biomasseheizwerk 300 kW (LUC = Land Use Change)	113
Abbildung 11: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der zentralen Verbrennung im Biomasseheizkraftwerk 8 MW (2,5 MW _{el} , 5,5 MW _{th}); (LUC = Land Use Change)	113
Abbildung 12: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen	115
Abbildung 13: Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung der Dauergrünland-Typen aus der Biogasgewinnung in Neuanlagen	115
Abbildung 14: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogaserzeugung in Altanlagen	116
Abbildung 15: Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogaserzeugung in Altanlagen	116
Abbildung 16: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der DGL-Typen im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen	118
Abbildung 17: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der DGL-Typen im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Altanlagen	118
Abbildung 18: Konkurrenzpreis von Grassilage zum Maissilagepreis in Abhängigkeit von der Methanausbeute der Grassilage	129

	Seite
Abbildung 19: Übersicht über Anzahl und die jeweiligen Anteile einzelner Dauergrünlandpflanzengesellschaften am Gesamt-Dauergrünland eines Bundeslandes (in %) 2009	132
Abbildung 20: Jeweiliger Anteil an GL-Flächen mit Agrarumweltmaßnahmen an der Gesamt-GL-Fläche eines Bundeslandes (in %) 2009, einschließlich Kennzeichnung des Anteils vorwiegend produktiver GL-Typen am Gesamt-GL eines Bundeslandes	133
Abbildung 21: Anzahl RGV (in Mio. Stück) und gesamt GL-Fläche (in Mio. ha) je Bundesland (2009)	135
Abbildung 22: Korrelationskoeffizienten nach Kendall der Silageinhaltsstoffe und Silierparameter zu den Methanausbeuten (wobei ES - Essigsäure, iBS - Isobuttersäure, BS - Buttersäure, iVS - Isovaleriansäure, VS - Valeriansäure, CS - Capronsäure, MS - Milchsäure), * nicht signifikant bei $\alpha > 0,05$	143
Abbildung 23: Nettoenergieerträge (in MWh ha ⁻¹ a ⁻¹) der Nutzungskonzepte der Energiebereitstellung repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften in Abhängigkeit vom Netto- TM-Ertrag (in t TM ha ⁻¹ a ⁻¹)	149
Abbildung 24: Treibhausgaseinsparpotenziale (in t CO _{2eq} ha ⁻¹ a ⁻¹) der Nutzungskonzepte der Energiebereitstellung repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften in Abhängigkeit vom Netto- TM-Ertrag (in t TM ha ⁻¹ a ⁻¹)	149
Im Anhang:	
Abbildung A 1: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	171
Abbildung A 2: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	171
Abbildung A 3: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der Wiesenfuchsschwanzwiese in Sachsen mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	172
Abbildung A 4: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der Glatthaferwiese in Thüringen mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	172
Abbildung A 5: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 des Montanen Intensivgrünlands Thüringen mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	173
Abbildung A 6: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen	173

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Qualitätsparameter für Anwelksilage in der Milchvieh- und Rinderfütterung	26
Tabelle 2: Qualitätsmerkmale halmgutartiger Biomasse für die Verbrennung und die davon beeinflussten brenntechnischen Größen (Zusammenfassung aus HARTMANN ET AL., 2000; LAUNHARDT, 2002; VETTER, 2003 in GÖDEKE ET AL., 2011)	28
Tabelle 3: DLG-Zielwerte der Silagequalität für die Biogasproduktion (Gerighausen, 2011)	29
Tabelle 4: Pflanzengesellschaften und Anbauggebiete Grünland/Futterbau (Graf et al., 2009) im Versuch sowie die Ausprägung zu Versuchsbeginn und die jeweiligen bestandesprägenden Arten	37
Tabelle 5: Standortcharakteristika der Versuchsstandorte	38
Tabelle 6: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn mit Spannweiten in Klammern und Einordnung in die entsprechenden Gehaltsklassen	39
Tabelle 7: Düngungsregime der Versuchsflächen [kg ha ⁻¹] differenziert nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Nutzungsvariante	41
Tabelle 8: Schnitttermine im Mittel der Versuchsjahre 2010 bis 2013 nach Nutzungsvarianten und Aufwuchs am jeweiligen Versuchsstandort	43
Tabelle 9: Gemittelter Vegetationsbeginn (Spannweiten in Klammern) im Versuchszeitraum 2010 bis 2013 an den Versuchsstandorten	44
Tabelle 10: Übersicht der Niederschlagsmengen [mm] sowie der Temperatur [°C] im Mittel der Versuchsjahre bzw. Vegetationszeiträume 2010 bis 2013	45
Tabelle 11: Analyseverfahren und Normen der im Grüngut untersuchten Parameter	46
Tabelle 12: Analyseverfahren und Normen der in den Silagen untersuchten Parameter	48
Tabelle 13: Analyseverfahren und Normen der Untersuchungsparameter im Boden	48
Tabelle 14: Energie- und Emissionsfaktoren der Energieträger und Betriebsmittel inkl. Vorketten (GEMIS, 2012; MEYER-AURICH, 2005)	52
Tabelle 15: Annahmen zu den Arbeitsschritten für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten	56
Tabelle 16: Annahmen zu Arbeits-, Maschinen- und Direktkosten für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten in Anlehnung an die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (GRÄFE, 2014)	57
Tabelle 17: Schnitthäufigkeit, Schnitttermine und Düngung der den Erhaltungszustand sichernden Nutzungsvarianten der untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Projekt GNUT-Verbrennung	58
Tabelle 18: Eingangsdaten Verfahrensbewertung Heuverbrennung (vgl. Endbericht GNUT-Verbrennung)	59
Tabelle 19: Annahmen zu den Nutzungskonzepten der Biogasgewinnung	61
Tabelle 20: Grünlandanteil der Bundesländer in % der Gesamtbodenfläche	62
Tabelle 21: Technik und Maschinenkosten (nach KTBL MaKost 2013) für den Heutransport	62

	Seite
Tabelle 22: Durchschnittliche Betriebsgröße und Schätzungen zur Prämienzahlung je Bundesland	63
Tabelle 23: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Heuverbrennung	64
Tabelle 24: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Biogasgewinnung	65
Tabelle 25: Ausgewählte Vergütungssätze für Strom aus fester Biomasse und aus Biogas nach dem EEG 2012 (ct kWh _{el} ⁻¹) für das Inbetriebnahmejahr 2014	66
Tabelle 26: Ausgewählte Vergütungssätze für Strom aus Biogas nach dem EEG 2009 (ct kWh _{el} ⁻¹) für das Inbetriebnahmejahr 2009	66
Tabelle 27: Hauptdatengrundlagen zur Berechnung des deutschlandweiten Potenzials an zur Verfügung stehender Grünlandbiomasse für die energetische Verwertung	68
Tabelle 28: Annahmen für die Berechnung des Futtermittelsverbrauchs der RGV zur Potenzialberechnung	69
Tabelle 29: Mittlere Wuchszeiten der einzelnen Aufwüchse (in Tagen) der Versuchsjahre 2010 bis 2013 nach Standort und Nutzungsvariante, mit den entsprechenden Spannweiten (Werte in Klammern)	72
Tabelle 30: Signifikanzen der Effekte Nutzungsvariante und Versuchsjahr sowie deren Interaktion als Einfluss auf den Trockenmasseertrag (Ergebnisse des F-Tests)	74
Tabelle 31: LSMEANS der Trockenmasseerträge [dt ha ⁻¹] mit Standardfehler (SE) in Klammern und Schnittanzahl [n] der unterschiedlichen Nutzungsvarianten pro Dauergrünlandpflanzengesellschaft in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre (Fett markiert sind jeweils die höchsten Erträge eines Versuchsjahres/im Mittel der Versuchsjahre je Pflanzengesellschaft)	75
Tabelle 32: Futterqualität im Grüngut des Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n=4)	79
Tabelle 33: Futterqualität im Grüngut der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n=4)	80
Tabelle 34: Futterqualität im Grüngut der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)	81
Tabelle 35: Futterqualität im Grüngut der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten, je n=3)	82
Tabelle 36: Futterqualität im Grüngut der Glatthaferwiese Thüringen nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)	83
Tabelle 37: Futterqualität im Grüngut des Montanen Intensivgrünlands Thüringen nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)	84
Tabelle 38: Futterqualität im Grüngut der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2011 und 2013 mit Spannweiten, je n=3)	85

Tabelle 39:	Ertragsgewichtete Mittel der Grüngutqualitätsparameter für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, dargestellt nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Nutzungsvariante der Versuchsjahre 2010 bis 2013, je n=16	87
Tabelle 40:	Gärqualität der Silagen des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n= 3)	88
Tabelle 41:	Gärqualität der Silagen der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	89
Tabelle 42:	Gärqualität der Silagen der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	90
Tabelle 43:	Gärqualität der Silagen der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	90
Tabelle 44:	Gärqualität der Silagen der Glatthaferwiese Thüringen nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	91
Tabelle 45:	Gärqualität der Silagen des Montanen Intensivgrünlands Thüringen nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	92
Tabelle 46:	Gärqualität der Silagen der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	93
Tabelle 47:	Methanausbeuten [$\text{N kg}^{-1} \text{ oTM}$] der Silagen entsprechender Aufwüchse, Nutzungsvarianten und Dauergrünlandpflanzengesellschaften (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	95
Tabelle 48:	Signifikanzen der Effekte Nutzungsvariante und Versuchsjahr sowie deren Interaktion als Einfluss auf den Methanhektarertrag (Ergebnisse des F-Tests)	98
Tabelle 49:	LSMEANS der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ ha}^{-1}$] mit Standardfehler (SE) in Klammern der unterschiedlichen Nutzungsvarianten pro Dauergrünlandpflanzengesellschaft in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre (Fett markiert sind jeweils die höchsten Methanhektarerträge eines Versuchsjahres/im Mittel der Versuchsjahre je Pflanzengesellschaft)	100
Tabelle 50:	Vegetationskundliche Bewertung der Pflanzenbestände nach Artenzahl und Grünlandwert in den einzelnen Versuchsjahren und Nutzungsvarianten	103
Tabelle 51:	Vegetationskundliche Bewertung der Pflanzenbestände nach Schichtungsindex und Kräuteranteil in den einzelnen Versuchsjahren und Nutzungsvarianten	107
Tabelle 52:	Über symbiotische Stickstofffixierung fixierte mittlere Stickstoffmenge der Versuchsjahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern	108
Tabelle 53:	Stickstoffbilanzierung des Versuchszeitraums 2010 bis 2013 mit Spannweiten	110
Tabelle 54:	Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung aus der thermischen Verwertung der Dauergrünlandpflanzengesellschaften	112

	Seite
Tabelle 55: Landnutzungsreferenz Intensivierung: mittlerer Flächenbedarf und Treibhausgasemissionen der Versuchsjahre (2011-2013)	119
Tabelle 56: Biomasseherstellungskosten [Euro] bezogen auf Hektar, Tonne Silage-TM und Tonne Silage-FM, die Netto-TM-Erträge und die Silageerträge als Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 (fettmarkierte Werte sind jeweils die günstigste Nutzungsvarianten)	121
Tabelle 57: Bereitstellungskosten von Heuquaderballen frei Biomasseheiz(kraft)werk	123
Tabelle 58: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Heuverbrennung	124
Tabelle 59: Bereitstellungskosten von Grassilage frei Biogasanlage (fettgedruckt sind jeweils die vorzüglichsten Nutzungsvarianten bzw. die besten Werte)	126
Tabelle 60: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasgewinnung in Neuanlagen	127
Tabelle 61: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasgewinnung in Altanlagen	128
Tabelle 62: GL-Typen und deren Anteile an der Gesamt-Dauergrünlandfläche im jeweiligen Bundesland (Angaben aus dem jeweiligen BL, wenn nicht anders gekennzeichnet)	131
Tabelle 63: Ertragsszenario A Jahresnetto-Erträge (in 1.000 t) der verschiedenen Grundfutterflächen und Bundesländer sowie insgesamt für Deutschland (2009)	133
Tabelle 64: Ertragsszenario B Jahresnetto-Erträge (in 1.000 t) der verschiedenen Grundfutterflächen und Bundesländer sowie insgesamt für Deutschland (2030)	134
Tabelle 65: Futtermengen (in 1.000 t TM Jahr ⁻¹) zur bedarfsgerechten Versorgung der RGV in den einzelnen BL und Deutschland gesamt	135
Tabelle 66: Gegenüberstellung des Grundfutterbedarfs RGV und der Gesamt-Grundfutter-Flächen-Erträge 2009 (Szenario A) und „2030“ (Szenario B) sowie Darstellung der berechneten Grundfutterbilanz 2009 und 2030 (alles in 1.000 t TM Jahr ⁻¹) je Bundesland und für Deutschland gesamt	136
Tabelle 67: Gesamt-GL-Biomasse-Erträge (in 1.000 t TM Jahr ⁻¹) sowie der relative GL-Biomasse-Überschuss (in %) und die resultierende potenzielle GL-Biomassemenge zur energetischen Verwertung (in 1.000 t TM Jahr ⁻¹) in 2009 (Szenario A) und „2030“ (Szenario B) je Bundesland und für Deutschland gesamt	137
Tabelle 68: TM-Erträge [dt ha ⁻¹], Methanausbeuten [l _N kg ⁻¹ oTM] sowie Methanhektarerträge [m ³ _N ha ⁻¹] der Nutzungsvarianten 1 und 2 als Mittelwerte ab dem 3. Aufwuchs der Versuchsjahre 2011 bis 2013 (mit Spannweiten)	145
Tabelle 69: Wirtschaftlich günstigste Nutzungsvarianten der Grünlandstandorte für die Biogasgewinnung	151
Tabelle 70: Übersicht über den Zusammenhang zwischen relativem GL-Überschuss (in %) und dem Anteil Mutterkühe an der Gesamt-RGV-Anzahl (in %) bzw. dem RGV-Besatz pro Hektar Grünland je Bundesland in 2009	153
Tabelle 71: Tatsächliche Biogasanlagenleistung 2009 (in MW _{el}) sowie die potenzielle GL-Biomasse zur energetischen Verwertung 2009 und 2030 (in 1 000 t TM Jahr ⁻¹) und die dadurch potenzielle zusätzliche Biogasanlagenleistung 2009 und 2030 (in MW _{el}) pro Bundesland und in Deutschland gesamt	154

Tabelle 72:	Vorzügliche Bewirtschaftungsvarianten der extensiven Standorte zur Heuproduktion hinsichtlich der GL-Typ-Erhaltung, Ökonomie der Biomasseherstellung und -verwertung sowie der Energieeffizienz in zentralen und dezentralen Anlagen, dem THG-Einsparpotenzial und letztlich Ausweisung der Empfehlungsvarianten aus dem GNUT-Projekt (Nutzungsvarianten, Qualitäten, Verwertungseigenschaften siehe GÖDEKE ET AL., 2011)	155
Tabelle 73:	Vorzügliche Bewirtschaftungsvarianten der produktiven Standorte zur Biogasproduktion hinsichtlich der GL-Typ-Erhaltung, Ökonomie der Biomasseherstellung und -verwertung sowie dem Energie-Nettoertrag in Verbindung mit der Energieeffizienz, dem THG-Einsparpotenzial und letztlich Ausweisung der Empfehlungsvarianten aus dem GNUT-Projekt	156
Im Anhang:		
Tabelle A 1:	Pflanzenbestand des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps (Niedersachsen) nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	174
Tabelle A 2:	Pflanzenbestand der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	175
Tabelle A 3:	Pflanzenbestand der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	176
Tabelle A 4:	Pflanzenbestand der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	177
Tabelle A 5:	Pflanzenbestand der Glatthaferwiese Thüringen nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	178
Tabelle A 6:	Pflanzenbestand des Montanen Intensivgrünlands Thüringen nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	179
Tabelle A 7:	Pflanzenbestand der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr	180
Tabelle A 8:	Schnitttermine der einzelnen Aufwüchse, Nutzungsvarianten, Versuchsjahre und Dauergrünlandpflanzengesellschaften	181
Tabelle A 9:	TM-Erträge [dt ha ⁻¹] der einzelnen Aufwüchse der Nutzungsvarianten, Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Versuchsjahre mit Spannweiten in Klammern	185
Tabelle A 10:	Futterqualität im Grüngut im Mittel der Versuchsjahre nach Nutzungsvarianten mit Spannweiten in Klammern	188
Tabelle A 11:	Futterqualität in der Silage des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen (Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)	189
Tabelle A 12:	Futterqualität in der Silage der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) (Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)	190
Tabelle A 13:	Futterqualität in der Silage der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)	191
Tabelle A 14:	Futterqualität in der Silage der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)	192

	Seite
Tabelle A 15: Futterqualität in der Silage der Glatthaferwiese Thüringen (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)	194
Tabelle A 16: Futterqualität in der Silage des Montanen Intensivgrünlands Thüringen (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)	195
Tabelle A 17: Futterqualität in der Silage der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) (Mittelwerte der Jahre 2011 und 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)	196
Tabelle A 18: Futterqualität in der Silage im Mittel der Versuchsjahre nach Nutzungsvarianten mit Spannweiten in Klammern	197
Tabelle A 19: Ertragsgewichtete Mittel der Silagequalitätsparameter für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, entsprechend der Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten der Versuchsjahre 2011 bis 2013, je n=12	198
Tabelle A 20: Mittelwerte der Methanausbeuten [$l_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$] und Netto-TM-Erträge [dt ha^{-1}] sowie Mittelwerte der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$] mit Spannweiten in Klammern (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p \leq 0,05$ innerhalb Dauergrünlandpflanzengesellschaft zwischen den Nutzungsvarianten)	199
Tabelle A 21: Pflanzengesellschaft und Anbaugesamt Grünland/Futterbau (GRAF ET AL., 2009) am Versuchsstandort Triesdorf sowie die Ausprägung zu Versuchsbeginn und die jeweiligen bestandesprägenden Arten	199
Tabelle A 22: Standortcharakteristika des Versuchsstandortes Triesdorf	199
Tabelle A 23: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn mit Spannweiten in Klammern und Einordnung in die entsprechenden Gehaltsklasse am Standort Triesdorf	199
Tabelle A 24: Gemittelter Vegetationsbeginn (Spannweiten in Klammern) im Versuchszeitraum 2010 bis 2013 am Versuchsstandort Triesdorf	199
Tabelle A 25: Übersicht der Niederschlagsmengen [mm] sowie der Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] im Mittel der Versuchsjahre bzw. Vegetationszeiträume 2010 bis 2013 am Standort Triesdorf	200
Tabelle A 26: Schnitttermine der einzelnen Aufwüchse, Nutzungsvarianten und Versuchsjahre am Standort Triesdorf	200
Tabelle A 27: TM-Erträge [dt ha^{-1}] der einzelnen Aufwüchse der Nutzungsvarianten und Versuchsjahre mit Spannweiten in Klammern am Standort Triesdorf	201
Tabelle A 28: Futterqualität im Grüngut der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) (Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)	202
Tabelle A 29: Futterqualität in der Silage der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) (Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)	203
Tabelle A 30: Gärqualität der Silagen der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3	203
Tabelle A 31: Mittel der Silagequalitätsparameter der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, dargestellt nach Nutzungsvariante der Versuchsjahre 2011 bis 2013, je n=12	203

	Seite
Tabelle A 32: Methanausbeuten [$l_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$] der Silagen entsprechender Aufwüchse, Nutzungsvarianten der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je $n=3$	204
Tabelle A 33: Mittelwert der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$] mit Spannweite in Klammern der unterschiedlichen Nutzungsvarianten der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken) in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre	204
Tabelle A 34: Nutzungsdauer und Gewicht der eingesetzten Maschinen in den Verbrennungsvarianten	205
Tabelle A 35: Nutzungsdauer und Gewichte der eingesetzten Maschinen in den Biogasvarianten	205
Tabelle A 36: Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennung , Nutzungskonzept dezentrale Verbrennung (300 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	206
Tabelle A 37: Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennung , Nutzungskonzept zentrale Verbrennung (8 MW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	207
Tabelle A 38: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Neuanlagen (500 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	208
Tabelle A 39: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Neuanlagen (400 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	209
Tabelle A 40: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Neuanlagen (250 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	210
Tabelle A 41: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Altanlagen (500 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	211
Tabelle A 42: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Altanlagen (400 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	212
Tabelle A 43: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung , Nutzungskonzept Altanlagen (250 kW) , Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten	213
Tabelle A 44: Energiebilanzen in $\text{kWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: dezentralen Verbrennung , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	214
Tabelle A 45: Energiebilanzen in $\text{kWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: zentralen Verbrennung , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	215
Tabelle A 46: Treibhausgasbilanzen in $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: dezentralen Verbrennung , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	216
Tabelle A 47: Treibhausgasbilanzen in $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: zentralen Verbrennung , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	217
Tabelle A 48: Energiebilanzen in $\text{kWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: Biogasgewinnung in Neuanlagen , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	218

	Seite
Tabelle A 49: Energiebilanzen in kWh ha ⁻¹ a ⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: Biogasgewinnung in Altanlagen , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	222
Tabelle A 50: Treibhausgasbilanzen in kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: Biogasgewinnung in Neuanlagen , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	226
Tabelle A 51: Treibhausgasbilanzen in kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: Biogasgewinnung in Altanlagen , Auswertung der einzelnen Versuchsjahre	230

1. Einleitung

Dauergrünland hat aufgrund seiner Multifunktionalität, die sowohl die Futterproduktion für Nutztiere als auch wichtige Funktionen im Agrarökosystem umfassen, eine große Bedeutung und wird deshalb seitens der EU mit dem Dauergrünlanderhaltungsgebot besonders geschützt. Dauergrünland ist durch Nutzung entstanden und kann zur Erfüllung der Funktionen und Ökosystemleistungen auch nur durch eine regelmäßige Nutzung erhalten werden. Durch sinkende Tierbestände fallen jedoch viele Dauergrünlandflächen aus der Bewirtschaftung bzw. werden suboptimal bewirtschaftet, können dadurch verbuschen und sogar gänzlich wieder zu Wald werden. Auch wenn es bei Nichtnutzung der Flächen nicht direkt zur Verbuschung kommen sollte, so doch zu einer Verarmung bzw. Überprägung der standorttypischen Artenzusammensetzung. Auch die steigenden Anforderungen an die Qualität der Dauergrünlandbiomasse seitens der Tierernährung können zu einer Nichtnutzung von Dauergrünlandflächen führen, wenn diese, aufgrund von Standortbedingungen und Pflanzenbestand, entsprechende Qualitäten nicht bereitstellen können.

Da der Schutz des Dauergrünlandes jedoch ein politisch und gesellschaftlich wichtiges Ziel darstellt, ist eine weitere Nutzung zu realisieren, welche für den Landwirt wirtschaftlich vertretbar sein muss, um die Kontinuität der Nutzung zu gewährleisten. Daher ist es besonders wichtig für repräsentative Dauergrünlandgesellschaften Deutschlands Aussagen zu einer alternativen Verwertung von Grünlandaufwüchsen treffen zu können.

Eine alternative Verwertung stellt die Nutzung von Dauergrünlandbiomasse als Substrat für die Biogasproduktion dar. Zahlreiche Untersuchungen sind zu dieser Thematik bereits durchgeführt worden. Die Untersuchungen umfassen neben Aspekten des Anbaus, wie Grasarten und Bewirtschaftung, auch technische Aspekte der Ernte, Silierung und Biogastechnologie, wie auch ökonomische und ökologische Aspekte, bis hin zu Formeln zur Berechnung zu erwartender Biogas- und Methanausbeuten anhand der Inhaltsstoffe. Jedoch beziehen sich diese Untersuchungen teilweise nur auf einzelne Gräser bzw. Dauergrünlandpflanzengesellschaften und aufgrund der teils unterschiedlichen Methoden lassen sich diese Untersuchungen nur begrenzt oder gar nicht miteinander vergleichen.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, unter Verwendung einheitlicher Methoden, die alternative Verwertung sieben produktiver und für Deutschland repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften bei Bewirtschaftung mit vier verschiedenen Nutzungsvarianten zu untersuchen und die jeweils zweckmäßigste Nutzungsvariante am Standort für die Biogasproduktion zu identifizieren. Dazu werden diese identifizierten Nutzungsvarianten neben ihrer TM-Erträge, Biomassequalitäten, Methanausbeuten und Methanhektarerträge auch anhand ihres Einflusses auf die Pflanzenbestände sowie anhand der Wirtschaftlichkeit beurteilt. Die Untersuchungen werden komplettiert durch die Erstellung von Nährstoff-, Treibhausgas- und Energiebilanzen sowie die Berechnung des möglichen Dauergrünlandbiomassepotenzials, welches dieser Verwertung zur Verfügung stünde.

Aufgrund der Multifunktionalität von Dauergrünland ist der Erhalt von Dauergrünlandpflanzengesellschaften eine wichtige Ökosystemdienstleistung. Wenn diese Flächen nicht aus ökonomischen Gründen vom Bewirtschafter aufgegeben werden sollen, müsste die Gesellschaft die Kosten für Pflege und Erhaltung dieser Dauergrünlandpflanzengesellschaften mittragen.

2. Literatur

2.1. Dauergrünland in Deutschland

Eine rechtliche Definition von Dauergrünland geben die Durchführungsbestimmungen zur Betriebsprämienregelung VO (EG) Nr. 1120/2009 (EU, 2009). Danach wird Dauergrünland definiert als: „Flächen, die durch Einsaat oder auf natürliche Weise (Selbstaussaat) zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht Bestandteil der Fruchtfolge des landwirtschaftlichen Betriebs waren, ausgenommen Flächen im Rahmen von Stilllegungsregelungen gemäß der Verordnung (EWG) Nr. 2078/92 des Rates zu diesem Zweck sind „Gras oder andere Grünfütterpflanzen“ alle Grünpflanzen, die herkömmlicherweise in natürlichem Grünland anzutreffen oder normalerweise Teil von Saatgutmischungen für Grünland oder Wiesen in dem Mitgliedstaat sind (unabhängig davon, ob die Flächen als Viehweiden genutzt werden).“

Dauergrünland besitzt wichtige Funktionen in Agrarökosystemen (ISSELSTEIN, 2010). Die wichtigste Funktion ist die Futterproduktion für Nutztiere (STEIN UND KRUG, 2008; ISSELSTEIN, 2010). Darüber hinaus erfüllt es weitere Funktionen, z.B. als Lebensraum für Pflanzen und Tiere (ELSÄBER, 2006; RÖSCH ET AL., 2007; STEIN UND KRUG, 2008; ISSELSTEIN, 2010), Grundwasserschutz und -neubildung (ELSÄBER, 2006; RÖSCH ET AL., 2007), Schutz vor Erosion (ELSÄBER, 2006; RÖSCH ET AL., 2007; HUYGHE ET AL., 2008; STEIN UND KRUG, 2008; ISSELSTEIN, 2010), effiziente Nährstoffflüsse und Nährstoffnutzung im System Boden-Pflanze (HUYGHE ET AL., 2008; ISSELSTEIN, 2010) sowie die Bindung von Kohlenstoff (ISSELSTEIN, 2010). Dauergrünland ist aber auch für das Landschaftsbild ganzer Regionen charakteristisch (ELSÄBER, 2006). Die Erhaltung des Dauergrünlands und die Bereitstellung der Funktionen sowie der Ökosystemleistungen lassen sich aber nur durch regelmäßige Nutzung sicherstellen (ISSELSTEIN, 2010).

Trotz der Multifunktionalität von Dauergrünland hat der Dauergrünlandanteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) in Deutschland in den letzten Jahren insgesamt abgenommen (Abbildung 1).

Besonders hohe Abnahmen des Anteils Dauergrünland an der gesamten Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) gab es in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein (einschließlich Hamburg) mit über 5,0 %. Aber auch Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Thüringen verzeichneten hohe Abnahmen. Bei den Bundesländern Brandenburg (einschließlich Berlin) und Sachsen verringerte sich der Dauergrünlandanteil nur gering und erhöhte sich sogar in Hessen und im Saarland. Letzteres ist eher in der statistischen Erfassung und Darstellung begründet, da der Anteil der Ackerfläche zumindest in Hessen stärker abgenommen hat als die Grünlandfläche, erhöhte sich so der Anteil Grünland an der Gesamt-Fläche.

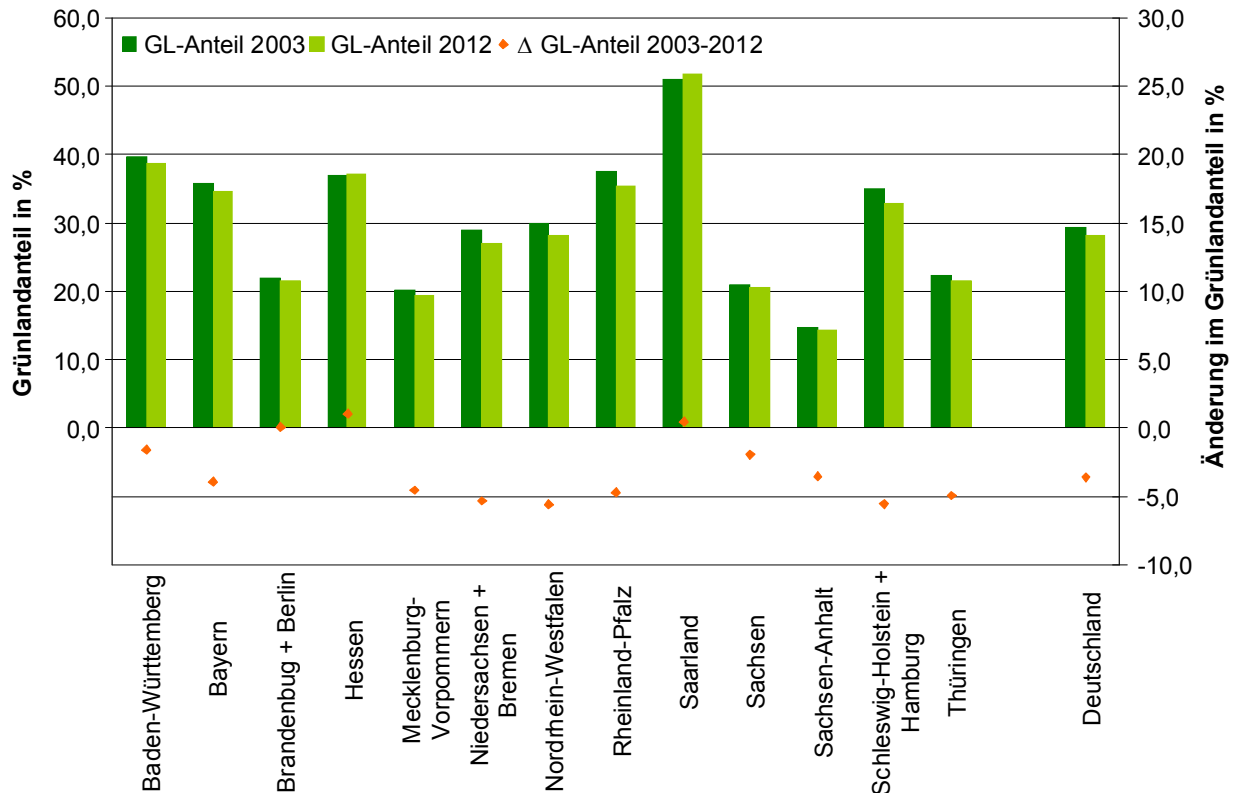


Abbildung 1: Grünlandanteile [%] und Veränderung der Dauergrünlandanteile an der LF [%] der einzelnen Bundesländer und Deutschland im Zeitraum 2003 bis 2012 (BEHM, 2012)

Gründe für die Verringerung der Dauergrünlandfläche sind die seit 1991 sinkenden Rinder- und Schafbestände (Abbildung 2) als Hauptverwerter von Dauergrünlandbiomasse. Besonders deutlich ist dieser Trend in den letzten 10 Jahren bei den Schafbeständen, während sich die Rinderbestände stabilisiert haben und sich bei den Milchviehbeständen (Abbildung 3) ein leicht positiver Trend abzeichnet. Trotz jahrelanger Abnahme der Milchkuhbestände ist, aufgrund gesteigerter Milchleistungen die Milcherzeugung (Abbildung 3) angestiegen. Dies stellt besonders hohe Anforderungen an die Grundfutterqualität zur Erzielung dieser hohen Milchleistungen (GRUBER, 2009).

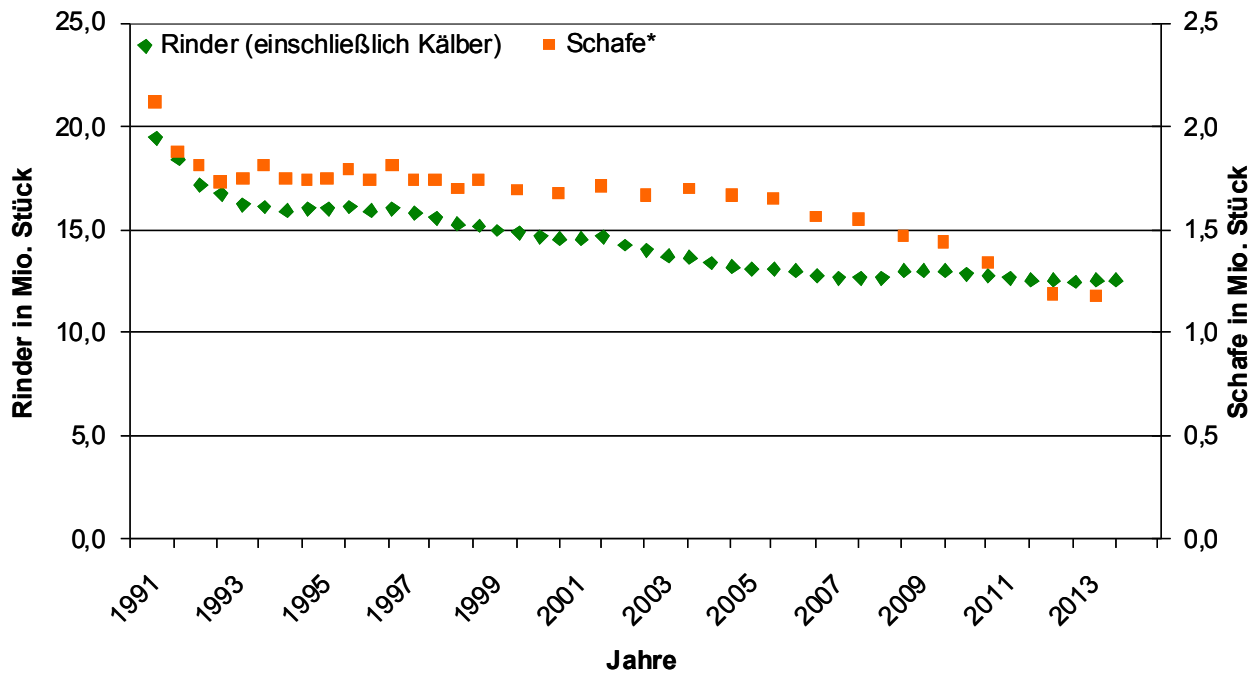


Abbildung 2: Rinder- und Schafbestand 1990 bis 2013 (*weibliche Schafe und Schafböcke zur Zucht) (DESTATIS, 2014)

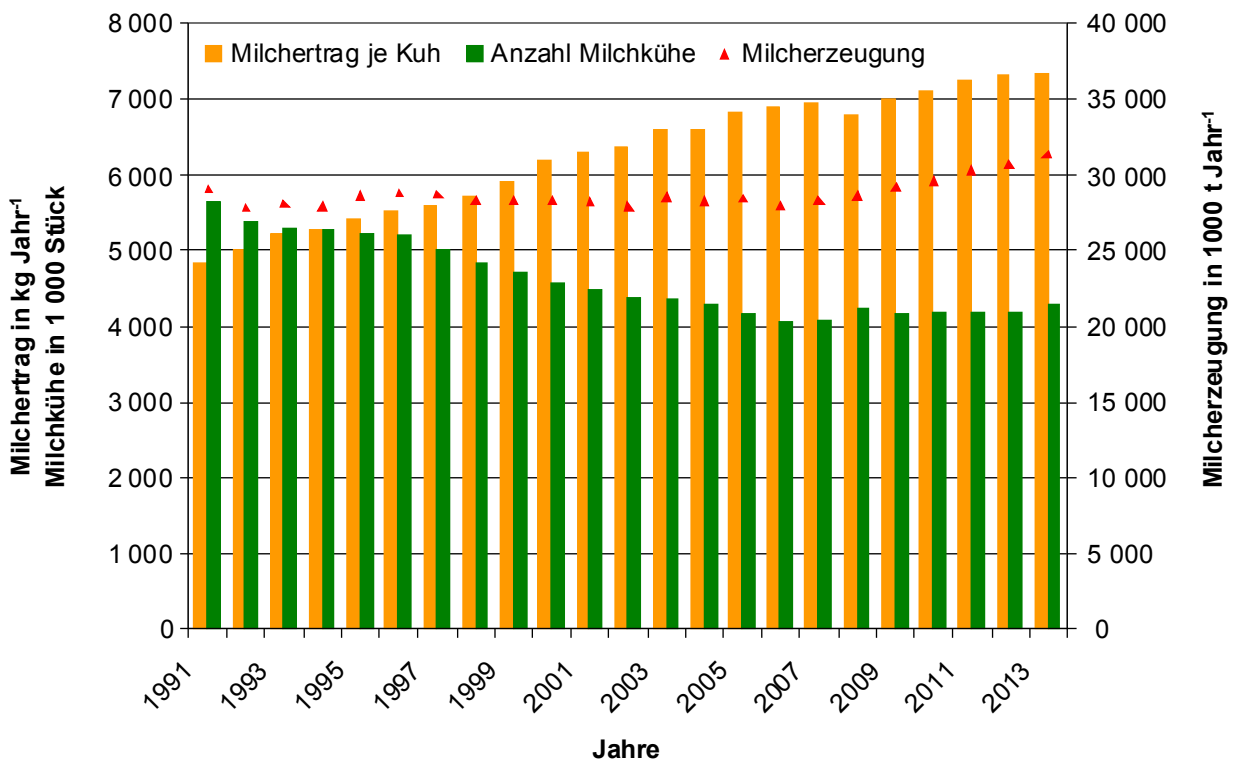


Abbildung 3: Entwicklung von Milchertrag [kg Jahr⁻¹], Anzahl Milchkühe und Milcherzeugung [1 000 t Jahr⁻¹] in Deutschland 1991 bis 2013 (BLE, 2013)

Dabei geht Dauergrünland nicht nur durch Umbruch bzw. Umwidmung in Ackerland verloren, was Untersuchungen von OSTERBURG ET AL. (2009) an InVeKoS-Daten der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz sowie HOCHBERG ET AL. (2013) in Thüringen zeigen, sondern auch durch Bebauung und Flächenin-

anspruchnahme für Siedlung und Verkehr, Umwandlung in Wald über Erstaufforstung, Verbuschung und Nutzungsauffassung, Ausweisung von Landschaftselementen und Nichtbeantragung von Flächenzahlung oder Verlust von Zahlungsansprüchen. Diese Veränderungen lassen sich nur begrenzt mit InVeKoS-Daten erfassen (OSTERBURG ET AL., 2009; NITSCH ET AL., 2010).

Aufgrund der teils deutlichen Abnahme der Dauergrünlandanteile, wird der Dauergrünlanderhalt gesetzlich durch das Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz (DirektZahlVerpflG) geregelt. Demnach darf sich der Dauergrünlandanteil nicht über festgelegte Grenzen hinaus verringern. Dies bedeutet im Speziellen, dass bei einer Abnahme des Dauergrünlandanteils von mehr als 5,0 %, der Umbruch von Dauergrünland genehmigungspflichtig wird, dass bei einer Abnahme des Dauergrünlandanteils von mehr als 8,0 % vorgeschrieben werden kann, umgebrochenes Dauergrünland wieder neu anzusäen bzw. auf anderen Flächen neu anzulegen. Bei einer Abnahme von mehr als 10,0 % Dauergrünlandfläche muss Dauergrünland wieder neu eingesät bzw. auf anderen Flächen neu angelegt werden. Als Referenz wird der Anteil Dauergrünlandflächen des Jahres 2005 angenommen, die bereits 2003 Dauergrünland gewesen sind sowie der Flächen, die erstmals im Antrag 2005 als Dauergrünland angegeben wurden (TMLFUN, 2013). Die Einhaltung dieser Verpflichtung ist in Deutschland auf Landesebene geregelt und die Bundesländer sind für die Einhaltung verantwortlich (TMLFUN, 2013). Hinzu kommen nach § 5 Art.2 Abs.5 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) allgemeine gesetzliche Vorgaben, die den Grünlanderhalt auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand sowie auf Moorstandorten regeln. Auch in der neuen Förderperiode wird grundsätzlich an diesem Prinzip festgehalten.

Auf der einen Seite befinden sich also die gesetzlichen Vorgaben zum Erhalt von Dauergrünland und auf der anderen Seite die abnehmenden Bestände Dauergrünland-verwertender Tierarten sowie steigende Anforderungen an die Grundfutterqualität und -leistung. Besonders die Anforderungen an die Grundfutterqualität und -leistung bedeutet, dass produktive Dauergrünlandflächen mehrheitlich optimal bewirtschaftet werden, um die verbliebenen Tierbestände ausreichend mit qualitativ hochwertigem Grundfutter versorgen zu können. Auf den ohnehin schon intensiv bewirtschafteten Dauergrünlandflächen führt dies also zu einer weiteren Steigerung der Bewirtschaftungsintensität der produktiven Standorte (ISSELSTEIN, 2010). Alle übrigen Dauergrünlandflächen im Betrieb werden vernachlässigt, da sie entweder von der Ertragsmenge nicht mehr gebraucht werden oder sich von ihnen nicht die notwendig hohe Futterqualität produzieren lässt. Dies führt also zur Freisetzung von Dauergrünlandflächen für alternative Nutzung (NITSCH ET AL., 2010), ansonsten zur Nutzungsaufgabe von Grenzstandorten (PROCHNOW ET AL., 2007A; ISSELSTEIN, 2010; NITSCH ET AL., 2010).

2.1.1. Pflanzengesellschaften

Dauergrünland kann in Bezug auf Nutzung und Mindestpflege in produktives Dauergrünland, Biotopgrünland und Extensivgrünland eingeteilt werden (BRIEMLE, 2007). Für die Vielfalt an Dauergrünland hat, neben den Standortfaktoren und der Nährstoffverfügbarkeit, auch die Nutzung einen entscheidenden Einfluss (ISSELSTEIN, 2010). Die jeweiligen Pflanzengesellschaften und ihre Differenzierung sind dabei eng mit der Entstehung der Landschaft verbunden und werden durch die Gesteine des Untergrunds, der geologischen Verhältnisse zur Zeit der Entstehung, der Abtragungs- und Aufschüttungsvorgänge der geologisch jüngeren Zeit

sowie der Tätigkeit der Menschen bestimmt, wobei die Klimaänderungen in geologischen Zeiträumen und die gegenwärtigen klimatischen Gegebenheiten einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften haben (SCHUBERT ET AL., 2001).

Das **produktive Dauergrünland** dient hauptsächlich der Produktion von Grundfutter für die Milchviehhaltung, wobei die Intensität in Abhängigkeit vom Naturraum und den Standortverhältnissen zwischen drei und sechs Nutzungen pro Jahr, bei einer Ertragserwartung zwischen $70,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$ und $120,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$, liegen kann (BRIEMLE, 2007). Aufgrund des meist fruchtbaren Standortes und durch den Einfluss höherer Stickstoffdüngung, ist dieses Dauergrünland artenärmer als Dauergrünland auf Grenzertragsstandorten (ISSELSTEIN, 2010). Zu dem produktiven Dauergrünland können die Dauergrünlandpflanzengesellschaften der Weidelgras-Weißkleewiden, Wiesenfuchsschwanzwiesen, Glatthaferwiesen sowie Goldhaferwiesen eingeordnet werden. Die **Weidelgras-Weißkleewiden** zählen dabei mit zu den leistungsfähigsten und produktivsten Dauergrünlandpflanzengesellschaften, mit einer hohen Futterqualität und halbintensiver bis sehr intensiver Nutzung (DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002). Sie kommen auf frischen bis feuchten, nährstoffreichen, schwach sauren bis neutralen Standorten in Flachland- bis Mittelgebirgslagen vor (SCHUBERT ET AL., 2001) und sind in den Fluss- und Seemarschen Nordwestdeutschlands landschaftsprägend (DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002). Die **Wiesenfuchsschwanzwiesen** sind Dauergrünlandpflanzengesellschaften auf wechselfrischen bis sommertrockenen, nährstoffreichen, lehmig-tonigen Gleyböden, in periodisch überfluteten Überschwemmungsgebieten der Flussauen mit hohen Erträgen und hoher Futterqualität (SCHUBERT ET AL., 2001; DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002). Die **Glatthaferwiesen** kommen auf frischen, nährstoffreichen, lehmigen Standorten im Flach- und Hügelland, mit Niederschlägen bis 600 mm pro Jahr vor (SCHUBERT ET AL., 2001) und zeichnen sich durch hohe Erträge bei hoher Futterqualität aus (DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002). **Goldhaferwiesen** sind halbextensiv bis halbintensiv genutzte Dauergrünlandpflanzengesellschaften auf frischen nährstoffreichen, sauren bis schwach sauren Standorten der mittel- und süddeutschen Mittelgebirge und der Voralpen (SCHUBERT ET AL., 2001; DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002).

Als **Biotopgrünland bzw. naturschutzfachlich wertvolles Dauergrünland** bezeichnet man schwachwüchsiges, maximal einmal jährlich genutztes Dauergrünland, wobei es sich hauptsächlich um Magerwiesen und -weiden auf extremen Standortverhältnissen handelt, die ein Ertragsniveau von $\leq 35,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$ aufweisen und die artenreichsten Ökosysteme in Mitteleuropa darstellen (BRIEMLE, 2007). Durch die spät erfolgende Ernte im Hochsommer oder Herbst (BRIEMLE, 2007) kann das physiologisch ältere Futter nicht oder nur stark eingeschränkt in der Milchviehhaltung eingesetzt werden (ELSÄBER, 2006). Wird dieses Dauergrünland nicht mehr regelmäßig genutzt, setzt die botanische Sukzession ein, die zu Beginn die Artenvielfalt steigert aber zunehmend zu einer Verbuschung und einer starken Abnahme der Artenvielfalt führt (ISSELSTEIN, 2010).

Das **Extensivgrünland bzw. extensiv genutzte Dauergrünland** zeichnet sich durch seine ein- bis dreimalige Nutzung mit einem Ertragsniveau zwischen $35,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$ und $70,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$, bei mäßiger Düngung aus und ist noch in der Tierproduktion verwertbar, speziell im Bereich Jungvieh und Mutterkühe (BRIEMLE, 2007). Zur Bewirtschaftung von Extensivgrünland bzw. extensiv genutztem Grünland zählt auch die Düngung (ELSÄBER, 2006; BRIEMLE, 2007). Bei unterlassener Düngung und jahrelanger Nährstoffabfuhr kann es zur Artenverarmung und/oder zur Ausbildung von Dominanzbeständen kommen (BRIEMLE, 2007). Zum extensiven bzw. extensiv genutzten Dauergrünland lassen sich die Dauergrün-

landpflanzengesellschaften Salbei-Glatthaferwiese, Goldhaferwiese, Kohldistelwiese und artenreiche Fuchsschwanzwiese zählen (BRIEMLE, 2007). Zum Erhalt artenreichen Dauergrünlands muss dieses dem Standort angepasst bewirtschaftet werden (BOHNER ET AL., 2006).

In Abbildung 4 sind Pflanzengesellschaften und -verbände entlang der einzelnen Nutzungsintensitäten und der Bodenfeuchtigkeit nochmals übersichtlich dargestellt.

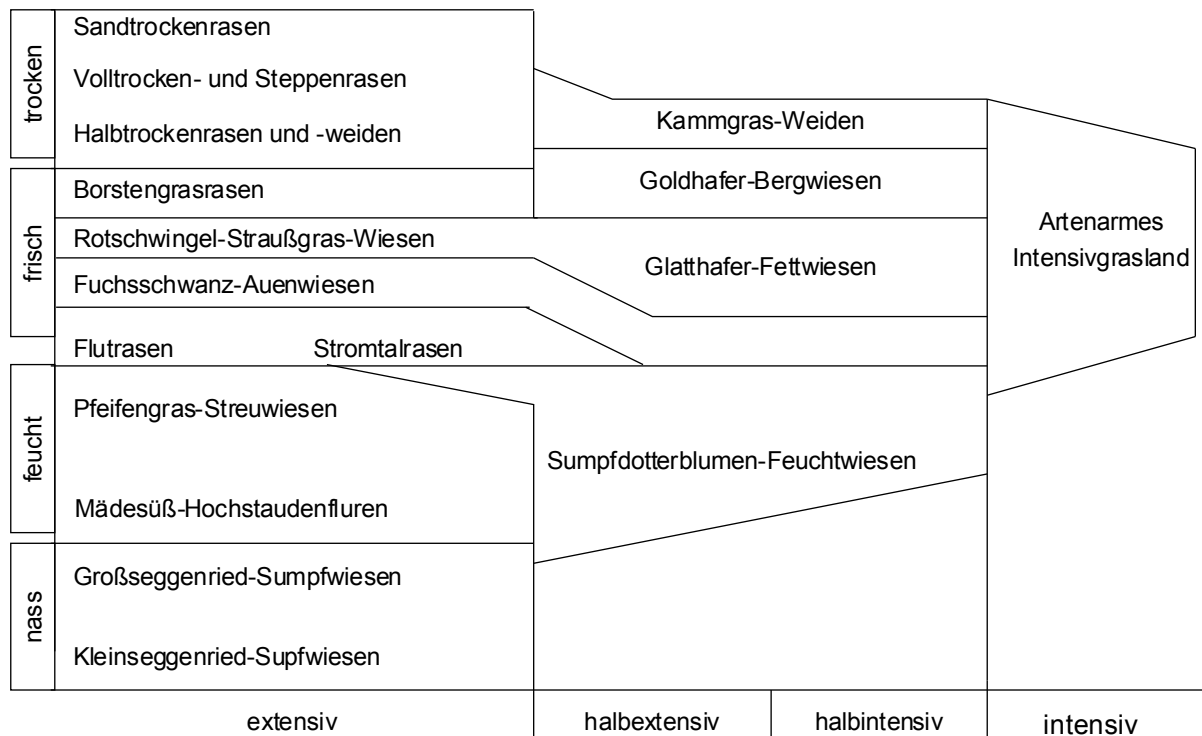


Abbildung 4: Dauergrünlandtypen in einem Feuchtigkeits-Intensitäts-Ökogramm (nach DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002)

Die Bewirtschaftungsintensität einzelner Dauergrünlandpflanzengesellschaften kann zwischen extensiv bis halbintensiv (Fuchsschwanz-Auenwiesen) aber auch von halbextensiv bis halbintensiv (Goldhafer(-Berg)wiese, Glatthafer(-Fett)wiesen) reichen. Dabei liegen die produktiveren Dauergrünlandpflanzengesellschaften im frischen bis trockenen Bodenfeuchtebereich (DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002).

2.1.2. Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftungsintensität, wie Düngung, Schnittzeitpunkt und Schnitthäufigkeit, haben einen hohen Einfluss auf Ertrag, Futterqualität und Artenzusammensetzung (BOHNER ET AL., 2006; POZDÍŠEK ET AL., 2007; GAUJOUR ET AL., 2012). Eine Verringerung der Schnitthäufigkeit in Kombination mit einer verringerten bzw. unterlassenen Düngung hat schwerwiegende negative Auswirkungen auf den Ertrag und die Futterqualität (ROBOWSKY, 1996). Im Folgenden sollen die Effekte Düngung, Schnittzeitpunkt sowie Schnitthäufigkeit dargestellt werden.

Düngung

Die Düngung beeinflusst hauptsächlich den Trockenmasseertrag und die Pflanzenbestandszusammensetzung, wohingegen der Einfluss auf die Biomassequalität gering ausfällt (ÉOP ET AL., 2009; PAVLÙ ET AL., 2011). Die einzelnen Düngungsnährstoffe haben dabei z.T. unterschiedliche Wirkungen.

Kalium hat einen großen Einfluss auf den Ertrag und begrenzt bei ausreichender Stickstoffversorgung den maximalen Ertrag (WHITEHEAD, 2001). Eine Unterlassung der Kaliumdüngung führt zu signifikanten Mindererträgen (GREINER ET AL., 2007), wobei diese in Abhängigkeit des Kaliumnachlieferungsvermögens des Standortes zeitverzögert eintreten können (GREINER ET AL., 2010). Bei Dauergrünlandbeständen auf Niedermoor führt eine unterlassene Kaliumdüngung infolge sinkender Erträge zu steigenden Rohproteingehalten in der geernteten Biomasse, während die Gehalte an Rohfaser und Rohasche sowie die Energiedichte gering beeinflusst werden (KÄDING, 1994), die Gehalte von Calcium, Magnesium und Natrium steigen dabei an (KÄDING, 1994; WHITEHEAD, 2001). Bei niedriger Kaliumversorgung steigt auf Niedermooren zudem die Gefahr von Stickstoffauswaschung und atmosphärischen Stickstoffverlusten durch eine geringere Stickstoffausnutzung (KÄDING, 1994). Ergebnisse aus 12-jährigen Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland (GREINER ET AL., 2010) zeigen, dass bei einem Verzicht auf die Kaliumdüngung, bei schon niedrig versorgten Standorten, die den Bestand bestimmenden Futtergräser durch Arten mit niedrigerem Futterwert verdrängt werden. Der Kaliumgehalt in der Pflanze liegt in Abhängigkeit vom Standort bei optimaler Versorgung zwischen $21 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ und $37 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ im 1. Aufwuchs bzw. zwischen $13 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ bis $32 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ in den Folgeaufwüchsen (GREINER ET AL., 2007)

Phosphor kann bei ausreichender Stickstoffversorgung ertragsbegrenzend wirken (WHITEHEAD, 2001; GAUJOUR ET AL., 2012) und der Bedarf nimmt mit steigender Stickstoffdüngung zu (WHITEHEAD, 2001; HERTWIG UND SCHUPPENIES, 2011). Mit signifikanten Mindererträgen bei unterlassener Phosphordüngung ist besonders auf niedrig versorgten Standorten zu rechnen (GREINER ET AL., 2010). Bei pH-Werten im Boden zwischen 5,0 und 7,5 führt eine Düngung, bei bestehendem Mangel, zu wirtschaftlichen Mehrerträgen, wobei Klee stärker als Gräser auf eine Phosphordüngung reagiert (WHITEHEAD, 2001). Der Phosphorgehalt in der Pflanze liegt in Abhängigkeit vom Standort bei optimaler Versorgung zwischen $2,8 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ und $4,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ im 1. Aufwuchs und zwischen $2,7 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ und $4,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ in den Folgeaufwüchsen (GREINER ET AL., 2007). Phosphor hat keinen bis einen geringen Einfluss auf den Rohproteingehalt in der Biomasse (WHITEHEAD, 2001).

Bei Kalium und Phosphor sind die Gehalte, wie bereits erwähnt, auch in der Pflanze stärker zu berücksichtigen, da ein enger Zusammenhang zwischen Düngungsbilanz und Nährstoffgehalt im Boden nicht immer feststellbar ist (SCHUPPENIES ET AL., 2005). Für die Ausschöpfung des standorttypischen Ertragspotenzials ist eine Düngung nach dem Standardentzug von $20,0 \text{ g K kg TM}^{-1}$ und $3,0 \text{ g P kg TM}^{-1}$ ausreichend, Abweichungen nach oben führen zu keinen signifikanten Mehrerträgen (SCHUPPENIES ET AL., 2005). Zudem sollte die Kaliumdüngung aufgrund der negativen Auswirkungen hoher Kaliumgehalte auf die Gehalte von Calcium, Magnesium, und Natrium (KÄDING, 1994; WHITEHEAD, 2001) bedarfsorientiert erfolgen, was sich zudem tierphysiologisch günstig auswirkt (KÄDING, 1994).

Die **Stickstoffdüngung** hat sowohl über die gedüngte Stickstoffform als auch besonders über die gedüngte Menge Einfluss auf den Ertrag (HOPKINS ET AL., 1990; HARRISON ET AL., 1994; KÄDING, 1994; WHITEHEAD, 2001; BIJELIC ET AL., 2011; PAVLÙ ET AL., 2011), den Roh-

proteingehalt (HARRISON ET AL., 1994; WHITEHEAD, 2001) und die Artenzusammensetzung des Pflanzenbestandes (WHITEHEAD, 2001; BIJELIC ET AL., 2011; GAUJOUR ET AL., 2012). Besonders bei Dauergrünland ohne Leguminosen hängen Produktivität und Pflanzenwachstum von der Stickstoffdüngung ab (WHITEHEAD, 2001). Mit steigenden Stickstoffmengen kommt es neben höheren Erträgen (HARRISON ET AL., 1994; WHITEHEAD, 2001) und höherem Rohproteingehalten (HARRISON ET AL., 1994; WHITEHEAD, 2001) auch zu einer höheren Verdaulichkeit (HARRISON ET AL., 1994) und zu einem steigenden Gräseranteil (WHITEHEAD, 2001; ODSTRĚILOVÁ ET AL., 2007; BIJELIC ET AL., 2011; GAUJOUR ET AL., 2012), während die Leguminosen- (ODSTRĚILOVÁ ET AL., 2007; BIJELIC ET AL., 2011; GAUJOUR ET AL., 2012) und Kräuteranteile (ODSTRĚILOVÁ ET AL., 2007) abnehmen. In Abhängigkeit der Wasserverfügbarkeit, der Witterungs- und Bodenbedingungen sowie ausreichender Phosphor-, Kalium- und Schwefelversorgung sind bei Stickstoffgaben zwischen 250 kg N ha⁻¹ und 400 kg N ha⁻¹ TM-Erträge zwischen 20 - 30 kg TM je kg N möglich (WHITEHEAD, 2001). Aufgrund der ganzjährigen Vegetationsdecke (ELSÄßER, 2006; ISSELSTEIN, 2010) und einem Wachstumsbeginn bereits ab Temperaturen über drei bis fünf Grad Celsius, kann Dauergrünland Stickstoff effizient ausnutzen (ISSELSTEIN, 2010), wobei dies aber am Entzug orientierte Düngemengen voraussetzt (ELSÄßER, 2006).

Schnittzeitpunkt und Schnitthäufigkeit

Der Schnittzeitpunkt und die Schnitthäufigkeit haben einen hohen Einfluss auf die Qualität der geernteten Biomasse (KÄDING, 1994; ODSTRĚILOVÁ ET AL., 2007; GRUBER, 2009), insbesondere der Schnittzeitpunkt des 1. Aufwuchses (KÄDING, 1994). So nimmt mit verspäteter Ernte des 1. Aufwuchses die Futterqualität ab (KÄDING, 1994), wobei sich die Rohproteingehalte um bis zu 70 % zwischen der Ernte des 1. Aufwuchses im zeitigen Frühjahr und der Ernte im Sommer verringern können (WHITEHEAD, 2001).

Mit einer höheren Schnitthäufigkeit wird jüngere Biomasse mit niedrigerem Rohfasergehalt (GRUBER, 2009), höheren Rohproteingehalten (WHITEHEAD, 2001; ODSTRĚILOVÁ ET AL., 2007; GRUBER, 2009; PAVLÙ ET AL., 2011) und höherer Verdaulichkeit (HARRISON ET AL., 1994; GRUBER, 2009; PAVLÙ ET AL., 2011) geerntet. Dabei sind bei den Gräsern hauptsächlich die Rohproteingehalte (WHITEHEAD, 2001) und die Verdaulichkeit (HARRISON ET AL., 1994) stark vom Alter des Bestandes und damit der Wachstumsphase abhängig. Die Rohproteingehalte bei Leguminosen nehmen mit zunehmendem Alter in geringerem Maße ab als bei Gräsern (WHITEHEAD, 2001). Des Weiteren schreitet mit zunehmendem Alter die Lignifizierung der Pflanzen fort, welches die Verdaulichkeit der Faserbestandteile von Gräsern und Leguminosen negativ beeinflusst (HARRISON ET AL., 1994). Neben der Abnahme der Rohproteingehalte, nehmen mit Verringerung der Schnitthäufigkeit die Rohfasergehalte zu, bei gleichzeitiger Reduzierung der Rohaschegehalte und der Energiedichte, so dass eine Mindestintensität bei den Schnittterminen erforderlich ist, wenn die geerntete Biomasse über das Tier verwertet werden soll (KÄDING, 1994). Zudem kann von jüngerem Futter, mit einem geringeren Gerüstsubstanzenanteil, bei gleicher Menge aufgenommener Faser mehr Trockenmasse vom Tier verzehrt werden, was in Kombination mit einem höheren Anteil von Nährstoffen und Energie in jüngerem Futter zu deutlich höherer Nährstoff- und Energieaufnahme gegenüber älterem Futter führt (GRUBER, 2009).

Zusätzlich beeinflussen Schnitthäufigkeit und Schnittzeitpunkt, neben der Biomassequalität, die Artenzusammensetzung der Dauergrünlandvegetation (GAUJOUR ET AL., 2012). Mit zu-

nehmender Schnitthäufigkeit kommt es zur Abnahme der Artenzahlen und zu höheren Anteilen von Gräsern (ODSTRÈILOVÁ ET AL., 2007).

Die Schnitthäufigkeit sowie die Schnittzeitpunkte und damit die jeweilige Dauer der Wachstumsphasen und das physiologische Alter der Pflanzen haben demnach auf die Biomassequalität, im Gegensatz zu dem TM-Ertrag, einen größeren Einfluss als alle anderen Bewirtschaftungsfaktoren (HARRISON ET AL., 1994; ÈOP ET AL., 2009). Daher ist eine Mindestintensität beim Schnittregime für die Produktion von Biomasse entsprechender Qualität erforderlich (KÄDING, 1994).

2.2. Qualitätsanforderungen an die Dauergrünlandbiomasse

Dauergrünlandbiomasse, die nicht mehr für die Ernährung von Tierbeständen benötigt wird, kann als Brennstoff, als Substrat für die Biogasproduktion, als Grundstoff für Fasern, Proteine, Milchsäure, Aminosäuren oder in der Kompostierung verwertet werden (ELSÄßER, 2003). Dabei stellen die Tierernährung sowie die einzelnen Verwertungsalternativen entsprechende Anforderung an die Dauergrünlandbiomasse (PROCHNOW ET AL., 2009).

2.2.1. Milchviehfütterung

Die Milchviehfütterung, als primäre Verwertungsrichtung für produktives Grünland, stellt besonders hohe Anforderungen an die Grundfutterqualität zur Erzielung hoher Milchleistungen (GRUBER, 2009). Bei einem durchschnittlichen Leistungsniveau der Herde von 8 000 bis 10 000 kg Tier⁻¹ und Jahr, liegt die tägliche Milchleistung zwischen 22 kg und 30 kg und kann bei einer Jahresleistung von 12 000 kg bis auf 30 kg und 34 kg ansteigen (SPIEKERS ET AL., 2009). Zum Erreichen entsprechender Milchleistungen ist eine Energiedichte von über 6,4 MJ kg⁻¹ NEL und nutzbare RP-Gehalte von über 14 % erforderlich, die wiederum nur durch entsprechende Grundfutterqualitäten erreichbar sind (SPIEKERS ET AL., 2009). In Tabelle 1 sind die Qualitätsanforderungen verschiedener Autoren an Anweilsilagen für die Milchvieh- und Rinderfütterung aufgelistet.

Tabelle 1: Qualitätsparameter für Anweilksilage in der Milchvieh- und Rinderfütterung

Parameter	Einheit	DLG (GERIGHAUSEN, 2011)	GRUBER ET AL. (2008)	SPIEKERS (2004)
Trockenmasse	%	30 - 40	30 - 40	30 - 40
Rohasche	% in der TM	< 10	9 - 10	< 10
Rohprotein	% in der TM	< 17	14 - 16 * 15 - 17 **	< 17
Rohfaser	% in der TM		22 - 27 * 22 - 26 **	22 - 25
NDF _{org}	% in der TM	40 - 48		40 - 48
ADF _{org}	% in der TM	23 - 27		
ELOS bzw. Verdaulichkeit der organischen Masse	% in der TM	> 65		
ME	MJ kg ⁻¹ TM	≥ 10,5 * ≥ 10,1 **	9,7 - 10,1 * 9,3 - 9,6 **	> 10,6* ≥ 10,0**
NEL	MJ kg ⁻¹ TM	≥ 6,4 * ≥ 6,1 **	5,8 - 6,1 * 5,5 - 5,8 **	≥ 6,4 * ≥ 6,0 **
nutzbares Rohpro- tein	% in der TM	> 13,5	13,0 - 14,0 * 12,7 - 13,5 **	> 13,5

* 1. Aufwuchs ** Folgeaufwüchse

Entsprechend sollen in hochwertigen Silagen der TS-Gehalt zwischen 30,0 % TM und 40,0 % TM in der Frischmasse und der Rohaschegehalt unter 10,0 % RA in der TM betragen. Der Rohproteingehalt sollte 17,0 % RP in der TM nicht übersteigen, wobei der Rohproteingehalt in Silagen der ersten Aufwüchse über 14,0 % RP und in Silagen der zweiten und Folgeaufwüchse über 15,0 % RP in der TM betragen soll. Für den Rohfasergehalt beträgt der Optimalbereich zwischen 22,0 % RF und 24,0 % RF in der TM, wobei der Rohfasergehalt maximal 27,0 % RF in der TM nicht überschreiten sollte. Die Energiedichte für entsprechend hochwertige Silagen liegt bei mindestens 6,4 MJ NEL kg⁻¹ TM im ersten Aufwuchs und 6,0 MJ NEL kg⁻¹ TM in den Folgeaufwüchsen.

Um die entsprechenden Qualitätsanforderungen bei der Anweilksilage zu erreichen, braucht es, bei Annahme eines optimalen Gärverlaufs bei der Silierung, 5,0 % höhere Energie- und Nährstoffkonzentrationen in den Ausgangsbeständen (WALTER, 2008). Daraus ergeben sich im Grüngut Anforderungen an die Rohproteingehalte von rund 15,0 bis 18,0 % in der TM und an die Energiedichte von mindestens 6,7 MJ NEL kg⁻¹ TM im ersten Aufwuchs sowie 6,4 MJ NEL kg⁻¹ TM in den Folgeaufwüchsen. Um diese hohen Futterqualitäten zu erreichen, sind hochwertige Pflanzenbestände und sehr frühe Schnitte nötig, zumal für das Erreichen von Energiedichten um 6,5 MJ NEL kg⁻¹ TM die Verdaulichkeit der organischen Masse im Pflanzenbestand bei mindestens 78,0 % liegen muss (HERTWIG UND PICKERT, 2005).

2.2.2. Stoffliche Verwertung

In der stofflichen Nutzung kann Dauergrünlandbiomasse die Grundlage für die Produktion von Fasern, Proteinen, Milchsäure und Aminosäuren (ELSÄßER, 2003) bilden. In sogenannten Grünen Bioraffinerien (NARODOSLAWSKY, 2003; OERTEL, 2007; PROCHNOW ET AL., 2009) wird sowohl das Grüngut als auch die Silage (KROMUS ET AL., 2002), mit anschließender Verwertung des Reststoffs in der Biogasproduktion (KROMUS ET AL., 2002; NARODOSLAWSKY, 2003; PROCHNOW ET AL., 2009), verwertet. Zudem kann Dauergrünlandbiomasse zukünftig in der Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose, synthetischen Kraftstoffen oder synthetischem Erdgas eine Rolle spielen (PROCHNOW ET AL., 2009), deren wirtschaftliche Nutzbarkeit allerdings erst mittelfristig bedeutsamer wird (BAHRS UND THIERING, 2009).

Mehrheitlich beschäftigen sich Untersuchungen mit den technischen Aspekten Grüner Bioraffinerien, während die Anforderungen an die Dauergrünlandbiomasse seltener Untersuchungsgegenstand sind. KROMUS ET AL. (2002) nennen als Anforderungen für Dauergrünlandbiomasse, die als Rohstoff in Grünen Bioraffinerien verwertet werden soll, einen stabilen Pflanzenbestand mit einem starken Grasgerüst und dichter Narbe. Unerwünscht sind hohe Anteile von Gräsern mit einer niedrigen Futterqualität (z.B. Gemeine Risppe, Weiche Trespe, Wolliges Honiggras, Rohrschwengel, Borstgras, Rasenschmiele). Ungünstig sind zudem aufgelockerte Bestände mit einer hoher Verunkrautung und dem Fehlen von wichtigen Gräsern sowie Vorhandensein von giftigen Arten bzw. Kräutern mit antinutritiven Inhaltsstoffen. Hinsichtlich ihres Zucker- und Proteingehalts sind die Gräserarten Welsches Weidelgras, Deutsches Weidelgras und Bastardweidelgras zu bevorzugen. Auch Luzerne ist wegen hoher Proteingehalte interessant. Problematisch werden bei Luzerne allerdings die hohe Pufferkapazität sowie der niedrige Zuckergehalt in Hinblick auf die Silierung angesehen, weshalb eine Verwertung als Grüngut interessanter ist (KROMUS ET AL., 2002). Als günstige Schnittzeitpunkte für optimale Silagen wird die Ernte spätestens zum Ende Rispen- bzw. Ährenschieben der Leitgräser, etwa Anfang bis Mitte Mai empfohlen, wobei der TS-Gehalt nach dem Anwelken zwischen 30 und 35 % betragen und Milchsäurebakterien mit hohen Milchsäureausbeuten eingesetzt werden sollten (KROMUS ET AL., 2002).

2.2.3. Energetische Verwertung

Thermische Verwertung

Die Verbrennung stellt besondere Anforderungen an die Biomassequalität (vgl. GÖDEKE ET AL., 2011). Eine Übersicht über die verbrennungsrelevanten Qualitätsmerkmale und davon beeinflussten brenntechnischen Größen gibt Tabelle 2. Hohe Relevanz haben die Elemente Stickstoff (NO_x-Emission), Schwefel (SO₂-Emission, Korrosion), Chlor und Kalium (Korrosion), weshalb ihre Gehalte in der Biomasse möglichst niedrig liegen sollen (LASER ET AL., 2007; TONN ET AL., 2007). Hohe Kaliumgehalte verringern zudem in Kombination mit niedrigen Calciumgehalten die Ascheerweichungstemperatur, was wiederum zur Verschlackung im Brennraum führt (TONN ET AL., 2007).

Tabelle 2: Qualitätsmerkmale halmgutartiger Biomasse für die Verbrennung und die davon beeinflussten brenntechnischen Größen (Zusammenfassung aus HARTMANN ET AL., 2000; LAUNHARDT, 2002; VETTER, 2003 in GÖDEKE ET AL., 2011)

Qualitätsmerkmal	brenntechnische Kenngrößen
Wassergehalt	Heizwert, Lagerfähigkeit, Verluste, Selbstentzündung, Brennstoffgewicht, Verbrennungstemperatur
Heizwert	Brennstoffausnutzung, Anlagenauslegung, energetischer Brennstoffwert
Gehalt an flüchtigen Bestandteilen	Brennverhalten, Anlagenauslegung
Cl	Emission von Organochlorverbindungen (z.B. PCDD/F) und HCl, Hochtemperaturkorrosion
N	NO _x -, HCN-, N ₂ O-Emission
S	SO _x -Emission, Hochtemperaturkorrosion, Verschmutzung durch Alkalisulfate
K	Hochtemperaturkorrosion, Ascheerweichungsverhalten, Verschmutzung, Verschlackung durch Bildung von Alkalisilikaten
Mg, Ca	Ascheerweichungsverhalten, Ascheeinbindung von Schadstoffen, Ascheverwertung
P	Einbindung in Asche
Na	Erniedrigt Ascheschmelzpunkt, Korrosion, Verschmutzung, Verschlackung durch Bildung von Alkalisilikaten
Al	Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung
Fe	Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung
Si	Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung, Hauptaschebildungselement
Schwermetalle	Ascheverwertung, Schwermetallemission, zum Teil katalytische Wirkung bei PCDD/F-Bildung (Cu ²⁺)
Aschegehalt	Partikelemission (Staub), Rückstandsbildung und Verwertung, Auslegung Ascheaustragssysteme
Ascheerweichungstemperatur	Niveau des Schadstoffausstoßes, Schlackebildung und -ablagerungen (Anlagenauslegung), Betriebssicherheit und -kontinuität, Wartungsbedarf
Pilzsporen	Gesundheitsrisiken
Größe und Form	Zuordnung zu Beschickungsvarianten und Feuerungsanlantentypen, Aufbereitungsbedarf
Korngrößenverteilung /Feinanteil	Rieselfähigkeit, Brückenbildungsneigung, Belüftungs-/ Trocknungseigenschaften, Staubbildung und -emission Störungen in Fördererelementen
Schütt-/Stapeldichte (Lagerdichte)	Transport- und Lagerungsaufwendungen, Brenneigenschaften, Logistikplanung, Leistung der Fördererelemente, Brennstoffbunkergröße etc.
Rohdichte (Einzeldichte)	Schüttdichte, pneumatische Fördereigenschaften, Brenneigenschaften (Zündtemperatur, Brenngeschwindigkeit etc.)
Teilchendichte	Feuerungseigenschaften (spezifische Wärmeleitfähigkeit, Entgasungsrate)
Feinanteil	Lagerdichte, Lagerfähigkeit, Staubbildung
Abriebfestigkeit	Entmischung, Verluste
Brückenbildungsneigung	Rieselfähigkeit, Störungen bei Umschlagprozessen

Umfangreiche Untersuchungen zur thermischen Verwertung der Biomasse von fünf natur- schutzfachlich wertvollen Dauergrünlandpflanzengesellschaften (GÖDEKE ET AL., 2011) zeigen, dass Dauergrünlandbiomasse, in Bezug auf ihre chemische Brennstoffqualität, ein schwieriger und sehr heterogener Brennstoff ist, was hauptsächlich durch hohe Gehalte an Stickstoff, Kalium, Chlor und Schwefel bedingt ist. Dabei hängt die Brennstoffqualität von der

Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Bewirtschaftungsvariante ab, wobei eine Optimierung der Brennstoffqualität durch die Bewirtschaftung nur begrenzt möglich ist (GÖDEKE ET AL., 2011).

Vergärung

Im Gegensatz zur Verbrennung werden an die Qualität von Dauergrünlandbiomasse bzw. deren Konservate hinsichtlich ihrer Verwertung in Biogasanlagen deutlich andere Anforderungen, ähnlich der Milchviehfütterung, gestellt. In Tabelle 3 sind Zielwerte für die Qualität von Anwelksilage für die Nutzung in der Biogasproduktion aufgeführt.

Tabelle 3: DLG-Zielwerte der Silagequalität für die Biogasproduktion (Gerighausen, 2011)

Parameter	Einheit	Wert
Trockenmasse	%	> 30
Organische Trockenmasse	% in der TM	> 90
Sandgehalt	% TM	< 2
Abbaubarkeit der organischen Masse	% in der TM	> 75
pH-Wert		4,2 - 4,6 (bei 30 - 40 % TS)
Ammoniak-N	% NH ₃ -N	< 10
Buttersäure	% in der TM	< 0,3

Mit entsprechenden Qualitäten sollen hohe Gasausbeuten erzielt werden. Ein wichtiges Kriterium dafür ist ein entsprechend optimaler TS-Gehalt (> 30 %), um die Gärstoffbildung und damit mögliche Verluste zu vermeiden. Daneben spielt der oTM-Gehalt bzw. der Rohaschegehalt eine besondere Rolle. Hier sollte der Anteil an anorganischen Bestandteilen niedrig sein, besonders die Anteile von Sand bzw. Erde, da aus diesen kein Biogas entsteht. Ausnahmen bilden hier lediglich die für die biogasbildenden Bakterien essentiellen Mineralstoffe und Spurenelemente. Weiterhin sollte die Silage eine hohe Abbaubarkeit der organischen Masse aufweisen.

Unterschiede zu den Anforderungen der Milchviehfütterung bestehen zum einen in Bezug auf die Gärqualität (PLOECHL ET AL., 2009; GERIGHAUSEN, 2011), bei der sich bei der Biogasproduktion höhere Essigsäuregehalte positiv auf die Methanbildung auswirken (PLOECHL ET AL., 2009; HERRMANN ET AL., 2011), wohingegen höhere Essigsäuregehalte in der Milchviehfütterung zu negativen Einflüssen auf die Futteraufnahmen führen (GERIGHAUSEN, 2011). Ein weiterer Unterschied ist die Verweildauer der Silagen. In Biogasanlagen kann die Verweildauer rund 100 Tage betragen, während die Pansenpassagerate bei Wiederkäuern nur wenige Stunden beträgt (GERIGHAUSEN, 2011). So steht den Bakterien im Fermenter mehr Zeit zum Abbau der organischen Substanz zur Verfügung, sodass in Biogasanlagen mehr Cellulose als im Pansen abgebaut werden kann (AMON ET AL., 2006A). Dagegen wirkt sich eine Zerkleinerung der Silage vor der Einbringung in den Fermenter, analog der aktiven Zerkleinerung beim Wiederkäuer, positiv auf Einbringtechnik, Rühraufwand und Gasausbeute aus (GERIGHAUSEN, 2011).

Da die Silierbarkeit von Zusammensetzung und Wuchsstadium der Dauergrünlandpflanzengesellschaften abhängig ist und physiologisch ältere Aufwüchse schwieriger silier- und verdichtbar sind, ist auf eine für die Silierung noch optimale Schnittfrequenz zu achten (GERIGHAUSEN, 2011).

Einflüsse auf die Gasausbeuten von Dauergrünlandbiomasse

Im Rahmen eines Übersichtsartikels über die Nutzung von Dauergrünlandbiomasse in der Biogasproduktion werden von PROCHNOW ET AL. (2009) die Aspekte des Anbaus, wie Vegetation, Grasarten, Schnittregime und Intensität der Grünlandbewirtschaftung, technologische Aspekte wie Ernte, Silierung und Biogastechnologie als auch ökonomische und ökologische Aspekte verschiedener Untersuchungen betrachtet, dabei ist jedoch keine direkte Vergleichbarkeit der verschiedenen, beschriebenen Ergebnisse, aufgrund verschiedener Fragestellungen, Methodik und Untersuchungszeitpunkte, gegeben.

Der Methanhektarertrag wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst (Abbildung 5), wobei der Trockenmasseertrag auf den Methanhektarertrag einen größeren Einfluss hat, als die spezifische Methanausbeute (ELSAESSER, 2007; ELSÄßER, 2007; PROCHNOW ET AL., 2009; MESSNER ET AL., 2011; TECHOW ET AL., 2011; FUKSA ET AL., 2012).

Die Beeinflussung des Trockenmasseertrags über die Bewirtschaftung wurde in Abschnitt 2.1.2 (S. 22) bereits beschrieben und soll hier nicht nochmals erläutert werden.

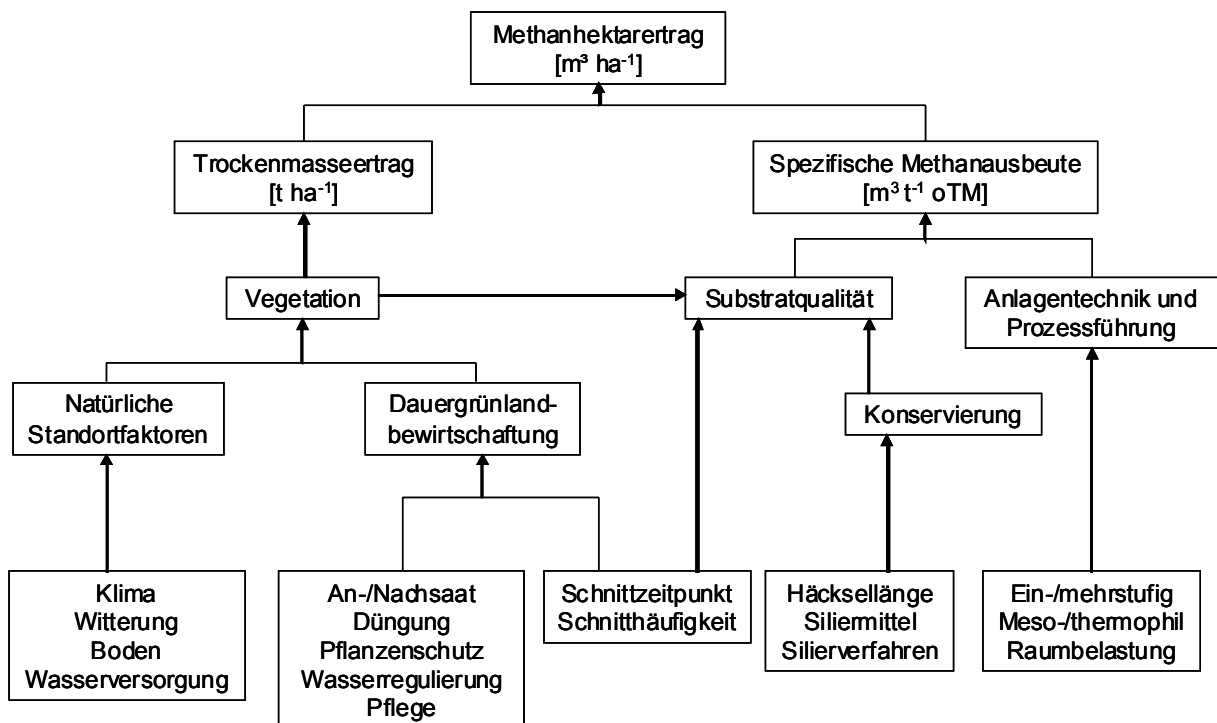


Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Methanhektarertrag vom Dauergrünland in Anlehnung an PROCHNOW ET AL. (2007B)

Einfluss von Gräserarten und Vegetationstypen auf die Gasausbeute

Zum Einfluss von Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Grünlandmischungen, Gräserarten und -sorten auf Biogas- und Methanausbeuten liegen verschiedene Versuchsreihen vor (MÄHNERT ET AL., 2002; KAISER ET AL., 2004; KAISER UND GRONAUER, 2007; KAISER, 2007; PROCHNOW ET AL., 2009; SCHMALER UND BARTHELMES, 2012). Die Methanausbeuten reichen von $200 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $650 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ in Abhängigkeit von der Bestandeszusammensetzung, der Grasart, dem Zustand (frisch oder siliert), dem Aufwuchs, dem Erntezeitpunkt und dem Messverfahren. Zwischen den Methanausbeuten verschiedener Gräserarten und -sorten können keine deutlichen Unterschiede gefunden werden (MÄHNERT ET AL., 2002; KAISER ET AL., 2004; PROCHNOW ET AL., 2009). Die Methanausbeuten der untersuchten Dauergrünlandstandorte unterscheiden sich in Abhängigkeit ihres Standortes und ihrer Bewirtschaftungsintensität. AMON ET AL. (2006A) zeigen signifikante Unterschiede in den Methanausbeuten zwischen Berg- und Talstandorten, aufgrund der unterschiedlichen Produktivität der Standorte. Der extensivere Bergstandort erreicht in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsintensität und des Aufwuchses spezifische Methanausbeuten zwischen $152 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $221 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$, während der produktivere Talstandort spezifische Methanausbeuten zwischen $190 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $392 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ erreicht. Auch KAISER (2007) zeigt Unterschiede in den Methanausbeuten verschiedener Dauergrünlandbestände in Bayern, in Abhängigkeit der Produktivität des Standortes und der Bewirtschaftungsintensität. Hier schwanken die spezifischen Methanausbeuten zwischen $200 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $417 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ im Grüngut und $225 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $423 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ in Silagen, wobei sich die spezifischen Methanausbeuten mit abnehmender Produktivität der Standorte verringern (KAISER, 2007). Untersuchungen zur Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege von (PROCHNOW ET AL., 2005) zeigen spezifische Methanausbeuten zwischen $155 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $298 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ in Abhängigkeit vom Schnitttermin. Weitere Untersuchungen von KIESEWALTER ET AL. (2007) ergeben spezifische Methanausbeuten von $216 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ in Silage und $179 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $202 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ im Grüngut, in Abhängigkeit von Aufwuchs und Schnitttermin. Dabei erweist sich Landschaftspflegematerial als sehr inhomogenes Substrat mit großen Schwankungsbreiten in Abhängigkeit von Schnittzeitspanne, Vegetationszusammensetzung und Witterung (PROCHNOW ET AL., 2007A; HERRMANN ET AL., 2013;). Untersuchungen zu Leguminosen (KAISER, 2007; KAISER UND GRONAUER, 2007) ergeben Methanausbeuten zwischen $189 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $363 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ in Abhängigkeit von Leguminosenart und -sorte.

Da die Methanhektarerträge stärker vom Trockenmasseertrag als von den spezifischen Methanausbeuten bestimmt werden, haben die arten- und sortenspezifischen TM-Erträge einen größeren Einfluss, die Unterschiede der spezifischen Methanausbeuten zwischen den Arten und Sorten scheinen dagegen eher zweitrangig zu sein (PROCHNOW ET AL., 2009). Dies zeigt sich beispielhaft bei Dauergrünland, bei dem die Methanhektarerträge am gleichen Standort aber bewirtschaftungsbedingten Unterschieden im TM-Ertrag, entsprechend unterschiedlich ausfallen (AMON ET AL., 2006B).

Einfluss von Erntezeitpunkt und Bewirtschaftungsintensität auf die Gasausbeute

Der Schnitttermin und die Schnitthäufigkeit haben auf die Biogas- und Methanausbeuten einen großen Einfluss in der Weise, dass mit zunehmend physiologischen Alter der Dauergrünlandaufwuchse die Biogas- und Methanausbeuten abnehmen (KIESEWALTER ET AL., 2007; PROCHNOW ET AL., 2007A; PROCHNOW ET AL., 2009; TECHOW ET AL., 2011; FUKSA ET AL., 2013; HERRMANN ET AL., 2013). Grund dafür ist die mit dem physiologischen Alter abneh-

mende Qualität (vgl. Kapitel 2.1.2, Absatz *Schnittzeitpunkt und Schnitthäufigkeit*). So tragen Rohprotein und Rohfett zu hohen Biogasausbeuten mit hohen Methangehalten bei (WEILAND, 2010), während Gerüstsubstanzen, wie Lignin und Lignin-Cellulose-Verbindungen unter anaeroben Bedingungen schlecht abbaubar sind (WEILAND, 2001; PROCHNOW ET AL., 2009). Eine erhöhte Schnitthäufigkeit wirkt sich also durch die Bereitstellung von physiologisch jüngerer Biomasse positiv auf die spezifischen Methanausbeuten aus, (PROCHNOW ET AL., 2009; FUKSA ET AL., 2012), während die Düngung keinen Einfluss zu haben scheint (PROCHNOW ET AL., 2009).

Einfluss der Silagequalität auf die Gasausbeute

Die Siliereignung und damit die Silagequalität beeinflussen die Verluste und Methanhektarerträge (HERRMANN ET AL., 2010). Die Silierverluste und die spezifischen Methanausbeuten können sich allerdings in Silagen kompensieren (PLOECHL ET AL., 2009; HERRMANN ET AL., 2011), da sich aufgrund der Bildung von organischen Säuren und Alkoholen die chemische Zusammensetzung während der Silierung verändert und sich dadurch die spezifischen Methanausbeuten erhöhen können (HERRMANN ET AL., 2011). Dies ist auch der Grund, warum in Silagen die Methanausbeuten gegenüber dem frischen Erntegut oft höher sind. Dieser positive Effekt kann allerdings, infolge von vermehrtem Proteinabbau in schlecht konservierten Silagen, überlagert werden (HERRMANN ET AL., 2011). Unter suboptimalen Lagerungsbedingungen können durch Verluste mehr als 50 % des möglichen Methanhektarertrags verloren gehen (PROCHNOW ET AL., 2009). Untersuchungen von KIESEWALTER ET AL. (2007) zeigen, dass der Einsatz von verdorbenen Grassilagen zu, um etwa einem Drittel, niedrigeren Biogasausbeuten führt, wobei der Methangehalt im Biogas bei der verdorbenen Grassilage tendenziell höher liegt (im Mittel 49 % gegenüber 45 %), da besonders mit steigenden Konzentrationen von Essigsäure, Buttersäure und Alkoholen die Methanbildung ansteigt (HERRMANN ET AL., 2011).

Möglichkeiten der Berechnung von Gasausbeuten anhand der Inhaltsstoffe

Aufgrund der engen Zusammenhänge zwischen Inhaltsstoffen aus der Weender Futtermittelanalyse (AMON ET AL., 2006A; KAISER, 2007), besonders der Faserbestandteile (HERRMANN ET AL., 2010; HERRMANN ET AL., 2011) und den Biogas- sowie Methanausbeuten, sind von verschiedenen Autoren Formeln zur Berechnung der Biogas- und Methanausbeuten entwickelt worden.

LFL (2014) berechnet die Biogas- und Methanausbeuten von Substraten durch Verrechnung der Gehalte an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen mit den entsprechenden Verdauungsquotienten der Nährstoffgruppen in dem Substrat. Für die Nährstoffgruppen werden die von BASERGA (1998) angegebenen Biogasausbeuten von $750 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ für Kohlenhydrate, $1\,250 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ für Fett und $700 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ für Protein verwendet, analog die jeweiligen Methangehalte im Biogas in gleicher Stoffgruppenreihenfolge von 50 %, 68 % und 71 %. Die Gehalte an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen ergeben sich aus den entsprechenden Rohnährstoffen, die man ebenso wie die entsprechenden Verdauungsquotienten aus Futterwerttabellen entnehmen kann.

Die Berechnung der Biogas- und Methanausbeuten erfolgt bei KAISER (2007) anhand der Inhaltsstoffe aus der erweiterten Weender Futtermittelanalyse. In die Formel (1) bzw. (2) ge-

hen die Gehalte an Rohprotein, Rohfett, organischem Rest, Hemicellulose, Cellulose und Lignin ein. Für die Erstellung der Formeln wurden Grünland, Gräser, Mais sowie andere nachwachsende Rohstoffe verwendet, wobei teilweise nicht alle Grünlandschnitte einbezogen und teilweise auch frisches Material verwendet wurden.

Berechnung der Biogasausbeute [l kg⁻¹] nach KAISER (2007)

$$(1) \quad \boxed{Biogas = 0,307 \times RP + 0,781 \times RL + 0,627 \times OR + 0,938 \times HC + 0,691 \times CL - 0,358 \times ADL}$$

$$R^2 = 0,983 \quad n=814$$

Hierbei gehen RP, RL, OR, HC, CL und ADL in g kg⁻¹ Frischmasse ein.

Berechnung der Methanausbeute [l kg⁻¹] nach KAISER (2007), Inhaltsstoffe in g kg⁻¹ FM

$$(2) \quad \boxed{Methan = 0,147 \times RP + 0,560 \times RL + 0,289 \times OR + 0,459 \times HC + 0,382 \times CL - 0,271 \times ADL}$$

$$R^2 = 0,978 \quad n=814$$

Hierbei gehen RP, RL, OR, HC, CL und ADL in g kg⁻¹ Frischmasse ein.

AMON ET AL. (2006A) entwickelten das Methan-Energiewert Modell (MEVM). In das Modell für Gras (Formel (3)) gehen die Rohnährstoffe Rohprotein, Rohfett, Rohfaser sowie stickstofffreie Extraktstoffe ein.

Berechnung der Methanausbeute [l kg⁻¹ oTM] nach AMON ET AL. (2006A)

$$(3) \quad \boxed{MEV = 2,19 \times RP + 31,38 \times RL + 1,48 \times RF + 1,85 \times NfE}$$

$$R^2 = 0,935 \quad n=40$$

Hierbei gehen RP, RL, RF, NfE als % in der Trockenmasse ein.

WEIßBACH (2008) nimmt als Grundlage für die Berechnung von Biogas- und Methanausbeuten die fermentierbare organische Substanz (FoTS). Diese berechnet sich bei Gras aller Intensitäten und Aufwüchse unter Verwendung der enzymunlöslichen Substanz und der Rohasche, bei intensiv genutzten 1. und 2. Grasaufwüchsen unter Verwendung von Rohfaser und Rohasche. Angaben zur Güte der Formel werden nicht gemacht. Für die Erstellung der Formel wurden 135 Acker- und Wiesengras-Proben ausgewertet.

Berechnung der FoTS-Gehalt [g kg⁻¹ TS] nach WEIßBACH (2008) für intensiv genutzte 1. und 2. Grasaufwüchse

$$(4) \quad \boxed{FoTS = 969 - RA + 0,26 \times RF - 0,00300 \times RF^2}$$

Hierbei gehen RA und RF in g kg⁻¹ Trockenmasse ein

Berechnung der FoTS-Gehalte [g kg⁻¹ TS] nach WEIßBACH (2008) für alle Grasaufwüchse aller Intensitäten

$$(5) \quad \boxed{FoTS = 1000 - RA - 0,62 \times EulOS - 0,000221 \times EulOS^2}$$

Hierbei gehen RA und EulOS in g kg⁻¹ Trockenmasse ein.

Unterstellt werden grundsätzliche Biogasausbeuten von 800 l kg⁻¹ FoTS und Methanausbeuten von 420 l kg⁻¹ FoTS (WEIßBACH, 2009).

Alle hier vorgestellten Formeln wurden unter unterschiedlichen Methoden entwickelt und sind somit derzeit nicht universell anwendbar.

2.3. Potenziale der Dauergrünlandbiomasse

Zum Potenzial von Biomasse für die energetische Verwertung existieren eine Vielzahl von Studien, die sich teils erheblich in ihren Annahmen und damit auch Bioenergiepotenzialen unterscheiden (siehe dazu OSTERMEYER UND PIRSCHER, 2010).

Biomasse lässt sich in vier Kategorien unterscheiden (RAMESOHL ET AL., 2005):

- 1) halmgutartige Rückstände wie Stroh- und Landschaftspflegematerial,
- 2) holzartige Rückstände wie Waldrestholz, Schwachholz, Altholz, Industrieholz und Landschaftspflegeholz,
- 3) Rest- und Abfallstoffe, wie Wirtschaftsdünger, Ernterückstände, organische Siedlungsabfälle sowie Abfälle aus Gewerbe und Industrie,
- 4) Energiepflanzen.

Dauergrünlandbiomasse zählt neben Stroh und Landschaftspflegematerial zu den halmgutartigen Rückständen und stellt nach Stroh das zweitgrößte Potenzial dieser Kategorie (RAMESOHL ET AL., 2005).

FRITSCHKE ET AL. (2004) geben für drei Szenarien Biomassepotenziale vom Dauergrünland für Deutschland an, wobei sich die Szenarien sowohl in den Anbauflächenpotenzialen als auch in den Biomasseerträgen unterscheiden. Dabei wird nicht unterschieden, ob die Biomasse nur für Biogas oder nur für Verbrennung genutzt werden kann. Zudem wird unterstellt, dass bei Dauergrünland, sobald es nicht mehr für die Tierernährung benötigt wird, eine extensive Bewirtschaftung erfolgt. Das Biomassepotenzial beträgt dabei für das Jahr 2020 je nach Szenario zwischen 0,720 Mio. t TM und 1,305 Mio. t TM bzw. das Biogaspotenzial zwischen 386 Mio. m³ und 700 Mio. m³. Für das Jahr 2030 wird von einem Biomassepotenzial je nach Szenario zwischen 1,620 Mio. t TM und 2,586 Mio. t TM und einem Biogaspotenzial zwischen 868 Mio. m³ und 1 386 Mio. m³ Biogas ausgegangen, was etwa einer Verdoppelung der Menge bedeutet.

PROCHNOW ET AL. (2007B) geben ein Potenzial vom Dauergrünland für die Verwertung in Biogasanlagen von 493 000 ha an, was 2,96 Mio. t a⁻¹ TM bzw. 787 Mio. m³ a⁻¹ Methan (rund 1 457 Mio. m³ Biogas) entspricht. Dabei wird von einem überschlägigen Flächenanteil von 10 % des nutzbaren Dauergrünlands für die Biogasproduktion ausgegangen.

KALTSCHMITT ET AL. (2008) nennen für Deutschland ein energetisch nutzbares Biomassepotenzial von 2,6 Mio. t a⁻¹ bis 4,0 Mio. t a⁻¹ Frischmasse von Gras aus Grünland. Von 6,0 Mio. t Trockenmasse für das Jahr 2020 aus Grünlandaufwüchsen wird von (THRÄN ET AL., 2010) ausgegangen. In der letztgenannten Studie wurden die Trockenmasseerträge an die Getreideerträge gekoppelt.

2.4. Treibhausgas- und Energiebilanzierung

Die Treibhausgasbilanz und die Energiebilanz der Biogasproduktion und Nutzung aus landwirtschaftlichen Ressourcen ist schon in einigen Studien untersucht worden (VOGT, 2008; TILLMANN ET AL., 2009; MEYER-AURICH ET AL., 2012). Dabei hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse von der Art der Einsatzstoffe (PLÖCHL ET AL. 2009), den Transportdistanzen für diese Einsatzstoffe (GERIN ET AL., 2008) und insbesondere von den Regeln für die Durchführung der Bilanzierung abhängen. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Grenzen der Bilanzierung (JURY ET AL., 2010) und die Referenzsysteme der alternativen Nutzungen der Einsatzstoffe (BÖRJESSON UND BERGLUND, 2007) und der alternativen Energiebereitstellung aus fossilen Quellen (GERIN ET AL., 2008). In einigen Studien wurde auch betrachtet, inwieweit sich die Umwandlung von Grünland in Ackerland und die anschließende Nutzung der darauf angebauten Maissilage auf die Ökobilanz auswirkt (OSTERBURG ET AL. 2009). Es gibt aber bisher keine Bilanzen der Treibhausgasemissionen und der kumulierten Energie zum Einsatz von Grünlandaufwuchs in Biogasanlagen.

3. Material und Methoden

3.1. Versuchsanlage und -durchführung

3.1.1. Standorte, Witterung und Nutzungsvarianten

Die Lage der sieben untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften ist in Abbildung 6 dargestellt. Bei den Dauergrünlandpflanzengesellschaften handelt es sich nach einer vegetationskundlichen Aufnahme (Ertragsanteilschätzung nach KLAPP-STÄHLIN in VOIGTLÄNDER UND VOß, 1979) im ersten Versuchsjahr 2010 (im Anhang Tabelle A 1 bis Tabelle A 7) um einen Ansaatgrünland-Weidelgras typ, drei Weidelgras-Weißkleeweiden (*Lolio-Cynosuretum*), eine Wiesenfuchsschwanzwiese (*Galio-Alopecuretum*), eine Glatthaferwiese (*Daucorrrhenatheretum*) und ein Montanes Intensivgrünland, welche sechs wichtige Grünland- und Futterbaugebiete (GRAF ET AL., 2009) in Deutschland (Tabelle 4) repräsentieren.

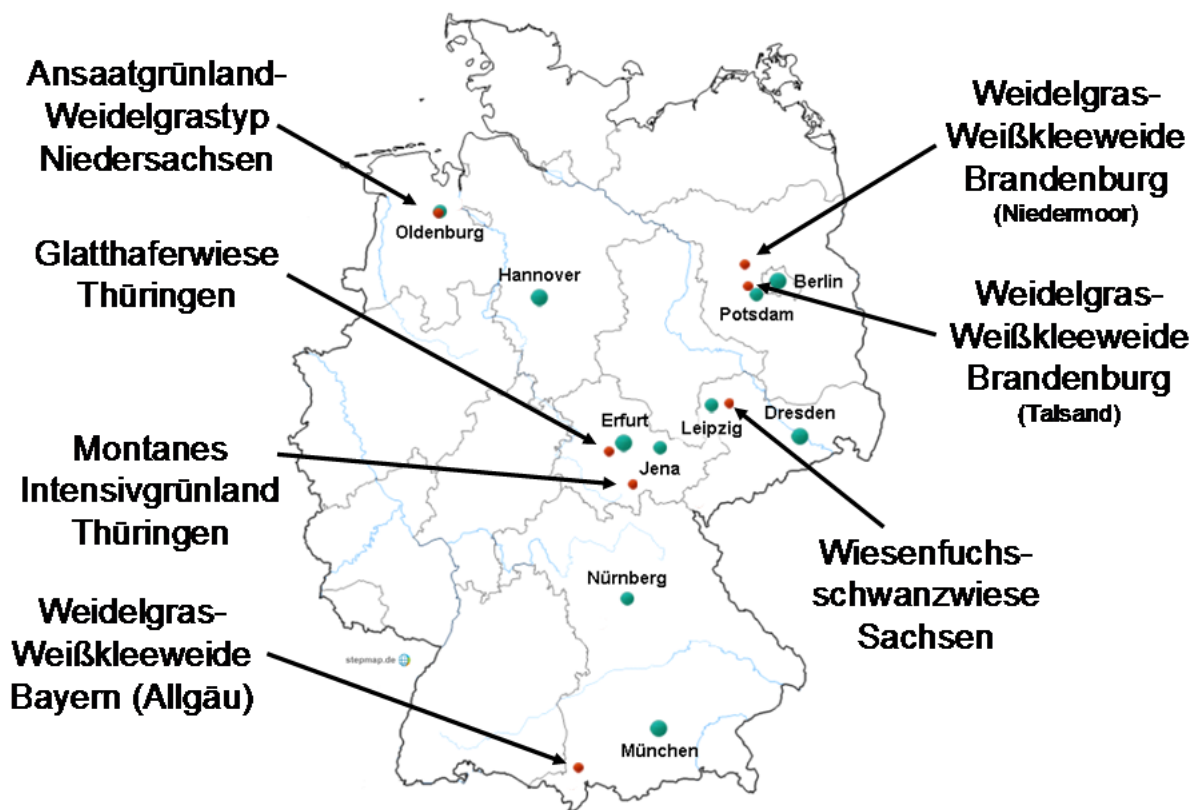


Abbildung 6: Lage der untersuchten produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften

Eine weitere Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Mittelfranken, sommertrockene Lage), am Standort Triesdorf, wurde wegen fehlender Plausibilität der Ertragsdaten sowie erheblicher Ertragsausfälle aus der textlichen Berichtslegung ausgeschlossen. Die verwertbaren Ergebnisse finden sich im Anhang (Tabelle A 21 bis Tabelle A 33), konnten aber aufgrund der lückenhaften Datenstruktur nicht mit in die Gesamtauswertung genommen werden.

Die repräsentierten Anbauggebiete umfassen die leichten Standorten Nordwest- und die trockenen Standorte Nordostdeutschlands sowie die günstigen Übergangs- und Mittelgebirgslagen in Mitteleuropa, als auch die sommertrockenen Lagen Mitteleuropas und die Voralpengebiete in Süddeutschland.

Durch den jeweiligen Standort, dem entsprechenden Futterbau- und Grünlandanbaugesamt, der Ausprägung mit Artenzahl und den bestandesprägenden Arten (Tabelle 4) sowie durch das am Standort vorherrschende Klima und dem vorkommenden Bodentyp (Tabelle 5), können auch die drei Weidelgras-Weißkleeweiden als unterschiedlich ausgeprägt betrachtet werden, obwohl sie grundsätzlich zur gleichen Dauergrünlandpflanzengesellschaft gehören.

Tabelle 4: Pflanzengesellschaften im Versuch sowie die Ausprägung zu Versuchsbeginn und die jeweiligen bestandesprägenden Arten; Anbaugesamte Grünland/Futterbau nach GRAF ET AL. (2009)

	Dauergrünland- pflanzengesellschaft	Standort und Anbaugesamt	Ausprägung zu Versuchs- beginn	bestandesprägende Arten
1	Ansaatgrünland- Weidelgrastyp	Niedersachsen (Ammerland), leichte Standorte Nordwest	artenarm, ohne Leguminosen, 7 Arten	Deutsches Weidelgras
2	Weidelgras- Weißkleeweide <i>Lolio-Cynosuretum</i>	Brandenburg Havelland (Niedermoor), trockene Standorte Nordost	artenreich, ohne Leguminosen, 31 Arten	Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Quecke
3	Weidelgras- Weißkleeweide <i>Lolio-Cynosuretum</i>	Brandenburg Havelland (Talsand), trockene Standorte Nordost	typische Ausprägung, 32 Arten	Deutsches Weidelgras, Wiesenschwingel, Wiesenlieschgras, Wiesenrispe
4	Wiesenfuchs- schwanzwiese <i>Galio-Alopecuretum</i>	Sachsen (Mulde-Über- schwemmungsgebiet), günstige Übergangslagen	typische Ausprägung, 25 Arten	Wiesenfuchsschwanz, Weißstraußgras, Wiesensauerampfer
5	Glatthaferwiese <i>Dauco-Arrhenatheretum</i>	Thüringen, sommertrockene Lagen	typische Ausprägung, 34 Arten	Glatthafer, Wiesenrispe, Wiesenstorchschnabel
6	Montanes Intensivgrünland	Thüringen, Mittelgebirgslagen Ost	typische Ausprägung, ohne Wald- Storchschnabel, 29 Arten	Goldhafer, Wiesenrispe, Rot- und Weißklee
7	Weidelgras- Weißkleeweide <i>Lolio-Cynosuretum</i>	Bayern (Allgäu), Voralpengebiet	artenreich, typische Ausprägung, 24 Arten	Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Weißklee

Bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen und dem Montanen Intensivgrünland Thüringen handelt es sich um angesäte Grünlandbestände, wobei die Ansaat schon mehr als fünf Jahre zurücklag und beide Pflanzengesellschaften damit zum Dauergrünland zählen. Der Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen tendiert seitens seiner Pflanzenbestandeszusammensetzung zu den Weidelgras-Weißkleeweiden und das Montane Intensivgrünland Thüringen in Richtung Goldhaferwiese.

Mit 34 Arten ist die Glatthaferwiese Thüringen die artenreichste Dauergrünlandpflanzengesellschaft, während die artenärmste Dauergrünlandpflanzengesellschaft der Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen mit nur 7 Arten ist. Die anderen Pflanzengesellschaften können mit 24 bis 32 Arten ebenfalls als artenreich angesehen werden.

Die Standortbedingungen (Tabelle 5) variieren zwischen Jahresmitteltemperaturen von 5,7 °C (Montanes Intensivgrünland Thüringen) bis 9,2 °C (Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg) und Niederschlägen zwischen 502 mm (Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg) und 1 300 mm (Weidelgras-Weißkleeweide Bayern - Allgäu) sowie zwischen Höhenlagen von 10 m ü. NN (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen) und 730 m ü. NN (Weidelgras-Weißkleeweiden Bayern - Allgäu). Damit sind die unterschiedlichsten Standortbedingungen vertreten.

Tabelle 5: Standortcharakteristika der Versuchsstandorte

Dauergrünland- pflanzengesellschaft Standort	Bodentyp	Klima		Höhe über N.N. [mm]
		langj. mittlere Jahrestemperatur [°C]	langj. mittlerer Jahres- niederschlag [mm Jahr ⁻¹]	
Ansaatgrünland- Weidelgrastyp Niedersachsen	Pseudogley	9,0	733	10
Weidelgras- Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	Niedermoor	9,2	502	34
Weidelgras- Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	Humusgley aus Flusssand	9,2	502	34
Wiesenfuchs- schwanzwiese Sachsen	Vega	9,1	610	135
Glatthaferwiese Thüringen	Bergton- Rendzina	8,0	542	303
Montanes Intensivgrünland Thüringen	Schiefer- Schuttbraun- erde	5,7	861	642
Weidelgras- Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	Parabrauner- de	6,7	1 300	730

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn und die Einteilung in die entsprechenden Gehaltsklassen (Tabelle 6) zeigen, dass die Standorte sehr unterschiedlich mit Nährstoffen versorgt sind. Während der Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen und die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen mit der pH-Klasse B niedrige Werte aufweisen, liegen die pH-Werte besonders bei den Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg und der Glatthaferwiese Thüringen in den pH-Klassen D und E. Die anderen Standorte liegen in der pH-Klasse C.

Die Phosphorgehalte schwanken in den Gehaltsklassen B bis D, wobei die Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) den niedrigsten Gehalt und die Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg (Niedermoor) und Bayern (Allgäu) sowie die Glatthaferwiese Thüringen die höchsten Gehalte aufweisen. Die anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften befinden sich in der optimalen Gehaltsklasse C.

Ebenfalls zwischen den Gehaltsklassen B und D schwanken die Kaliumgehalte. Die höchsten Kaliumgehalte hat die Glatthaferwiese Thüringen, die niedrigsten das Montane Intensivgrünland Thüringen, während die Böden der anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften in der Gehaltsklasse C liegen.

Die Magnesiumgehalte bewegen sich in den Gehaltsklassen C bis E und damit in Bereichen optimaler bis sehr hoher Gehalte. Dabei befinden sich die Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg (Talsand) sowie Bayern (Allgäu) mit E in der höchsten Gehaltsklasse, während der Ansaatgrünland-Weidelgras Typ Niedersachsen und die Glatthaferwiese Thüringen mit der Gehaltsklasse C am niedrigsten, damit jedoch im optimalen Bereich, liegen.

Tabelle 6: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn mit Spannweiten in Klammern und Einordnung in die entsprechenden Gehaltsklassen

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	pH - Wert	Phosphor	Kalium [mg 100 g ⁻¹ Boden]	Magnesium
Ansaatgrünland-Weidelgras Niedersachsen	4,7 B	5,0 C	9,0 C	5,0 C
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	7,3 D (7,2 - 7,4)	8,9 D (5,9 - 11,5)	12,6 C (8,0 - 22,0)	13,0 D (10,5 - 14,5)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	7,2 E (7,1 - 7,3)	3,2 B (1,9 - 4,7)	11,5 C (9,0 - 17,0)	9,7 E (8,2 - 11,0)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	5,1 B (5,0 - 5,1)	6,5 C (6,1 - 7,1)	5,9 B (5,4 - 6,5)	20,1 E (18,7 - 21,6)
Glatthaferwiese Thüringen	7,1 E (7,0 - 7,2)	7,7 D (5,8 - 8,7)	24,5 D	10,5 C (10,2 - 10,8)
Montanes Intensivgrünland Thüringen	5,6 C (5,5 - 5,7)	6,2 C (4,3 - 7,4)	5,0 B (±0)	* E
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	5,8 C (5,7 - 6,0)	9,6 D (8,0 - 12,0)	13,3 C (10,0 - 17,0)	27,9 E (7,0 - 30,0)

* langjährig in der Gehaltsklasse E

Nutzungsvarianten im Versuch

Ziel bei der Wahl der Nutzungsvarianten war es, ein möglichst breites, praxisorientiertes Bewirtschaftungsspektrum abzudecken. Sowohl die Bewirtschaftung für die Milchviehfütterung kombiniert mit der Biogasproduktion als auch eine ressourcenschonende, das Standortpotenzial nutzende Bewirtschaftung sowie eine Bewirtschaftung, die der Pflanzengesellschaft die Möglichkeit gibt, sich auf natürlichem Weg zu regenerieren, wurden hinsichtlich der Optimierung der Biomassebereitstellung für die Biogasproduktion untersucht.

Nutzungsvariante 1: **standorttypische Intensität** (Futter für Milchvieh) - **nachhaltig optimal**; Diese Nutzungsvariante sollte die Bereitstellung von Grundfutter höchster Qualität für die Milchviehfütterung absichern. Standortabhängig sollten vier bis fünf Schnitte pro Jahr geerntet werden, wobei die Ernte der ersten drei Schnitte im vegetativen Zustand bis Mitte Juli erfolgen sollte. Die N-Düngung entsprach dem standortangepassten Optimum (Tabelle 7). Die Grunddüngung mit Phosphor und Kalium orientierte sich am Entzug.

Nutzungsvariante 2: Qualitätsfutterbereitstellung **mit reduzierter N-Düngung und weniger Schnitten**; Ziel dieser Nutzungsvariante war, analog zur Nutzungsvariante 1, die Bereitstellung von Grundfutter mit hoher Qualität bei allerdings reduzierter Stickstoffdüngung. Die Schnitffrequenz lag bei drei bis maximal vier Schnitten, wobei die Ernte der ersten drei Aufwüchse bis Mitte Juli im vegetativen Zustand erfolgen sollte. Die N-Düngung verteilte sich standortabhängig auf die ersten zwei bzw. drei Aufwüchse, und orientierte sich ebenfalls am standortangepassten Optimum (Ausnahmen Weidelgras-Weißkleeweide Bayern - Allgäu). Die Grunddüngung erfolgte entzugsorientiert (Tabelle 7).

Nutzungsvariante 3: **Nutzung des Standortpotenzials**; Bei dieser Nutzungsvariante sollte das Wachstumspotenzial des Standortes ausgenutzt werden. Angestrebt wurden standortabhängig drei bis maximal vier Schnitte pro Jahr. Die Erntetermine der ersten beiden Aufwüchse waren im Übergang von der vegetativen zur generativen Entwicklung des oder der Hauptbestandsbildner geplant, die Ernte des dritten Aufwuchses in der Mähreife. Die Stickstoffdüngung erfolgte standortangepasst mit reduzierten Mengen zu den ersten beiden bzw. ersten drei Aufwüchsen. Die Grunddüngung orientierte sich am Entzug (Tabelle 7).

Nutzungsvariante 4: **Bestandespflge**; Diese Nutzungsvariante zielte auf die natürliche Regeneration der Dauergrünlandpflanzengesellschaft ab. Mit drei bis maximal vier Schnitten pro Jahr sollte die Ernte des zweiten Aufwuchses erst nach Ende der Blüte des oder der Hauptbestandsbildner erfolgen und diesen somit die Möglichkeit der Samenbildung geben. Dafür wurde der erste Aufwuchs sehr früh, zum standorttypischen Weidebeginn und die dritten bzw. eventuell vierten Schnitte ab der Mähreife geerntet. Die Stickstoffdüngung erfolgte standort- und nutzungsangepasst und die

Grunddüngung entzugsorientiert (Tabelle 7). Eine Ausnahme bildet hier die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen, wo der 1. Aufwuchs erst nach der Blüte der Hauptbestandsbildner geerntet wurde und der 2. Aufwuchs entsprechend früher, da die Vermutung bestand, dass der Wiesenfuchsschwanz nach einem sehr frühen ersten Schnitt in einem zweiten späten Schnitt nicht mehr in die generative Phase kommt.

Tabelle 7: Düngungsregime der Versuchsfelder [kg ha⁻¹ Jahr⁻¹] differenziert nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Nutzungsvariante

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Nutzungsvariante	Stickstoff [kg ha ⁻¹ Jahr ⁻¹] pro Aufwuchs						Phosphor [kg ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	Kalium [kg ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]
		1.	2.	3.	4.	5.	Σ		
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen	1	100	80	60	40		280	52	225
	2	100	80	40			220	52	225
	3	80	60	40			180	52	225
	4	80	80	60			220	52	225
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	1	60	70	50	0		180	35	250
	2	60	70	0	0		130	30	220
	3	50	60	0			110	30	220
	4	60	70	0			130	30	220
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	1	70	80	50	0		200	30	220
	2	70	80	0	0		150	25	200
	3	60	70	0			130	25	200
	4	70	80	0			150	25	200
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	1	60	60	50	40		210	35	220
	2	60	60	0	0		120	30	200
	3	60	60	0			120	30	200
	4	60	60	0			120	25	180
Glatthaferwiese Thüringen	1	60	70	50	0		180	30	220
	2	60	70	0	0		130	25	180
	3	50	60	0			110	25	180
	4	60	70	0			130	25	180
Montanes Intensivgrünland Thüringen	1	70	80	50	0		200	30	220
	2	70	80	0	0		150	25	200
	3	60	70	0			130	25	200
	4	70	80	0			150	25	200
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	1	60	60	60	60	60	300	44	249
	2	60	60	60	40		220	40	224
	3	40	40	60	60		200	40	224
	4	60	0	60	60		180	40	224

Die applizierten **Düngungsmengen** (Tabelle 7) lagen in Abhängigkeit von der Dauergrünlandpflanzengesellschaft, dem Standort und der Nutzungsvariante zwischen 110 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹ und 300 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹. Die höchsten Stickstoffgaben wurden bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) appliziert (180 kg ha⁻¹ Jahr⁻¹ bis 300 kg ha⁻¹ Jahr⁻¹), die niedrigsten Stickstoffgaben erfolgten bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) und der Glatthaferwiese Thüringen mit Mengen

zwischen $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ und $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$. Die höchsten Stickstoffmengen wurden entsprechend bei Nutzungsvariante 1 ($180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ bis $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$), die niedrigsten bei Nutzungsvariante 3 ($110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ bis $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) gedüngt. Die Nutzungsvarianten 2 und 4 lagen mit Mengen von $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ bis $220 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ im mittleren Bereich. Die zu den ersten zwei Aufwüchsen der ersten beiden Nutzungsvarianten gedüngten Stickstoffmengen waren gleich hoch und erst zum 3. Aufwuchs erfolgte bei der Nutzungsvariante 2, gegenüber der Nutzungsvariante 1, eine reduzierte oder keine Stickstoffdüngung. Eine Ausnahme bildete hier die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu), wo zwar zu allen Aufwüchsen gedüngt wurde, bei der Nutzungsvariante 1 allerdings ein Aufwuchs mehr als bei Nutzungsvariante 2 geplant war.

Die am Entzug orientierte Phosphor- und Kaliumdüngung lag zwischen $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ und $52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ Phosphor sowie zwischen $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ und $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ Kalium.

Die mittleren **Schnitttermine** sind für die einzelnen Aufwüchse der entsprechenden Nutzungsvarianten, Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Standorte der Versuchsjahre 2010 bis 2013 in Tabelle 8 dargestellt.

Der **1. Aufwuchs** der Nutzungsvariante 4 wurde, mit Ausnahme der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen am frühesten geerntet. Im Mittel des Versuchszeitraums erfolgte die Ernte zwischen dem 02. Mai (Weidelgras-Weißkleeweide Bayern - Allgäu) und 10. Mai (Montanes Intensivgrünland Thüringen). Der 1. Aufwuchs der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen wurde dazu im Gegensatz sehr spät geerntet (13. Juni), um dem Wiesenfuchsschwanz im 1. Aufwuchs die Möglichkeit zur generativen Vermehrung zu geben. Die Ernte der 1. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 erfolgte im Mittel der Versuchsjahre zeitgleich, mit Ausnahme der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu). Die standortabhängigen Erntetermine der 1. Aufwüchse beider Varianten reichten vom 07. Mai (Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) bis 25. Mai (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen). Am spätesten wurden die 1. Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 geerntet. Hier lagen die Schnitttermine zwischen dem 18. Mai (Glatthaferwiese Thüringen) und dem 16. Juni. Mai (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen).

Die Ernte der **2. Aufwüchse** der Nutzungsvarianten 1 und 2 erfolgte nach Wuchszeiten zwischen 5 bis 6 Wochen, Mitte Juni bis Anfang Juli. Bei Nutzungsvariante 3 wurden die 2. Aufwüchse nach 7 bis 9 Wochen Wuchsdauer, zwischen Ende Juni/Anfang Juli und Ende August (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen) geerntet. Die längsten Wuchszeiten hatten, entsprechend dem Ziel der Nutzungsvariante, die 2. Aufwüchse bei der Nutzungsvariante 4. Sie betragen 10 bis 11 Wochen, mit der schon genannten Ausnahme der Wiesenfuchsschwanzwiese.

Die Ernte der **3. Aufwüchse** erfolgte mit Wuchszeiten zwischen 5 und 10 Wochen bei den ersten beiden Nutzungsvarianten und 7 bis 12 Wochen bei den Nutzungsvarianten 3 und 4.

Die Wuchszeiten der **4. Aufwüchse** betragen 4 bis 11 Wochen, die des **5. Aufwuchses** der Nutzungsvariante 1 bei der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) etwa 5 Wochen.

Tabelle 8: Schnitttermine im Mittel der Versuchsjahre 2010 bis 2013 nach Nutzungsvarianten und Aufwuchs am jeweiligen Versuchsstandort

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs	5. Aufwuchs
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen					
1	25. Mai	05. Juli	28. August	18. Oktober	
2	25. Mai	05. Juli	28. August	07. November	
3	16. Juni	20. August	14. Oktober		
4	08. Mai	16. Juli	26. September	23. Oktober	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)					
1	11. Mai	16. Juni	29. Juli	28. September	
2	11. Mai	16. Juni	29. Juli	29. September	
3	21. Mai	02. Juli	02. September	14. Oktober	
4	08. Mai	26. Juli	01. Oktober		
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)					
1	10. Mai	15. Juni	29. Juli	02. Oktober	
2	10. Mai	15. Juni	29. Juli	27. September	
3	19. Mai	30. Juni	16. September	13. Oktober	
4	06. Mai	24. Juli	09. Oktober		
Wiesenfuchsschwanzwiese (Sachsen)*					
1	07. Mai	17. Juni	30. Juli	05. Oktober	
2	07. Mai	17. Juni	30. Juli	05. Oktober	
3	22. Mai	09. Juli	06. Oktober		
4	13. Juni	05. August	06. Oktober		
Glattthaferwiese (Thüringen)					
1	09. Mai	18. Juni	24. Juli	04. Oktober	
2	09. Mai	18. Juni	30. August	06. September**	
3	18. Mai	04. Juli	29. September	04. Oktober**	
4	04. Mai	15. Juli			
Montanes Intensivgrünland (Thüringen)					
1	14. Mai	23. Juni	2. August	27. September	
2	14. Mai	23. Juni	2. August	27. September	
3	23. Mai	03. Juli	18. September		
4	10. Mai	15. Juli	27. September		
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*					
1	08. Mai	09. Juni	14. Juli	25. August	01. Oktober
2	12. Mai	18. Juni	31. Juli	26. September	
3	24. Mai	04. Juli	25. August	01. Oktober	
4	02. Mai	15. Juli	31. August	09. Oktober	

* nur Versuchsjahre 2011 bis 2013

** geringer Abstand zum vorhergehenden Aufwuchs, da der letzte Aufwuchs nur einmal im Versuchszeitraum geerntet werden konnte

Witterungsbedingt konnten jedoch nicht in jedem Versuchsjahr alle geplanten Aufwüchse geerntet werden. Die einzelnen Schnitttermine nach Versuchsjahren, Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungsvariante und Aufwuchs sind im Anhang (Tabelle A 8) aufgeführt. Die jeweils in den einzelnen Versuchsjahren tatsächlich geernteten Aufwüchse werden in den Ergebnissen aufgeführt.

Witterungsverlauf

Der gemittelte **Vegetationsbeginn** der Dauergrünlandpflanzengesellschaften der Versuchsjahre 2010 bis 2013 ist in Tabelle 9 dargestellt. Der Vegetationsbeginn in den einzelnen Versuchsjahren wurde mittels der 200 °C-Grünland-Temperaursomme nach ERNST UND LOEPER (1976, zitiert in SCHAUMBERGER, 2011) festgelegt, in dem die Tagesmitteltemperaturen in 2 m Höhe, die über 0 °C lagen, im Januar mit dem Faktor 0,5, im Februar mit dem Faktor 0,75 und ab März mit dem Faktor 1,0 multipliziert und anschließend aufsummiert wurden. Im Mittel der Versuchsjahre lag der Vegetationsbeginn zwischen dem 26. März (Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) und dem 12. April (Montanes Intensivgrünland Thüringen). Über alle Standorte konnte der früheste Vegetationsbeginn in den Versuchsjahren 2011 und 2012 mit dem 26. bzw. 21. März festgestellt werden. Im Versuchsjahr 2010 lag der Vegetationsbeginn am 05. April, im Versuchsjahr 2013 am 18. April und damit am spätesten. Im Mittel des Untersuchungszeitraumes lag der Vegetationsbeginn über alle Standorte am 02. April.

Tabelle 9: Gemittelter Vegetationsbeginn (Spannweiten in Klammern) im Versuchszeitraum 2010 bis 2013 an den Versuchsstandorten

Dauergrünlandpflanzengesellschaft	Vegetationsbeginn	
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen	28. März	(14. März - 16. April)
Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg	31. März	(17. März - 17. April)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*	26. März	(15. März - 15. April)
Glatthaferwiese Thüringen	03. April	(21. März - 20. April)
Montanes Intensivgrünland Thüringen	12. April	(04. April - 25. April)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*	04. April	(27. März - 17. April)

* nur Versuchsjahre 2011 bis 2013

Der Zeitraum für die Witterungsbetrachtung des entsprechenden Versuchsjahres begann jeweils im November des Vorjahres und ging bis Oktober des jeweiligen Versuchsjahres, da im Mittel der Versuchsjahre die Ernte der letzten Aufwüchse überwiegend Ende Oktober abgeschlossen war. Zur besseren Beurteilung der Witterung in der Vegetationsperiode, ist in Tabelle 10 neben der Witterung von November bis Oktober, die Witterung von April bis Oktober extra dargestellt.

Im Mittel des Versuchszeitraums fielen die Niederschlagsmengen gegenüber dem langjährigen Mittel bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen rund 12 % niedriger und bei den Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg rund 19 % höher aus. In der Vegetationsperiode lagen die Niederschläge bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen 3 % unter und bei den Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg rund 50 % über dem langjährigen Mittel. Die mittleren Temperaturen im Versuchszeitraum wichen nur bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen geringfügig nach unten ab, während besonders bei dem Montanen Intensivgrünland Thüringen, der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) und der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen die Temperaturen mit 0,8 K, 1,0 K und 1,1 K deutlich nach oben abwichen. In der Vegetationsperiode lagen die Temperaturen der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) mit 1,5 bzw. 1,3 K sowie bei dem Montanen Intensivgrünland Thüringen mit 1,1 K deutlich über dem langjährigen Mittel.

Tabelle 10: Übersicht der Niederschlagsmengen [mm] sowie der Temperatur [°C] im Mittel der Versuchsjahre bzw. Vegetationszeiträume 2010 bis 2013

Standort	mittlere Niederschlagssumme [mm]		mittlere Temperatur [°C]	
	November bis Oktober	April bis Oktober	November bis Oktober	April bis Oktober
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
Mittel 2010-2013	670,0	445,4	9,1	13,7
<i>langjähriges Mittel</i>	759,3	457,7	9,3	13,6
Weidegras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor und Talsand)				
Mittel 2010-2013	579,6	409,8	9,3	14,6
<i>langjähriges Mittel</i>	501,9	275,2	9,2	14,1
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*				
Mittel 2011-2013	623,2	400,7	10,2	15,6
<i>langjähriges Mittel</i>	609,6	387,1	9,1	14,1
Glatthaferwiese Thüringen				
Mittel 2010-2013	571,7	411,4	8,0	12,9
<i>langjähriges Mittel</i>	541,3	361,9	8,0	13,1
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
Mittel 2010-2013	792,6	527,8	6,5	11,6
<i>langjähriges Mittel</i>	861,1	503,4	5,7	10,5
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*				
Mittel 2010-2013	1 224,2	863,9	7,9	13,0
<i>langjähriges Mittel</i>	1 273,5	849,9	6,9	11,7

* nur Versuchsjahre 2011 bis 2013

Bei der Betrachtung der Witterung der einzelnen Standorte und Monate (im Anhang Abbildung A 1 bis Abbildung A 6) zeigte sich, dass teilweise erhebliche Abweichungen von den langjährig mittleren Niederschlagsmengen sowie langjährig mittleren Temperaturen, sowohl nach oben als auch nach unten auftraten, was zu großen Schwankungen zwischen den Versuchsjahren führte.

Die größten Schwankungen innerhalb der Vegetationsperiode gab es in den Monaten Mai und Juli, gefolgt von Juni und August. Hier schwankten in einzelnen Versuchsjahren die Niederschläge über alle Standorte zwischen 51 % und 238 % im Monat Mai, 55 % und 270 % im Juli, 93 % und 176 % im Juni sowie zwischen 64 % und 135 % im Monat August.

Die Temperaturen schwankten ebenfalls teils erheblich. Die Differenzen erreichten in Einzelfällen über 9,0 °C. Besonders hohe Schwankungen hatten die Monate Dezember und März, wo im Mittel aller Standorte die Schwankung rund 8,0 °C betrug.

3.1.2. Probenahme, -aufbereitung und -analysen

Die **Probenahme** erfolgte zum jeweiligen Erntezeitpunkt, wobei die Gutfeuchte bestimmt und dokumentiert wurde (Feuchte 1 = tropfnass bis Feuchte 6 = trocken). Zur Ernte sollte diese zwischen feucht-frisch (Feuchte 4) und trocken (Feuchte 6) liegen. Von jeder der vier Wie-

derholungen wurden mindestens 2,5 kg Erntematerial repräsentativ entnommen und zu einer einheitlichen Sammelprobe von mindestens 10 kg vermischt. 2 kg dieser Sammelprobe wurden zerkleinert, nochmals vermischt und 250 g für die Bestimmung des TS-Gehalts bei 105 °C verwendet sowie 1,5 kg bei 60 °C getrocknet und mit den genauen Ein- und Rückwaagen an die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zur Inhaltsstoffanalyse verschickt. Das verbleibende Material der Sammelprobe wurde angewelkt, gehäckselt und 250 g des gehäckselten Materials wiederum für eine TS-Gehaltsbestimmung des Welkgutes bei 105 °C entnommen. Anschließend erfolgte die Silierung des restlichen Materials in vier WECK-Gläsern (Tulpenform, 1 Liter Volumen). Die Lagerdauer der Gläser betrug 90 Tage (\pm 1 bis 2 Tage). Nach Ende der Lagerdauer wurden die Silagen an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft ausgelagert. Vor der Zusammenfassung der entsprechenden Silagen aus den vier Gläsern zu einer Mischprobe und der Aufteilung dieser Probe für die entsprechenden Analysen, wurden die vier Gläser sensorisch auf ihre Silagequalität geprüft. Bei Feststellung von starken Abweichungen bzw. Verderb wurden einzelne Gläser verworfen. Für die Batchtests zur Bestimmung der Gasausbeuten wurde Material der Mischprobe eingefroren und an das Leibniz-Institut für Agrartechnik nach Potsdam-Bornim geliefert.

Die Probenahme von Bodenproben erfolgte jeweils vor dem Versuchsbeginn, nach dem dritten Versuchsjahr sowie nach Versuchsende.

Das **Analysespektrum** der **Grüngutproben** im Labor umfasste Parameter der erweiterten Weender Futtermittelanalyse (Rohasche, Rohfaser, Rohprotein, Rohfett, ADF_{org}, ADL, NDF_{org}, Gesamtzucker), ELOS sowie die Makro- und Mikronährstoffe: Ca, P, Na, Mg, K, Cu, Mn, Zn, Fe, S, Br, Al, Cl, Si, Sr und wurde nach den in Tabelle 11 aufgelisteten Verfahren und Normen im Labor der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt.

Tabelle 11: Analyseverfahren und Normen der im Grüngut untersuchten Parameter

Parameter	Verfahren	Norm
Trockensubstanz	Trockenschrank	VO(EG) 152/2009, Anhang III, A
Rohasche	Trockenveraschung im Muffelofen	VO(EG) 152/2009, Anhang III, M
Rohprotein	Kjeldahldestillation	VO(EG) 152/2009, Anhang III, C
Rohfaser	Fibertec	VO(EG) 152/2009, Anhang III, I
ADF _{org}	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.2
Lignin	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.3
NDF _{om}	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.1
Rohfett	Petroletherextraktion nach HCL-Hydrolyse	VDLUFA MB BD. III, 5.1.1
Gesamtzucker	Luff-Schoorl nach ethanolischer Extraktion	VDLUFA MB BD. III, 7.1.1
ELOS	Cellulasemethode	VDLUFA MB BD. III, 6.6.1 ERG1999
Ca, P, Na, Mg, K, Cu, Mn, Zn, Fe, S, Br, Al, Cl, Si, Sr	Röntgenfluoreszenzanalyse	Hausmethode SOP V1-260-01

Für die Berechnung der umsetzbaren Energie (ME) und der Netto-Energie-Laktation (NEL) wurden die Gleichungen zur Schätzung der umsetzbaren Energie für Wiederkäuer der Ge-

sellschaft für Ernährungsphysiologie (2008; zitiert in GERIGHAUSEN, 2011) verwendet (Formel (6) und Formel (7)), die sowohl für Grüngut als auch Silagen und Heu gelten.

Berechnung der umsetzbaren Energie (ME) [MJ kg⁻¹ TM]

$$(6) \quad ME = 5,51 + 0,0828 \times ELOS - 0,0511 \times RA + 0,2507 \times RL - 0,0392 \times ADF_{org}$$

Hierbei gehen ELOS, RA, RL, ADF_{org} als % in der TM ein.

Berechnung der Netto-Energie-Laktation (NEL) [MJ kg⁻¹ TM]

$$(7) \quad NEL = 0,6 \times (1 + 0,004 \times (q - 57)) \times ME$$

Die Berechnung von q erfolgte nach Formel 8, wofür die Gesamtenergie (GE) (Formel 9) benötigt wurde.

Berechnung von q

$$(8) \quad q = \left(\frac{ME}{GE} \right) \times 100$$

Berechnung der Gesamtenergie (GE) [MJ kg⁻¹ TM]

$$(9) \quad GE = (0,0239 \times RP + 0,0398 \times RL + 0,0201 \times RF + 0,0175 \times (100 - RA - RL - RP - RF)) \times 10$$

Hierbei gehen RP, RL, RF, RA als % in der TM ein.

Das Analysespektrum der **Silageproben** umfasste wie beim Grüngut Parameter der erweiterten Weender Futtermittelanalyse (Rohasche, Rohfaser, Rohprotein, Rohfett, ADF_{org}, ADL, NDF_{org}), ELOS, die Makro- und Mikronährstoffe: Ca, P, Na, Mg, K, Cu, Mn, Zn, Fe, S, Br, Al, Cl, Si, Sr sowie zusätzlich den Ammoniakgehalt, pH-Wert, die Gärsäuren: Ethanol, Essigsäure, Propionsäure, Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure sowie Milchsäure, und wurde nach den in Tabelle 12 aufgelisteten Verfahren und Normen durchgeführt. Bis auf die Analyse der Milchsäure erfolgten alle Analysen in den entsprechenden Laboren der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena. Die Milchsäureanalyse erfolgte bei der Food GmbH Jena Analytik - Consulting in Jena.

Tabelle 12: Analyseverfahren und Normen der in den Silagen untersuchten Parameter

Parameter	Verfahren	Norm
Trockensubstanz	Trockenschrank	VO(EG) 152/2009, Anhang III, A
Rohasche	Trockenveraschung im Muffelofen	VO(EG) 152/2009, Anhang III, M
Rohprotein	Kjeldahldestillation	VO(EG) 152/2009, Anhang III, C
Rohfaser	Fibertec	VO(EG) 152/2009, Anhang III, I
ADF _{org}	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.2
Lignin	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.3
NDF _{org}	Fibertec	VDLUFA MB BD. III, 6.5.1
Rohfett	Petroletherextraktion nach HCL-Hydrolyse	VO(EG) 152/2009, Anhang III, H
ELOS	Cellulasemethode	VDLUFA MB BD. III, 6.6.1 ERG1999
Ca, P, Na, Mg, K, Cu, Mn, Zn, Fe, S, Br, Al, Cl, Si, Sr	Röntgenfluoreszenzanalyse	Hausmethode SOP V1-260-01
Ammoniak	Mikrodiffusion und anschließende Titration mit Schwefelsäure	VDLUFA MB BD. III, 4.8.1
pH-Wert	Potentiometrie	VDLUFA MB BD. III, 18.1
Ethanol, Essigsäure, Propionsäure, Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure	GC im wässrigen Extrakt ohne Methylierung	Hausmethode Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Milchsäure	enzymatisch, r-biopharm	Food GmbH Jena Analytik - Consulting Jena

Die Berechnung der umsetzbaren Energie (ME) und der Netto-Energie-Laktation (NEL) erfolgte analog zur Berechnung der Energiegehalte im Grüngut (Formel (7) bis Formel (9)).

Die an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft untersuchten **Bodenproben** wurden auf pH-Wert, Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalt, nach den in Tabelle 13 aufgeführten Verfahren, untersucht.

Tabelle 13: Analyseverfahren und Normen der Untersuchungsparameter im Boden

Parameter	Verfahren	Norm
pH (CaCl ₂)	Potentiometrie	MB VDLUFA BD. I A 5.1.1
P (CAL)	Calcium-Acetat-Laktat (CAL)-Auszug mit Photometrie/F-AAS	MB VDLUFA BD. I A 6.2.1.1
K (CAL)	Calcium-Acetat-Laktat (CAL)-Auszug mit Photometrie/F-AAS	MB VDLUFA BD. I A 6.2.1.1
Mg (CaCl ₂) pflanzenverfügbares Magnesium	Calciumchlorid-Auszug mit F-AAS	MB VDLUFA BD. I A 6.2.4.1

3.2. Durchführung der Batchtests

Die Batchtests für die Bestimmung der Methanausbeuten wurden am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) durchgeführt (HERRMANN ET AL., 2011) und erfolgten an frischen Silagen (Probenahme und Aufbereitung siehe Kapitel 3.1.2). Die Tests erfolgten in 2 Liter Glasgefäßen, welche sich in einem Wasserbad bei 35 °C befanden und jeweils mit 1,5 l Impfmateriale und 50 g Probe befüllt wurden. Das Verhältnis zwischen der organischen Trockenmasse der Probe und der oTM des Impfmateriale betrug 0,4 bis 0,5. Das Impfmateriale bestand aus den Gärresten vorangegangener Batchtests. Die mittlere chemische Zusammensetzung war:

- pH-Wert 8,2
- TM in % 3,4
- oTM in % 2,0
- N in g kg⁻¹ 2,5
- NH₄-N in g kg⁻¹ 1,2
- organische Säuren in g kg⁻¹ 1,1

Um Ablagerungen und Schwimmschichten wieder zu lösen, wurden die Glasgefäße täglich geschüttelt. Das gebildete Biogas wurde in skalierten Gaszählern über eine Zeit von 30 Tagen gesammelt und einmal täglich mittels der Sperrflüssigkeit-Verdrängungs-Methode gemessen. Die Methan-, Kohlendioxid-, und Sauerstoffgehalte wurden mindestens 15-mal während der Durchführung mittels Infrarot- und chemischem Sensor (GA 94, ansyco, Karlsruhe, Deutschland) bestimmt. Alle Batchtests erfolgten in dreifacher Wiederholung. Als Kontrolle lief jeweils die fünffache Menge des Impfmateriale ohne Probe parallel. Die quantitative Auswertung der gemessenen Ergebnisse erfolgte über drei Schritte. Als erstes wurde das gemessene Biogas auf Normliter (NI), d.h. auf Standardbedingungen (trockenes Gas, 0 °C Temperatur, Luftdruck 1 013 hPa) umgerechnet. Als zweiter Schritt erfolgte die Korrektur der Methan- und Kohlendioxidgehalte auf 100 % Kopfraumvolumen gemäß der VDI-Richtlinie 4630: „Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche“ (2006). Im letzten Schritt wurde die in der Kontrolle gebildete Biogasmenge von der jeweils in den Batchtests mit Proben ermittelten Biogasmenge abgezogen. Gleichzeitig wurden die Methanausbeuten als Summe des gebildeten Methans über einer Zeitspanne von 30 Tagen mit Bezug auf die organische Trockenmasse berechnet.

3.3. Ökologische Erhebungen

Die vegetationskundliche Erfassung mittels Ertragsanteilschätzung nach KLAPP-STÄHLIN (in VOIGTLÄNDER UND VOß, 1979), Aufbereitung sowie Aus- und Bewertung der sieben untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften erfolgte durch den Deutschen Grünlandverband und das Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Salix (HOCHBERG UND JÄGER, 2014). Für die Bewertung (Tabelle 50 sowie im Anhang Tabelle A 1 bis Tabelle A 7) wurden als Indikatoren die Gesamtartenzahl, die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes nach dem Ertragsanteil der Arten und der sich daraus ableitende naturschutzfachliche Grünlandwert des jeweiligen Pflanzenbestandes sowie deren Veränderungen im Verlauf des Ver-

suchszeitraums herangezogen. Der Grünlandwert eines Pflanzenbestandes berechnet sich aus den vorkommenden Arten, deren Magerkeit, Gesellschaftsbindung und Seltenheit sowie deren jeweilige Gewichtung nach Ertragsanteil (HOCHBERG ET AL., 2008).

Die Schichtung eines Pflanzenbestandes wurde mit einem Index beschrieben. Hierzu erfolgte eine Zuordnung der vorgefundenen Arten mit ihrem Ertragsanteil in eine der drei Kategorien Ober-, Mittel- oder Unterschicht. Der Schichtungsindex ergab sich aus dem Mittelwert der beiden Schichten mit den geringsten Ertragsanteilen, multipliziert mit drei. Dieser Schichtungsindex konnte somit Werte zwischen 0 und 100 erreichen. Hohe Werte standen für Bestände mit starker Schichtung, niedrige Werte kennzeichneten Bestände mit Tendenz zur Einschichtigkeit. Dabei konnte es sich bei Beständen mit einem hohen Index sowohl um solche mit mosaikartiger Struktur handeln, als auch um Bestände mit einer lückigen Oberschicht, die die Herausbildung mit einer kompakten Mittel- wie auch Unterschicht ermöglichte (HOCHBERG ET AL., 2008).

Die Struktur eines Dauergrünlandbestandes lässt sich anhand der Ausprägung der Etagen eines Bestandes (Schichtung nach Obergräser/-kräuter, Mittelgräser/-kräuter, Untergräser/-kräuter) sowie der Wuchsformen der darin vorkommenden Arten beurteilen. Das Vorkommen wird am Ertragsanteil Kräuter, d.h. aller dikotylen Pflanzen eines Bestandes, gemessen. Diese beiden Indikatoren bilden stellvertretend die Habitatqualität des Bestandes für verschiedene Tierartengruppen ab (HOCHBERG ET AL., 2008).

3.4. Bilanzierungsmethoden

3.4.1. Nährstoffbilanz

Zur Überprüfung der Umweltwirkung und zur Beurteilung der Höhe der Stickstoffdüngung der einzelnen Nutzungsvarianten wurde eine Nährstoffbilanzierung für Stickstoff durchgeführt.

Neben der mineralisch zugeführten Stickstoffmengen (Tabelle 7) erfolgte zusätzlich der Versuch, die über Leguminosen symbiotisch fixierter Stickstoffmenge, mit in der Stickstoffbilanz zu berücksichtigen. Dazu wurde der in der Ertragsanteilsschätzung (Tabellen A1 bis A7) ermittelte Leguminosenanteil einbezogen und der symbiotisch fixierte Stickstoff nach (WEIßBACH, 1995) berechnet.

Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge [$\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]:

$$(10) \quad N_{fix} = (5,0 \times x_1 - 0,012 \times x_1^2) \times (1 - 0,000036 \times x_2^2)$$

Hierbei ist

x_1 = TM-Ertrag der Leguminosen [$\text{dt ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] und x_2 = Stickstoffdüngungsniveau [$\text{kg ha}^{-1} \text{Nutzung}^{-1}$].

Die Stickstoffeinträge über die Luft sowie die Stickstoffverluste durch Auswaschung wurden als ausgeglichen betrachtet.

Bei der Berechnung der Stickstoffabfuhr wurden die ermittelten Stickstoffgehalte in den Pflanzen mit den TM-Erträgen, unter Berücksichtigung von 10 % TM-Verluste bei der Ernte, verrechnet.

3.4.2. Treibhausgas- und Energiebilanzen

Die weitere Bewertung der Umweltwirkungen erfolgt anhand von Energie- und Treibhausgasbilanzen. Vor dem Hintergrund begrenzt verfügbarer landwirtschaftlicher Nutzflächen sind die flächenbezogenen Einsparungen an Treibhausgasen sowie der Nettoenergieertrag relevante Kenngrößen. Deshalb wurde der Hektar als funktionelle Einheit für die Bewertung der Grünlandstandorte gewählt. Infolge spezifischer Ertragsunterschiede der Dauergrünlandpflanzengesellschaften ermöglicht dies eine bessere Vergleichbarkeit der Grünlandnutzungsvarianten in Bezug auf den Flächenbedarf, der für die Energiebereitstellung notwendig ist. Für die unterschiedlichen Nutzungspfade der Grünlandaufwüchse Heuverbrennung und Biogasgewinnung wurden in Abhängigkeit vom Grünlandtyp praxisrelevante Referenzsysteme angenommen. Das ist für die produktiven Standorte die Bestandespflege (Nutzungsvariante 4) als Mindestmaß der Grünlandtyperhaltung. Für die ertragsschwachen, extensiveren Standorte gilt das Mulchen als Referenz und für die ertragreicheren, extensiveren Standorte wurde die Kompostierung als Referenznutzung angenommen.

Zunächst erfolgte die Aufstellung der Stoff- und Energieflüsse der Verfahrensketten in einer Sachbilanz. Hierbei wurde aufbauend auf den Annahmen zur ökonomischen Verfahrensbewertung die gesamte Verfahrenskette zur Energiebereitstellung in der Bilanzierung betrachtet. Die direkten und indirekten Lachgasemissionen, die durch die Ausbringung von mineralischen oder organischen Stickstoffdüngern sowie den Verbleib von stickstoffhaltigen Ernteresten entstehen, wurden nach den Vorgaben der IPCC-Richtlinien berechnet (IPCC 2006). Die Treibhausgaspotenziale von Lachgas und Methan über einen Zeithorizont von 100 Jahren (GWP-100) gingen entsprechend IPCC (2007) mit $298 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ (Lachgas) und $25 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ (Methan) in die Berechnungen ein.

Weiterhin wurden der Verbrauch an Betriebsmitteln (Diesel, Öl, Strom, Maschinenverbrauch, Folie, Düngemittel) sowie Emissionen und Energieaufwand der Energieanlagen kalkuliert. Dabei wurde der Dieselbedarf auf Grundlage der modellierten Maschinenketten unter Anwendung Online-Datenbank KTBL-FELDARBEITSRECHNER (2013) bestimmt. Der Schmierölbedarf wurde mit 1 % des Dieselbedarfs angenommen. Für alle eingesetzten Maschinen wurde gemäß ihrer Lebenszeit, ihrem Gewicht und ihrer Einsatzintensität ein virtueller Substanzverlust berechnet, wobei die Massen der Maschinen den KTBL-Datensammlungen 2006 und 2004 entnommen wurden (Tabellen A 34 und A 35). Infrastrukturelle Aufwendungen wie der Bau der Energieanlagen, Siloanlagen oder sonstiger baulicher Anlagen fanden in Anlehnung an das Methodenhandbuch „Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagasemissionen“ (THRÄN ET AL. 2011) keine Berücksichtigung.

Gutschriften wurden für die Einsparung von fossiler Energie sowie für die Einsparung von mineralischem Dünger erteilt. Die Emissionsfaktoren für fossilen Strom und Wärme wurden entsprechend den Angaben des Umweltbundesamtes separat für feste Biomasse und Biogas berechnet, da die erneuerbaren Energien fossile Rohstoffe in unterschiedlichem Maße substituieren. Als Substitutionsfaktoren wurden $818 \text{ g CO}_{2\text{eq}} \text{ kWh}_{\text{el}}^{-1}$ und $338 \text{ g CO}_{2\text{eq}} \text{ kWh}_{\text{th}}^{-1}$ für feste Biomasse sowie $824 \text{ g CO}_{2\text{eq}} \text{ kWh}_{\text{el}}^{-1}$ und $312 \text{ g CO}_{2\text{eq}} \text{ kWh}_{\text{th}}^{-1}$ für Biogas ermittelt (berechnet nach MEMMLER ET AL., 2013 und GEMIS, 2012). Laut Informationen von MEMMLER ET AL. (2013) substituierte feste Biomasse im Jahr 2012 die Stromerzeugung aus Braunkohle zu 2,7 %, aus Steinkohle zu 74,5 % und aus Erdgas zu 22,8 %; Biogas substituierte die Stromerzeugung aus Braunkohle zu 2,8 %, aus Steinkohle zu 75,4 % und aus Erdgas zu 21,9 %. Die Emissionsfaktoren (inkl. Vorketten) dieser fossilen Energieträger wurden dabei

mit 1 080,1 g CO_{2eq} kWh_{el}⁻¹ für Braunkohle; 922,9 g CO_{2eq} kWh_{el}⁻¹ für Steinkohle und 445,6 g CO_{2eq} kWh_{el}⁻¹ für Erdgas angegeben.

Die Wärmebereitstellung aus fester Biomasse ersetzte im Jahr 2012 zu 65 % Erdöl, zu 20 % Erdgas, zu 2 % Steinkohle, zu 3 % Braunkohle und zu 10 % die Stromheizung. Die Emissionsfaktoren (inkl. Vorketten) dieser fossilen Energieträger wurden dabei mit 314,4 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Erdöl, 248,1 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Erdgas, 419,1 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Steinkohle, 428,7 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Braunkohle und 626,1 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für die Stromheizung angegeben. Die Wärmebereitstellung aus Biogas substituierte hingegen zu 59 % Erdöl, zu 36,4 % Erdgas und zu 4,6 % Steinkohle. Die Emissionsfaktoren (inkl. Vorketten) dieser fossilen Energieträger wurden dabei mit 343,4 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Erdöl, 248 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Erdgas und 413,5 g CO_{2eq} kWh_{th}⁻¹ für Steinkohle angegeben.

In Tabelle 14 sind die den Berechnungen zugrunde gelegten Energie- und Emissionsfaktoren für die einzelnen Energieträger und Betriebsmittel inklusive Vorkette aufgeführt.

Tabelle 14: Energie- und Emissionsfaktoren der Energieträger und Betriebsmittel inkl. Vorketten (MEYER-AURICH, 2005; GEMIS, 2012)

Energieträger und Betriebsmittel	Energiefaktor	Emissionsfaktor
Diesel	41,12 MJ l ⁻¹	2,85 kg CO _{2eq} l ⁻¹
Öl	41,12 MJ l ⁻¹	2,85 kg CO _{2eq} l ⁻¹
Maschinen ^{a)}	80,00 MJ kg ⁻¹	8,00 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
Kalk	2,58 MJ kg ⁻¹	0,31 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
K-Dünger	19,39 MJ kg ⁻¹	1,20 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
N-Dünger	51,57 MJ kg ⁻¹	7,56 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
P-Dünger	18,38 MJ kg ⁻¹	1,25 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
Silofolie	81,24 MJ kg ⁻¹	2,50 kg CO _{2eq} kg ⁻¹
deutscher Strommix	8,23 MJ kWh _{el} ⁻¹	0,58 kg CO _{2eq} kWh ⁻¹

^{a)}MEYER-AURICH 2005

Heuverbrennung

Die Verfahrenskette der Heuverbrennung umfasst die Bereitstellung von Heu zum Hof inklusive Zwischenlagerung, den Transport zur Verbrennungsanlage sowie die Konversion in Wärme bzw. Strom- und Wärmeenergie und die Ascheentsorgung. Auf Feldebene wurde die Bereitstellungskette zur Herstellung von Quaderballen identisch zu den Annahmen für die Herstellungskosten modelliert. Die Feldverluste wurden auf 30 % der Trockenmasse festgelegt. Die Düngung wurde entsprechend der Standort- und Nutzungsvariantenbeschreibung auf Basis von Mineraldüngern berechnet. Eine Rückführung der Asche zu Düngezzwecken wurde aufgrund des Düngedesigns der Nutzungsvarianten nicht berücksichtigt. Der Transport inklusive Be- und Entladung zum dezentralen Biomasseheizwerk (300 kW_{th}) wurde auf Basis landwirtschaftlicher Transporttechnik und zum zentralen Biomasseheizkraftwerk (2,5 MW_{el} + 5,5 MW_{th}) auf Basis von LKW-Transporten berechnet (vgl. Kap.3.5.2, Tabelle 21). Die Transportentfernung wurde dazu aus dem Biomasse- bzw. Hektarbedarf der Anlage und dem bundeslandabhängigen Grünlandanteil berechnet. Für das dezentrale Biomasseheizwerk wurden ein thermischer Wirkungsgrad von 89 % und der Eigenstrombedarf auf 2,2 % der Biomasseenergie unterstellt. Die Methan- und Lachgasemissionen wurden nach KALT-

SCHMITT UND REINHARDT (1997) in Höhe von 9 mg Methan MJ⁻¹ und 10,3 mg Lachgas MJ⁻¹ angenommen. Für das zentrale Biomasseheizkraftwerk wurden ein elektrischer Wirkungsgrad von 25 %, ein thermischer Wirkungsgrad von 55 % und der Eigenstrombedarf auf 2 % der Biomasseenergie unterstellt. Die Methan- und Lachgasemissionen wurden nach KALTSCHMITT UND REINHARDT (1997) in Höhe von 9 mg Methan MJ⁻¹ und 6,9 mg Lachgas MJ⁻¹ angenommen. Für den LKW-Transport der Asche zur Entsorgungseinrichtung (Deponie) wurde eine einheitliche Transportentfernung von 100 km festgelegt. Der Bereitstellung von Wärme beim Endverbraucher wurden Wärmenetzverluste von 14 % unterstellt.

Biogasgewinnung

Die Verfahrenskette der Biogaserzeugung umfasst die Bereitstellung der Grassilage inklusive Silierung, das Beladen der Biogasanlage sowie die Konversion in Strom bzw. Strom und Wärmeenergie. Dafür wurden alle relevanten Verfahrensschritte für die Bereitstellung der Silage identisch zur Berechnung der Herstellungskosten für jeden Standort und jede Nutzungsvariante modelliert. Die Höhe der Feldverluste wurde auf 10 % der Trockenmasse festgelegt. Aufwüchse mit einem Trockenmasseertrag unter 10 dt ha⁻¹ wurden als nicht erntewürdig eingeschätzt und für die Modellierung als „gemulcht“ angenommen. Die in der Nutzungsvariantenbeschreibung angegebenen Düngemengen sollen zum Großteil über Gärrestdüngung sichergestellt werden. Die maximale Ausbringungsmenge wurde dafür anhand der Nährstoffgehalte im Gärrest für den jeweiligen Substratmix der Biogasanlagen berechnet. Ergänzend zur Gärrestdüngung erfolgt eine Mineraldüngung zur Abdeckung der fehlenden Nährstoffmengen. In der modellierten Verfahrenskette erfolgt die Silierung der Grünlandaufwüchse gemäß der gängigen Praxis in einem Flachsilo mit Folienabdeckung direkt am Standort der Biogasanlage. Eine Zwischenlagerung oder Silierung am Hof mit anschließendem Transport zur Biogasanlage wurde nicht betrachtet. Es wurden weiterhin Silierverluste von 10 % der Trockenmasse unterstellt. Die Masse der Silofolie wurde mit 460 g m⁻² Multisilofolie (Nutzungsdauer 5 Jahre) und 40 g m⁻² Unterziehfolie festgelegt (NUSSBAUM, 2007). Bei einer Folienabdeckung von 0,5 m² m⁻³ ergibt sich somit ein jährlicher Folienbedarf von 70 g m⁻³. Die Entnahme der Silage aus dem Silo und das Befüllen der Biogasanlage mit der Silage wurden anhand der KTBL-Datensammlung 2010/2011 berechnet. Je Tonne Grassilage wurde ein Arbeitszeitbedarf für das Befüllen der Anlage mit Radlader (Motorenleistung 83 kW, Fassungsvermögen 2 m³) von 4,6 Minuten angenommen. Auf Anlagenebene erfolgt eine differenzierte Betrachtung. In Abhängigkeit von der standortspezifischen Anlagengröße wurde die BHKW-Bauart, Otto-Gas-Motor (400 kW und 500 kW) und Zündöl-Motor (250 kW) festgelegt. Daraus ergeben sich Unterschiede im elektrischen und thermischen Wirkungsgrad der Anlagen. Für die Biogasanlagen mit Otto-Gas-Motoren wurden ein elektrischer Wirkungsgrad von 40 % und ein thermischer Wirkungsgrad von 44 % angenommen. Bei kleinen Biogasanlagen (250 kW) der BHKW-Bauart Zündöl-Motor wurden ein elektrischer Wirkungsgrad von 42 % und ein thermischer Wirkungsgrad von 40 % sowie ein Zündölanteil von 5 % angesetzt. Zusätzlich erfolgte eine differenzierte Betrachtung von Alt- und Neuanlagen, denen aufgrund des modellierten Grasanteils ein spezifischer Eigenstromverbrauch von 9 % für Altanlagen (15 % Grassilage) und 10,5 % für Neuanlagen (40 % Grassilage) zugeordnet wurde. Da den Altanlagen keine spezifischen Anpassungen für die Grasvergärung (enzymatischer, mechanischer Aufschluss bzw. vorgeschaltete Hydrolyse) zugrunde gelegt wurden, wurde eine Anpassung des Eigenstromverbrauchs für unterschiedliche Silagequalitäten, bezogen auf die Rohfasergehalte der Silagen, modelliert. Die Anpassungen im Strom-

verbrauch ergeben sich aus der Annahme, dass 50 % der zusätzlichen Anlagenkosten (DLG-MERKBLATT-386) für die Grassillierung ($1,5 \text{ € t FM}^{-1}$, bei 16 ct kWh^{-1}) dem Strombedarf zuzuordnen sind. Dafür wurde ein mittlerer Rohfasergehalt für Grassilagen von 8,75 % der FM unterstellt. Der Methanschluß wurde einheitlich auf 1 % der Methanproduktion festgesetzt. Gutschriften für die Mineraldüngereinsparungen durch eine Wiederausbringung des Gärrestes wurden für NPK anhand der Inhaltsstoffanalysedaten der Grassilagen durchgeführt, wobei für die Stickstoffdüngung über Gärrest ein Mineraldüngäquivalent von 60 % (BAUMGÄRTEL, 2013) angenommen wurde. Der Bereitstellung von Wärme beim Endverbraucher wurden Wärmenetzverluste von 14 % angesetzt. Die Berechnungen wurden für jeden Schnitt und jedes Jahr mit den mittleren Ertrags- und Analysedaten aus dem Versuch durchgeführt und anschließend über die jeweilige Nutzungsvariante aufsummiert und über die Versuchsjahre gemittelt.

Einfluss ausgewählter Landnutzungs-Referenzsysteme

Zusätzlich wurden im Rahmen der Treibhausgasbilanzierung, neben der potenziellen Einsparung von fossilen Rohstoffen, Einflüsse von direkten Landnutzungsänderungen (LUC) untersucht, die nicht in Konkurrenz zur Tierhaltung stehen. Hierfür wurden in Abhängigkeit der Dauergrünlandpflanzengesellschaft und dem damit verbundenen Biomasseaufwuchs die Referenzsysteme Mulchen und Kompostierung für Verbrennungsvarianten auf den extensiv genutzten Grünlandstandorten und die Intensivierung der Flächenbewirtschaftung für die Biogasvarianten auf den intensiv bewirtschafteten Grünlandstandorten auf Grundlage von Versuchs- und Literaturwerten modelliert.

Mulchen

Die Referenz Mulchen wurde für die Dauergrünlandpflanzengesellschaften Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese in Sachsen, Waldstorchnabel-Goldhaferwiese in Thüringen und Pfeifengras-Streuwiese in Bayern ausgewählt. Die hierfür verwendeten Biomasseerträge und Nährstoffgehalte stammen aus den Versuchsdaten der Nutzungsvariante 3 für die Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese in Sachsen und Nutzungsvariante 2 für die Pfeifengras-Streuwiese in Bayern. Da in den Versuchsvarianten der Waldstorchnabel-Goldhaferwiese in Thüringen keine jährlich genutzte, 1-schnittige und ungedüngte Bewirtschaftungsvariante untersucht wurde, wurden die Versuchsdaten eines anderen Versuchsaufbaus, Nutzungssysteme Dauergrünland – Goldhaferwiese, Versuchsfeld Kirchberg (vgl. HEGNER UND WEIß, 2014), genutzt. Die Versuchsdaten entsprechen den Mittelwerten aus den Jahren 2008 bis 2010. Der mittlere Trockenmasseertrag dieser Referenzvariante liegt bei $4,3 \text{ t TM ha}^{-1}$ mit einem Stickstoffgehalt von 1,25 % der Trockenmasse.

Die Aufwüchse werden einmal jährlich mit einem Schlegelmulcher (Arbeitsbreite 3 m; Schlepperleistung 54 kW) gemulcht. Für die Goldhaferwiese in Thüringen wurde weiterhin eine Kalkung in Höhe von $1,2 \text{ t CaO ha}^{-1}$ alle 6 Jahre, in Anlehnung zur Standortbeschreibung, unterstellt. Die direkten und indirekten Lachgasemissionen wurden anhand der Stickstoffgehalte der Mulchmassen (Erntereste) berechnet.

Kompostierung

Für die beiden ertragreichen Dauergrünlandpflanzengesellschaften, das Schnabelseggenried in Niedersachsen und das Rohrglanzgrasröhricht in Brandenburg, wurde als Referenznutzung die Kompostierung der Biomasseaufwüchse angenommen. Dafür wurde die jährlich

genutzte 1-schnittige und ungedüngte Bewirtschaftungsvariante 3 für beide Standorte gewählt. Diese weisen mittlere Trockenmasseerträge von $9,8 \text{ t TM ha}^{-1}$ (Rohrglanzgrasröhricht) und $5,6 \text{ t TM ha}^{-1}$ (Schnabelseggenried) aus (vgl. Endbericht GNUT-Verbrennung, GÖDEKE ET AL., 2011). Das Referenzsystem Mulchen wäre aufgrund der hohen Aufwuchsmassen ungeeignet, da die Gefahr besteht, dass die Grasnarbe unter der Mulchmasse erstickt.

Für die Kompostierung wurden die Arbeitsschritte Walzen (Arbeitsbreite 6 m; Schlepperleistung 54 kW), Mähen mit Rotationsmähwerk (Arbeitsbreite 3 m angehängt; Schlepperleistung 67 kW) sowie Bergung und Transport mit Ladewagen (Fassungsvermögen 15 m^3 ; Schlepperleistung 54 kW) zur 5 km entfernten Kompostanlage modelliert. Feldverluste während des Mähens wurden in Höhe von 4 % der Trockenmasse angenommen (THAYSEN ET AL., 1999). Es wurde eine offene Mietenkompostierung mit einem Stromverbrauch von $25 \text{ kWh t}^{-1} \text{ FM}$ (KERN ET AL., 2010) unterstellt. Die Emissionen der Kompostanlage wurden nach AMLINGER UND PEYR (2003) in Höhe von $1,14 \text{ kg CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{ TM}$, $0,337 \text{ kg N}_2\text{O t}^{-1} \text{ TM}$ und $0,667 \text{ kg NH}_3 \text{ t}^{-1} \text{ TM}$ angenommen. Gutschriften für die Mineräldüngereinsparungen durch Kompostdüngung wurden für NPK anhand der Inhaltsstoffanalysedaten der Grassilagen berechnet, wobei für die Stickstoffdüngung über Kompost ein Mineräldüngeräquivalent von 10 % (BAUMGÄRTEL, 2013) angenommen wurde.

Intensivierung

Als Referenznutzung der produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften, die für die Biogasgewinnung untersucht wurden, sind weder das Mulchen noch die Kompostierung geeignet. Die rückläufigen Milchviehbestände lassen zwar freie Grünlandflächen erwarten, allerdings ist der geringere Grassilagebedarf eher mit einem Rückgang der Intensität der Flächenbewirtschaftung verbunden, d.h. von einer generellen Nichtnutzung von Flächen kann im Falle von produktiven Grünlandstandorten nicht ausgegangen werden. Um Grassilage für die Biogasgewinnung bereitzustellen, müssen demnach produktive Standorte durch eine optimale und nachhaltige Bewirtschaftung wieder intensiviert werden. Als Ausgangssituation wurde aufgrund der projektspezifischen Versuchsdaten ein Anteil der Grassilage in der Futterration von Milchviehbeständen der Nutzungsvariante 4 (Bestandspflege) unterstellt. Um Grünlandfläche für die Biogasproduktion freizusetzen, wurde eine nachhaltige Intensivierung der Standorte von der Bewirtschaftungsvariante 4 (Bestandspflege) auf die Bewirtschaftungsvariante 1 (Bereitstellung von Grundfutter höchster Qualität für die Milchviehfütterung) angenommen. Die beiden Bewirtschaftungsvarianten unterscheiden sich in den Aufwendungen für Diesel, Öl, Maschinenverbrauch, Silofolie und Düngemittel sowie in den direkten und indirekten Lachgasemissionen aufgrund der unterschiedlich hohen Stickstoffdüngung. Der Intensivierungsbedarf am jeweiligen Standort, d.h. welche Hektarfläche intensiviert werden muss, um einen Hektar für die Biogasproduktion freizusetzen und die gleiche Futterenergie bereitzustellen, wurde über die Differenz im Nettoenergieertrag (MJ NEL ha^{-1}) der beiden Bewirtschaftungsvarianten berechnet. Dafür wurde unterstellt, dass Aufwüchse mit einer Nettoenergielaktation unter $5 \text{ MJ NEL kg TM}^{-1}$ nur zur Hälfte durch die Tiere verwertet werden können. Die Treibhausgasemissionen wurden folgend aus der Differenz der Aufwendungen bzw. Emissionen für die jeweilige Flächenbewirtschaftung und dem Hektarbedarf ermittelt.

3.5. Ökonomische Modelle

3.5.1. Biomasseherstellungskosten

Die Berechnung der Biomasseherstellungskosten erfolgte mittels Daten des KTBL-Feldarbeitsrechners (KTBL, 2014) und in Anlehnung an (DEGNER, 2010). In Tabelle 15 sind die getroffenen Annahmen und Arbeitsgänge für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten aufgeführt. Aufgrund kleinerer Strukturen, wurde für die Standorte in Niedersachsen und Bayern eine Schlaggröße von 2 ha angenommen. Die angenommene Schlaggröße für die Standorte in Brandenburg, Sachsen und Thüringen betrug 20 ha. Eine Kalkung erfolgte nur bei dem Montanen Intensivgrünland Thüringen im sechsjährigen Turnus. Die Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) wurde zusätzlich zum Abschleppen einmal jährlich im Frühjahr gewalzt. Letzte Aufwüchse mit Trockenmasseerträgen kleiner 10 dt ha⁻¹ wurden gemulcht. Die unterstellten TM-Verluste betragen 10 % Feldverluste und 10 % Silierverluste. Für die Berechnung der Arbeitsschritte Mähen, Zetten und Wenden wurden die FM-Erträge zur Ernte herangezogen und für den Arbeitsschritt Anwelkgutbergung die, mit den TS-Gehalten im Anwelkgut verrechneten, TM-Erträge abzüglich 10 % Feldverluste.

Tabelle 15: Annahmen zu den Arbeitsschritten für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten

Arbeitsschritt	Annahme	
Schlaggröße	2 ha	Standorte Niedersachsen und Bayern
	20 ha	Standorte Brandenburg, Sachsen und Thüringen
Entfernung Hof-Feld	5 km	
Abschleppen	54 kW	Schlepper
	6 m	Arbeitsbreite
Walzen	54 kW	Schlepper
	6 m	Arbeitsbreite
Mulchen	102 kW	Schlepper
	4 m	Arbeitsbreite
Gärrestausbringung, ab Hof	200 kW	Schlepper
	15 m ³	Pumptankwagen
	9 m	Schleppschauchverteiler
Mineralische Düngung, ab Hof	67 kW	Schlepper
	1,5 m ³	Anbauschleuderstreuer
	24 m	Arbeitsbreite
	Befüllung über Düngförderschnecke	
Kalken, ab Feld	105 kW	Radlader
	2,3 m ³	Anhängeschleuderstreuer
	102 kW	Schlepper
Mähen mit Mähauflbereiter	140 kW	Schlepper
	6 m	Front-Heck-Kombination
Zetten und Wenden	102 kW	Schlepper
	12,5 m	Arbeitsbreite
Schwaden	140 kW	Schlepper
	15 m	Arbeitsbreit
Anwelkgut bergen	300 kW	selbstfahrender Feldhäcksler
	102 kW	Schlepper
	33 m ³	Häckselgutwagen
	105 kW	Radlader (13,5t)

Weitere Annahmen zu Arbeits- und Direktkosten mussten getroffen werden und sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Annahmen zu Arbeits-, Maschinen- und Direktkosten für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten in Anlehnung an die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (GRÄFE, 2014)

Positionen		Einheiten	Annahmen
nicht termingebundene Arbeiten	Nebentätigkeit	%	50
	Regiestundenzuschlag	%	20
Lohnnebenkosten		%	50
Arbeitskosten + 50 % Lohnnebenkosten		€ h ⁻¹	15,00
Leitung und Verwaltung		%	45
Siloanlage	AfA	€ t ⁻¹	3,10
	Reparaturkosten	€ t ⁻¹	0,50
Flächenkosten	produktive Standorte	€ pro Bodenpunkt	1,90
	naturschutzfachlich wertvolle Standorte	Bodenpunkte	35
		€ pro Bodenpunkt	1,70
		Bodenpunkte	25
Berufsgenossenschaft		€ ha ⁻¹	11,70
sonstiger allgemeiner Aufwand		€ ha ⁻¹	55,00
Diesel		€ l ⁻¹	1,00
Öl		€ l ⁻¹	2,00
Bindegarn		kg t ⁻¹	1,75
		€ kg ⁻¹	1,80
Silofoolie		m ² m ⁻³	0,50
		€ m ⁻²	0,50
		kg m ⁻²	0,14
Düngemittel	P	€ kg ⁻¹ P	1,80
	K	€ kg ⁻¹ K	0,80
	N	€ kg ⁻¹ N	1,00
	CaO	€ kg ⁻¹ CaO	0,05

Für die Berechnung der Gärrestmengen wurden im Gärrest 3,15 kg m⁻³ N, 1,00 kg m⁻³ P und 5,62 kg m⁻³ K unterstellt, die sich aus der unterschiedlichen Substratzusammensetzung ergaben (REINHOLD, 2012). Die Höhe der applizierten Gärrestmengen richtete sich nach der im Versuch gedüngten Menge (Tabelle 7), wobei der Nährstoff, der als erstes vollständig durch die Gärrestausrückführung abgedeckt worden war, die Gärrestmenge begrenzte und die fehlende Menge der anderen Nährstoffe durch mineralische Düngung zugeführt wurde.

Die mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffe wurden ebenfalls berechnet und die Differenz zwischen Zufuhr und Abfuhr als Gutschrift von den Herstellungskosten abgezogen.

3.5.2. Verfahrensbewertung der Verwertung von Dauergrünlandbiomasse

Standorte und Nutzungsvariantenauswahl der Verwertungslinien

Die Verfahrensbewertung für die Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen zur energetischen Verwertung erfolgt für zwei Verwertungsvarianten, die Heuverbrennung und die Biogasgewinnung. Die untersuchten Grünlandstandorte wurden den Verwertungsvarianten aufgrund ihrer unterschiedlichen Bewirtschaftungsinten-

sität und der damit verbundenen Biomassequalität zugeordnet (Teilprojekte: GNUT-Verbrennung, GNUT-Biogas).

Für die Verbrennung eignen sich besonders Aufwüchse von extensiv bewirtschafteten Flächen mit geringer Schnitthäufigkeit, späten Schnittterminen und reduzierter Düngung, da solche Aufwüchse meist mit hohen Lignin- und Trockenmassegehalten und niedrigen Konzentrationen an verbrennungstechnisch schwierigen und emissionsrelevanten Inhaltstoffen verbunden sind. Für die Biogasgewinnung sind hingegen Aufwüchse von intensiv bewirtschafteten Flächen mit drei oder mehr Schnitten aufgrund der höheren Nährstoffgehalte und geringen Ligningehalte zu bevorzugen (PROCHNOW ET AL., 2013).

Standorte und Nutzungsvariantenauswahl Heuverbrennung

Für die Verwertungslinie der Heuverbrennung wurden fünf naturschutzfachlich wertvolle Dauergrünlandpflanzengesellschaften untersucht, welche typisch für große Grünlandgebiete in Deutschland sind. Die Verfahrensbewertung (der gesamten Verfahrenskette) zur Energiebereitstellung durch die Verbrennung von Heu erfolgt nur für die Bewirtschaftungsvarianten, die den Erhaltungszustand sichern (Tabelle 17, vgl. auch Endbericht GNUT-Verbrennung GÖDEKE ET AL., 2011):

Tabelle 17: Schnitthäufigkeit, Schnitttermine und Düngung der den Erhaltungszustand sichernden Nutzungsvarianten der untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Projekt GNUT-Verbrennung

Dauergrünlandpflanzen- gesellschaft Standort	Nutzungs- variante	Schnitthäufigkeit / Schnitttermine		Düngung [kg ha a ⁻¹]	
		1.Schnitt	2.Schnitt	P	K
Schnabelseggenried Niedersachsen	1 4	Anfang Juli alle 2 Jahre - Ende September	Mitte September	-	-
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg	2 3	Mitte Juni	Mitte September Mitte September	-	140 -
Waldengelwurz-Kohldistel- Feuchtwiese Sachsen	3 4	Mitte August alle 2 Jahre - Mitte August		-	-
Waldstorchschnabel- Goldhaferwiese Thüringen	2 3	Ende Juni Ende Juni	Mitte September Mitte September	20	110 -
Pfeifengras-Streuwiese Bayern	2	Mitte September		-	-

In die Verfahrensbewertung gingen als Standortdaten die Mittelwerte der Ergebnisse der Parzellenversuche der Jahre 2008 bis 2010 ein (Tabelle 18).

Tabelle 18: Eingangsdaten Verfahrensbewertung Heuverbrennung (vgl. Endbericht GNUT-Verbrennung, GÖDEKE ET AL., 2011)

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Nutzungs- variante	Schnitt	Ertrag		N-Gehalt	Heizwert	Asche
			[t FM ha ⁻¹]	[t TM ha ⁻¹]	[% TM]	[MJ kg ⁻¹ TM]	[% TM]
Schnabelseggenried Niedersachsen	1	1	16,05	5,78	1,56	16,99	6,17
	1	2	9,11	3,26	1,72	17,22	7,19
	4*	1	12,83	6,16	1,31	16,65	6,35
Rohrglanzgrasröh- richt Brandenburg	2	1	30,72	8,56	1,26	16,76	6,19
	2	2	23,21	6,92	1,74	17,05	5,77
	3	1	23,83	9,76	1,63	16,97	4,99
Waldengelwurz- Kohldistel- Feuchtwiese Sachsen	3	1	20,47	4,40	2,02	16,8	8,8
	4*	1	19,77	4,60	1,76	15,77	11,2
Waldstorchschnabel- Goldhaferwiese Thüringen	2	1	17,59	4,05	1,57	16,24	7,6
	2	2	7,49	1,67	2,33	16,21	11,21
	3	1	8,97	2,62	1,39	16,83	5,53
	3	2	2,69	0,78	1,89	16,53	8,78
Pfeifengras- Streuwiese Bayern	2	1	8,84	2,29	1,38	17,07	7,4

* Nutzung alle 2 Jahre

Weiterhin gingen die angepassten Herstellungskosten (Feld-Hof) für Heuquaderballen in die Verfahrensbewertung ein (siehe Kapitel 3.5.1). Sämtliche Annahmen sowie Berechnungsgrundlagen für die Herstellungskosten wie Feld-Hof-Entfernung, Schlaggröße, Feldverluste, Düngung und die Maschinenkombination auf den jeweiligen Grünlandstandorten wurden für die Ermittlung der Energie- und Treibhausgasbilanzen in gleicher Weise verwendet.

Standort und Nutzungsvariantenauswahl Biogasgewinnung

Für die Verwertungsrichtung der Biogasgewinnung wurden acht Dauergrünlandstandorte in fünf Bundesländern untersucht, welche die typischen regionalen Gegebenheiten von Wirtschaftsgrünland (in intensiver Bewirtschaftung) widerspiegeln. Im Gegensatz zum Teilprojekt GNUT-Verbrennung steht für die hier untersuchten Grünlandstandorte nicht der Erhalt der Dauergrünlandpflanzengesellschaft im Vordergrund, sondern eine nachhaltig optimale Ausnutzung der Flächenproduktivität. Deshalb erfolgt die Verfahrensbewertung zur Energiebereitstellung über Biogasgewinnung uneingeschränkt für alle Nutzungsvarianten, da hier die Wirtschaftlichkeit entscheidend ist. Allerdings werden nur die Versuchsdaten von sieben der acht Grünlandstandorte für die Gesamtbewertung analysiert. Die Weidelgras-Weißkleeweihe in Bayern (Mittelfranken) wurde wegen fehlender Plausibilität der Ertragsdaten sowie erheblicher Ertragsausfälle aus der Verfahrensbewertung ausgeschlossen (siehe Kapitel 3.1.1).

In die Verfahrensbewertung sind die (über die Wiederholungen gemittelten) Versuchsergebnisse für jeden Schnitt und jedes Jahr (2011-2013) eingegangen:

- Frisch und Trockenmasseerträge (t ha⁻¹)
- Trockensubstanzgehalte des Grüngutes, des Welkgutes und der Silage (% der FM)
- Anteil der organischen Trockensubstanz in der Silage (oTM-Gehalt) (% der TM)

- Nährstoffgehalte (N, P, K) (% der TM)
- Rohfasergehalt (% der TM)
- Energiedichte (MJ NEL kg⁻¹ TM)
- Methanausbeuten (l_N kg⁻¹ oTM)

Weiterhin gingen die Herstellungskosten der Grassilage (Feld-Silo, bzw. frei Anlage) in die Verfahrensbewertung ein (siehe Kapitel 3.5.1). Sämtliche Annahmen sowie Berechnungsgrundlagen der Herstellungskosten, wie Feld-Hof-Entfernung, Schlaggröße, Feld- und Silierverluste, Erntewürdigkeit der Aufwüchse, Gärrestmengen und mineralische Düngung, sowie die Maschinenkombination auf den jeweiligen Grünlandstandorten wurden für die Ermittlung der Energie- und Treibhausgasbilanzen in gleicher Weise verwendet.

Aufgrund der im Versuchszeitraum aufgetretenen Ertragsausfälle wurden die Berechnungen für jeden Schnitt und jedes Jahr mit den mittleren Ertrags- und Analysedaten durchgeführt und anschließend über die jeweilige Nutzungsvariante aufsummiert und erst über die Versuchsjahre gemittelt.

Nutzungs- und Anlagenkonzepte

Nutzungs- und Anlagenkonzepte der Heuverbrennung

Für die Heuverbrennung sollen im Folgenden zwei Nutzungskonzepte zur Energiebereitstellung dargestellt werden, wobei ein dezentrales Wärmenutzungskonzept und ein zentrales Konzept zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung untersucht wird. Diese Nutzungskonzepte unterscheiden sich aufgrund der gewählten Anlagengrößen deutlich im Heubedarf und erfordern somit separate Bereitstellungs- bzw. Transporttechniken.

Dezentrale Verbrennung zur alleinigen thermischen Nutzung im Biomasseheizwerk 300kW_{th}

Die energetische Nutzung von Heu zur Erzeugung von Wärmeenergie durch eine Feuerungsanlage kleiner bis mittelgroßer Leistung stellt das erste Nutzungskonzept dar. Das nach CARMEN e.V. (2013) modellierte Biomasseheizwerk besteht aus einer Ganzballenfeuerung mit einer Nennleistung von 300 kW und einem ölbetriebenen Spitzenlastkessel. Der Wirkungsgrad beträgt 89 %. Im bivalenten Betrieb soll eine Biomassequote von 80 % sowie 2 800 Volllaststunden des Biomassekessels sichergestellt werden. Die typischen Anwendungsfälle einer solchen Anlage liegen in der Wärmeversorgung von kleinen Wohngebieten sowie kommunalen oder landwirtschaftlichen Gebäuden. Die Brennstoffversorgung der Anlage erfolgt mit landwirtschaftlicher Transporttechnik.

Zentrale Verbrennung zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung im Biomasseheizkraftwerk 2,5 MW_{el}, 5,5 MW_{th}

Das zweite Nutzungskonzept ist die zentrale Verbrennung von Heu, welche die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in einem wärmegeführten Biomasseheizkraftwerk (BHKW) vorsieht und daher in der Nähe von Standorten mit entsprechend hohem Energiebedarf zu planen ist. Es wurde eine Gesamtfeuerungswärmeleistung von 10 MW_{brutto} unterstellt. Aufgrund der gängigen Praxis erfolgt die Strom- und Wärmebereitstellung auf der Basis einer Dampfturbine im Gegenstromprinzip. Die elektrische Leistung der Anlage wurde auf

2,5 MW_{el} und die Wärmeleistung auf 5,5 MW_{th} festgesetzt. Somit ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad der Anlage von 80 %. Der Betrieb von wärmegeführten KWK-Anlagen richtet sich nach dem Wärmebedarf aus und liegt im modellierten Fall bei 5 000 Volllaststunden. Um eine ausreichende Biomasseversorgung sicherzustellen, wurde die Nutzung von Heu und Holz zu gleichen Anteilen angenommen. Das erhöht die Flexibilität der Anlage gegenüber Versorgungslücken. Der Heutransport vom Hof zum Biomasseheizkraftwerk wird aufgrund des größeren Einzugsgebietes der Anlage mit LKW geplant.

Nutzungs- und Anlagenkonzepte der Biogasgewinnung

Für die Biogasgewinnung sollen ebenfalls zwei Nutzungskonzepte gegenübergestellt werden, deren Bewertung anhand der für die jeweilige Grünlandregion typischen Biogasanlagengrößen: 500 kW_{el} (Brandenburg, Niedersachsen), 400 kW_{el} (Thüringen, Sachsen) und 250 kW_{el} (Bayern), erfolgt.

Beide Nutzungskonzepte werden in zwei Varianten unterteilt: Entweder wird die Grassilage in bestehenden Biogasanlagen (Altanlagen) eingesetzt, was bis zu einem Anteil von 15 bis 20 % ohne zusätzliche Anpassung an die Anlagentechnik möglich ist, oder es werden neue Biogasanlagen (Neuanlagen) gebaut, die über spezielle Anlagentechnik zur Grasvergärung verfügen und damit einen deutlich höheren Grasanteil im Substratmix zulassen (THURNER ET AL., 2013). Die zwei Varianten unterscheiden sich zusätzlich in der Höhe der Wärmenutzung. Dabei wurde für Altanlagen eine ausschließliche Eigenwärmeversorgung mit 25 % der produzierten Wärme und für Neuanlagen aufgrund des zugrunde gelegten EEG 2012 eine 60 %-ige Wärmenutzung angenommen. Abzüglich des Eigenwärmebedarfs sollen 35 % der erzeugten Wärme zur Versorgung einer nahegelegenen Siedlung genutzt werden. Dafür wurde in Abhängigkeit von der Wärmemenge die Wärmenetzversorgung kalkuliert. Die grundlegenden Annahmen sind in Tabelle 19 gegenübergestellt.

Tabelle 19: Annahmen zu den Nutzungskonzepten der Biogasgewinnung

Parameter	Einheit	Altanlagen EEG 2009	Neuanlagen EEG 2012
Inbetriebnahme		2009	2014
Volllaststunden des BHKW	h a ⁻¹		8 000
Installierte Leistung (BHKW-Motor)	kW _{el}	Brandenburg, Niedersachsen: 500 (GM) Thüringen, Sachsen: 400 (GM) Bayern: 250 (ZM)	
BHKW-Motorart :Wirkungsgrad (elektrisch; thermisch)	%		GM: 40 ; 44 ZM: 42 ; 40
Eigenenergiebedarf:	%	9	10,5
Substratanteil: Rindergülle		40	40
Maissilage	%	35	20
Getreide GPS		10	-
Grassilage		15	40
Wärmenutzung	%	25	60
Wärmeverkauf	%	-	35

Ökonomische Verfahrensbewertung

Die ökonomische Bewertung der Grünlandnutzungskonzepte erfolgt anhand einer Vollkostenrechnung auf Anlagenebene, inklusive Wärmeverteilung. Dazu wurden zunächst die Bereitstellungskosten von Heu und Grassilage frei Anlage ermittelt. Diese basieren auf den um eine bundeslandspezifische Flächenprämie bereinigten Herstellungskosten für Heu (Feld-Hof) und für Grassilage (Feld-Silo) und schließen des Weiteren Kosten für zusätzliche Transporte ein.

Bereitstellungskosten

Bereitstellungskosten Heuverbrennung

Für die Nutzungskonzepte der Heuverbrennung wurde von einer Zwischenlagerung der Quaderballen am Hof mit anschließendem Transport zur Verbrennungsanlage (Hof-Anlage) ausgegangen. Dabei variiert der Hektarbedarf zur Deckung der Heuversorgung der Verbrennungsanlagen aufgrund der unterschiedlichen Biomasse- und Energieerträge der Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten deutlich. Deshalb wurde die Transportentfernung s [km] für jeden Standort und jede Nutzungsvariante einzeln aus dem Biomasse- bzw. Hektarbedarf der Anlage A [ha] und dem bundeslandabhängigen Grünlandanteil GLA [%] (Tabelle 20) nach folgender Formel ermittelt:

$$(11) \quad s = \sqrt{\frac{A}{GLA} \times \frac{\pi}{2}}$$

Tabelle 20: Grünlandanteil der Bundesländer in % der Gesamtbodenfläche

Bundesland	Niedersachsen	Brandenburg	Sachsen	Thüringen	Bayern
Grünlandanteil % Bodenfläche	10,7	16,7	16,1	11,2	11,7

Berechnet nach (Statistisches Bundesamt 2013)

Die Transportkosten setzen sich aus den Kosten für die Be- und Entladung am Hof bzw. an der Anlage sowie den Streckentransport (Hin- und Rückfahrt) zur Anlage zusammen. Der Transport zum dezentralen Heizwerk erfolgt mit landwirtschaftlicher Transporttechnik (27 Ballen). Für den Transport zum zentralen Heizkraftwerk wurde der Transport mit Hilfe von LKW (36 Ballen) angenommen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Technik und Maschinenkosten (nach KTBL MaKost 2013) für den Heutransport

Arbeitsgang	Maschinen, Geräte	Maschinenkosten ^a
Be- und Entladen	Schlepper ML: 83 kW	25,84 € h ⁻¹
	Quaderballenzange	0,15 € t ⁻¹
	Frontlader HK: 1900 daN	3,33 € h ⁻¹
Transport dezentral	Schlepper ML: 83 kW	24,87 € h ⁻¹
	Ballentransportwagen GG: 15 t (NL: 11,3 t)	2,40 € h ⁻¹
Transport zentral	Lkw Sattelzug ML: 300 kW	61,12 € h ⁻¹
	Sattelzugauflieger GG: 34 t (NL: 25 t)	0,62 € t ⁻¹

^a fixe und variable Kosten

ML: Motornennleistung, HK: Hubkraft, GG: Gesamtgewicht; NL: max. Nutzlast

Für das Be- und Entladen wurde eine durchschnittliche Ladedauer von $1,3 \text{ min t}^{-1}$ unterstellt. Die mittlere Transportgeschwindigkeit zum dezentralen Heizwerk beträgt 25 km h^{-1} und zum zentralen Heizkraftwerk 55 km h^{-1} . Die Annahmen zu den Betriebsmittel- und Personalkosten entsprechen denen aus Tabelle 16 (Kapitel 3.5.1).

Bereitstellungskosten Biogasgewinnung

Die Nutzungskonzepte der Biogasgewinnung beinhalten keine Zwischenlagerung. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Siloanlage, aufgrund der gängigen Praxis, direkt am Standort der Biogasanlage befindet und somit keine zusätzlichen Transportkosten auftreten. Außerdem enthalten die in Kapitel 3.5.1 ermittelten Herstellungskosten der Grassilage bereits die Kosten für das Einlagern, Verdichten, Abdecken sowie für Silierverluste und sind somit frei Eintrag zu verstehen.

Flächenprämie

Um die Konkurrenzfähigkeit der Grünlandaufwüchse gegenüber den hauptsächlich eingesetzten Rohstoffen (Holz, bzw. Mais) auf Anlagenebene prüfen zu können, ist es sinnvoll, die auf Basis einer Vollkostenrechnung ermittelten Bereitstellungskosten (Kapitel 3.5.1) frei Anlage abzüglich einer allgemeinen bundeslandspezifischen Flächenprämie zu bewerten. Geseonderte Grünlandförderungen wurden nicht berücksichtigt. Aufgrund der derzeitigen Änderungen durch die GAP-Reform sind bezüglich der Prämienzahlungen je Hektar nur Schätzungen möglich. Die in diesem Bericht getroffenen Annahmen zur Prämienhöhe (Tabelle 22) berufen sich auf die derzeitigen Schätzungen für das Jahr 2015.

Tabelle 22: Durchschnittliche Betriebsgröße und Schätzungen zur Prämienzahlung je Bundesland

Bundesland	mittlere Betriebsgröße ^a [ha]	Flächenprämie 2015 ^b Basisprämie + Greening [€ ha ⁻¹]	Betriebsprämie 2015 ^c [€ ha ⁻¹]
Niedersachsen	64	278	309
Brandenburg	240	246	254
Sachsen	149	274	287
Thüringen	223	268	277
Bayern	33	275	323

^a Statistisches Bundesamt (2013); ^b DBV (2013) ^c inklusive der zusätzlichen Förderung der ersten Hektar (50 €/ha bis 30 ha, 30 €/ha 31-46 ha)

Anlagenkosten

Zusätzlich zu den Bereitstellungskosten sind die Investitions- und Betriebskosten der Anlagenkonzepte für die Rentabilität von entscheidender Bedeutung. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die vorgestellten Anlagenkonzepte wurden anhand der Annahmen aus Tabelle 23 (Heuverbrennung) und Tabelle 24 (Biogasgewinnung) durchgeführt. Diese Annahmen beruhen auf Literaturwerten und Gesprächen mit Experten. In der Praxis können regionale und marktabhängige Unterschiede auftreten.

Heuverbrennung

Insbesondere die Investitionskosten für halmguttaugliche Feuerungsanlagen variieren sehr stark. Nach Angaben von CARMEN e.V. (2014) liegen die durchschnittlichen Investitionskosten von Holzheizwerken bei $650 \text{ € kW}_{\text{Heizlast}}^{-1}$, wobei 55 % auf die technische Einrichtung entfallen. Aufgrund der höheren Anforderungen an die Verbrennungstechnik wird für die Heuballenfeuerung von 20 % höheren Investitionskosten für die technische Einrichtung ausgegangen. Die im Modellfall angenommene Heizlast der Wärmeabnehmer soll 500 kW betragen. Somit ergeben sich Gesamtinvestitionskosten von $1\,200 \text{ € kW}_{\text{Biomassekessel}}^{-1}$ für die dezentrale Anlage. Für das zentrale Biomasseheizkraftwerk wurden spezifische Investitionskosten von $5\,000 \text{ € kW}_{\text{el}}^{-1}$ in Anlehnung an ZELLER ET AL. (2012) festgesetzt.

Tabelle 23: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Heuverbrennung

Parameter	Einheit	dezentrale Verbrennung	zentrale Verbrennung
Anlagentyp		Heizwerk	Heiz-Kraftwerk
Leistung des Heiz(kraft)werk	kW_{el}		2 500
	kW_{th}	300	5 500
Volllaststunden	h a^{-1}	2 800	5 000
Wirkungsgrad	$\%_{\text{el}}$		25
	$\%_{\text{th}}$	89	55
Spez. Investitionskosten inkl. MAP:			
Anlagen	$\text{€ kW}_{\text{th}}^{-1}/\text{€ kW}_{\text{el}}^{-1}$	1 200	5 000
Wärmenetz	€ m^{-1}	190	340
Wärmeverteilung	€ Stück^{-1}	1 200	1 200
Länge des Wärmenetzes	m	525	6 595
Anzahl angeschlossener Häuser	n	16	374
Wärmenetzverluste	%		14
Zinssatz bei Investitionen	%		4
Nutzungsdauer:			
Bauteile, Wärmenetz	a		30
alles andere			15
Anteil der Baukosten	% der Gesamtkosten (Gk)		35
Reparaturen/Wartung:			
Bauteile, Technik	% der Gk		1,5
Wärmenetz			1,0
Betriebsmittel, Ascheentsorgung	% der Gk		1
Versicherung, Sonstiges	% der Gk		2
Arbeitszeitbedarf/Personalbedarf	h a^{-1} bzw. MA	546	6
Arbeitslohn	€ h^{-1} bzw. € MA^{-1}	15	40 000
Stromverbrauch (Biomasseenergie)	%	2,2	2
Stromkosten	€ kWh^{-1}	0,16	0,16
Heuanteil	%	80	50
Holz hackschnitzelkosten frei Anlage	€ MWh^{-1}		25,4
Ölpreis frei Anlage	€ MWh^{-1}	70	

^aAusgehend von der Annahme, dass der Arbeitszeitbedarf doppelt so hoch ist, wie in Holzheizwerken. Dieser liegt nach Carmen e.V. (2013) für kleine Heizwerke bei $0,91 \text{ h kW}_{\text{Biomassekessel}}^{-1}$

Biogasgewinnung

Die Varianten der Biogasgewinnung aus Grünlandaufwüchsen unterscheiden sich deutlich in den spezifischen Investitionskosten der Alt- und Neuanlagen. Dabei gründen sich die getroffenen Annahmen zum einen auf einen inflationsbedingten Kostenanstieg von jährlich 3 %. Zweitens wurde unterstellt, dass die Neuanlagen speziell für die Grasvergärung ausgelegt sind und damit 20 % höhere Anlageninvestition für spezifische Anpassungen ausweisen (MATTHIAS, 2010; WANK UND KEYMER, 2011). Als Berechnungsgrundlage wurden die Basisdaten der FNR (2013) genutzt. In den Altanlagen soll Grassilage maximal 15 % vom Substratmix ausmachen, da bis zu dieser Schwelle keine zusätzlichen Anpassungen der Anlagentechnik nötig sind (THURNER ET AL., 2013). Der durch den Einsatz von Gras bedingte höhere Verschleiß und Aufwand für Rührwerke und Einbringtechnik wurde für die Altanlagen mit 3 € t FM⁻¹ entsprechend des DLG-Merkblattes 386 kalkuliert (ELSÄßER ET AL., 2012). Dabei erfolgte eine Anpassung an unterschiedliche Silagequalitäten bezogen auf einen durchschnittlichen Rohfasergehalt von 8,75 % in der Frischmasse.

Tabelle 24: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Biogasgewinnung

Parameter	Einheit	Altanlagen	Neuanlagen
		EEG 2009	EEG 2012
Inbetriebnahme		2009	2014
Volllaststunden des BHKW	h a ⁻¹		8 000
BHKW-Motorart: Wirkungsgrad (elektrisch; thermisch)	% _{el} ; % _{th}		GM: 40; 44 ^{a),b)} ZM: 42; 40 ^{c)}
Spez. Investkosten BGA	€ kW _{el} ⁻¹	3 900 ^{a),b)} bzw. 5 200 ^{c)}	5 400 ^{a),b)} bzw. 7 200 ^{c)}
Investkosten Wärmenetz inkl. MAP:			
Wärmenetz	€ m ⁻¹		190
Wärmeverteilung, Wärmenetzverluste	€ Stück ⁻¹ %		1 200 14
Zinssatz	%		4
Nutzungsdauer: BGA		15	15
Wärmenetz	a		30
Reparatur und Wartung ^{d)}			
Bauteile		4 ^{e)}	4 ^{e)}
Technik, inkl. BHKW	%	1 ^{e)}	1 ^{e)}
Wärmenetz			1
Versicherung, Sonstiges (inkl. Labor) ^{d)}	%		2
Eigenenergiebedarf ^{f)}	%	9	10,5
Strompreis	€ kWh ⁻¹	0,16	0,16
Arbeitszeitbedarf	Ahk kW _{el}	4,05 ^{a)} bzw. 4,3 ^{b)}	bzw. 4,8 ^{c)}
Arbeitslohn	€ h ⁻¹ a ⁻¹		15
Zündöl: Verbrauch	%		5
Preis (ZM)	€ l ⁻¹		0,70
Substratkosten: Rindergülle			4,5
Maissilage			40
Getreide GPS	€ t FM ⁻¹		45
Grassilage			Bereitstellungskosten
Methanausbeute: Rindergülle			17
Maissilage			106
Getreide GPS	m _N ³ t FM ⁻¹		103
Grassilage			Versuchsdaten

Legende zu Tabelle 24: ZM: Zündstrahlmotor, GM: Ottogasmotor, ^{a)}für 500 kW-Anlagen, ^{b)}für 400 kW-Anlagen ^{c)}für 250 kW-Anlagen, ^{d)}bezogen auf die jeweilige Investition, ^{e)}Investitionskosten für Biogasanlage: 55 % Gebäude und Bauteile, 45 % technische Ausrüstung, ^{f)}bezogen auf gewonnene und eingespeiste Strommenge

Erlöse

Die Erlöse der Biomasseanlagen für Strom ergeben sich aus den Vergütungssätzen des jeweils zugrundgelegten EEG 2012 für feste Biomasse und Biogas (Tabelle 25) sowie EEG 2009 für Biogas (Tabelle 26).

Tabelle 25: Ausgewählte Vergütungssätze für Strom aus fester Biomasse und aus Biogas nach dem EEG 2012 (ct kWh_{el}⁻¹) für das Inbetriebnahmejahr 2014

	bis 150 kW	bis 500 kW	bis 750 kW	bis 5 MW
Grundvergütung	13,73	11,81	10,56	10,56
Einsatzstoffvergütungsklasse I Holz (BiomasseVO-Anlage 2)	2,50	2,50	2,50	2,50
Einsatzstoffvergütungsklasse II Heu (BiomasseVO-Anlage 3)	8,00	8,00	8,00	8,00
Einsatzstoffvergütungsklasse I NawaRo-Mix (BiomasseVO-Anlage 2)	6,00	6,00	5,00	4,00
Einsatzstoffvergütungsklasse II Gülle (BiomasseVO-Anlage 3)	8,00	8,00	6,00	6,00

Tabelle 26: Ausgewählte Vergütungssätze für Strom aus Biogas nach dem EEG 2009 (ct kWh_{el}⁻¹) für das Inbetriebnahmejahr 2009

	bis 150 kW	bis 500 kW	bis 5 MW
Grundvergütung	11,67	9,18	8,25
NawaRo-Bonus	7	7	4
Gülle-Bonus	4	1	-

Da für Wärmepreise keine Regelungen im EEG getroffen werden, stehen die Wärmegestehungskosten von erneuerbaren Energien mit aktuellen Marktpreisen für Wärme in Konkurrenz. Der Wärmepreis für KWK-Anlagen wurden entsprechend des aktuellen Fernwärmepreises auf 7,5 ct kWh_{th}⁻¹ festgesetzt (Stand Dezember 2013).

Für die ausschließliche Wärmeerzeugung der dezentralen Biomasseheizwerke (300 kW_{th}) wurde eine gesonderte Bewertung der auf Basis einer Vollkostenrechnung ermittelten Wärmegestehungskosten durchgeführt.

3.6. Berechnung des Biomassepotenzials vom Dauergrünland in Deutschland

Die Berechnung des Grünlandpotenzials für die energetische Verwertung für ganz Deutschland auf Basis der einzelnen Bundesländer (BL) gestaltete sich äußerst schwierig. Es liegen dieser Berechnung zahlreiche Annahmen zugrunde, da es keine zentrale Stelle gibt, welche die hierfür nötigen Daten bereithält und auch die Auskunftsfähigkeit bzw. -bereitschaft mancher Länder begrenzt ist.

Um eine vergleichbare Datenbasis für alle Bundesländer zu schaffen, wurde für jedes Land auf möglichst die gleichen Datengrundlagen zurückgegriffen (Tabelle 27).

Kernpunkt waren die HALBZEITBEWERTUNGEN (2010) der Agrarumweltmaßnahmen (AUM), so dass das Berechnungsjahr dadurch, auch für die anderen erforderlichen Daten, auf die Werte von 2009 festgelegt war. Somit wird in diesem Bericht zwar nicht das aktuellste Potenzial berechnet, aber die entwickelte Methodik wird dargestellt und ist auch im Rahmen der Ex-post-Evaluierung 2014 durch Anpassung an die entsprechend aktuellen Flächen- und Ertragswerte aktualisierbar und damit weiterhin anwendbar.

Berücksichtigt wurden immer die Flächen für Wiesen, Weiden, Mähweiden sowie für Hutungen und Streuwiesen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010). Jeder der genannten Kategorie wurde ein angegebener oder, wenn keiner vorhanden war, durch BL-Experten geschätzter Ertragswert zugeordnet. War beides nicht verfügbar, wurde ein plausibel erscheinender Ertragswert mit den GL-Experten der GNUT-Projektgruppe festgelegt.

Weiterhin wurden den AUM eines jeden BL die entsprechenden Flächen (HALBZEITBEWERTUNGEN, 2010) und Flächenerträge pro AUM zugeordnet. Letztere waren meist durch Angabe der jeweiligen BL-Experten verfügbar. War dies nicht der Fall, wurde eine realistische Ertragshöhe von der GNUT-Projektgruppe angenommen, die sich am flächengewichteten mittleren Ertrag der Dauergrünlandkategorien (Wiese, Weide, Mähweide, Hutung/Streuwiese) orientierte.

Der Anteil Öko-Grünlandfläche an der AUM-Öko-Fläche wurde, falls nicht anders angegeben, entsprechend dem Verhältnis Öko-Grünlandfläche gesamt zu Öko-Ackerfläche gesamt in dem jeweiligen Bundesland angenommen.

Der Flächenanteil AUM wurde von der Gesamt-Dauergrünlandfläche abgezogen und die verbleibende, produktive Dauergrünlandfläche entsprechend den im jeweiligen Bundesland vorkommenden Dauergrünlandtypenanteilen aufgeteilt und mit dem entsprechenden Ertragswert der Gesamtertrag der Dauergrünlandfläche ermittelt. Waren auch hier keine Angaben von den BL-Experten vorhanden oder sonst irgendwie verfügbar, wurden diese wiederum von der GNUT-Projektgruppe festgelegt.

Als nächstes wurden die Raufutter-fressenden Tierbestände, nach Lebensabschnitten differenziert und entsprechend dem gängigen RGV-Schlüssel, entsprechend der Tierarten, zusammengefasst (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010).

Tabelle 27: Hauptdatengrundlagen zur Berechnung des deutschlandweiten Potenzials an zur Verfügung stehender Grünlandbiomasse für die energetische Verwertung

Datenquelle	Verwendete Parameter	Verfügbarkeit für BL
Halbzeitbewertung der Agrarumweltmaßnahmen (AUM) in der Förderperiode 2007 – 2013 (2010)	Art und jeweilige Fläche der AUM inkl. Ökolandbau, z.T. bereits detailliert von Öko-GL-Flächen	alle
Landesstatistikdaten (D und BL) 2009 aus dem Statistischen Jahrbuch 2010 und 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Flächen und Erträge von Dauergrünland und Acker-Futterpflanzen (Silomais, Klee/Klee gras, Ackergras, Luzerne) - Getreidefläche - Art und Anzahl der Tierbestände mit Unterteilung in Lebensabschnitte 	alle
Experteneinschätzung von Grünlandspezialisten der einzelnen BL	<ul style="list-style-type: none"> - Plausibilisierung der Statistikdaten - Angabe der im BL vorkommenden Dauergrünlandtypen mit jeweiligen Flächenanteilen und Ertragszahlen pro Flächeneinheit - Schätzung des anteiligen Produktivitätssteigerungspotenzial der einzelnen Dauergrünlandtypen - Einschätzung der Ertragsleistungen der jeweiligen AUM-Maßnahmen 	Datenbereitstellung <ul style="list-style-type: none"> - umfänglich: BB, BW, HE, MV, NI, SN, TH - teilweise: BY, NW, ST, SH - gar nicht: RP, SL

Ackerfutterflächen und Erträge wurden aus der Landesstatistik übernommen, wobei beachtet wurde, dass 2009 die Ackerfuttererträge (außer Silomais) als Heuerträge angegeben wurden, und somit alle angegebenen Erträge auf absolute TM umgerechnet wurden.

Die Flächenangaben für Getreideganzpflanzenflächen beginnen in der Statistik erst ab 2010 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011), daher wurden die Flächenanteile an der Gesamtgetreidefläche von 2010 für 2009 übernommen, da angenommen werden konnte, dass nicht erst 2010 mit der Ganzpflanzennutzung begonnen wurde und von einem auf das andere Jahr üblicherweise keine drastischen Flächenänderungen zu erwarten sind. Auch die Erträge wurden aus 2010 für 2009 angenommen, mangels anderer Datengrundlagen. Die Ertrags höhe aller anderen Kulturen war in 2009 tendenziell dieselbe wie in 2010, so dass die beschriebene Vorgehensweise plausibel erscheint. Auch hier wurden die Ertragswerte auf absolute Trockenmasse korrigiert. Dem produktiven Grünland wurden 20 % Verluste, dem AUM-Grünland 30 % Verluste und dem Ackerfutter im weiteren Sinne (inkl. Silomais und Getreideganzpflanzen) je 10 % Verluste unterstellt (vgl. Kapitel 3.4.2 und 3.5.1).

Von der Silomaisfläche aus der Statistik wurde der Anteil für die Biogasnutzung abgezogen. Datengrundlage war hier die „Mais für Biogas“-Statistik des Deutschen Maiskomitees (DMK, 2009) bzw. Angaben aus den BL direkt. Bei nicht plausiblen bzw. nicht vorhandenen Daten wurde anhand der Summe der vorhandenen elektrischen Leistung der Biogasanlagen im BL deren daraus bedingter Bedarf an Silomaisfläche zur Substratbereitstellung berechnet und

von der Gesamt-Silomaisfläche abgezogen, um die verfügbare Silomaisfläche für die Tierfütterung zu berechnen (REINHOLD ET AL., 2014).

Aus den zusammengetragenen Daten wurde der Grundfutterflächen-Nettoertrag, als Summe der Ackerfuttererträge i. w. S. sowie der Erträge vom produktiven wie extensiven DGL, berechnet. Demgegenüber wurde der Grundfutterbedarf der Tiere gestellt, wobei auch hier einige Festlegungen getroffen wurden (Tabelle 28).

Tabelle 28: Annahmen für die Berechnung des Futterverbrauchs der RGV zur Potenzialberechnung

Tierart	Lebensabschnitt	RGV	kg TM-Aufnahme pro RGV
Rinder	Kälber	0,21	7,0
	Jungrinder	0,65	11,5
	> 1 Jahr männlich	1,00	11,5
	Färsen	1,00	11,5
	Milchkühe	1,2	11,7
	sonst. Kühe	1,2	12,5
Schafe	< 1 Jahr	0,07	10,0
	1 Jahr und älter	1,15	12,0
Ziegen		0,08	11,5
Pferde		0,58	7,5

Es wurde davon abgesehen Futterrationen für die einzelnen Tierarten und Bundesländer zusammenzustellen, da davon ausgegangen werden kann, dass das Anbauspektrum an Futterpflanzen auch die Rationsgestaltung bedingt. Daher werden sowieso alle angebauten Futterpflanzen verfüttert, an welche Tierart in welcher Menge spielt für die Gesamtkalkulation an dieser Stelle keine Rolle.

Das grundlegende Problem verschiedener Potenzialberechnungen ist die unterschiedliche Datenverfügbarkeit. So müssen z. B. bei den Tierzahlen verschiedene Lebensabschnitte zusammengefasst oder aufgeteilt werden, so dass sich dadurch sicherlich an der ein oder anderen Stelle Abweichungen von anderen Potenzialschätzungen ergeben haben. Das gilt vor allem für Potenzialschätzungen anderer Bundesländer, die für ihre eigenen Schätzungen auf ganz andere Daten, z.B. InVeKos-Daten, zurückgreifen können, was Bundesländer übergreifend nicht so ohne weiteres möglich ist. Damit sind die hier beschriebenen Schätzungen nur begrenzt mit denen der einzelnen Bundesländer vergleichbar.

Es werden zwei Szenarien gerechnet

A Dauergrünlandbiomasse-Potenzial 2009

Hier werden die vorhandenen Daten zur Status-quo-Potenzialabschätzung 2009 genutzt.

B Dauergrünlandbiomasse-Potenzial 2030

Hier wird von einer moderaten Produktivitätssteigerung, durch Züchtungsfortschritt aber auch technischer und Bewirtschaftungsanpassung ausgegangen, jedoch nur auf den produktiven GL-Typen. Der AUM-Anteil sowie AUM-Flächenertrag bleibt gleich,

genauso wie die Ackerfutterfläche i. w. S. und deren Erträge. Auch die Anzahlen RGV und die Anteile der einzelnen Tierarten bleiben konstant (konservativer Ansatz).

Alle detaillierten Berechnungstabellen pro Bundesland können dem jeweiligen Bundesland auf Anfrage als Excel-Tabelle zur Verfügung gestellt werden.

3.7. Biostatistische Auswertung

Eine biostatistische Auswertung erfolgte mittels der Statistiksoftware SAS 9.2 mit der Prozedur PROC MIXED und beschränkte sich auf die TM- und Methanhektarerträge, da nur hier die Datengrundlage für eine statistische Auswertung gegeben war. Die Inhaltsstoffe des Grünguts und der Silagen, die die Qualität der Biomasse beschreiben, wurden aus Kostengründen prüfgliedweise analysiert und sind daher nicht statistisch belastbar auswertbar. Aus diesem Grund erfolgt die Darstellung der Inhaltsstoffe in dieser Arbeit als Rohmittelwert mit Spannweiten.

4. Ergebnisse

4.1. Erträge vom Dauergrünland

Wuchszeiten

Witterungsbedingt kam es im Versuchszeitraum 2010 bis 2013 bei einem Teil der untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften zu starken Abweichungen im geplanten Schnittregime, wovon neben den Schnittterminen und damit Wuchszeiten auch die Schnitthäufigkeit mit dem Ausfall von Aufwüchsen bzw. fehlender Erntewürdigkeit letzter Aufwüchse (TM-Erträge $< 10,0 \text{ dt ha}^{-1}$) betroffen waren.

Mit Ausnahme der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** kam es bei allen Dauergrünlandpflanzengesellschaften zu Abweichungen in der geplanten Schnitthäufigkeit (Tabelle 29), wobei besonders die **Glatthaferwiese Thüringen** betroffen war. Hier fielen 2011 jeweils die letzten Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 sowie 2012 jeweils die letzten Aufwüchse aller Nutzungsvarianten aus. Im Versuchsjahr 2013 konnten sogar nur zwei Aufwüchse bei allen Nutzungsvarianten geerntet werden.

Infolge von Überschwemmungen der Versuchsfläche der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** in 2010 und 2013, fielen 2010 zwei Wiederholungen pro Nutzungsvariante aus, weshalb dieses Versuchsjahr aus der Auswertung herausgenommen worden ist, in 2013 verschoben sich lediglich die Erntetermine. Außerdem kam es im Versuchsjahr 2012 zum Ausfall der letzten Aufwüchse bei den Nutzungsvarianten 1, 2 und 3, in 2013 bei den Nutzungsvarianten 3 und 4.

Ebenfalls aus der Auswertung genommen wurde das Versuchsjahr 2010 bei der **Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu)**, da hier die Düngung von den anderen drei Versuchsjahren abwich.

Bei dem **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** fiel im Versuchsjahr 2012 jeweils der letzte Aufwuchs der Nutzungsvariante 2 und 4 aus, während 2013 bei den Nutzungsvarianten 1 bis 3 die letzten Aufwüchse nicht erntewürdig waren.

Auch die letzten Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 bzw. die letzten Aufwüchse aller Nutzungsvarianten erreichten 2012 bzw. 2013 bei den **Weidelgras-Weißkleeweidern in Brandenburg** nicht die Erntewürdigkeit. Hinzu kam, dass bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** im Versuchsjahr 2011 die Versuchsfläche zur Zeit der letzten Aufwüchse stauvernässt war und diese nicht beerntet werden konnte.

Bei dem **Montanen Intensivgrünland Thüringen** erreichten im Versuchsjahr 2012 die letzten Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 die Erntewürdigkeit nicht mehr und auch im Versuchsjahr 2013 fielen die letzten Aufwüchse bei allen Nutzungsvarianten aus.

Durch die reduzierte Schnitthäufigkeit variierten die Schnitttermine (Tabelle 8) und Wuchszeiten (Tabelle 29) der einzelnen Aufwüchse zwischen den einzelnen Versuchsjahren. Da sich die Schnitttermine der einzelnen Nutzungsvarianten nach den entsprechenden Zielen (siehe Kapitel 3.1.1) richteten, stellten die jeweiligen realisierten Schnitttermine einen Kompromiss aus Biomassequalität und nutzungswürdigem Aufwuchs dar.

Tabelle 29: Mittlere Wuchszeiten der einzelnen Aufwüchse (in Tagen) der Versuchsjahre 2010 bis 2013 nach Standort und Nutzungsvariante, mit den entsprechenden Spannweiten (Werte in Klammern)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs Wuchszeit [Tage]	2. Aufwuchs Wuchszeit [Tage]	3. Aufwuchs Wuchszeit [Tage]	4. Aufwuchs Wuchszeit [Tage]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	58 (47 - 68)	42 (28 - 50)	53 (46 - 69)	62 (50 - 81)
2	58 (47 - 68)	42 (28 - 50)	53 (46 - 69)	88
3	79 (70 - 97)	66 (50 - 82)	62 (31 - 83)	
4	41 (28 - 55)	69 (57 - 78)	72 (48 - 109)	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	41 (32 - 54)	36 (29 - 52)	43 (40 - 50)	71 (70 - 74)
2	41 (32 - 54)	36 (29 - 52)	43 (40 - 50)	72 (70 - 74)
3	52 (44 - 64)	41 (34 - 45)	63 (48 - 95)	65 (60 - 69)
4	38 (27 - 52)	79 (69 - 93)	74 (71 - 76)	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	40 (29 - 53)	37 (29 - 52)	44 (39 - 54)	69 (62 - 76)
2	40 (29 - 53)	37 (29 - 52)	44 (39 - 54)	69 (62 - 76)
3	49 (40 - 64)	42 (34 - 53)	78 (48 - 113)	69
4	36 (25 - 48)	79 (69 - 96)	84 (76 - 92)	
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*				
1	43 (21 - 55)	41 (35 - 51)	43 (41 - 44)	66 (63 - 68)
2	43 (21 - 55)	41 (35 - 51)	43 (41 - 44)	68
3	57 (37 - 68)	48 (44 - 50)	89 (88 - 91)	
4	79 (77 - 81)	53 (52 - 56)	70	
Glatthaferwiese Thüringen				
1	36 (25 - 51)	40 (30 - 47)	40 (35 - 47)	57 (25 - 51)
2	36 (25 - 51)	40 (30 - 47)	77 (39 - 98)	85
3	46 (32 - 61)	47 (39 - 53)	96 (89 - 102)	
4	31 (15 - 48)	72 (49 - 85)	85	
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	32 (22 - 41)	40 (31 - 44)	41 (34 - 51)	61 (55 - 67)
2	32 (22 - 41)	40 (31 - 44)	41 (34 - 51)	61 (55 - 67)
3	41 (29 - 55)	41 (38 - 43)	77 (56 - 105)	
4	28 (20 - 34)	67 (46 - 83)	70 (56 - 84)	
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*/**				
1	34 (20 - 43)	30 (27 - 38)	35 (35 - 36)	42 (35 - 56)
2	40 (25 - 50)	36 (34 - 38)	42 (42 - 46)	56 (55 - 60)
3	51 (40 - 56)	41 (41 - 42)	50 (49 - 58)	40 (29 - 43)
4	28 (15 - 35)	76 (69 - 77)	46 (44 - 50)	42 (31 - 43)

* nur Versuchsjahre 2011 bis 2013

** 5. Aufwuchs Nutzungsvariante 1 **40 Tage** (30 - 49 Tage)

Die Wuchszeiten (Tabelle 29) der 1. Aufwüchse lagen im Mittel der Versuchsjahre zwischen 28 und 79 Tagen. Mit Ausnahme der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen wurde der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 am frühesten geerntet, gefolgt von den 1. Aufwüchsen der Nutzungsvarianten 1 und 2. Bei der Wiesenfuchsschwanzwiese erfolgte die Ernte des 1. Aufwuchses der Nutzungsvariante 4 später, um dem Wiesenfuchsschwanz entsprechend

die Möglichkeit zur generativen Vermehrung zu geben. Die längsten Wuchszeiten unter den 1. Aufwüchsen hatten bei allen Dauergrünlandpflanzengesellschaften, außer der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen, die 1. Aufwüchse der Nutzungsvariante 3.

Die Wuchszeiten der 2. Aufwüchse betragen zwischen 30 und 79 Tagen, wobei hier die 2. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 die kürzesten und die 2. Aufwüchse der Nutzungsvariante 4 die längsten Wuchszeiten hatten. Diese verlängerte Wuchszeit der 2. Aufwüchse bei der Nutzungsvariante 4 sollte den Beständen die Möglichkeit geben, sich generativ zu vermehren und so den Bestand zu erneuern. Die 2. Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 lagen zwischen den Nutzungsvarianten 1, 2 und 4.

Die 3. Aufwüchse hatten Wuchszeiten zwischen 35 und 96 Tagen je nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft. Auch hier waren die Wuchszeiten bei den Nutzungsvarianten 1 und 2 die kürzesten und bei Nutzungsvariante 3 und 4 die längsten.

Die 4. Aufwüchse wurden, außer in Brandenburg und Bayern nur für die ersten beiden Nutzungsvarianten realisiert und erreichten Wuchszeiten zwischen 40 und 88 Tagen, wobei die längeren Zeiten je nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft hauptsächlich bei der Nutzungsvariante 2 auftrat. Die Ernte eines 5. Aufwuchses erfolgte lediglich bei der Nutzungsvariante 1 der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) nach einer Wuchszeit von 40 Tagen.

Mit Ausnahme der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) erfolgte die Beerntung der Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 weitestgehend zeitgleich mit entsprechend gleichen Wuchszeiten. Unterschiede in der Wuchszeit ergaben sich erst ab dem 3. Aufwuchs (Glatthaferwiese Thüringen) bzw. 4. Aufwuchs. Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) und dem Montanen Intensivgrünland Thüringen erfolgte die Beerntung der Aufwüchse beider Nutzungsvarianten komplett zeitgleich.

Die Unterschiede bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) in den Wuchszeiten zwischen den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 1 und 2 betragen in Mittel der Versuchsjahre vier bis 8 Tage bei den ersten drei Aufwüchsen und 15 Tage bei dem 4. Aufwuchs.

Die Abweichungen in den Wuchszeiten zwischen den Versuchsjahren der entsprechenden Aufwüchse lagen zwischen einem und 38 Tagen und zeigen damit nochmals den großen Einfluss des entsprechenden Versuchsjahres.

Trockenmasseerträge

Der Einfluss der Effekte Nutzungsvariante und Versuchsjahr sowie deren Wechselwirkung waren deutlich bis hoch signifikant (Tabelle 30). Lediglich bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) zeigt die Nutzungsvariante keinerlei nachweisbaren Einfluss sowie bei der Glatthaferwiese Thüringen die Wechselwirkungen zwischen Versuchsjahr und Nutzungsvariante.

Tabelle 30: Signifikanzen der Effekte Nutzungsvariante und Versuchsjahr sowie deren Interaktion als Einfluss auf den Trockenmasseertrag (Ergebnisse des F-Tests)

Dauergrünland- pflanzengesellschaft Standort	Nutzungsvariante (N)	Effekte	
		Versuchsjahr (J)	Wechselwirkung N*J
Ansaatgrünland- Weidelgrastyp Niedersachsen	***	***	***
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	**	***	***
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	+	***	***
Wiesenfuchs-schwanzwiese Sachsen	***	***	***
Glatthaferwiese Thüringen	***	***	+
Montanes Intensivgrünland Thüringen	**	***	***
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	***	***	***

* $0,01 \leq \alpha \leq 0,05$ „signifikant“ *** $\alpha \leq 0,001$ „hoch signifikant“
 ** $0,001 < \alpha < 0,01$ „deutlich signifikant“ + $0,05 < \alpha < 0,10$ „nicht signifikant“

TM-Erträge innerhalb der Dauergrünlandpflanzengesellschaften unterschieden sich zwischen den Versuchsjahren teils erheblich und auch die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten entsprechender Dauergrünlandpflanzengesellschaften zeigten den starken Einfluss des Versuchsjahres (Tabelle 31 und im Anhang Tabelle A 9). Deshalb sind die Unterschiede in den einzelnen Versuchsjahren (Ausnahme Glatthaferwiese Thüringen) in den Ergebnisdarstellungen zu berücksichtigen und werden im Mittel der Versuchsjahre in Klammern dargestellt, da eine Mittelwertbildung bei der hohen Streuung eigentlich nicht statistisch üblich wäre. Um jedoch der Übersichtlichkeit halber einen Trend aufzeigen zu können und die spätere Interpretation nachvollziehbarer darzustellen, wurde diese Vorgehensweise gewählt. Die höchsten TM-Erträge, im Mittel der drei bzw. vier Versuchsjahre je Standort, hatten die Weidelgras-Weißkleeweiden einschließlich dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen, wobei die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) mit $121,3 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $138,5 \text{ dt ha}^{-1}$, vor Brandenburg (Niedermoor) mit $118,2 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $127,5 \text{ dt ha}^{-1}$ und Brandenburg (Talsand) mit $106,6 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $115,6 \text{ dt ha}^{-1}$, gefolgt vom Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen mit $91,7 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $113,4 \text{ dt ha}^{-1}$ die höchsten TM-Erträge hatte. Die TM-Erträge der anderen drei Dauergrünlandpflanzengesellschaften lagen deutlich niedriger. Die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen erreichte mit $73,7 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $91,6 \text{ dt ha}^{-1}$

die höchsten TM-Erträge dieser drei Typen-Gruppe, gefolgt von dem Montanen Intensivgrünland Thüringen mit TM-Erträgen zwischen 70,1 dt ha⁻¹ und 78,2 dt ha⁻¹ und der Glatthaferwiese Thüringen mit TM-Erträgen zwischen 63,6 dt ha⁻¹ und 80,8 dt ha⁻¹.

Tabelle 31: LSMEANS der Trockenmasseerträge [dt ha⁻¹] mit Standardfehler (SE) in Klammern und Schnittanzahl [n] der unterschiedlichen Nutzungsvarianten pro Dauergrünlandpflanzengesellschaft in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre

(Fett markiert sind jeweils die höchsten Erträge eines Versuchsjahres/im Mittel der Versuchsjahre je Pflanzengesellschaft)

Nutzungs- variante	2010		2011		2012		2013		MW 2010-2013	
	TM-Ertrag [dt/ha] (SE)	Schnitt- anzahl	TM-Ertrag [dt/ha] (SE)	Schnitt- anzahl	TM-Ertrag [dt/ha] (SE)	Schnitt- anzahl	TM-Ertrag [dt/ha] (SE)	Schnitt- anzahl	TM-Ertrag [dt/ha] (SE)	Schnitt- anzahl
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen										
1	114,5 ^a (± 3,0)	4	129,2^a (± 3,0)	4	108,6^a (± 3,0)	4	101,4 ^a (± 3,0)	3	113,4^(a) (± 1,5)	3,8
2	117,5^a (± 3,0)	4	109,1 ^b (± 3,0)	3	94,4 ^{ab} (± 3,0)	3	103,2^a (± 3,0)	3	106,1 ^(b) (± 1,5)	3,3
3	102,7 ^a (± 3,0)	3	120,6 ^{ab} (± 3,0)	3	94,8 ^{ab} (± 3,0)	3	79,0 ^b (± 3,0)	2	99,3 ^(c) (± 1,5)	2,8
4	81,2 ^b (± 3,0)	3	103,9 ^b (± 3,0)	3	86,3 ^b (± 3,0)	3	95,2 ^a (± 3,0)	3	91,7 ^(d) (± 1,5)	3,0
Weidelgras-Weißkleeweiße Brandenburg (Niedermoor)										
1	125,2 ^{ab} (± 3,0)	4	137,0^a (± 3,0)	4	124,5 ^{ac} (± 3,0)	4	123,5 ^{ab} (± 3,0)	3	127,5^(a) (± 1,5)	3,8
2	117,4 ^a (± 3,0)	4	132,8 ^a (± 3,0)	4	105,5 ^b (± 3,0)	4	116,9 ^{ab} (± 3,0)	3	118,2 ^(b) (± 1,5)	3,8
3	118,5 ^a (± 3,0)	4	133,7 ^a (± 3,8)	4	109,7 ^a (± 3,0)	3	130,1^a (± 3,0)	3	123,0 ^(ab) (± 1,5)	3,5
4	139,0^b (± 3,0)	3	124,4 ^a (± 3,0)	3	125,9^c (± 3,0)	3	110,3 ^b (± 3,0)	2	124,9 ^(a) (± 1,5)	2,8
Weidelgras-Weißkleeweiße Brandenburg (Talsand)										
1	122,1 ^{ab} (± 3,7)	4	105,8^a (± 3,7)	3	117,3 ^{ab} (± 3,7)	4	117,1 ^a (± 3,7)	3	115,6^(a) (± 2,4)	3,5
2	110,5 ^a (± 3,7)	4	97,8 ^a (± 3,7)	3	100,6 ^a (± 3,7)	4	117,4^a (± 3,7)	3	106,6 ^(a) (± 2,4)	3,5
3	121,6 ^{ab} (± 3,6)	4	98,8 ^a (± 4,5)	3	100,4 ^a (± 3,6)	3	115,9 ^a (± 3,7)	3	109,2 ^(a) (± 2,6)	3,3
4	132,8^b (± 3,7)	3	93,8 ^a (± 3,7)	2	130,7^b (± 3,7)	3	98,9 ^a (± 3,7)	2	114,1 ^(a) (± 2,4)	2,5
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*										
1			107,2 ^a (± 2,4)	4	74,1 ^a (± 2,4)	3	80,0 ^a (± 2,4)	4	87,1 ^(a) (± 0,8)	3,7
2			100,7 ^a (± 2,4)	4	63,4 ^b (± 2,4)	3	57,0 ^b (± 2,4)	3	73,7 ^(b) (± 0,8)	3,3
3			83,5 ^b (± 2,4)	3	83,0^a (± 2,4)	3	86,7 ^a (± 2,4)	3	84,4 ^(a) (± 0,8)	3,0
4			107,6^a (± 2,4)	3	79,2 ^a (± 2,4)	2	87,8^a (± 2,4)	2	91,6^(c) (± 0,8)	2,3

Fortsetzung Tabelle 31

Glatthaferwiese Thüringen										
1	96,3 ^a (± 2,1)	4	74,2 ^a (± 2,1)	3	73,1 ^{ac} (± 2,1)	3	42,3 ^a (± 2,1)	2	71,4 ^(a) (± 1,1)	3,0
2	80,4 ^b (± 2,1)	4	63,5 ^a (± 2,1)	3	66,6 ^{ab} (± 2,1)	3	44,1 ^a (± 2,1)	2	63,6 ^(b) (± 1,1)	3,0
3	100,1 ^{ac} (± 2,1)	3	67,1 ^a (± 2,1)	3	60,5 ^b (± 2,1)	2	43,8 ^a (± 2,1)	2	67,9 ^(a) (± 1,1)	2,5
4	109,4 ^c (± 2,1)	3	73,0 ^a (± 2,1)	2	78,3 ^c (± 2,1)	2	62,5 ^b (± 2,1)	2	80,8 ^(c) (± 1,1)	2,3
Montanes Intensivgrünland Thüringen										
1	76,5 ^a (± 1,8)	4	80,0 ^a (± 1,8)	4	81,4 ^a (± 1,8)	3	75,1 ^a (± 1,8)	3	78,2 ^(a) (± 1,2)	3,5
2	63,9 ^b (± 1,8)	4	74,8 ^a (± 1,8)	4	84,0 ^a (± 1,8)	3	71,1 ^a (± 1,8)	3	73,5 ^(ab) (± 1,2)	3,5
3	71,6 ^{ab} (± 1,8)	3	80,1 ^a (± 1,8)	3	88,8 ^a (± 1,8)	3	65,0 ^a (± 1,8)	2	76,4 ^(a) (± 1,2)	2,8
4	90,9 ^c (± 1,8)	3	79,5 ^a (± 1,8)	3	56,9 ^b (± 1,8)	2	53,2 ^b (± 1,8)	2	70,1 ^(b) (± 1,2)	2,5
Weidelgras-Weißkleeweiße Bayern (Allgäu)*										
1			160,3 ^a (± 2,4)	5	143,9 ^a (± 2,4)	5	111,4 ^a (± 2,4)	5	138,5 ^(a) (± 1,4)	5,0
2			159,2 ^a (± 2,4)	4	133,6 ^a (± 2,4)	4	112,2 ^a (± 2,4)	4	135,0 ^(a) (± 1,4)	4,0
3			159,3 ^a (± 2,4)	4	140,0 ^a (± 2,4)	4	110,5 ^a (± 2,4)	4	136,6 ^(a) (± 1,4)	4,0
4			133,5 ^b (± 2,4)	4	115,4 ^b (± 2,4)	4	115,1 ^a (± 2,4)	4	121,3 ^(b) (± 1,4)	4,0

* nur Versuchsjahre 2011 bis 2013

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p \leq 0,05$ innerhalb Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Versuchsjahr, zwischen den Nutzungsvarianten.

In Abhängigkeit der Witterung in den jeweiligen Versuchsjahren zeigten sich teilweise unterschiedliche Nutzungsvarianten ertragsüberlegen. Eine eindeutige Überlegenheit einzelner Nutzungsvarianten über den gesamten Versuchszeitraum konnte nicht gefunden werden.

Bei dem **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** erwies sich in den Versuchsjahren 2011 und 2012 die Nutzungsvariante 1 als die ertragsstärkste bzw. in den Versuchsjahren 2010 und 2013 als zweitertragsstärkste Nutzungsvariante. In den Versuchsjahren 2010 und 2013 war die Nutzungsvariante 2 die ertragstärkste Nutzungsvariante. Danach folgte die Nutzungsvariante 3 mit den zweithöchsten TM-Erträgen in den Versuchsjahren 2011 und 2012. Signifikante Ertragsunterschiede bestanden in den Versuchsjahren 2010 bzw. 2013 jeweils zwischen den Nutzungsvarianten 1, 2 und 3 zu der 4 bzw. zwischen den Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 zu 3. Nutzungsvariante mit dem niedrigsten TM-Ertrag. Zwischen den ersten drei Varianten konnten keine Unterschiede abgesichert werden. 2011 unterschieden sich lediglich die beiden ertragsschwächsten Nutzungsvarianten (2 und 4) von der ertragsstärksten Nutzungsvariante (1) und 2012 nur die ertragsschwächste (4) von der ertragsstärksten Nutzungsvariante (1) signifikant. Im Mittel der Versuchsjahre erwies sich die erste Nutzungsvariante als die ertragsstärkste.

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweiße Brandenburg (Niedermoor)** konnten die höchsten TM-Erträge die Nutzungsvarianten 1 und 4 (Versuchsjahre 2010 und 2012) sowie die Nutzungsvarianten 1 und 3 (Versuchsjahren 2011 und 2013) realisieren. Im Mittel der Versuchsjahre

stellten sich die Nutzungsvarianten 1 und 4 als Nutzungsvarianten mit den höchsten TM-Erträgen heraus, wobei der Unterschied zwischen den Nutzungsvarianten 3 und 4 gering war. Signifikante Ertragsunterschiede bestanden in dem Versuchsjahr 2011 nicht, während sich in den Versuchsjahren 2010 und 2012 die zwei ertragsschwächsten Nutzungsvarianten (2 und 3) von der ertragsstärksten Nutzungsvariante (4) unterschieden. Im Versuchsjahr 2012 waren die Unterschiede jedoch auch zwischen den jeweils ertragsschwächsten Nutzungsvarianten signifikant verschieden. Im Versuchsjahr 2013 unterschieden sich nur die Nutzungsvarianten mit dem höchsten (Variante 3) und dem niedrigsten TM-Ertrag (Variante 4) statistisch gesichert voneinander.

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** erreichte die Nutzungsvariante 1 die höchsten TM-Erträge in 2011 und 2013 sowie im Mittel über alle Versuchsjahre, die sich jedoch von keiner anderen Nutzungsvariante statistisch absicherbar unterschieden. Nutzungsvariante 4 unterschied sich dagegen in den Versuchsjahren 2010 und 2012 signifikant von den ertragsärmeren Nutzungsvarianten 2 (2010) und 2 und 3 (2012).

Bei der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** war in allen Versuchsjahren die Nutzungsvariante 4 unter den ertragstärksten Nutzungsvarianten. Daneben konnte in dem Versuchsjahr 2011 die Nutzungsvariante 1 und in den Versuchsjahren 2012 und 2013 die Nutzungsvariante 3 die höchsten TM-Erträge erzielen. Die jeweils ertragsstärksten Nutzungsvarianten unterschieden sich nicht signifikant voneinander, sondern lediglich die Nutzungsvarianten mit den jeweils höchsten und den jeweils niedrigsten TM-Erträgen. Dabei hatte im Versuchsjahr 2011 die Nutzungsvariante 3 sowie in den Versuchsjahren 2012 und 2013 die Nutzungsvariante 2 die geringsten TM-Erträge. Im Mittel der Versuchsjahre zeigten sich die Nutzungsvarianten 4 und 1 als ertragstärkste Nutzungsvarianten.

Bei der **Glatthaferwiese Thüringen** zählte ebenfalls die Nutzungsvariante 4 zu den ertragstärksten Nutzungsvarianten aber erreichte nur in dem Versuchsjahr 2013 einen signifikant höheren TM-Ertrag, in den anderen Jahren konnte der Unterschied nicht statistisch abgesichert werden. Daneben hatte 2011 die Nutzungsvariante 1 den tendenziell höchsten TM-Ertrag. Während im Versuchsjahr 2011 keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen allen Nutzungsvarianten bestanden, unterschieden sich im Versuchsjahr 2010, 2012 und 2013 die ertragsstärksten Nutzungsvarianten signifikant von der jeweils ertragsschwächsten Nutzungsvariante. Im Mittel der Versuchsjahre erwiesen sich die Nutzungsvarianten 4 und 1 als die Nutzungsvarianten mit dem höchsten absoluten TM-Ertrag.

Bei dem **Montanen Intensivgrünland Thüringen** erzielte die Nutzungsvarianten 1 bzw. 4 in einem von drei Versuchsjahren (2013 bzw. 2010), die Nutzungsvariante 3 in zwei Versuchsjahren (2011 und 2012) die höchsten TM-Erträge. Signifikante Ertragsunterschiede bestanden im Versuchsjahr 2010 zwischen der ertragsstärksten Nutzungsvariante 4 und den anderen drei Nutzungsvarianten sowie zwischen der Nutzungsvariante 1, mit den zweithöchsten TM-Ertrag und der Nutzungsvariante 2 mit dem niedrigsten TM-Ertrag. Im Versuchsjahr 2011 gab es keine und in den Versuchsjahren 2012 und 2013 nur zwischen der ertragsschwächsten Nutzungsvariante 4 zu den anderen Nutzungsvarianten signifikante Unterschiede im TM-Ertrag. Im Mittel der Versuchsjahre erwies sich die Nutzungsvariante 1 vor den Nutzungsvarianten 3 und 2 als die ertragsstärkste Nutzungsvariante.

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** erreichten die Nutzungsvarianten 1, 2 und 3 in dem Versuchsjahr 2011, die Nutzungsvarianten 1 und 3 in dem Versuchsjahr 2012 sowie die Nutzungsvariante 4 in dem Versuchsjahr 2013 die höchsten TM-Erträge. Die Er-

tragsunterschiede in den jeweiligen Versuchsjahren waren zwischen den jeweiligen ertragsstärksten Nutzungsvarianten sehr gering und ließen sich statistisch nicht sichern. Signifikante Unterschiede zu den ertragsschwächsten Nutzungsvarianten bestanden nur in den Versuchsjahren 2011 und 2012, während im Versuchsjahr 2013 keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten bestanden. Im Mittel der Versuchsjahre erzielten die Nutzungsvarianten 1 und 3 die höchsten TM-Erträge.

4.2. Biomassequalität vom Dauergrünland

Grüngutqualität

Futterqualität

Die Grüngutqualität zeigt das Qualitätspotenzial, das bei den entsprechenden Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten erreicht werden konnte. Zur Beurteilung der Futterqualität wurden die Orientierungswerte für Anweilsilagen für die Milchvieh- und Rinderfütterung (siehe Tabelle 1 bzw. Tabelle 3) herangezogen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Energiedichte und der Verdaulichkeit in Form von ELOS, wenn die Rohprotein- bzw. Rohfasergehalte leicht außerhalb des Optimalbereiches lagen.

Die Aufwüchse der Nutzungsvarianten unterschieden sich entsprechend des unterschiedlichen Schnittregimes und damit verbundenen Wuchszeiten in der Futterqualität, wobei die Unterschiede in Abhängigkeit der Dauergrünlandpflanzengesellschaft differenziert ausfielen (Tabelle 32).

Bei dem **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** erreichten die Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 die Anforderungen an eine hohe Futterqualität im Mittel der Versuchsjahre weitestgehend, wobei besonders die Anforderungen an die Energiedichte und die Verdaulichkeit eingehalten werden konnten. In einzelnen Versuchsjahren wurden jedoch die Anforderungen auch verfehlt, wie man an der Spannweite erkennen kann. Die Unterschiede zwischen den Aufwüchsen der beiden ersten Nutzungsvarianten waren gering, wobei ab dem 2. Aufwuchs die Aufwüchse der Nutzungsvariante 2 in ihren relevanten Inhaltsstoffgehalten leicht niedriger lagen. Die ersten beiden Aufwüchse der Nutzungsvariante 3, mit deutlich längeren Wuchszeiten, konnten im Mittel der Versuchsjahre die Anforderungen an eine hohe Futterqualität nicht erfüllen. Erst der 3. Aufwuchs erreichte die entsprechenden Anforderungen. Der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 erzielte die Anforderungen an eine hohe Futterqualität in allen Versuchsjahren, während der 2. Aufwuchs deutlich alle Anforderungen an eine hohe Futterqualität verfehlte und damit die geringste Futterqualität aufwies. Der 3. Aufwuchs konnte im Mittel der Versuchsjahre zumindest bei der Energiedichte die Anforderung an eine hohe Futterqualität erreichen.

Tabelle 32: Futterqualität im Grüngut des **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n=4)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0		
1	13,9 (12,4 - 16,0)	15,2 (11,0 - 18,2)	16,3 (13,2 - 20,1)	**15,6 (13,4 - 18,9)
2	14,3 (13,1 - 16,2)	14,5 (8,6 - 18,0)	15,6 (12,8 - 20,3)	*14,6
3	9,1 (8,3 - 9,7)	11,5 (10,1 - 12,5)	**17,9 (14,6 - 22,6)	
4	19,6 (17,3 - 22,7)	9,0 (6,4 - 11,0)	14,2 (13,6 - 15,6)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	25,6 (23,5 - 30,1)	25,6 (23,0 - 28,0)	25,3 (23,3 - 26,8)	**23,5 (22,6 - 24,1)
2	25,8 (23,2 - 31,5)	25,9 (22,6 - 30,1)	25,4 (24,2 - 27,1)	*24,5
3	29,9 (27,4 - 32,3)	27,1 (25,9 - 28,3)	**23,9 (22,0 - 26,1)	
4	21,0 (19,4 - 22,9)	30,0 (27,8 - 32,4)	24,7 (23,3 - 25,4)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	71,5 (63,6 - 75,6)	69,4 (64,8 - 74,3)	66,2 (59,9 - 69,7)	**66,0 (58,1 - 70,1)
2	70,9 (62,7 - 76,1)	68,8 (62,4 - 73,9)	65,5 (57,9 - 70,0)	*64,1
3	59,9 (55,8 - 62,8)	62,7 (58,0 - 69,1)	**65,3 (58,4 - 76,2)	
4	78,3 (75,0 - 81,6)	54,7 (49,6 - 60,8)	64,5 (60,6 - 66,4)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1		
1	6,4 (5,8 - 6,8)	6,3 (5,8 - 6,8)	6,2 (5,7 - 6,6)	**6,2 (5,7 - 6,5)
2	6,4 (5,7 - 6,8)	6,3 (5,7 - 6,7)	6,1 (5,6 - 6,5)	*6,0
3	5,5 (5,2 - 5,7)	5,9 (5,5 - 6,3)	**6,2 (5,6 - 7,0)	
4	7,1 (6,9 - 7,4)	5,1 (4,8 - 5,6)	6,1 (5,8 - 6,2)	

* n=1 ** n=3

Die Anforderungen an eine hohe Futterqualität wurden bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** (Tabelle 33) im Mittel der Versuchsjahre nur durch die 1. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 eingehalten. In einzelnen Versuchsjahren konnten jedoch bei den 1. Aufwüchsen der Nutzungsvarianten 1 und 2 die Anforderungen an die hohe Futterqualität nicht erfüllt werden. Dagegen erreichten in einzelnen Versuchsjahren jedoch auch die 2. und 3. Aufwüchse noch eine hohe Futterqualität. Die Unterschiede in der Futterqualität der Aufwüchse dieser ersten beiden Nutzungsvarianten waren grundsätzlich gering. Die Folgeaufwüchse der Nutzungsvariante 2 zeigten tendenziell leicht bessere Futterqualitäten. Die Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 verfehlten im Mittel der Versuchsjahre die Anforderungen an eine hohe Futterqualität, was die längeren Wuchszeiten widerspiegelt. Die Folgeaufwüchse der Nutzungsvariante 4 erreichten im Mittel der Versuchsjahre die niedrigste Futterqualität und verfehlten die Anforderungen an eine hohe Futterqualität deutlich.

Tabelle 33: Futterqualität im Grüngut der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n=4)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0		
1	18,0 (14,1 - 22,4)	15,5 (11,5 - 19,7)	15,0 (13,3 - 16,6)	**14,3 (12,6 - 17,2)
2	17,8 (14,7 - 22,2)	16,1 (11,3 - 21,2)	14,3 (13,0 - 15,2)	**13,8 (12,7 - 15,9)
3	14,1 (10,6 - 18,7)	14,6 (12,6 - 16,8)	12,1 (10,7 - 13,4)	*17,5 (17,3 - 17,7)
4	19,1 (16,1 - 21,0)	9,6 (8,1 - 10,6)	**13,8 (11,4 - 17,2)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	25,0 (20,7 - 30,7)	26,6 (24,3 - 29,8)	29,0 (27,2 - 31,3)	**24,9 (23,4 - 26,0)
2	25,1 (21,0 - 31,8)	26,3 (23,9 - 30,5)	26,3 (24,1 - 29,3)	**24,2 (22,8 - 25,2)
3	27,5 (23,7 - 32,2)	28,6 (27,6 - 29,8)	27,3 (26,3 - 28,3)	*21,4 (20,9 - 21,9)
4	23,4 (21,8 - 27,4)	30,8 (29,3 - 32,4)	**26,8 (26,0 - 28,0)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	70,5 (64,3 - 73,6)	63,9 (56,5 - 71,9)	58,8 (54,8 - 61,7)	**57,7 (55,8 - 60,6)
2	70,6 (62,6 - 73,4)	65,0 (55,4 - 73,2)	60,5 (54,3 - 65,4)	**58,9 (55,3 - 63,9)
3	63,9 (56,4 - 68,7)	60,7 (57,4 - 63,7)	57,2 (50,8 - 63,8)	*61,9 (61,7 - 62,1)
4	72,4 (68,8 - 74,7)	46,7 (45,6 - 47,7)	**52,8 (47,6 - 58,6)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1		
1	6,4 (5,7 - 6,8)	5,9 (5,4 - 6,5)	5,6 (5,3 - 5,8)	**5,5 (5,4 - 5,8)
2	6,4 (5,8 - 6,7)	6,0 (5,3 - 6,6)	5,7 (5,3 - 6,2)	**5,6 (5,4 - 6,0)
3	5,9 (5,2 - 6,3)	5,6 (5,4 - 5,9)	5,4 (5,0 - 5,9)	*6,0 (5,9 - 6,0)
4	6,6 (6,3 - 6,9)	4,7 (4,6 - 4,7)	**5,1 (4,7 - 5,6)	

* n=2 ** n=3

Auch bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** (Tabelle 34) erreichten die 1. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 im Mittel der Versuchsjahre eine hohe Futterqualität unter Einhaltung aller Anforderungen. Die Folgeaufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 verfehlten aber im Mittel der Versuchsjahre besonders die Anforderungen an die Verdaulichkeit und die Energiedichte. Ausnahme war der letzte Aufwuchs der Nutzungsvariante 1, bei dem die Anforderungen an eine hohe Futterqualität eingehalten werden konnten. Die Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 hatten eine niedrigere Futterqualität und nur der 1. Aufwuchs erreichte die entsprechenden Anforderungen bzgl. der Verdaulichkeit. Der 4. Aufwuchs, der nur einmal im Versuchszeitraum geerntet werden konnte, verfehlte die Anforderungen an eine hohe Futterqualität. In einzelnen Versuchsjahren konnten allerdings die ersten zwei Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 eine hohe Futterqualität erreichen. Abgesehen vom 1. Aufwuchs, hatten die Folgeaufwüchse der Nutzungsvariante 4 die geringsten Futterqualitäten und verfehlten alle Anforderungen deutlich.

Tabelle 34: Futterqualität im Grüngut der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0		
1	17,8 (15,4 - 21,6)	14,4 (9,8 - 17,7)	13,2 (11,1 - 14,7)	**14,5 (12,9 - 16,1)
2	17,2 (14,4 - 21,0)	15,0 (8,7 - 17,9)	13,0 (11,9 - 14,5)	**13,9 (11,7 - 16,1)
3	13,0 (11,0 - 17,5)	12,0 (10,1 - 13,7)	12,4 (12,0 - 13,0)	*15,0
4	19,1 (16,2 - 21,6)	8,1 (7,4 - 8,9)	**13,9 (10,1 - 17,7)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	22,8 (19,1 - 25,7)	27,4 (25,0 - 31,6)	28,1 (26,3 - 29,8)	**24,3 (23,8 - 24,7)
2	23,1 (19,8 - 28,5)	26,7 (23,2 - 31,3)	26,3 (22,8 - 28,5)	**24,9 (24,3 - 25,4)
3	27,0 (22,2 - 31,8)	27,2 (23,9 - 32,5)	25,6 (24,6 - 27,1)	*20,1
4	21,6 (18,4 - 25,4)	31,7 (30,0 - 32,5)	**26,3 (24,9 - 27,6)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	72,6 (66,9 - 75,8)	63,4 (55,9 - 69,1)	60,2 (56,4 - 64,8)	**71,1 (61,6 - 80,5)
2	73,5 (66,8 - 76,3)	64,4 (56,1 - 71,8)	60,4 (56,2 - 67,5)	**56,2 (51,0 - 61,4)
3	67,3 (59,2 - 73,2)	61,2 (52,7 - 70,1)	55,6 (49,5 - 63,9)	*64,9
4	76,0 (72,9 - 77,5)	47,1 (44,2 - 51,8)	**52,2 (51,9 - 52,4)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1		
1	6,6 (6,1 - 6,9)	5,8 (5,3 - 6,2)	5,6 (5,3 - 6,0)	**6,3 (5,7 - 6,9)
2	6,7 (6,1 - 6,9)	5,9 (5,3 - 6,5)	5,6 (5,4 - 6,1)	**5,4 (5,1 - 5,8)
3	6,1 (5,5 - 6,6)	5,7 (4,8 - 6,5)	5,2 (4,8 - 5,8)	*6,2
4	6,9 (6,6 - 7,1)	4,5 (4,3 - 4,9)	**5,1 (± 0)	

* n=1 ** n=2

Bei der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** (Tabelle 35) hatten im Mittel der Versuchsjahre die 1. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 die höchste Futterqualität, wobei die Qualitätsanforderungen an die Energiedichte für hohe Futterqualität knapp verfehlt wurden. In einzelnen Versuchsjahren konnten allerdings die Anforderungen an eine hohe Futterqualität erreicht werden. Die Folgeaufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 erzielten im Mittel zwar hohe Rohproteingehalte, blieben allerdings zu weit unter den Anforderungen an die Verdaulichkeit sowie die Energiedichte, um eine hohe Futterqualität zu erreichen. Unterschiede zwischen den Aufwüchsen dieser Nutzungsvarianten zeigten sich besonders ab dem 3. Aufwuchs im Rohproteingehalt, der bei Nutzungsvariante 1 höher lag. Die Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 lagen deutlich unter den Qualitätsanforderungen und auch die Aufwüchse der Nutzungsvariante 4 erreichten keine hohe Futterqualität.

Tabelle 35: Futterqualität im Grüngut der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten, je n=3)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0		
1	17,9 (17,0 - 19,5)	19,5 (17,5 - 23,5)	16,7 (15,8 - 18,1)	**18,9 (17,5 - 20,3)
2	17,4 (16,8 - 18,3)	19,0 (17,5 - 22,0)	14,5 (13,2 - 15,6)	*15,7
3	13,1 (11,6 - 13,9)	17,4 (13,1 - 22,0)	14,5 (13,4 - 15,6)	
4	10,4 (9,9 - 10,8)	15,2 (13,8 - 17,5)	*14,5	
Rohfaser [% in der TM]				
Ziel: 22,0 - 24,0				
1	25,2 (24,6 - 26,2)	25,6 (23,5 - 29,1)	27,0 (25,6 - 28,3)	**23,0 (22,3 - 23,7)
2	24,3 (23,1 - 25,3)	24,7 (23,4 - 26,6)	26,3 (25,3 - 27,0)	*23,4
3	30,1 (29,2 - 31,5)	27,9 (23,5 - 30,8)	25,2 (24,8 - 25,7)	
4	30,6 (29,5 - 31,4)	27,6 (25,7 - 28,7)	*25,4	
ELOS [% in der TM]				
Ziel: ≥ 65,0				
1	65,8 (63,8 - 68,0)	60,4 (51,7 - 66,7)	52,7 (43,8 - 59,1)	**51,0 (46,2 - 55,7)
2	67,5 (65,8 - 70,8)	60,6 (53,7 - 65,8)	51,7 (45,5 - 57,2)	*46,9
3	56,0 (54,3 - 57,0)	58,2 (55,5 - 62,5)	44,6 (41,6 - 46,4)	
4	46,4 (39,4 - 50,6)	52,3 (45,4 - 59,0)	*43,7	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1		
1	6,2 (6,1 - 6,3)	5,7 (4,8 - 6,3)	5,2 (4,6 - 5,6)	**5,3 (4,8 - 5,7)
2	6,3 (6,0 - 6,5)	5,8 (5,1 - 6,2)	5,0 (4,5 - 5,5)	*4,9
3	5,2 (5,1 - 5,4)	5,5 (5,3 - 5,9)	4,8 (4,6 - 5,0)	
4	4,5 (3,8 - 4,9)	5,2 (4,8 - 5,5)	*4,5	

* n=1 ** n=2

Bei der **Glatthaferwiese Thüringen** (Tabelle 36) erreichten die ersten beiden Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 im Mittel der Versuchsjahre sehr hohe Futterqualitäten, unter optimaler Einhaltung der entsprechenden Qualitätsziele. Ab dem 3. Aufwuchs sank die Futterqualität und beide Nutzungsvarianten unterschieden sich besonders im Rohproteingehalt und der Energiedichte, wobei die Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 die höhere Futterqualität aufwiesen. Die Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 zeigten niedrigere Futterqualitäten und erreichten nur bei dem 2. Aufwuchs die Anforderungen an eine hohe Futterqualität. Der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 konnte von allen Aufwüchsen die höchste Futterqualität erzielen, mit sehr hohen Rohproteingehalten, sehr hoher Verdaulichkeit und sehr hoher Energiedichte, bei sehr niedrigen Rohfasergehalten. Der 2. Aufwuchs, mit sehr langer Wuchszeit, hatte die niedrigste Futterqualität und konnte die entsprechenden Anforderungen nicht einhalten, auch der 3. Aufwuchs verfehlte die optimalen Anforderungen.

Tabelle 36: Futterqualität im Grüngut der **Glatthaferwiese Thüringen** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	16,1 (14,6 - 17,8)	16,7 (12,0 - 20,2)	***13,9 (12,4 - 16,6)	*13,4
2	15,6 (14,4 - 16,8)	16,8 (12,2 - 20,5)	***10,7 (10,0 - 11,0)	*11,5
3	12,8 (11,7 - 14,9)	13,5 (9,9 - 17,7)	**11,2 (10,5 - 11,8)	
4	18,5 (17,9 - 19,7)	9,6 (7,7 - 11,5)	*10,9	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	22,2 (19,9 - 26,3)	23,4 (21,0 - 25,4)	***24,2 (22,2 - 25,7)	*23,3
2	20,8 (18,1 - 23,6)	22,7 (18,4 - 26,5)	***24,1 (23,5 - 25,2)	*23,7
3	25,6 (22,4 - 29,8)	22,6 (20,5 - 25,3)	**22,8 (21,6 - 23,9)	
4	19,8 (19,6 - 20,0)	31,0 (25,7 - 36,0)	*23,0	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	73,3 (71,0 - 75,3)	69,2 (66,5 - 74,6)	***68,5 (63,6 - 74,7)	*70,2
2	74,2 (70,0 - 75,9)	69,3 (66,8 - 74,3)	***62,6 (58,9 - 64,9)	*64,3
3	66,2 (61,6 - 69,9)	68,1 (63,4 - 72,9)	**62,3 (61,5 - 63,0)	
4	77,0 (74,6 - 78,2)	55,0 (50,5 - 63,4)	*62,1	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,7 (6,4 - 6,9)	6,3 (6,1 - 6,9)	***6,3 (6,0 - 6,9)	*6,3
2	6,8 (6,4 - 7,0)	6,3 (6,0 - 7,0)	***5,9 (5,7 - 6,1)	*6,0
3	6,0 (5,6 - 6,4)	6,2 (5,8 - 6,8)	**5,9 (±0)	
4	6,9 (6,8 - 7,1)	5,2 (4,8 - 5,9)	*5,8	

* n=1 ** n=2 *** n=3

Sehr hohe Futterqualitäten lagen im Mittel der Versuchsjahre bei den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 1 und 2 des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** (Tabelle 37), mit dem Erreichen der entsprechenden Qualitätsziele vor. Dabei wurde der Orientierungsbereich für Rohprotein sogar überschritten und der für Rohfaser unterschritten. Auch die ersten beiden Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 erzielten hohe Futterqualitäten, welche allerdings geringer waren als die entsprechenden Aufwüchse der ersten beiden Nutzungsvarianten. Der 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 3 konnte die entsprechenden Qualitätsanforderungen an eine hohe Futterqualität nicht mehr erreichen. Unter den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 4 hatte nur der 1. Aufwuchs eine sehr hohe Futterqualität mit deutlichem, qualitätsverbesserndem Über- bzw. Unterschreiten der entsprechenden Anforderungen. Die Futterqualität der Folgeaufwüchse der 4. Nutzungsvariante, besonders des 2. Aufwuchses, sank deutlich und die Qualitätsanforderungen konnten hier nicht eingehalten werden.

Tabelle 37: Futterqualität im Grüngut des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten, je n=4)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	20,4 (17,1 - 23,9)	16,7 (13,7 - 18,6)	16,3 (13,9 - 18,7)	*16,4 (14,2 - 18,6)
2	21,0 (19,0 - 23,6)	18,2 (15,9 - 21,0)	15,5 (12,6 - 18,8)	*17,6 (15,9 - 19,3)
3	15,7 (11,7 - 20,0)	16,7 (14,3 - 20,1)	**13,5 (12,0 - 14,8)	
4	22,4 (21,2 - 23,9)	11,0 (9,6 - 12,3)	*14,4 (12,4 - 16,3)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	21,0 (17,8 - 25,3)	23,6 (22,4 - 24,3)	23,2 (21,8 - 24,2)	*19,4 (18,9 - 19,9)
2	20,7 (16,6 - 24,6)	23,1 (22,1 - 24,6)	22,5 (20,3 - 24,5)	*19,8 (19,7 - 19,8)
3	24,6 (18,3 - 29,4)	25,1 (22,9 - 26,9)	**22,7 (21,9 - 23,7)	
4	19,1 (16,6 - 22,4)	29,2 (27,2 - 30,2)	*24,4 (23,6 - 25,2)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	75,4 (70,3 - 78,6)	68,8 (66,3 - 72,7)	70,5 (67,2 - 75,1)	*71,0 (67,7 - 74,3)
2	75,5 (71,0 - 81,5)	70,2 (67,6 - 72,8)	69,2 (64,8 - 75,3)	*72,4 (71,9 - 72,8)
3	67,3 (59,6 - 78,0)	68,7 (67,1 - 70,1)	**63,8 (51,6 - 70,9)	
4	78,6 (73,5 - 81,1)	57,4 (53,2 - 62,1)	*57,9 (50,4 - 65,4)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,9 (6,5 - 7,2)	6,3 (6,0 - 6,7)	6,5 (6,3 - 6,8)	*6,6 (6,3 - 6,9)
2	6,9 (6,5 - 7,4)	6,5 (6,1 - 6,8)	6,4 (6,2 - 6,8)	*6,7 (6,7 - 6,7)
3	6,2 (5,5 - 7,1)	6,2 (6,0 - 6,4)	**5,9 (5,0 - 6,4)	
4	7,2 (6,7 - 7,4)	5,4 (5,0 - 5,8)	*5,4 (4,8 - 6,0)	

* n=2 ** n=3

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** (Tabelle 38) erreichten die Aufwüchse der Nutzungsvariante 1, im Mittel der Versuchsjahre, hohe Futterqualitäten, wobei die Futterqualität in den Folgeaufwüchsen teilweise noch deutlich zunahm. Ähnliches zeigte sich auch bei den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 2. Allerdings hatte der 1. Aufwuchs im Vergleich zu dem der Nutzungsvariante 1 eine geringere Futterqualität und konnte die Anforderungen an den Rohfasergehalt und die Energiedichte nicht erzielen. Auch die Folgeaufwüchse der Nutzungsvariante 2 lagen mehrheitlich unterhalb der Futterqualität entsprechender Aufwüchse der Nutzungsvariante 1, jedoch konnten die Qualitätsanforderungen eingehalten werden. Bei der Nutzungsvariante 3 hatte der 1. Aufwuchs die geringste Futterqualität, mit deutlich zu hohen Rohfasergehalten bei zu niedrigen Rohproteingehalten und einer zu geringen Verdaulichkeit sowie Energiedichte.

Tabelle 38: Futterqualität im Grüngut der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** nach Aufwuchs und Nutzungsvariante (Mittelwerte der Jahre 2011 und 2013 mit Spannweiten, je n=3)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW	5. AW
Rohprotein [% in der TM]					
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0			
1	14,1 (11,0 - 17,9)	17,8 (15,5 - 19,4)	13,5 (12,9 - 14,1)	18,9 (15,2 - 23,4)	22,5 (17,9 - 25,0)
2	12,7 (11,0 - 14,7)	17,7 (16,8 - 19,3)	15,2 (14,3 - 15,8)	17,5 (15,0 - 19,6)	
3	10,1 (8,8 - 11,3)	14,9 (13,5 - 17,3)	16,5 (15,6 - 18,2)	20,7 (19,1 - 22,9)	
4	17,1 (14,2 - 22,2)	11,6 (9,2 - 13,0)	18,0 (16,9 - 19,3)	22,4 (19,5 - 26,0)	
Rohfaser [% in der TM]					
	Ziel: 22,0 - 24,0				
1	24,5 (23,7 - 25,2)	20,4 (18,2 - 22,5)	21,9 (20,6 - 22,8)	21,5 (20,1 - 23,4)	20,0 (18,7 - 21,7)
2	27,0 (26,8 - 27,2)	21,5 (20,0 - 23,9)	23,9 (22,6 - 24,9)	23,3 (22,4 - 24,7)	
3	28,5 (28,1 - 28,8)	23,4 (22,4 - 25,5)	23,8 (21,3 - 26,5)	20,0 (17,9 - 21,5)	
4	23,0 (22,7 - 23,2)	26,3 (25,6 - 27,4)	22,9 (20,2 - 25,9)	19,6 (18,8 - 20,4)	
ELOS [% in der TM]					
	Ziel: ≥ 65,0				
1	73,4 (72,5 - 74,3)	77,1 (74,6 - 79,5)	67,4 (61,0 - 74,2)	77,3 (74,8 - 79,0)	72,0 (55,3 - 81,6)
2	66,5 (64,4 - 68,3)	74,3 (72,6 - 76,9)	72,1 (68,6 - 74,3)	67,2 (60,4 - 74,0)	
3	60,7 (58,1 - 62,5)	70,5 (67,3 - 74,4)	71,0 (66,9 - 74,5)	71,7 (66,4 - 76,9)	
4	75,9 (75,0 - 76,8)	61,6 (60,4 - 62,7)	71,6 (66,4 - 75,8)	74,3 (70,3 - 77,2)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]					
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1			
1	6,6 (6,4 - 6,7)	7,1 (6,9 - 7,1)	6,2 (5,6 - 6,8)	7,2 (7,0 - 7,3)	6,8 (5,3 - 7,7)
2	6,0 (5,8 - 6,1)	6,8 (6,6 - 7,1)	6,6 (6,2 - 7,0)	6,2 (5,6 - 6,7)	
3	5,5 (5,4 - 5,6)	6,5 (6,1 - 6,7)	6,7 (6,2 - 7,1)	6,6 (6,1 - 7,2)	
4	6,9 (6,7 - 6,9)	5,7 (5,5 - 5,8)	6,7 (6,2 - 7,1)	6,9 (6,5 - 7,2)	

Die Folgeaufwüchse erzielten dann wieder eine hohe Futterqualität und erreichten weitestgehend die Qualitätsanforderungen. Die höchste Futterqualität bei der Nutzungsvariante 4 hatte der sehr früh geerntete 1. Aufwuchs mit Erreichen aller entsprechenden Qualitätsanforderungen. Der 2. Aufwuchs, mit der längeren Wuchszeit, hatte die niedrigste Futterqualität und lag deutlich außerhalb der Qualitätsanforderungen. Die letzten beiden Aufwüchse erreichten dann wieder die Qualitätsanforderungen an eine hohe Futterqualität. Die Rohpro-

teingehalte, die Verdaulichkeit sowie die Energiedichte lagen dabei im Bereich der entsprechenden Aufwüchse der Nutzungsvariante 1 und darüber.

Es zeigte sich, dass die höchsten Futterqualitäten über alle Standorte betrachtet die Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 sowie der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 (Ausnahme Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) erreichten. Die Abnahme der Futterqualität der ersten beiden Nutzungsvarianten mit den Folgeaufwüchsen war unterschiedlich stark ausgeprägt. Während die Futterqualität bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern mit den Folgeaufwüchsen anstieg und bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen, der Glatthafer- und dem Montanen Intensivgrünland Thüringen die Anforderungen an hohe Futterqualitäten erzielten, sank bei den Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg und bei der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen die Futterqualität der Folgeaufwüchse und erreichte damit die Anforderungen an eine hohe Futterqualität nicht. Die Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 hatten wie die Folgeaufwüchse der Nutzungsvariante 4 die geringste Futterqualität, wobei sich die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) als Ausnahme herausstellte.

Qualität für die anaerobe Vergärung

Die Grüngutqualität im Mittel der Nutzungsvarianten und im Hinblick auf die Qualitätsanforderungen für die Biogasproduktion (siehe auch im Anhang Tabelle A 10) ist in Tabelle 39 dargestellt. ELOS-Werte und Rohfasergehalte werden hier nochmals prüfgliedweise zusammengefasst, aus direkten Vergleichbarkeitsgründen zu den Biogasparametern, die auch hier pro Nutzungsvariante dargestellt sind.

Die oTM-Gehalte lagen bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen sowie bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) und dem Montanen Intensivgrünland Thüringen über den mindestens geforderten 90 % in der TM, während die Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) und Bayern (Allgäu) sowie die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen und die Glatthaferwiese Thüringen teilweise leicht niedrigere oTM-Gehalte und damit ungünstigere, höhere Rohaschegehalte aufwiesen.

Die Verdaulichkeit in Form von ELOS war besonders in der Biomasse der ersten beiden Nutzungsvarianten hoch, ohne sich stärker voneinander zu unterscheiden, während die Biomasse der Nutzungsvarianten 3 und 4 eine teils deutlich geringere Verdaulichkeit hatte. Dabei lag die Verdaulichkeit bei der Nutzungsvariante 3, mit Ausnahme des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen und der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu), über der Verdaulichkeit der Nutzungsvariante 4. Zwischen den untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften zeigte sich, dass die Biomasse der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen die geringste Verdaulichkeit und die Biomasse des Montanen Intensivgrünlands Thüringen und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) die höchste Verdaulichkeit aufwiesen. Auch waren die Unterschiede in der Verdaulichkeit zwischen den Nutzungsvarianten der Weidelgras-Weißkleeweiden geringer.

Die Rohfaser- und ADF_{org} -Gehalte stiegen mit zunehmendem physiologischem Alter der Biomasse erwartungsgemäß an und waren dementsprechend in der Biomasse der ersten beiden Nutzungsvarianten geringer als in der Biomasse der Nutzungsvarianten 3 und 4. Die höchste Lignifizierung, ausgedrückt im ADL-Gehalt, hatte die Biomasse der Wiesenfuchsschwanzwiese, die niedrigste die Biomasse des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu). Mit Ausnahme der Weidel-

gras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) hatte die Biomasse der Nutzungsvariante 4 die höchsten ADL-Gehalte und die Biomasse der Nutzungsvarianten 1 und 2 die tendenziell niedrigsten.

Tabelle 39: Ertragsgewichtete Mittel der Grüngutqualitätsparameter für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, dargestellt nach Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Nutzungsvariante der Versuchsjahre 2010 bis 2013, je n=16

Nutzungs- variante	oTM [% in der TM]	ELOS [% in der TM]	Rohfaser [% in der TM]	ADF _{org} [% in der TM]	ADL [% in der TM]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen					
1	91,7 (91,1 - 92,3)	68,8 (65,3 - 73,3)	25,6 (23,5 - 27,9)	27,9 (25,6 - 29,2)	3,1 (2,6 - 3,4)
2	91,8 (91,7 - 91,9)	68,2 (64,3 - 71,8)	26,1 (23,7 - 28,2)	28,5 (25,8 - 30,7)	3,3 (2,5 - 3,9)
3	93,2 (91,9 - 94,1)	61,1 (56,2 - 63,7)	28,6 (26,6 - 30,8)	31,5 (30,0 - 33,3)	4,0 (3,5 - 4,5)
4	93,0 (92,6 - 93,6)	62,2 (58,3 - 65,5)	26,8 (25,2 - 28,2)	30,5 (28,8 - 33,3)	4,1 (3,7 - 4,5)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)*					
1	90,7 (90,2 - 91,6)	62,7 (59,6 - 66,5)	26,9 (25,7 - 29,4)	30,7 (29,9 - 31,4)	3,7 (3,5 - 3,9)
2	90,5 (89,9 - 91,2)	63,9 (59,9 - 69,7)	26,0 (24,0 - 29,5)	29,3 (28,2 - 31,2)	3,4 (3,1 - 3,6)
3	90,7 (90,1 - 91,4)	61,0 (55,7 - 64,7)	27,6 (25,1 - 30,7)	31,4 (28,1 - 33,4)	3,8 (3,2 - 4,3)
4	91,9 (91,4 - 92,2)	53,3 (50,7 - 56,1)	28,6 (26,8 - 31,3)	32,0 (29,4 - 34,3)	4,9 (4,3 - 5,5)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)					
1	89,6 (88,8 - 90,7)	65,5 (59,6 - 70,9)	26,1 (24,5 - 28,2)	30,0 (28,1 - 31,9)	3,5 (2,9 - 4,0)
2	89,6 (89,0 - 90,2)	65,4 (59,7 - 72,4)	25,3 (22,3 - 29,0)	29,0 (25,6 - 32,3)	3,6 (2,8 - 4,3)
3	89,6 (89,0 - 90,2)	62,1 (56,1 - 69,0)	26,8 (23,0 - 29,4)	30,2 (25,9 - 33,4)	3,7 (2,8 - 4,6)
4	90,8 (90,3 - 91,1)	55,3 (50,5 - 63,9)	28,4 (25,7 - 30,4)	32,7 (29,5 - 35,2)	4,7 (3,4 - 5,5)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen**					
1	89,7 (88,0 - 90,6)	57,9 (52,0 - 61,1)	25,9 (24,8 - 26,8)	30,1 (29,2 - 30,6)	4,6 (4,0 - 5,0)
2	89,7 (87,3 - 91,0)	58,8 (53,6 - 61,6)	25,2 (23,9 - 26,1)	29,3 (28,4 - 30,4)	4,7 (4,2 - 5,0)
3	90,7 (90,0 - 91,3)	54,0 (51,6 - 55,4)	28,6 (27,1 - 29,9)	34,3 (32,6 - 37,5)	4,6 (4,1 - 5,0)
4	89,2 (84,0 - 92,3)	48,1 (41,6 - 51,6)	29,2 (28,4 - 30,1)	34,6 (33,5 - 35,5)	5,4 (4,9 - 5,9)
Glatthaferwiese Thüringen					
1	88,9 (88,2 - 89,7)	70,6 (68,5 - 75,0)	23,4 (20,9 - 26,0)	26,3 (24,2 - 28,4)	3,1 (2,9 - 3,2)
2	88,6 (86,2 - 90,1)	69,0 (67,8 - 70,9)	22,7 (21,2 - 25,1)	26,3 (24,3 - 27,9)	3,6 (3,3 - 4,0)
3	88,9 (88,1 - 89,9)	66,1 (62,2 - 69,5)	24,3 (22,1 - 27,2)	28,4 (25,8 - 30,8)	4,0 (3,7 - 4,5)
4	90,3 (89,2 - 90,9)	60,7 (53,7 - 69,1)	28,0 (23,4 - 34,1)	32,3 (28,1 - 37,1)	4,7 (4,1 - 5,7)
Montanes Intensivgrünland Thüringen					
1	91,1 (90,4 - 92,0)	71,5 (70,1 - 73,6)	22,3 (20,9 - 24,1)	25,9 (24,7 - 27,1)	4,0 (3,8 - 4,3)
2	91,1 (90,3 - 91,8)	72,0 (70,4 - 74,0)	21,9 (20,3 - 23,7)	26,4 (24,3 - 28,2)	4,0 (3,5 - 4,9)
3	91,5 (89,6 - 92,8)	66,3 (62,3 - 70,5)	25,0 (21,3 - 28,0)	29,0 (25,7 - 32,5)	3,9 (3,6 - 4,6)
4	91,4 (90,9 - 91,6)	63,6 (58,1 - 67,4)	25,9 (23,9 - 26,9)	29,8 (27,6 - 32,8)	4,2 (3,4 - 5,2)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)**					
1	89,5 (86,1 - 91,3)	73,1 (69,9 - 76,2)	22,1 (21,2 - 23,2)	24,6 (23,4 - 26,2)	2,8 (2,5 - 3,2)
2	90,7 (89,9 - 91,5)	69,5 (68,0 - 72,1)	24,6 (23,8 - 25,4)	27,6 (25,5 - 29,2)	3,4 (2,8 - 3,7)
3	90,3 (89,6 - 91,2)	66,1 (64,9 - 67,6)	25,4 (24,4 - 26,6)	28,3 (26,1 - 30,4)	3,7 (3,1 - 3,9)
4	89,8 (88,7 - 90,7)	70,0 (68,4 - 71,2)	23,5 (22,7 - 24,7)	27,0 (25,3 - 28,5)	3,3 (2,9 - 3,7)

* Nutzungsvariante 4 n=15 ** n=12

Silagequalität

Während die Grüngutqualität das mögliche Potenzial der jeweiligen Dauergrünlandpflanzengesellschaft darstellt, kann die Qualität der Silage durch die Silierung beeinflusst werden.

Futterqualität

Analog der Futterqualität des Grüngutes wurden die Parameter Rohprotein, Rohfaser, ELOS und Energiedichte in Form von NEL der einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungsvarianten und Aufwüchse (im Anhang Tabelle A 11 bis Tabelle A 17) sowie im Mittel der Nutzungsvarianten für die entsprechende Dauergrünlandpflanzengesellschaft erfasst (im Anhang Tabelle A 18). Da die Ergebnisse der Silagen die Relationen des Grünguts weitestgehend bestätigen, wird auf eine umfassende (wiederholende) Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

Qualität für die anaerobe Vergärung

Neben den zur Beurteilung der Biomassequalität für die Biogasproduktion relevanten Inhaltsstoffen wie beim Grüngut (oTM, ELOS, RF, ADF und ADL (im Anhang Tabelle A19) sind bei den Silagen weitere Parameter, wie TS-Gehalt, pH-Wert, Buttersäure-Gehalt sowie die Punkte des Silier Erfolgs nach DLG (GERIGHAUSEN, 2011), zur Beurteilung der Gärqualität und damit der Siliereignung angegeben (Tabelle 40 bis Tabelle 46).

Die Silagen des **Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen** (Tabelle 40) lagen im Mittel der Versuchsjahre in den für die Vergärung angestrebten Bereichen (Kapitel 2.5.4, Tabelle 3). Lediglich die Silagen des 1. Aufwuchses der Nutzungsvariante 4 unterschritten den angestrebten TS-Gehalt bei gleichzeitig höherem pH-Wert und höherem Buttersäuregehalt, was sich auch im geringeren Silier Erfolg widerspiegelte.

Tabelle 40: Gärqualität der Silagen des **Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, je n= 3)

Nutzungs- variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Silier Erfolg (Punkte)
1	1	35,4 (25,4 - 43,0)	4,5 (4,3 - 4,7)	0,064 (0,027 - 0,098)	95 (95 - 95)
	2	33,0 (27,8 - 38,8)	4,4 (4,3 - 4,5)	0,073 (0,031 - 0,099)	95 (95 - 95)
	3	34,8 (27,7 - 39,4)	4,8 (4,4 - 5,6)	0,056 (0,031 - 0,090)	92 (90 - 95)
	4	**23,8 (20,2 - 27,3)	**4,4 (4,3 - 4,4)	**0,079 (0,062 - 0,095)	**93 (90 - 95)
2	1	35,4 (25,5 - 41,9)	4,6 (4,3 - 4,7)	0,063 (0,027 - 0,098)	95 (95 - 95)
	2	33,3 (27,6 - 40,6)	4,4 (4,2 - 4,6)	0,078 (0,028 - 0,114)	95 (95 - 95)
	3	37,7 (32,9 - 40,5)	4,6 (4,5 - 4,7)	0,045 (0,028 - 0,076)	95 (95 - 95)
3	1	38,0 (28,0 - 51,2)	4,4 (4,2 - 4,6)	0,100 (0,027 - 0,184)	97 (95 - 100)
	2	32,2 (30,8 - 34,7)	4,5 (4,2 - 4,7)	0,084 (0,033 - 0,179)	95 (95 - 95)
	3	**31,3 (29,1 - 33,4)	*4,3 (4,1 - 4,5)	**0,107 (0,043 - 0,171)	**95 (95 - 95)
4	1	27,9 (23,0 - 33,8)	5,2 (4,5 - 6,1)	0,347 (0,093 - 0,717)	79 (58 - 90)
	2	42,0 (37,7 - 49,4)	4,5 (4,2 - 4,9)	0,050 (0,034 - 0,064)	97 (95 - 100)
	3	33,0 (25,5 - 41,1)	4,4 (4,3 - 4,7)	0,055 (0,028 - 0,098)	95 (95 - 95)

Silier Erfolgswertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=2

Die Gärqualität der Silagen bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** (Tabelle 41) lag im Mittel der Versuchsjahre zwischen sehr gut bis verbesserungsbedürftig. Während die Silagen der Nutzungsvarianten 1 und 2 gute bis sehr gute Silierfolge aufwiesen, lag besonders bei der Nutzungsvariante 3 der Silierfolg zwischen gut und verbesserungsbedürftig. Besonders auffallend waren hier die negativ zu bewertenden hohen Buttersäuregehalte trotz guter TS-Gehalte und pH-Werte. Bei der Nutzungsvariante 4 fiel die Silage des 2. Aufwuchses besonders heraus, denn auch hier wurden, trotz den Anforderungen entsprechender TS-Gehalte und pH-Werte, höhere Buttersäuregehalte gemessen als für z.B. eine Futtersilage vertretbar wäre. In Einzeljahren konnten allerdings bei den entsprechenden Aufwüchsen auch Silagen mit einer besseren Gärqualität hergestellt werden, wie aus den Spannweiten ersichtlich ist.

Tabelle 41: Gärqualität der Silagen der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs- variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	31,8 (28,0 - 38,6)	4,7 (4,4 - 5,1)	0,084 (0,045 - 0,142)	90 (85 - 95)
	2	39,0 (33,7 - 41,9)	5,1 (4,4 - 5,8)	0,057 (0,031 - 0,074)	92 (90 - 95)
	3	35,3 (33,6 - 37,0)	4,5 (4,3 - 4,7)	0,206 (0,040 - 0,512)	89 (77 - 95)
	4	*** 35,2 (34,8 - 35,5)	*** 4,8 (4,6 - 4,9)	*** 0,111 (0,068 - 0,155)	*** 93 (90 - 95)
2	1	34,0 (29,9 - 38,9)	4,5 (4,3 - 4,8)	0,067 (0,047 - 0,080)	92 (85 - 95)
	2	38,6 (31,4 - 42,4)	4,9 (4,5 - 5,4)	0,109 (0,080 - 0,150)	92 (90 - 95)
	3	37,8 (36,2 - 40,0)	4,9 (4,6 - 5,4)	0,250 (0,038 - 0,670)	87 (72 - 95)
	4	*** 34,2 (32,9 - 35,5)	*** 4,8 (4,6 - 4,9)	*** 0,108 (0,073 - 0,143)	*** 93 (90 - 95)
3	1	31,3 (29,0 - 32,5)	4,5 (4,2 - 4,8)	0,359 (0,065 - 0,926)	86 (68 - 95)
	2	31,5 (26,3 - 34,3)	4,4 (4,3 - 4,4)	1,151 (0,074 - 3,078)	66 (18 - 95)
	3	34,2 (32,8 - 35,6)	5,0 (4,6 - 5,3)	0,147 (0,061 - 0,317)	89 (86 - 90)
	4	** 32,4	** 4,6	** 0,432	** 77
4	1	33,0 (28,6 - 38,7)	4,4 (4,2 - 4,7)	0,093 (0,039 - 0,152)	93 (90 - 95)
	2	39,6 (37,6 - 41,1)	4,7 (4,5 - 4,9)	0,925 (0,100 - 1,883)	66 (36 - 95)
	3	*** 37,6 (37,3 - 37,8)	*** 4,7 (4,5 - 4,8)	*** 0,050 (0,035 - 0,066)	*** 95 (95 - 95)

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=1 *** n=2

Die Silagen der Nutzungsvarianten 1 und 2 der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** (Tabelle 42) hatten im Mittel der Versuchsjahre gute bis sehr gute Qualitäten. Dagegen war die Gärqualität der Silagen der Folgeaufwüchse bei den Nutzungsvarianten 3 und 4 verbesserungsbedürftig bis schlecht. Das spiegelt sich auch in sehr hohen Buttersäuregehalten bei vergleichsweise hohen pH-Werten wider, wobei auch ein hoher TS-Gehalt vorlag. In einzelnen Jahren konnten allerdings, besonders bei den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 3, auch sehr gute Gärqualitäten erreicht werden.

Tabelle 42: Gärqualität der Silagen der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs-variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	30,4 (27,9 - 32,2)	4,3 (4,3 - 4,4)	0,068 (0,045 - 0,008)	93 (90 - 95)
	2	38,9 (32,8 - 48,9)	4,5 (4,2 - 5,0)	0,067 (0,036 - 0,095)	97 (95 - 100)
	3	35,3 (33,6 - 38,1)	4,6 (4,3 - 4,8)	0,321 (0,044 - 0,854)	86 (68 - 95)
	4	*35,9	*4,5	*0,035	*95
2	1	29,6 (27,3 - 31,6)	4,3 (4,2 - 4,4)	0,074 (0,042 - 0,092)	95 (95 - 95)
	2	36,6 (31,3 - 45,0)	4,5 (4,3 - 4,8)	0,075 (0,053 - 0,092)	95 (95 - 95)
	3	38,6 (37,1 - 40,2)	4,7 (4,6 - 4,8)	0,166 (0,033 - 0,404)	89 (77 - 95)
	4	**31,0	**4,5	**0,040	**95
3	1	32,8 (26,9 - 39,2)	4,5 (4,2 - 4,8)	0,063 (0,046 - 0,078)	93 (90 - 95)
	2	31,2 (30,8 - 31,4)	4,9 (4,4 - 5,3)	1,273 (0,080 - 2,064)	53 (27 - 95)
	3	35,6 (31,0 - 39,9)	4,9 (4,6 - 5,4)	1,201 (0,048 - 3,449)	69 (18 - 95)
4	1	39,8 (32,3 - 47,3)	4,5 (4,4 - 4,6)	0,073 (0,039 - 0,091)	97 (95 - 100)
	2	34,6 (30,3 - 41,0)	4,8 (4,7 - 5,0)	1,979 (0,347 - 3,568)	45 (18 - 86)
	3	**32,8	**4,6	**1,838	**41

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=1

Bei der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** (Tabelle 43) zeigten die Silagen im Mittel der Versuchsjahre mehrheitlich einen sehr guten Siliererfolg. Nur die Silagen der 3. Aufwüchse der Nutzungsvariante 1 und 3 erreichten gute und damit etwas schlechtere Siliererfolge. Dabei lag im Mittel der Versuchsjahre bei dem 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 3 der Butter-säuregehalt deutlich über dem angestrebten Bereich von < 0,3 % in der TM.

Tabelle 43: Gärqualität der Silagen der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs-variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	37,9 (25,7 - 49,2)	4,6 (4,4 - 4,8)	0,067 (0,032 - 0,097)	95 (90 - 100)
	2	32,5 (27,7 - 39,9)	4,4 (4,3 - 4,4)	0,076 (0,031 - 0,112)	93 (90 - 95)
	3	30,3 (26,7 - 37,4)	4,5 (4,4 - 4,6)	0,151 (0,037 - 0,349)	89 (81 - 95)
	4	***34,6 (32,5 - 36,6)	***4,6 (4,5 - 4,6)	***0,056 (0,035 - 0,077)	***95 (95 - 95)
2	1	34,3 (25,2 - 45,0)	4,4 (4,3 - 4,5)	0,076 (0,038 - 0,099)	95 (95 - 95)
	2	28,8 (26,9 - 31,4)	4,4 (4,4 - 4,4)	0,083 (0,044 - 0,126)	92 (90 - 95)
	3	39,2 (28,6 - 53,6)	4,5 (4,4 - 4,6)	0,038 (0,032 - 0,047)	95 (90 - 100)
	4	**36,0	**4,6	**0,272	**95
3	1	39,3 (26,4 - 54,1)	4,3 (4,2 - 4,4)	0,054 (0,046 - 0,067)	97 (95 - 100)
	2	34,2 (31,7 - 36,9)	4,4 (4,3 - 4,6)	0,063 (0,035 - 0,079)	95 (95 - 95)
	3	40,5 (31,9 - 45,6)	5,0 (4,5 - 5,4)	0,617 (0,036 - 1,048)	71 (54 - 95)
4	1	43,0 (30,0 - 58,4)	4,4 (4,2 - 4,7)	0,061 (0,043 - 0,083)	97 (95 - 100)
	2	37,0 (31,8 - 40,9)	4,5 (4,4 - 4,7)	0,045 (0,035 - 0,061)	95 (95 - 95)
	3	**40,4	**5,0	**0,062	**90

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

Bei der **Glatthaferwiese Thüringen** (Tabelle 44) hatten die Silagen im Mittel der Versuchsjahre gute bis sehr gute Gärqualitäten. Die niedrigsten Gärqualitäten hatten dabei die 3. Aufwüchse der Nutzungsvariante 2 sowie der 2. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4. Hier lagen auch die Buttersäuregehalte entsprechend höher. Auffallend sind die relativ hohen pH-Werte in den Silagen der Folgeaufwüchse aller Nutzungsvarianten.

Tabelle 44: Gärqualität der Silagen der **Glatthaferwiese Thüringen** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs- variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	29,2 (26,8 - 33,0)	4,5 (4,3 - 4,7)	0,089 (0,047 - 0,143)	90 (85 - 95)
	2	34,9 (28,8 - 38,0)	5,0 (4,7 - 5,4)	0,127 (0,037 - 0,278)	90 (85 - 95)
	3	***32,9 (30,7 - 35,0)	***5,2 (5,1 - 5,2)	***0,108 (0,103 - 0,114)	***90 (90 - 90)
2	1	29,1 (25,5 - 35,3)	4,4 (4,3 - 4,5)	0,071 (0,049 - 0,094)	93 (90 - 95)
	2	35,3 (28,9 - 38,6)	5,1 (4,9 - 5,4)	0,105 (0,036 - 0,215)	88 (85 - 90)
	3	***45,2 (39,2 - 51,1)	***6,0 (5,9 - 6,0)	***0,229 (0,051 - 0,407)	***81 (72 - 90)
3	1	33,1 (30,2 - 37,3)	4,4 (4,2 - 4,7)	0,129 (0,039 - 0,262)	95 (95 - 95)
	2	38,5 (37,9 - 39,4)	5,1 (4,7 - 5,5)	0,058 (0,036 - 0,074)	92 (90 - 95)
	3	**49,3	**6,3	**0,051	**90
4	1	34,6 (24,7 - 52,5)	4,9 (4,3 - 6,0)	0,165 (0,134 - 0,224)	92 (90 - 95)
	2	37,1 (34,5 - 41,8)	5,0 (4,9 - 5,1)	0,329 (0,044 - 0,809)	81 (63 - 90)

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=1 *** n=2

Die Silagen des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** (Tabelle 45) hatten im Mittel der Versuchsjahre gute bis sehr gute Gärqualitäten. Höhere Buttersäuregehalte konnten bei den Silagen des 3. Aufwuchses der Nutzungsvariante 3 sowie des 2. Aufwuchses der Nutzungsvariante 4 gemessen werden, wobei der Zielbereich für den Buttersäuregehalt (< 0,3 % in der TM) nur bei dem 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 3 überschritten wurde. Auffallend sind die relativ niedrigen TS-Gehalte in den Silagen der 1. Aufwüchse bei allen Nutzungsvarianten sowie den 2. Aufwüchsen der Nutzungsvarianten 1 und 2.

Tabelle 45: Gärqualität der Silagen des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs- variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	24,9 (23,7 - 26,7)	4,7 (4,4 - 5,2)	0,126 (0,052 - 0,232)	88 (85 - 90)
	2	27,4 (24,7 - 29,1)	4,6 (4,2 - 4,9)	0,077 (0,044 - 0,101)	90 (85 - 95)
	3	36,2 (30,7 - 41,1)	4,9 (4,8 - 4,9)	0,066 (0,030 - 0,099)	92 (90 - 95)
	4	**31,5	**4,8	**0,168	**95
2	1	23,1 (20,3 - 24,7)	4,3 (4,0 - 4,6)	0,118 (0,062 - 0,190)	95 (90 - 100)
	2	27,8 (26,3 - 30,8)	4,5 (4,3 - 4,7)	0,081 (0,048 - 0,101)	93 (90 - 95)
	3	36,4 (29,1 - 41,5)	4,9 (4,7 - 5,2)	0,045 (0,028 - 0,065)	90 (85 - 95)
	4	**27,5	**4,8	**0,091	**85
3	1	29,0 (20,5 - 35,5)	4,4 (4,1 - 4,7)	0,095 (0,061 - 0,144)	95 (95 - 95)
	2	36,4 (32,7 - 40,7)	4,7 (4,5 - 4,8)	0,059 (0,036 - 0,076)	95 (95 - 95)
	3	***32,8 (31,0 - 34,6)	***4,9 (4,7 - 5,1)	***0,469 (0,124 - 0,815)	***79 (63 - 95)
4	1	26,7 (23,5 - 29,6)	4,5 (4,3 - 4,7)	0,088 (0,053 - 0,118)	90 (85 - 95)
	2	39,2 (31,5 - 48,1)	4,8 (4,5 - 5,2)	0,244 (0,040 - 0,443)	89 (77 - 95)
	3	**30,2	**4,7	**0,093	**95

Siliererfolgswertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht

Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=1 *** n=2

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** (Tabelle 46) war im Mittel der Versuchsjahre die Gärqualität der Silagen gut bis sehr gut. Die niedrigste Gärqualität hatten die Silagen der 4. Aufwüchse der Nutzungsvariante 1, der 3. Aufwüchse der Nutzungsvariante 2 sowie der 2. Aufwüchse der Nutzungsvariante 4 mit gleichzeitigem Überschreiten des optimalen Zielbereichs für Buttersäure (< 0,3 % in der TM).

Tabelle 46: Gärqualität der Silagen der **Weidelgras-Weißkleeweiße Bayern (Allgäu)** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs-variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	32,2 (26,3 - 39,7)	4,2 (3,8 - 4,4)	0,069 (0,041 - 0,103)	97 (95 - 100)
	2	32,0 (25,7 - 41,5)	4,4 (4,3 - 4,6)	0,070 (0,028 - 0,097)	95 (95 - 95)
	3	35,2 (30,2 - 41,2)	4,6 (4,4 - 4,8)	0,222 (0,061 - 0,368)	92 (86 - 95)
	4	31,3 (28,1 - 35,6)	4,8 (4,6 - 5,1)	0,493 (0,062 - 1,325)	73 (45 - 95)
	5	32,1 (29,0 - 35,4)	4,6 (4,5 - 4,7)	0,063 (0,032 - 0,079)	92 (85 - 95)
2	1	30,7 (27,9 - 33,4)	4,2 (4,1 - 4,3)	0,114 (0,041 - 0,213)	95 (95 - 95)
	2	31,3 (24,7 - 35,3)	4,3 (4,2 - 4,4)	0,070 (0,037 - 0,101)	95 (95 - 95)
	3	33,2 (32,4 - 34,2)	4,6 (4,6 - 4,7)	0,657 (0,050 - 1,846)	77 (41 - 95)
	4	34,2 (28,8 - 37,3)	4,7 (4,6 - 4,8)	0,056 (0,031 - 0,104)	92 (85 - 95)
3	1	33,1 (29,1 - 36,5)	4,2 (4,2 - 4,3)	0,065 (0,036 - 0,086)	95 (95 - 95)
	2	35,9 (31,1 - 38,6)	4,5 (4,4 - 4,6)	0,057 (0,040 - 0,066)	95 (95 - 95)
	3	33,2 (26,7 - 37,7)	4,5 (4,4 - 4,5)	0,061 (0,052 - 0,071)	93 (90 - 95)
	4	30,9 (27,5 - 35,2)	4,6 (4,4 - 4,8)	0,054 (0,033 - 0,083)	93 (90 - 95)
4	1	27,8 (23,9 - 31,6)	4,5 (4,4 - 4,6)	0,080 (0,039 - 0,105)	85 (70 - 95)
	2	34,1 (31,7 - 35,5)	4,7 (4,6 - 4,8)	0,496 (0,079 - 1,328)	80 (50 - 95)
	3	35,9 (33,3 - 40,0)	4,6 (4,4 - 4,8)	0,046 (0,031 - 0,072)	95 (95 - 95)
	4	37,1 (35,6 - 38,8)	4,5 (4,3 - 4,6)	0,044 (0,031 - 0,064)	95 (95 - 95)

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass besonders die Silagen der Aufwüchse der ersten beiden Nutzungsvarianten tendenziell gute bis sehr gute Gärqualitäten aufwiesen, wohingegen die Silagen der Aufwüchse der Nutzungsvarianten 3 und 4 in der Gärqualität etwas schlechter waren.

4.3. Methanausbeuten und Methanhektarerträge

Die von den entsprechenden Silagen in Batchtests gemessenen Methanausbeuten sind nachfolgend für die einzelnen Aufwüchse der Nutzungsvarianten (Tabelle 47) und als gewichtetes Mittel für die jeweiligen Nutzungsvarianten (Abbildung 7) dargestellt.

Methanausbeuten

Die höchste Methanausbeute hatte bei dem **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** der sehr früh geerntete 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4, gefolgt von den ersten Aufwüchsen der Nutzungsvarianten 1 und 2. Die niedrigste Methanausbeute konnte bei dem 2. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 gemessen werden, dem Aufwuchs mit der längsten Wuchszeit. Zwischen den entsprechenden Aufwüchsen der Nutzungsvarianten 1 und 2 gab es keine deutlichen Unterschiede. Die Nutzungsvariante 3 hatte besonders beim 1. und 3. Aufwuchs niedrigere Methanausbeuten als die anderen drei Nutzungsvarianten. Der 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 erreichte im Mittel der Versuchsjahre vergleichbare Methanausbeuten wie der 3. Aufwuchs bei den Nutzungsvarianten 1 und 2. Folglich hatten im Mittel der Versuchsjahre und Aufwüchse die Nutzungsvariante 1 und 2 (im Anhang Tabelle A 20) mit $343,4 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bzw. $344,7 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ die höchsten Methanausbeuten vor den Nutzungsvarianten 3 und 4 mit $331,3 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bzw. $339,8 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, wobei die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten mit maximal $13,4 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ gering ausfielen.

Bei der **Weidelgras-Weißkleeweide in Brandenburg (Niedermoor)** lagen die Methanausbeuten zwischen $286,5 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $360,7 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, wobei der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 die höchste und der 2. Aufwuchs gleicher Nutzungsvariante die niedrigste Methanausbeute aufwies. Bei dieser Dauergrünlandpflanzengesellschaft gab es zwischen den ersten beiden Nutzungsvarianten deutlichere Unterschiede bei den ersten drei Aufwüchsen, wobei in den Aufwüchsen der Nutzungsvariante 1 höhere Methanausbeuten ermittelt werden konnten. Gegenüber der Nutzungsvariante 2 lag die Methanausbeute bei Nutzungsvariante 3 im 1. Aufwuchs leicht höher, im 2. und 3. Aufwuchs vergleichbar und im 4. Aufwuchs wieder leicht höher, wobei der 4. Aufwuchs bei der Nutzungsvariante 3 nur einmal im Versuchszeitraum geerntet werden konnte. Der letzte Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 erreichte eine mit den 3. Aufwüchsen der Nutzungsvariante 2 und 3 vergleichbare Methanausbeute. Im Mittel der Nutzungsvarianten reichten die Methanausbeuten (im Anhang Tabelle A 20) von $298,2 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ (Nutzungsvariante 4) bis $328,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ (Nutzungsvariante 1), wobei die Nutzungsvariante 2 und 3 mit $313,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $317,9 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ dazwischen lagen. Mit über $15 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $30 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ war der Unterschied der Nutzungsvariante 4 gegenüber den anderen Nutzungsvarianten deutlicher ausgeprägter als jeweils zwischen den Nutzungsvarianten 1, 2 und 3.

Tabelle 47: Methanausbeuten [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$] der Silagen entsprechender Aufwüchse, Nutzungsvarianten und Dauergrünlandpflanzengesellschaften (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je $n=3$

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	2. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	3. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	4. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	358,9 (340,7 - 371,5)	334,3 (308,9 - 350,8)	336,1 (319,1 - 350,0)	322,2 (283,8 - 360,7)
2	357,2 (350,6 - 360,6)	335,9 (314,8 - 347,8)	337,9 (319,9 - 348,5)	
3	329,3 (325,6 - 331,6)	337,7 (320,6 - 353,2)	318,4 (310,1 - 326,8)	
4	403,1 (359,3 - 429,2)	316,6 (290,5 - 331,6)	331,7 (309,6 - 349,6)	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	358,5 (352,3 - 366,1)	340,1 (334,6 - 349,9)	321,2 (317,5 - 325,7)	299,5 (299,0 - 300,0)
2	342,8 (323,9 - 355,1)	329,4 (324,0 - 333,4)	309,9 (301,2 - 326,8)	300,8 (295,6 - 305,9)
3	351,2 (334,1 - 365,4)	323,2 (305,2 - 336,3)	309,0 (295,9 - 315,6)	*306,8
4	360,7 (352,1 - 373,3)	286,5 (283,0 - 291,7)	309,4 (298,9 - 317,2)	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	353,0 (343,7 - 359,8)	325,8 (313,7 - 339,2)	317,0 (314,5 - 320,8)	*302,3
2	348,3 (325,1 - 364,7)	318,4 (309,0 - 326,3)	308,7 (304,9 - 313,5)	*299,9
3	347,4 (337,8 - 355,8)	317,6 (306,9 - 339,0)	289,8 (279,7 - 303,4)	
4	362,9 (351,8 - 368,9)	289,8 (279,3 - 296,6)	*307,0	
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	338,8 (308,6 - 367,2)	302,0 (293,5 - 314,7)	282,0 (272,5 - 291,4)	299,1 (279,1 - 319,1)
2	332,4 (302,2 - 358,1)	303,2 (289,0 - 312,3)	284,2 (282,3 - 285,8)	*278,6
3	313,1 (303,3 - 323,6)	290,0 (269,8 - 322,0)	268,4 (255,1 - 275,1)	
4	285,3 (279,3 - 292,1)	289,6 (286,1 - 293,2)	*293,0	
Glatthaferwiese Thüringen				
1	346,2 (335,4 - 362,1)	315,8 (297,8 - 332,4)	322,5 (306,3 - 338,6)	
2	341,2 (327,5 - 354,9)	309,6 (292,9 - 328,2)	282,1 (277,6 - 286,7)	
3	337,2 (326,0 - 346,0)	298,2 (288,3 - 316,4)	*286,7	
4	353,8 (346,6 - 363,1)	301,7 (272,1 - 319,2)		
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	341,7 (333,9 - 349,8)	321,1 (295,0 - 344,6)	311,6 (298,9 - 329,3)	*304,6
2	344,4 (331,4 - 352,9)	313,7 (297,9 - 342,1)	300,6 (285,4 - 323,3)	*317,2
3	340,0 (336,8 - 341,9)	307,8 (294,3 - 325,2)	308,1 (300,2 - 316,0)	
4	353,2 (345,4 - 358,2)	301,1 (274,6 - 335,5)	*327,1	
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)**				
1	376,0 (367,2 - 390,7)	367,4 (359,7 - 378,2)	349,5 (317,4 - 373,4)	348,1 (332,9 - 360,3)
2	359,2 (356,7 - 360,7)	350,9 (334,2 - 365,3)	339,9 (329,2 - 346,6)	320,2 (303,0 - 347,2)
3	352,5 (347,0 - 360,9)	337,3 (309,9 - 353,6)	330,2 (305,7 - 346,0)	327,8 (309,5 - 342,1)
4	369,5 (339,6 - 402,0)	321,8 (297,2 - 335,0)	322,0 (307,0 - 343,0)	343,9 (342,1 - 345,5)

* $n = 1$

** 5. Aufwuchs **327,5** $\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ (294,0-361,4 $\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$)

Die Methanausbeuten bei der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** erreichten Werte zwischen $289,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $362,9 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, wobei auch bei dieser Dauergrünlandpflanzengesellschaft der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 die höchste sowie der 2. Aufwuchs derselben Nutzungsvariante die niedrigste Methanausbeute hatte. Die Methanausbeuten der ersten drei Aufwüchse der Nutzungsvariante 1 fielen gegenüber der Nutzungsvariante 2 höher aus, während die ersten zwei Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 gegenüber der Nutzungsvariante 2 vergleichbare Methanausbeuten erzielten. Deutliche Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten bestanden besonders bei den 3. Aufwüchsen, wo

die Nutzungsvariante 2 und 4 vergleichbare Methanausbeuten hatten, die gegenüber der Nutzungsvariante 1 niedriger und gegenüber der Nutzungsvariante 3 höher waren. Im Mittel hatte die Nutzungsvariante 1 mit $319,0 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ vor der Nutzungsvariante 2 mit $314,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, der Nutzungsvariante 3 mit $311,9 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und der Nutzungsvariante 4 mit $303,2 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ die höchste Methanausbeute (im Anhang Tabelle A 20). Die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten waren mit $7,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $15,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ gering und nur die Nutzungsvariante 4 setzte sich mit der tendenziell niedrigsten Methanausbeute deutlicher von den anderen Nutzungsvarianten ab.

Die höchsten Methanausbeuten hatte bei der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen**, im Gegensatz zu den anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften, der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 1, während die niedrigste Methanausbeute bei dem 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 3 gemessen wurde. Die ersten beiden Nutzungsvarianten unterschieden sich in den ersten drei Aufwüchsen nicht, nur beim 4. Aufwuchs lag die Methanausbeute bei der Nutzungsvariante 1 höher. Die Methanausbeuten der Aufwüchse der Nutzungsvariante 3 lagen teils deutlich niedriger als die entsprechenden Ausbeuten der Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2. Der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 hatte, entsprechend seiner längeren Wuchszeit an diesem Standort, die niedrigste Methanausbeute unter den 1. Aufwüchsen, während der 2. Aufwuchs vergleichbare Methanausbeuten wie bei Nutzungsvariante 3 erreichte und der 3. Aufwuchs die Methanausbeuten der anderen Nutzungsvarianten überstieg. Im Mittel hatten die Nutzungsvarianten 1 und 2 mit rund $306 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ die höchsten Methanausbeuten (im Anhang Tabelle A 20). Die Nutzungsvarianten 3 und 4 mit $298,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bzw. $287,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ die niedrigsten. Während die Unterschiede zwischen den ersten drei Nutzungsvarianten nicht vorhanden bzw. gering waren, fiel der Unterschied zu der Nutzungsvariante 4, besonders von den ersten beiden Nutzungsvarianten, deutlicher aus.

Die Aufwüchse der **Glatthaferwiese Thüringen** erreichten Methanausbeuten zwischen $282,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $353,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$. Die höchste Methanausbeute hatte der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4, die niedrigste der 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 2. Größere Unterschiede bestanden zwischen den 1. Aufwüchsen der Nutzungsvariante 3 und 4, aber auch bei den 2. und 3. Aufwüchsen, wobei Nutzungsvariante 1 die höheren Methanausbeuten erreichte. Im Mittel fielen die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten 2, 3 und 4 gering aus bzw. waren nicht vorhanden (im Anhang Tabelle A 20). Nur Nutzungsvariante 1 hatte mit $329,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ eine um $11,5 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $15,3 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ höhere Methanausbeute.

Bei dem **Montanen Intensivgrünland Thüringen** lagen die Methanausbeuten zwischen $300,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $353,2 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$. Die höchste Methanausbeute hatte der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4, die niedrigsten der 3. Aufwuchs der Nutzungsvariante 2 sowie der 2. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4. Die Unterschiede im 1. Aufwuchs waren zwischen den ersten drei Nutzungsvarianten nicht deutlich ausgeprägt, während sich die Nutzungsvariante 4 mit einer tendenziell höheren Methanausbeute abhob. Bei den 2. Aufwüchsen fielen die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten höher aus, wobei die Nutzungsvariante 1 die höchste Methanausbeute aufwies, gefolgt von Nutzungsvariante 2 und 3. Bei den 3. Aufwüchsen erzielte die Nutzungsvariante 4 die höchste Methanausbeute, die besonders die Nutzungsvariante 2, aber auch die Nutzungsvariante 3 deutlich überstieg. Ein 4. Aufwuchs war nur bei den ersten beiden Nutzungsvarianten geerntet worden und hier hatte die Nutzungsvariante 2 die höhere Methanausbeute. Im Mittel erreichte die Nutzungsvari-

ante 3, vor den Nutzungsvarianten 1 und 2 die höheren Methanausbeuten, jedoch fiel der Unterschied mit $0,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $1,7 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ sehr gering aus bzw. war nicht vorhanden (im Anhang Tabelle A 20). Auch der Unterschied der Nutzungsvariante 4 war mit $4,4 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $6,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ sehr niedrig.

Die Methanausbeuten der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** reichten von $320,2 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $376,0 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, wobei der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 1 die höchste und der 4. Aufwuchs der Nutzungsvariante 2 bzw. der 2. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 die niedrigsten Methanausbeuten erzielten. Die höchsten Methanausbeuten hatte bei allen Aufwüchsen die Nutzungsvariante 1, während die Nutzungsvariante 4 im 1. bzw. 4. Aufwuchs und die Nutzungsvariante 2 im 2. bzw. 3. Aufwuchs die zweithöchsten Methanausbeuten erreichten. Die Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten 2 und 3 waren im 1. und 4. Aufwuchs gering, wobei im 1. Aufwuchs Nutzungsvariante 2 und im 4. Aufwuchs Nutzungsvariante 3 die leicht höheren Methanausbeuten erzielte. Bei dem 2. und 3. Aufwuchs lagen die Methanausbeuten bei der Nutzungsvariante 3 gegenüber der Nutzungsvariante 4 höher. Im Mittel konnte die Nutzungsvariante 1 die höchste Methanausbeute vor den Nutzungsvarianten 2, 3 und 4 erreichen (im Anhang Tabelle A 20). Der Unterschied zwischen den Nutzungsvarianten 3 und 4 war mit $1,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ praktisch nicht vorhanden. Zwischen den Nutzungsvarianten 1 und 2 betrug der Unterschied $11,7 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, zwischen der Nutzungsvariante 3 und den Nutzungsvarianten 1 bzw. 2 waren es $4,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bzw. $16,5 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$. Damit fielen zumindest zwischen den ersten beiden Nutzungsvarianten und den Nutzungsvarianten 1 und 3 die Unterschiede deutlicher aus, waren aber immer noch gering.

Im Mittel der Versuchsjahre 2011 bis 2013 lagen die Methanausbeuten in Abhängigkeit von der Dauergrünlandpflanzengesellschaft, der Nutzungsvariante und dem Aufwuchs zwischen $268,4 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $403,1 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, wobei die Methanausbeuten bei den Folgeaufwüchsen zum Vegetationsende hin tendenziell abnahmen (Tabelle 47).

Die Methanausbeuten als ertragsgewichtetes Mittel der Nutzungsvarianten (Abbildung 7 und im Anhang Tabelle A 20) reichten von $287,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $356,9 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$. Hier erzielten die Nutzungsvariante 1, mit $305,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $356,9 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, und Nutzungsvariante 2, mit $305,8 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $346,5 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, die höchsten Methanausbeuten. Die Nutzungsvariante 3, mit $298,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $341,7 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, und die Nutzungsvariante 4, mit $287,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $340,6 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$, erreichten die niedrigsten Methanausbeuten. Die Unterschiede zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften betragen bei den entsprechenden Nutzungsvarianten maximal $53 \text{ I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$.

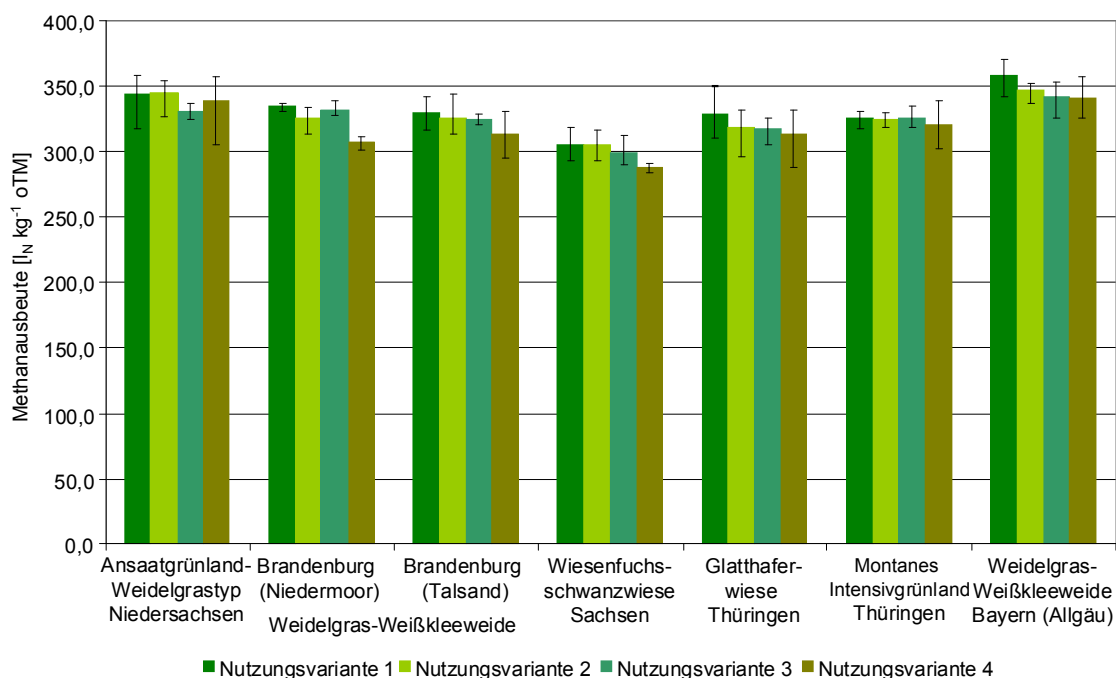


Abbildung 7: Mittlere Methanausbeuten mit Spannweiten der Dauergrünlandpflanzengesellschaften als gewichtetes Mittel der Nutzungsvariante [$\text{N kg}^{-1} \text{oTM}$]

Methanhektarerträge

Die Methanhektarerträge (Tabelle 49) wurden aus den ermittelten Methanausbeuten und den über die Aufwüchse gewichteten Netto-TM-Erträgen berechnet. Entsprechend zeigten sich auch hier große Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsjahren. Bei allen Dauergrünlandpflanzengesellschaften erwiesen sich die Einflüsse von Nutzungsvariante, Versuchsjahr und deren Wechselwirkung als signifikant bis hoch signifikant (Tabelle 48).

Tabelle 48: Signifikanzen der Effekte Nutzungsvariante und Versuchsjahr sowie deren Interaktion als Einfluss auf den Methanhektarertrag (Ergebnisse des F-Tests)

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Effekte		
	Nutzungsvariante (N)	Versuchsjahr (J)	Wechselwirkung N*J
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen	***	***	**
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	**	**	*
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	*	**	***
Wiesenfuchschwanzwiese Sachsen	***	***	***
Glatthaferwiese Thüringen	***	***	***
Montanes Intensivgrünland Thüringen	***	***	***
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	***	***	***

* $0,01 \leq \alpha \leq 0,05$ „signifikant“
 ** $0,001 < \alpha < 0,01$ „deutlich signifikant“
 *** $\alpha \leq 0,001$ „hoch signifikant“
 + $0,05 < \alpha < 0,10$ „nicht signifikant“

Aufgrund des hohen Jahreseinflusses werden auch hier in den folgenden Tabellen die Signifikanzen im Mittel der Jahre in Klammern dargestellt (siehe auch Kapitel 4.1, Tabelle 31).

Im Mittel der Versuchsjahre lagen die Methanhektarerträge (Tabelle 49) zwischen $1\,317\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $3\,633\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$, wobei die höchsten Methanhektarerträge bei den weidelgrasbetonten Dauergrünlandpflanzengesellschaften ($2\,421\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ bis $3\,633\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$) und die niedrigsten bei den drei anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften ($1\,317\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ bis $1\,941\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$) ermittelt werden konnten. Im Versuchsjahr 2011 lagen die Methanhektarerträge über alle Standorte betrachtet zwischen $1\,516\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $4\,368\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$, im Versuchsjahr 2012 zwischen $1\,289\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $3\,568\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ sowie im Versuchsjahr 2013 zwischen $997\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $3\,157\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$.

Bei dem **Ansaatgrünland-Weidelgras**typ Niedersachsen lagen im Mittel der Versuchsjahre die Methanhektarerträge zwischen $2\,421\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $2\,882\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$, wobei die Nutzungsvariante 1 den höchsten Methanhektarertrag erreichte, gefolgt von den Nutzungsvarianten 2, 3 und 4. Nutzungsvariante 1 erwies sich zudem in den Versuchsjahren 2011 und 2012 als ertragsstärkste Nutzungsvariante, ohne sich jedoch 2011 von Nutzungsvariante 3 und 2012 von Nutzungsvariante 2 und 3 signifikant zu unterscheiden. Nutzungsvariante 4 hatte in den gleichen Versuchsjahren die niedrigsten Methanhektarerträge, unterschied sich gleichzeitig aber nur statistisch gesichert von Nutzungsvariante 1. Im Versuchsjahr 2013 erreichte die Nutzungsvariante 2 den höchsten Methanhektarertrag, unterschied sich jedoch nicht signifikant von den Nutzungsvarianten 1 und 4 mit dem zweithöchsten bzw. zweitniedrigsten Methanhektarertrag. Im gleichen Versuchsjahr hatte Nutzungsvariante 3 den niedrigsten Methanhektarertrag, wobei ein signifikanter Unterschied nur zu den ersten beiden Nutzungsvarianten bestand. Die Nutzungsvarianten 2 und 3 lagen in den Versuchsjahren 2011 und 2012 an zweiter und dritter Stelle, ohne sich signifikant voneinander zu unterscheiden.

Tabelle 49: LSMEANS der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$] mit Standardfehler (SE) in Klammern der unterschiedlichen Nutzungsvarianten pro Dauergrünlandpflanzengesellschaft in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre (Fett markiert sind jeweils die höchsten Methanhektarerträge eines Versuchsjahres/im Mittel der Versuchsjahre je Pflanzengesellschaft)

Nutzungs- variante	2011	2012	2013	MW 2011-2013
	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$] (SE)	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$] (SE)	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$] (SE)	Methanhektarer- trag [$\text{m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$] (SE)
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	3 416^a (± 61)	2 548^a (± 62)	2 682 ^a (± 75)	2 882^(a) (± 38)
2	2 860 ^b (± 61)	2 286 ^{ab} (± 62)	2 714^a (± 75)	2 612 ^(b) (± 38)
3	3 021 ^{ab} (± 61)	2 336 ^{ab} (± 62)	2 011 ^b (± 75)	2 456 ^(bc) (± 38)
4	2 759 ^b (± 61)	2 000 ^b (± 62)	2 504 ^{ab} (± 75)	2 421 ^(c) (± 38)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	3 359^a (± 62)	3 020^a (± 50)	3 054 ^a (± 83)	3 144^(a) (± 29)
2	3 240 ^a (± 62)	2 403 ^b (± 50)	2 815 ^a (± 83)	2 820 ^(b) (± 29)
3	3 304 ^a (± 62)	2 622 ^a (± 50)	3 157^a (± 83)	3 027 ^(a) (± 29)
4	2 835 ^a (± 96)	2 885 ^a (± 56)	2 530 ^a (± 78)	2 750 ^(b) (± 38)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	2 608^a (± 82)	2 714 ^{ab} (± 82)	2 809^a (± 82)	2 710^(a) (± 61)
2	2 417 ^{ab} (± 82)	2 294 ^b (± 82)	2 713 ^{ab} (± 82)	2 475 ^(a) (± 61)
3	2 271 ^{ab} (± 103)	2 399 ^{ab} (± 82)	2 709 ^{ab} (± 82)	2 459 ^(a) (± 65)
4	2 140 ^b (± 83)	2 828^a (± 82)	2 298 ^b (± 82)	2 422 ^(a) (± 61)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	2 490^a (± 48)	1 609 ^{ab} (± 48)	1 725 ^{ac} (± 48)	1 941^(a) (± 28)
2	2 318 ^a (± 48)	1 374 ^b (± 48)	1 223 ^b (± 48)	1 638 ^(b) (± 28)
3	1 789 ^b (± 48)	1 801^a (± 48)	1 974^a (± 48)	1 855 ^(a) (± 28)
4	2 255 ^a (± 48)	1 705 ^a (± 48)	1 630 ^c (± 48)	1 863 ^(a) (± 28)
Glatthaferwiese Thüringen				
1	1 875^a (± 62)	1 635 ^a (± 29)	997 ^a (± 43)	1 502 ^(a) (± 27)
2	1 516 ^b (± 62)	1 420 ^b (± 29)	1 026 ^{ab} (± 43)	1 320 ^(b) (± 27)
3	1 581 ^{ab} (± 62)	1 346 ^b (± 29)	1 025 ^{ab} (± 43)	1 317 ^(b) (± 27)
4	1 757 ^{ab} (± 62)	1 674^a (± 29)	1 466^b (± 43)	1 632^(c) (± 27)
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	1 936^a (± 45)	1 911 ^a (± 45)	1 834^a (± 45)	1 894^(a) (± 26)
2	1 795 ^a (± 45)	1 985 ^a (± 45)	1 729 ^a (± 45)	1 836 ^(a) (± 26)
3	1 891 ^a (± 45)	2 140^a (± 45)	1 626 ^a (± 45)	1 886 ^(a) (± 26)
4	1 872 ^a (± 45)	1 289 ^b (± 45)	1 334 ^b (± 45)	1 498 ^(b) (± 26)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)				
1	4 368^a (± 61)	3 568^a (± 61)	2 962^a (± 61)	3 633^(a) (± 35)
2	4 082 ^a (± 61)	3 255 ^b (± 61)	2 903 ^a (± 61)	3 413 ^(b) (± 35)
3	4 077 ^a (± 61)	3 291 ^{ab} (± 61)	2 877 ^a (± 61)	3 415 ^(b) (± 35)
4	3 469 ^b (± 61)	2 723 ^c (± 61)	2 859 ^a (± 61)	3 017 ^(c) (± 35)

(unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p \leq 0,05$ innerhalb Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Versuchsjahr, zwischen den Nutzungsvarianten)

Die Methanhektarerträge der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** erreichten im Mittel der Versuchsjahre $2 750 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$ bis $3 144 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ha}^{-1}$. Als ertragsstärkste Nutzungsvariante stellte sich Nutzungsvariante 1, vor Nutzungsvariante 3, 2 und 4 heraus.

Auch in den einzelnen Versuchsjahren hatte Nutzungsvariante 1 die höchsten bzw. mit die höchsten Methanhektarerträge. Die Nutzungsvariante 3 erzielte im Versuchsjahr 2013 den höchsten, im Versuchsjahr 2011 den zweithöchsten sowie im Versuchsjahr 2012 den dritthöchsten Methanhektarertrag. Die niedrigsten Methanhektarerträge hatten 2011 und 2013 die Nutzungsvariante 4 sowie 2012 die Nutzungsvariante 2. Dabei bestanden in den Versuchsjahren 2011 und 2013 keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzungsvarianten und nur im Versuchsjahr 2012 bestand ein signifikanter Unterschied der ertragsschwächsten Nutzungsvariante 2 zu den anderen drei Nutzungsvarianten.

Die Nutzungsvarianten der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** erzielten im Mittel der Versuchsjahre Methanhektarerträge zwischen $2\,422\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $2\,710\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$. Den höchsten Methanhektarertrag hatte sowohl im Mittel der Versuchsjahre als auch in den jeweiligen Versuchsjahren 2011 und 2013 die Nutzungsvariante 1, gefolgt von den Nutzungsvarianten 2, 3 und 4. Im Versuchsjahr 2012 erreichte dagegen die Nutzungsvariante 4, vor den Nutzungsvarianten 1, 3 und 2 den höchsten Methanhektarertrag. Signifikante Unterschiede in den einzelnen Versuchsjahren gab es nur zwischen der ertragsstärksten und der ertragsschwächsten Nutzungsvariante, während sich die anderen Nutzungsvarianten weder voneinander noch von der ertragsstärksten bzw. -schwächsten Nutzungsvariante statistisch gesichert unterschieden.

Bei der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** lagen im Mittel der Versuchsjahre die Methanhektarerträge zwischen $1\,638\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $1\,941\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$, wobei die Nutzungsvariante 1 im Mittel der Versuchsjahre sowie im Versuchsjahr 2011 die höchsten Methanhektarerträge erreichte. Den niedrigsten Methanhektarertrag hatte im Mittel der Versuchsjahre und in den jeweiligen Versuchsjahren 2012 und 2013 die Nutzungsvariante 2. In den Versuchsjahren 2011 hatte die Nutzungsvariante 3 den niedrigsten Methanhektarertrag, während sie in den anderen zwei Versuchsjahren den höchsten und im Mittel der Versuchsjahre den dritthöchsten Methanhektarertrag realisieren konnte. Die Nutzungsvariante 4 erreichte in den Versuchsjahren 2012 sowie im Mittel der Versuchsjahre den zweithöchsten Methanhektarertrag und lag in den anderen Versuchsjahren an dritter Stelle. Signifikante Unterschiede bestanden in den Versuchsjahren 2011 nur zu der ertragsschwächsten Nutzungsvariante 3, während sich 2012 nur die beiden ertragsstärksten Nutzungsvarianten 3 und 4 gegenüber der ertragsschwächsten Nutzungsvariante 2 abhoben. 2013 unterschied sich sowohl die ertragsschwächste Nutzungsvariante 2 von den anderen drei Nutzungsvarianten als auch die ertragsstärkste Nutzungsvariante 3 von Nutzungsvariante 4.

Die Methanhektarerträge der **Glatthaferwiese Thüringen** lagen im Mittel der Versuchsjahre zwischen $1\,317\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $1\,632\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$. Die Nutzungsvariante 4 erreichte sowohl im Mittel der Versuchsjahre als auch in den Versuchsjahren 2012 und 2013 die höchsten Methanhektarerträge, gefolgt von der Nutzungsvariante 1, die im Mittel der Versuchsjahre als auch im Versuchsjahr 2012 den zweithöchsten Methanhektarertrag hatte. In dem Versuchsjahr 2011 erreichte diese Nutzungsvariante den höchsten, im Versuchsjahr 2013 allerdings den niedrigsten Methanhektarertrag. Die Nutzungsvariante 2 konnte im Mittel der Versuchsjahre sowie im Versuchsjahr 2012 den dritthöchsten, im Versuchsjahr 2013 mit der Nutzungsvariante 3 den zweithöchsten und im Versuchsjahr 2011 lediglich den niedrigsten Methanhektarertrag erzielen. Den niedrigsten Methanhektarertrag im Mittel der Versuchsjahre als auch im Versuchsjahr 2012 hatte die Nutzungsvariante 3. Signifikante Unterschiede bestanden im Versuchsjahr 2011 und 2013 nur zwischen der ertragsschwächsten und ertragsstärksten Nutzungsvariante, während 2012 jeweils die beiden ertragsstärksten Nutzungsvarianten

rianten 1 und 4 zu den ertragsschwächsten Nutzungsvarianten 2 und 3 signifikant verschieden waren.

Das **Montane Intensivgrünland Thüringen** hatte im Mittel der Versuchsjahre Methanhektarerträge zwischen $1\,498\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $1\,894\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$. Die höchsten Methanhektarerträge im Mittel der Versuchsjahre sowie in den Versuchsjahren 2011 und 2013 erreichte die Nutzungsvariante 1. Den zweithöchsten Methanhektarertrag im Mittel der Versuchsjahre erreichte die Nutzungsvariante 3, die in dem Versuchsjahr 2012 den höchsten, in 2011 den zweithöchsten und in 2013 den dritthöchsten Methanhektarertrag erzielte. Die Nutzungsvariante 2 erreichte im Mittel der Versuchsjahre die dritthöchsten Methanhektarerträge. Dabei wurde in dieser Nutzungsvariante im Versuchsjahr 2011 der niedrigste, in den Versuchsjahren 2012 und 2013 der jeweils zweithöchste Methanhektarertrag erreicht. Den niedrigsten Methanhektarertrag hatte im Mittel der Versuchsjahre sowie in den Versuchsjahren 2012 und 2013 die Nutzungsvariante 4. Keine statistischen Unterschiede konnten im Versuchsjahr 2011 festgestellt werden, wohingegen sich 2012 und 2013 die Nutzungsvariante 4, als ertragsschwächste, von den anderen Nutzungsvarianten signifikant unterschied.

Bei den Nutzungsvarianten der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** reichten die Methanhektarerträge zwischen $3\,017\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $3\,633\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$. Im Mittel der Versuchsjahre sowie in jedem Versuchsjahr hatte die Nutzungsvariante 1 die höchsten Methanhektarerträge. Danach folgten im Mittel der Versuchsjahre die Nutzungsvarianten 2 und 3, die sich untereinander nur um $1,4\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ unterschieden, wobei in den Versuchsjahren 2011 und 2013 die Nutzungsvariante 2 und im Versuchsjahr 2012 die Nutzungsvariante 3 einen leicht höheren Methanhektarertrag erzielte. Den niedrigsten Methanhektarertrag erreichte im Mittel der Versuchsjahre als auch in allen Versuchsjahren die Nutzungsvariante 4. Signifikante Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten konnten nur 2011 und 2012 festgestellt werden, wobei sich 2011 nur die Nutzungsvariante 4 von allen anderen Nutzungsvarianten unterschied. Im Versuchsjahr 2012 unterschieden sich die Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 signifikant voneinander sowie Nutzungsvariante 4 von Nutzungsvariante 3. Letztere nahm mit dem zweithöchsten Methanhektarertrag eine Mittelstellung zwischen Nutzungsvariante 1 und 2 ein und unterschied sich von diesen auch nicht signifikant.

An sechs von sieben Standorten konnte also im Mittel der Versuchsjahre die erste Nutzungsvariante als die mit dem jeweils höchsten Methanhektarertrag identifiziert werden. Dies konnte jedoch nur beim Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) allen anderen Nutzungsvarianten gegenüber statistisch gesichert werden. Lediglich bei der Glatthaferwiese Thüringen war die Nutzungsvariante 4 mit einem von allen anderen Varianten signifikanten Methanhektarmehrertrag die beste Variante.

4.4. Ökologische Bewertung der Nutzungsvarianten

4.4.1. Pflanzenbestandsentwicklung

Die vegetationskundliche Erfassung, Aufbereitung sowie Aus- und Bewertung der sieben untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften erfolgte durch den Deutschen Grünlandverband und das Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Salix (HOCHBERG UND JÄGER, 2014)). Für die Bewertung (Tabelle 50 sowie im Anhang Tabelle A 1 bis Tabelle A 7) wurden als Indikatoren die Gesamtartenzahl, die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes nach dem Ertragsanteil der Arten und der sich daraus ableitende naturschutzfachliche Grünlandwert des jeweiligen Pflanzenbestandes sowie deren Veränderungen im Verlauf des Versuchszeitraums herangezogen.

Tabelle 50: Vegetationskundliche Bewertung der Pflanzenbestände nach Artenzahl und Grünlandwert in den einzelnen Versuchsjahren und Nutzungsvarianten

Nutzungs- variante	Artenzahl					Grünlandwert				
	2010	2011	2012	2013	Trend	2010	2011	2012	2013	Trend
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen										
1	5	6	8	8	↗	0	0	0	0	~
2	4	4	7	6	~	0	0	0	0	~
3	5	5	7	9	↗	0	0	0	0	~
4	4	4	5	6	~	0	0	0	0	~
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)										
1	15	19	19	24	↑	0	0	0	1	~
2	22	19	18	27	↗	1	1	1	3	~
3	16	22	23	24	↑	1	2	2	2	~
4	13	18	17	21	↑	1	1	2	2	~
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)										
1	23	30	32	32	↑	14	17	16	15	~
2	20	26	23	25	↗	10	13	14	15	↗
3	23	24	24	25	~	10	10	12	14	↗
4	29	28	33	35	↑	15	15	17	18	~
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen										
1	16	17	20	17	~	14	14	15	14	~
2	20	20	23	18	~	14	14	16	15	~
3	17	19	19	19	~	11	13	14	14	~
4	15	15	18	17	~	11	11	12	10	~
Glatthaferwiese Thüringen										
1	21	22	23	23	~	31	34	34	33	~
2	21	22	24	23	~	28	29	31	30	~
3	21	20	20	20	~	27	26	25	26	~
4	31	29	25	25	↘	40	40	39	39	~
Montanes Intensivgrünland Thüringen										
1	19	20	20	21	~	19	19	19	19	~
2	21	21	20	20	~	17	17	17	17	~
3	24	23	24	25	~	20	21	21	21	~
4	22	24	24	24	~	18	18	18	18	~
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)										
1	19	18	17	17	~	10	10	9	9	~
2	16	17	18	20	↗	6	7	8	8	~
3	18	22	22	22	↗	8	9	9	10	~
4	16	19	17	18	~	6	8	7	9	~

Legende: ~ weitgehend gleichbleibend ↑ deutliche Verbesserung (> 6)
 ↗ tendenzielle Verbesserung (> 2) ↘ tendenzielle Verschlechterung (> 2)

Das **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** stellte einen sehr artenarmen Dominanzbestand dar, in dem sich im Verlauf der Versuchsperiode nur wenige Exemplare von weiteren zwei Gras- und vier Kräuterarten etablieren konnten. Anhand der Artenvorkommen ergab sich kein naturschutzfachlicher Grünlandwert (G-Wert).

Bei Nutzungsvariante 1 ist die Vorherrschaft des Deutschen Weidelgrases erhalten geblieben und nur Lieschgras sowie Wiesenrispe konnten sich in nennenswertem Umfang im Bestand entwickeln. Dabei hat sich der Ertragsanteil von Lieschgras gegenüber Wiesenrispe stärker ausbreiten können. Der Verzicht auf die N-Düngung des letzten Aufwuchses bei Nutzungsvariante 2 und ansonsten identischer Bewirtschaftung gegenüber Nutzungsvariante 1 hat im 4. Versuchsjahr zu einer deutlichen Abnahme des Ertragsanteiles Deutsches Weidelgras, zugunsten vor allem von Lieschgras aber auch Wiesenrispe, geführt. Nutzungsvariante 3, mit späterem ersten Schnitt und reduzierter N-Düngung hat im vierten Nutzungsjahr eine starke Umschichtung des Pflanzenbestandes zugunsten von Lieschgras und Wiesenrispe, aber auch Gemeiner Rispe, bewirkt, so dass der Ertragsanteil des Deutschen Weidelgrases auf ca. 40 % abgefallen ist. Die bestandespfliegende Nutzung mit Spätschnitt des zweiten Aufwuchses (Nutzungsvariante 4) in der generativen Entwicklung hat bereits ab Versuchsbeginn den Gräserarten Lieschgras, Wiesenrispe und Gemeine Rispe Entwicklungschancen geboten, so dass diese Arten sich kontinuierlich ausbreiten konnten und nach vier Versuchsjahren das Deutsche Weidelgras nur noch mit ca. 70% am Bestand beteiligt war.

Auf der von Quecke überprägten **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** waren Quecke und Wiesenrispe die bestandesprägenden Arten. Die Gesamtartenzahl hat sich auf allen Nutzungsvarianten im Verlauf des Versuchszeitraumes deutlich erhöht, was vor allem auf die Zunahme von Kräutern zurückzuführen ist. Jedoch handelt es sich sehr selten um naturschutzfachlich wertgebende Arten, so dass sich extrem niedrige Grünlandwerte, unabhängig von der Bewirtschaftungsintensität, ergeben.

Bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1) ist ein relativ stabiler Bestand, geprägt von Quecke und Wiesenrispe, erhalten geblieben. Der Verzicht auf eine N-Gabe zum letzten Aufwuchs bei ansonsten gleichem Schnittregime wie Nutzungsvariante 1 hat bei Nutzungsvariante 2 zu einem Zurückdrängen der Quecke wie auch der Wiesenrispe geführt. Dem gegenüber haben sich bei Ausnutzung des Standortpotenzials (Nutzungsvariante 3), mit späterem ersten Schnitt, Quecke und Löwenzahn zulasten der Wiesenrispe ausbreiten können. Die Nutzungsvariante 4, mit Frühschnitt und anschließender sehr später Mahd, führte zur schnellen Herausbildung eines von Quecke beherrschten Bestandes.

Die **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** ist gegenüber dem Niedermoor-Standort artenreicher und mit größeren Anteilen von Arten der Glatthaferwiese ausgestattet. Bei Nutzungsvariante 1 haben vor allem Quecke und Gemeine Rispe sowie Lieschgras, die zu Versuchsbeginn bestandesprägenden Arten Deutsches Weidelgras, Wiesenschwingel und Gemeiner Löwenzahn deutlich zurückgedrängt. Die gleiche Entwicklung hat sich bei der Nutzungsvariante 2 ergeben, mit jedoch einem bemerkenswert hohem Leguminosenanteil im 4. Versuchsjahr (im Anhang Tabelle A 3). Die Nutzungsvariante 3 hat zur Erhöhung des Ertragsanteils der Quecke und des Lieschgrases aber auch des Spitzwegerichs geführt und zu einer Abnahme des Anteils von Knautgras, Deutschem Weidelgras sowie Löwenzahn. Der relativ hohe Leguminosenanteil ist erhalten geblieben. Die Bewirtschaftung mit frühem ersten Schnitt und Mahd des 2. Aufwuchses in der generativen Entwicklung (Nutzungsvariante 4) hat zu einer starken Zunahme von Quecke und Lieschgras aber auch von Knautgras und

Wolligem Honiggras geführt. Auch hier haben, analog der intensiven Nutzungsvarianten 1 und 2, die gleichen Arten deutlich abgenommen (Deutsches Weidelgras, Löwenzahn, Leguminosen). Die Nutzungssysteme haben, ausgenommen die ertragsoptimierte Bewirtschaftung mit späterem ersten Schnitt und reduzierter N-Düngung (Nutzungsvariante 3), zu einer deutlichen Erhöhung der Artenzahl geführt. Dabei waren nur wenige Arten naturschutzfachlich wertgebend, so dass sich der ohnehin niedrige Grünlandwert kaum verändert hat.

Die **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** stellt bei Versuchsbeginn bereits eine sehr verarmte Variante dar, in der die Gräser dominieren, die Kräuter überwiegend nur vereinzelt auftreten und Leguminosen fehlen. In allen vier Nutzungsvarianten haben Quecke und Wiesenfuchsschwanz, letzterer nur nicht in Nutzungsvariante 3, deutlich zugenommen und sind damit bestandesdominierend geworden. Knautgras und vor allem Rotes Straußgras sind demgegenüber generell stark zurückgegangen, letzteres insbesondere bei Nutzungsvariante 3 und 4. Der Kräuteranteil ist generell deutlich angestiegen, was vor allem auf die Ausbreitung von Wiesen-Sauerampfer zurückzuführen ist. Weder in der Gesamtartenzahl noch im ohnehin niedrigen Grünlandwert sind nennenswerte Veränderungen eingetreten.

Auch die **Glatthaferwiese Thüringen** ist eine stark verarmte Variante dieses Grünlantyps, mit einem sehr geringen Leguminosenanteil. Die vier Nutzungsvarianten haben sich im Wesentlichen nur auf den Ertragsanteil von Glatthafer und Wiesenrispe ausgewirkt, indem beide Arten unter intensiver Nutzung (Nutzungsvarianten 1 und 2) etwas zurückgedrängt worden sind. Ansonsten sind nur jahresbedingte Schwankungen in der anteiligen Zusammensetzung des Bestandes zu verzeichnen. Dementsprechend sind auch in der Gesamtartenzahl wie auch beim Grünlandwert, ausgenommen der tendenzielle Rückgang der Artenzahl in Nutzungsvariante 4, keine nennenswerten Veränderungen eingetreten.

Das **Montane Intensivgrünland Thüringen** ist mit Relikten der Bergwiese ausgestattet (Goldhafer, Frauenmantel) und generell artenarm. Goldhafer hat bei intensiver Nutzung (Nutzungsvarianten 1 und 2) tendenziell abgenommen, bei verringerter Nutzungs- und Düngungsintensität (Nutzungsvariante 3) tendenziell zugenommen und bei Spätschnitt des zweiten Aufwuchses (Nutzungsvariante 4) keine Änderung erfahren. Bemerkenswert ist die Zunahme des Löwenzahnanteils unter den Bewirtschaftungsbedingungen der Nutzungsvarianten 1 bis 3, während bei Nutzungsvariante 4 trotz sehr später Mahd des zweiten Aufwuchses nur jahresbedingte Schwankungen auftraten. In der Gesamtartenzahl wie auch im niedrigen Grünlandwert sind unter allen Bewirtschaftungssystemen keine nennenswerten Änderungen zu verzeichnen.

Die **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** repräsentiert den von Deutschem und natürlichem Hybridweidelgras beherrschten, sehr artenarmen Bestandstyp im Voralpenraum. Bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1) bleibt die Zusammensetzung des Bestandes weitgehend erhalten. Nur Knautgras und Spitzwegerich nehmen tendenziell im Ertragsanteil zu und Weißklee ab. Die Nutzungsvariante 2, mit einem geernteten Aufwuchs weniger, weist die gleiche Bestandesentwicklung auf. Lediglich der Weißkleeanteil ist geringfügig höher als bei Nutzungsvariante 1. Glatthafer kam hier erstmals auf und breitete sich aus. Bei Ausnutzung des Standortpotenzials mit reduzierter N-Düngung und späterem ersten Schnitt (Nutzungsvariante 3) hat dazu geführt, dass sich Knautgras, Wiesenfuchsschwanz und Glatthafer vergleichsweise stärker ausbreiten und das Deutsche Weidelgras auf einen Anteil von etwa 50 % abfällt. Kammgras ist nur in dieser Nutzungsvariante im Bestand aufgetreten. Für die Bestandesentwicklung unter den Bedingungen einer sehr späten zweiten Nutzung (Nut-

zungsvariante 4) ergaben sich gegenüber Nutzungsvariante 3 keine nennenswerten Unterschiede. Die Gesamtartenzahl hat sich nur bei Nutzungsvariante 2 und 3 tendenziell erhöht. Der sehr niedrige naturschutzfachliche Grünlandwert ist in allen geprüften Nutzungsformen unbeeinflusst geblieben.

Struktur des Pflanzenbestandes

Die Struktur eines Dauergrünlandbestandes lässt sich anhand der Ausprägung der Etagen eines Bestandes (Schichtung nach Obergräser/-kräuter, Mittelgräser/-kräuter, Untergräser/-kräuter) sowie der Wuchsformen der darin vorkommenden Arten beurteilen. Das Vorkommen wird am Ertragsanteil Kräuter, d.h. aller dikotylen Pflanzen eines Bestandes, gemessen. Diese beiden Indikatoren bilden stellvertretend die Habitatqualität des Bestandes für verschiedene Tierartengruppen ab (HOCHBERG ET AL., 2008). Die Bewertungsindikatoren für die Struktur der Pflanzenbestände sind in Tabelle 51 übersichtlich innerhalb jeder Pflanzengesellschaft nach Versuchsjahren und Nutzungsvarianten zusammengestellt.

Beim **Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen** hat sich aus einem einschichtigen Bestand des Deutschen Weidelgrases bei reduzierter Düngung, vor allem in Verbindung mit einem späteren ersten Schnitt (Nutzungsvariante 3), eine bemerkenswerte Schichtung des Bestandes vollzogen. Selbst bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1) ist eine deutliche Verbesserung zu verzeichnen. Allerdings wird diese Schichtung nur von Gräsern verursacht. Die wenigen Kräuter traten nur als einzelne Exemplare auf.

Die **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** hat in ihrer Bestandesstruktur bei intensiver Bewirtschaftung (Nutzungsvarianten 1 und 2) eine leichte Verbesserung erfahren, während bei Nutzungsvariante 3 eine deutliche Erhöhung des Schichtungsindex zu verzeichnen ist. Diese Entwicklung ist vor allem auf die unterschiedliche Zunahme der Kräuteranteile zurückzuführen. Das Nutzungssystem 4 mit Spätschnitt des 2. Aufwuchses war ohne nennenswerten Einfluss auf die Bestandesstruktur und auf den Anteil dikotyler Pflanzen.

Die gut strukturierte **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)** hat unter den geprüften Nutzungsvarianten eine weitere Verbesserung erfahren, die bei intensiver Bewirtschaftung (Nutzungsvariante 1 und 2) als auch bei bestandespflegerischer Nutzungsvariante 4, mit Spätschnitt des zweiten Aufwuchses, sogar deutlich ausfällt. Allerdings ist bei Nutzungsvariante 1 der Anteil dikotyler Pflanzen tendenziell und bei Nutzungsvariante 4 sogar deutlich zurückgegangen.

Die **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** weist eine gute Strukturierung auf, die sich nur bei Reduzierung der N-Düngung und späterem ersten Schnitt (Nutzungsvariante 3) noch tendenziell verbessert hat. Der relativ niedrige Anteil dikotyler Pflanzen hat bei der Nutzungsvariante 2 und Nutzungsvariante 3 tendenziell zugenommen.

Die **Glattthaferwiese Thüringen** ist durch eine gute Schichtung des Bestandes gekennzeichnet. Diese ist von den vier Nutzungssystemen nicht beeinflusst worden. Der optimale Anteil dikotyler Pflanzen hat sich unter intensiver Nutzung (Nutzungsvarianten 1) noch tendenziell erhöht.

Tabelle 51: Vegetationskundliche Bewertung der Pflanzenbestände nach Schichtungsindex und Kräuteranteil in den einzelnen Versuchsjahren und Nutzungsvarianten

Nutzungs- variante	Schichtungsindex					Ten- denz	Kräuteranteil (Ertragsanteil) [%]					Ten- denz
	2010	2011	2012	2013	2010		2011	2012	2013			
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen												
1	9	12	25	29	↑	0	0	0	0	~		
2	7	11	25	44	↑↑	0	0	0	0	~		
3	11	11	17	84	↑↑	0	0	0	0	~		
4	20	22	27	44	↑↑	0	0	0	0	~		
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)												
1	44	33	43	52	↗	13	12	12	17	~		
2	56	48	53	65	↗	12	10	13	21	↗		
3	36	36	51	57	↑	7	11	20	17	↗		
4	56	40	51	63	~	13	10	13	14	~		
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)												
1	72	79	82	89	↑	27	22	19	22	↘		
2	74	80	87	92	↑	23	18	20	23	~		
3	80	92	91	91	↗	25	19	15	27	~		
4	69	74	93	88	↑	25	18	9	10	↓		
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen												
1	77	79	82	69	~	10	18	18	11	~		
2	75	82	78	69	~	9	15	16	16	↗		
3	75	86	89	80	↗	12	21	22	20	↗		
4	80	83	85	67	~	13	19	23	13	~		
Glatthaferwiese Thüringen												
1	70	64	69	72	~	30	34	36	34	↗		
2	84	76	81	80	~	36	35	39	38	~		
3	59	58	63	66	~	40	36	36	39	~		
4	63	62	65	69	~	33	31	31	33	~		
Montanes Intensivgrünland Thüringen												
1	61	71	78	76	↗	32	35	39	37	↗		
2	57	66	72	73	↑	31	35	40	40	↗		
3	71	83	71	71	~	33	39	31	32	~		
4	70	69	68	64	~	30	35	33	29	~		
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)												
1	35	39	35	38	~	14	18	20	15	~		
2	27	38	32	43	↑	17	21	18	15	~		
3	35	39	44	55	↑	27	25	19	18	↘		
4	35	41	43	57	↑	31	35	20	15	↓		

* dikotyle Pflanzen (Grünlandkräuter und -leguminosen)

Legende:		Änderung	
		Schichtungsindex um	Kräuteranteil um
~	weitgehend gleichbleibend	< 8	< 5
↗	tendenzielle Verbesserung	8 - 15	5 - 14
↑	deutliche Verbesserung	16 - 23	15 - 19
↑↑	sehr gute Entwicklung	> 24	> 20
↘	tendenzielle Verschlechterung	8 - 15	5 - 14
↓	deutliche Verschlechterung	16 - 23	15 - 19
↓↓	sehr starke Verschlechterung	> 24	> 20

Die Struktur des **Montanen Intensivgrünlandes Thüringen** hat sich nach vier Versuchsjahren in Abhängigkeit von der Nutzungsvariante differenziert, indem der Schichtungsindex mit Verringerung der Bewirtschaftungsintensität tendenziell ungünstiger wird. Dabei ist bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1) eine tendenzielle und bei intensiver Nutzung mit reduzierter Düngung (Nutzungsvariante 2) eine deutliche Erhöhung des Index festzustellen, während bei deutlich inputreduzierter Wirtschaftsweise (Nutzungsvariante 3 und 4) die Indizes weitgehend gleichgeblieben sind. Der optimale Anteil dikotiler Pflanzen hat bemerkenswerter Weise bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1 und 2) noch tendenziell zugenommen.

Die **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** weist eine relativ unausgewogene Bestandesstruktur infolge der Dominanz der Oberschicht auf. Der niedrige Schichtungsindex erhöht sich, ausgenommen bei intensiver Nutzung (Nutzungsvariante 1), tendenziell stärker je geringer die Düngungs- und Nutzungsintensität wird. Der Anteil dikotiler Grünlandpflanzen nimmt bei Nutzungsvariante 3 tendenziell und unter dem Nutzungssystem mit Spätschnitt des zweiten Aufwuchses (Nutzungsvariante 4) deutlich ab.

4.4.2. Nährstoffbilanz

Der Beitrag der symbiotischen Stickstofffixierung an der Gesamtstickstoffzufuhr (Tabelle 52) betrug mit Ausnahme des Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen und der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen, wo keine Leguminosen vorhanden waren, im Mittel zwischen 2 % und 27 %.

Tabelle 52: Über symbiotische Stickstofffixierung fixierte mittlere Stickstoffmenge der Versuchsjahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern

Dauergrünlandpflanzen- gesellschaft Standort	Nutzungs- variante 1	Nutzungs- variante 2	Nutzungs- variante 3	Nutzungs- variante 4
sympiotisch fixierter Stickstoff [kg ha⁻¹]				
Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen	keine Leguminosen			
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	7 (0 - 27)	12 (0 - 41)	7 (0 - 36)	4 (0 - 24)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	23 (0 - 59)	28 (0 - 65)	30 (0 - 63)	14 (0 - 39)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*	keine Leguminosen			
Glatthaferwiese Thüringen	3 (1 - 8)	3 (0 - 7)	4 (0 - 9)	10 (3 - 28)
Montanes Intensivgrünland Thüringen	33 (17 - 63)	31 (13 - 71)	36 (22 - 65)	25 (12 - 40)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*	22 (6 - 57)	31 (15 - 49)	55 (13 - 84)	65 (21 - 145)

* Versuchsjahre 2011 bis 2013

Die fixierten Stickstoffmengen erreichten dabei im Mittel der Versuchsjahre zwischen 3 kg ha^{-1} und 65 kg ha^{-1} . Besonders bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand), dem Montanen Intensivgrünland Thüringen sowie der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) trug die symbiotische Stickstofffixierung nennenswert zur Versorgung bei.

Die aus der Verrechnung der Stickstoffzufuhr durch mineralische Düngung, plus symbiotisch fixierter Stickstoffmenge, abzüglich der Stickstoffabfuhr durch das Erntegut, errechnete Stickstoffbilanz (Tabelle 53) betrug in Abhängigkeit der Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten im Mittel des Versuchszeitraums zwischen -126 kg ha^{-1} und 43 kg ha^{-1} .

Die höchsten Stickstoffbilanzen wiesen dabei der Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen mit -9 kg ha^{-1} bis 43 kg ha^{-1} , das Montane Intensivgrünland Thüringen mit -14 kg ha^{-1} bis 33 kg ha^{-1} und die Glatthaferwiese Thüringen mit -12 kg ha^{-1} bis 13 kg ha^{-1} auf.

Dagegen waren die Stickstoffbilanzen der Wiesenfuchsschwanzwiese und der Weidelgras-Weißkleeweiden am niedrigsten. Mit Stickstoffbilanzen zwischen -126 kg ha^{-1} und -94 kg ha^{-1} hatte die Weidelgras-Weißkleeweide in Brandenburg (Niedermoor) die höchsten Stickstoffdefizite, gefolgt von der Wiesenfuchsschwanzwiese mit -57 kg ha^{-1} bis -14 kg ha^{-1} , der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) mit -46 kg ha^{-1} bis -23 kg ha^{-1} und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) mit -34 kg ha^{-1} bis 1 kg ha^{-1} .

Unter den Nutzungsvarianten hatten mit Ausnahme der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) die Nutzungsvarianten 2 und 3 die niedrigsten Stickstoffbilanzen aufgrund der meist geringeren Stickstoffzufuhr gegenüber der Nutzungsvarianten 1 und 4 sowie aufgrund der dennoch hohen Stickstoffabfuhr über das Erntegut. Die Nutzungsvariante 1 hatte aufgrund der höchsten Düngungsintensität mit die höchsten Stickstoffbilanzen, wobei hier auch die Stickstoffabfuhr am höchsten war. Die Nutzungsvariante 4 hatte mit ebenfalls hoher Stickstoffzufuhr aufgrund der teilweise niedrigsten Stickstoffabfuhr ebenfalls höhere Stickstoffbilanzen. Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) hatte die Nutzungsvariante 4 aufgrund eines niedrigeren Düngungsniveaus und einer vergleichsweise hohen Stickstoffabfuhr die niedrigste Stickstoffbilanz, gefolgt von den Nutzungsvarianten 3 und 2. Die höchste Stickstoffbilanz hatte Nutzungsvariante 1, wobei diese im Mittel der Versuchsjahre ausgeglichen war und bei 1 kg ha^{-1} lag.

Tabelle 53: Stickstoffbilanzierung des Versuchszeitraums 2010 bis 2013 mit Spannweiten

Nutzungs- variante	N-Zufuhr [kg ha⁻¹]	N-Abfuhr [kg ha⁻¹]	N-Bilanz [kg ha⁻¹]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen			
1	280 (280 - 280)	246 (200 - 273)	34 (7 - 80)
2	220 (220 - 220)	229 (154 - 295)	-9 (-75 - 66)
3	180 (180 - 180)	163 (121 - 195)	17 (-15 - 59)
4	220 (220 - 220)	177 (127 - 230)	43 (-10 - 93)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)			
1	187 (180 - 207)	286 (227 - 345)	-100 (-146 - -33)
2	142 (130 - 171)	262 (211 - 314)	-120 (-184 - -57)
3	117 (110 - 146)	243 (182 - 303)	-126 (-193 - -54)
4	134 (130 - 154)	228 (149 - 313)	-94 (-183 - -15)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)			
1	223 (200 - 259)	246 (202 - 291)	-23 (-57 - 14)
2	178 (150 - 215)	224 (187 - 276)	-46 (-91 - 10)
3	160 (130 - 193)	197 (152 - 277)	-36 (-106 - 18)
4	164 (150 - 189)	188 (133 - 256)	-24 (-67 - 27)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen*			
1	210 (210 - 210)	224 (184 - 279)	-14 (-69 - 26)
2	120 (120 - 120)	177 (127 - 255)	-57 (-135 - -7)
3	120 (120 - 120)	175 (158 - 203)	-55 (-83 - -38)
4	120 (120 - 120)	164 (130 - 222)	-44 (-102 - -10)
Glatthaferwiese Thüringen			
1	171 (131 - 188)	158 (66 - 233)	13 (-48 - 65)
2	133 (130 - 137)	133 (68 - 172)	1 (-39 - 64)
3	114 (110 - 119)	126 (61 - 205)	-12 (-85 - 51)
4	140 (133 - 158)	138 (95 - 184)	3 (-28 - 40)
Montanes Intensivgrünland Thüringen			
1	233 (217 - 263)	200 (168 - 256)	33 (1 - 63)
2	181 (163 - 221)	196 (150 - 237)	-14 (-48 - 33)
3	166 (152 - 195)	167 (134 - 208)	-2 (-43 - 31)
4	175 (162 - 190)	146 (105 - 194)	29 (-9 - 67)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)*			
1	322 (306 - 357)	321 (285 - 357)	1 (-32 - 32)
2	271 (255 - 289)	290 (256 - 330)	-19 (-47 - 8)
3	255 (213 - 284)	268 (226 - 314)	-14 (-60 - 23)
4	245 (201 - 325)	279 (255 - 301)	-34 (-71 - 39)

* Versuchsjahre 2011 bis 2013

4.4.3. Treibhausgas- und Energiebilanzen

Energie- und Treibhausgasbilanzen der Heuverbrennung

(ergänzend zum Abschlussbericht GNUT-Verbrennung (GÖDEKE ET AL., 2011))

Energiebilanzen der Heuverbrennung

Die folgenden Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Nutzungskonzepte der Heuverbrennung beruhen auf den über die Versuchsjahre (2008 - 2010) gemittelten Versuchsdaten. Um die Schwankungsbreiten in den einzelnen Versuchsjahren zu verdeutlichen, sind zusätzlich die Ergebnisse der Einzeljahre im Anhang aufgeführt (im Anhang Tabelle A 44 bis Tabelle A 47).

Die hier betrachteten Bewirtschaftungsvarianten sind:

Niedersachsen: 1 = 2 Schnitte/Jahr, Juli+Sept.; 4 = 1 Schnitt Mitte August alle 2 Jahre

Brandenburg: 2 = 2 Schnitte/Jahr, Juni+Sept mit K-Düngung; 3 = 1 Schnitt/Jahr, Ende Sept.

Sachsen: 3 = 1 Schnitt/Jahr, Aug.; 4 = 1 Schnitt Mitte/Ende Aug. alle 2 Jahre

Thüringen: 2 = 2 Schnitte/Jahr, Juni+Sept, mit PK-Düngung; 3 = 2 Schnitte/Jahr, Juni+Sept

Bayern: 2 = 1 Schnitt/Jahr, Sept.

Das Nutzungskonzept der dezentralen Heuverbrennung in einem Biomasseheizwerk (300 kW) weist standortabhängige Nettoenergieerträge in der Größenordnung zwischen 4,8 MWh ha⁻¹ a⁻¹ für den Grünlandstandort der Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese in Sachsen und 34,5 MWh ha⁻¹ a⁻¹ für den Grünlandstandort des Rohrglanzgrasröhrichts in Brandenburg aus (Abbildung 8).

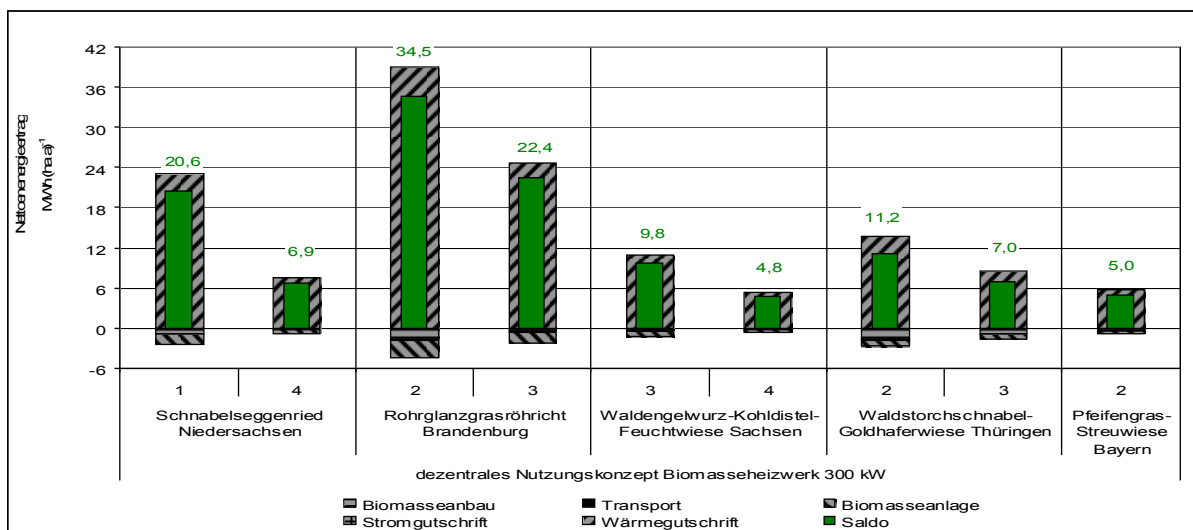


Abbildung 8: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der dezentralen Verbrennung im Biomasseheizwerk 300 kW

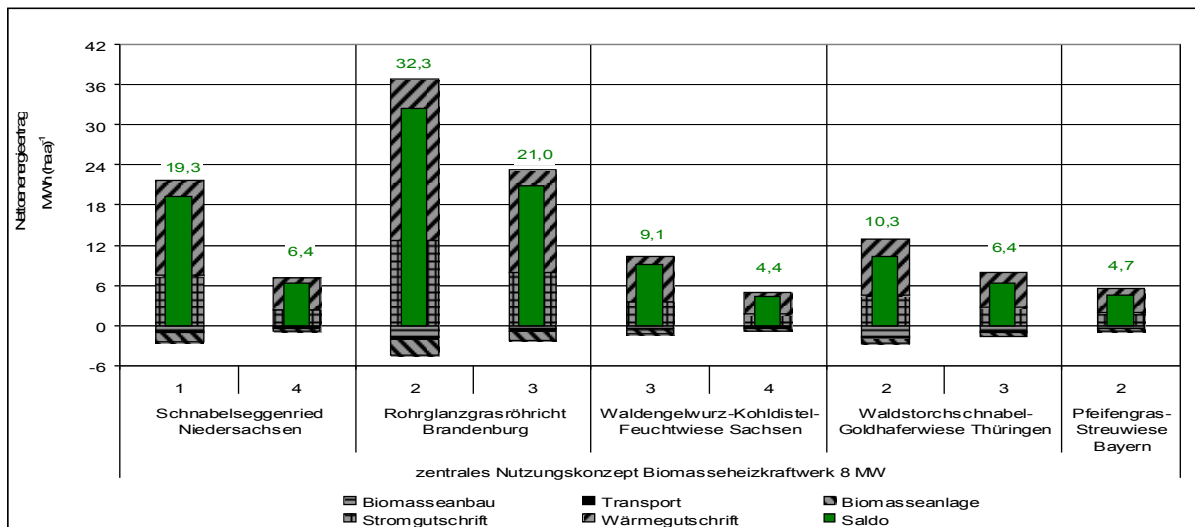


Abbildung 9: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der zentralen Verbrennung im Biomasseheizkraftwerk 8 MW (2,5 MW_{el}, 5,5 MW_{th})

Im Nutzungskonzept der zentralen Heuverbrennung in einem Biomasseheizkraftwerk (8 MW) werden aufgrund des geringeren Gesamtwirkungsgrades der Verbrennungsanlage (89 % zu 80 %) leicht geringere Nettoenergieerträge von 4,4 MWh ha⁻¹ a⁻¹ bis 32,3 MWh ha⁻¹ a⁻¹ erzielt (Abbildung 9).

Betrachtet man allerdings das Output-/Input-Verhältnis, also wie viel regenerative Energieeinheiten durch den Einsatz einer fossilen Energieeinheit bereitgestellt werden können (Tabelle 54), sind in den meisten Fällen jene Nutzungsvarianten zu bevorzugen, die den geringsten Aufwand, Schnitthäufigkeit und Düngung, aufweisen. Allerdings kann durch das Output-/Input-Verhältnis der Flächenbedarf für die Energiebereitstellung nicht miterfasst werden.

Tabelle 54: Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung aus der thermischen Verwertung der Dauergrünlandpflanzengesellschaften

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Nutzungsvariante	dezentrales Nutzungskonzept Biomasseheizwerk	
		300 kW	8 MW
Schnabelseggenried Niedersachsen	1	9,7	9,0
	4	10,1	8,8
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg	2	8,9	8,3
	3	11,2	10,2
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen	3	9,2	8,1
	4	9,0	7,5
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen	2	5,3	4,8
	3	5,7	5,1
Pfeifengras-Streuwiese Bayern	2	7,4	6,5

Treibhausgasbilanzen der Heuverbrennung

Die Treibhausgaseinsparpotenziale im Nutzungskonzept der dezentralen Heuverbrennung in einem Biomasseheizwerk (300 kW) liegen standort- und variantenabhängig zwischen 1,6 t CO₂eq (Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese in Sachsen) und 11,0 t CO₂eq je Hektar und Jahr (Rohrglanzgrasröhricht in Brandenburg) (Abbildung 10).

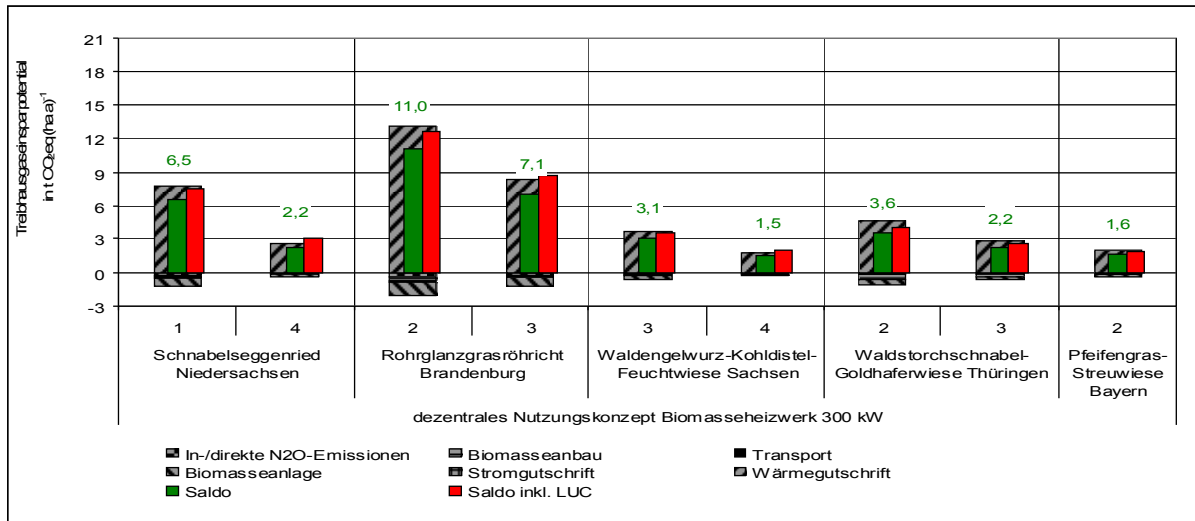


Abbildung 10: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotenziale der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der dezentralen Verbrennung im Biomasseheizwerk 300 kW (LUC = Land Use Change)

Im Gegensatz zum Nettoenergieertrag sind die Treibhausgaseinsparpotenziale im Nutzungskonzept der zentralen Heuverbrennung in einem Biomasseheizkraftwerk (8 MW) mit 2,3 bis 16,6 t CO₂eq pro Hektar und Jahr aufgrund der höheren Stromgutschriften deutlich höher als im dezentralen Nutzungskonzept zur alleinigen Wärmebereitstellung (Abbildung 11).

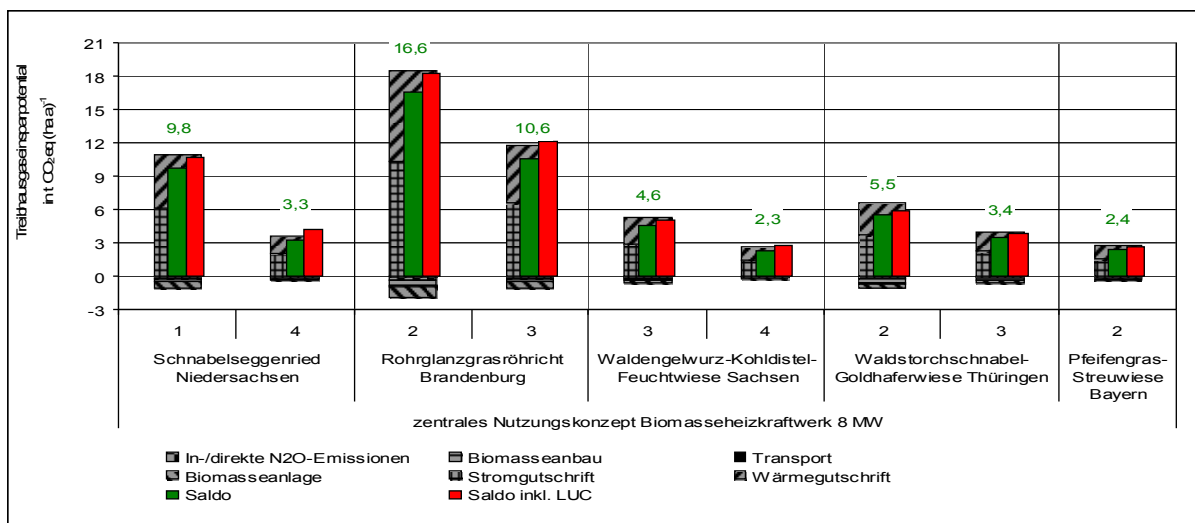


Abbildung 11: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotenziale der Dauergrünlandpflanzengesellschaften im Nutzungskonzept der zentralen Verbrennung im Biomasseheizkraftwerk 8 MW (2,5 MW_{el}, 5,5 MW_{th}); (LUC = Land Use Change)

Die Summe der Treibhausgasemissionen aus der Bereitstellung der Heuballen frei Biomasseanlage sind in den ungedüngten Nutzungsvarianten in etwa genauso hoch wie die Emissionen, die durch den Betrieb der Verbrennungsanlage (Eigenstromverbrauch, Methan und Lachgas) verursacht werden. Betrachtet man die Emissionen aus der Bereitstellung der Heuballen frei Hof, so setzen sich diese im Beispiel der 2-schnittig genutzten, ungedüngten Nutzungsvariante 1 des Schnabelseggenrieds zu 55 % aus den direkten und indirekten Lachgasemissionen, aus der Zersetzung der stickstoffhaltigen Erntereste, und zu 45 % aus dem Verbrauch von Diesel, Öl sowie Maschinenverschleiß zusammen.

Als Alternative zur Verbrennung der Grünlandbiomasse wurden zum Erhalt der Dauergrünlandpflanzengesellschaften die Verfahren des Mulchens bzw. das Abfahren der Biomasse mit anschließender Kompostierung angenommen. Unter Einbezug dieser Landnutzungsalternativen (Saldo inkl. LUC) erhöht sich das Treibhausgaseinsparpotenzial gegenüber der fossilen Energiebereitstellung zusätzlich. Eine Kompostierung der Aufwüchse des Rohrglanzgrasröhrichts wäre jedoch trotz Düngegutschrift des Kompostes mit durchschnittlich $1,6 \text{ t CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ belastet. Im Falle des Schnabelseggenrieds würde die Kompostierung Treibhausgasemissionen von rund $0,9 \text{ t CO}_2\text{eq pro Hektar und Jahr}$ verursachen. Die Alternative des Mulchens der Aufwüchse zur Offenhaltung bzw. zum Erhalt der Dauergrünlandpflanzengesellschaften Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese, Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese und Pfeifengras-Streuwiese ist mit durchschnittlichen Treibhausgasemissionen von $0,2 \text{ bis } 0,5 \text{ t CO}_2\text{eq pro Hektar und Jahr}$ (im Anhang Tabelle A 46 bis A 47) verbunden.

Energie- und Treibhausgasbilanzen der Biogasgewinnung

Energiebilanzen der Biogasgewinnung

Im Folgenden werden die, über die Versuchsjahre (2011-2013) gemittelten, Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Nutzungskonzepte der Biogasgewinnung dargestellt. Die Ergebnisse der Einzeljahre sind zusätzlich im Anhang aufgeführt (Tabellen A 48 bis A 51). Diese verdeutlichen auch nochmals die ertragsbedingten Schwankungen in den einzelnen Versuchsjahren.

Die Strom- und Wärmenutzung aus der Biogasgewinnung in Neuanlagen ist mit standortabhängigen Nettoenergieerträgen von $5,7 \text{ MWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Glatthaferwiese in Thüringen bis $15,2 \text{ MWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf der Weidelgras-Weißkleeweiße in Bayern (Allgäu) verbunden (Abbildung 12). Die ausschließliche Stromnutzung im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Altanlagen weist geringere Nettoenergieerträge zwischen $3,8$ und $10,9 \text{ MWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aus (Abbildung 14).

Die deutlichen Differenzen zwischen den Grünlandstandorten sind stark vom Ertragspotenzial der Standorte beeinflusst. Am jeweiligen Standort sind die Unterschiede in den Nettoenergieerträgen der untersuchten Bewirtschaftungsvarianten nicht ganz so stark ausgeprägt. Für die Auswahl einer aus energetischer Sicht zu bevorzugenden Bewirtschaftungsvariante ist zusätzlich das Output/Input-Verhältnis zu betrachten (Abbildung 13 und Abbildung 15). Diese liegt für die Biogasgewinnung in Neuanlagen zwischen $3,7$ und $9,9$ bzw. in Altanlagen zwischen $2,9$ und $7,9$.

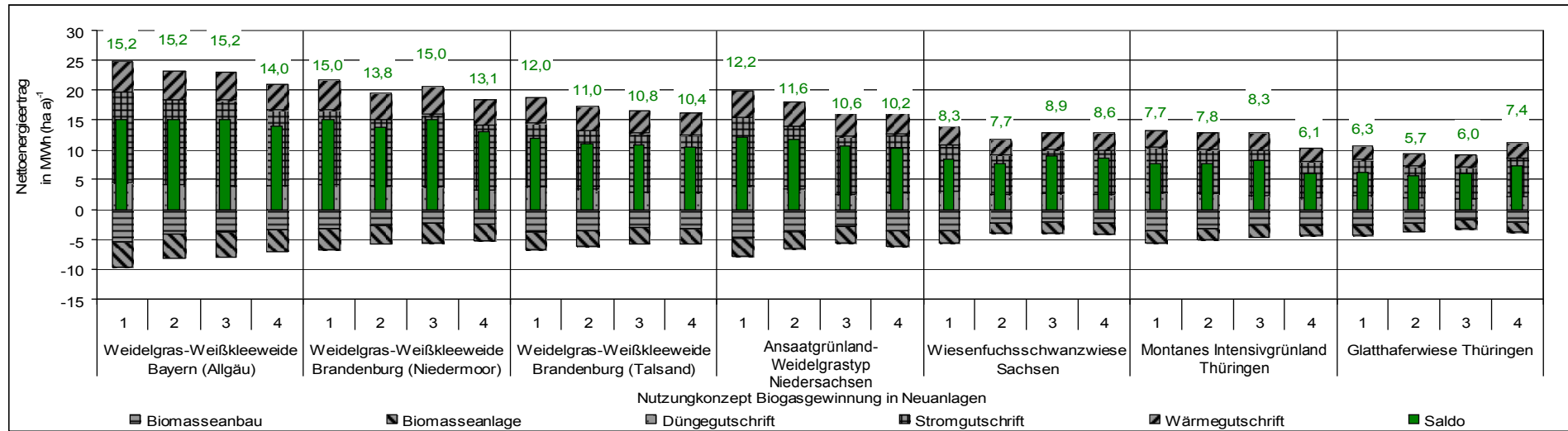


Abbildung 12: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen

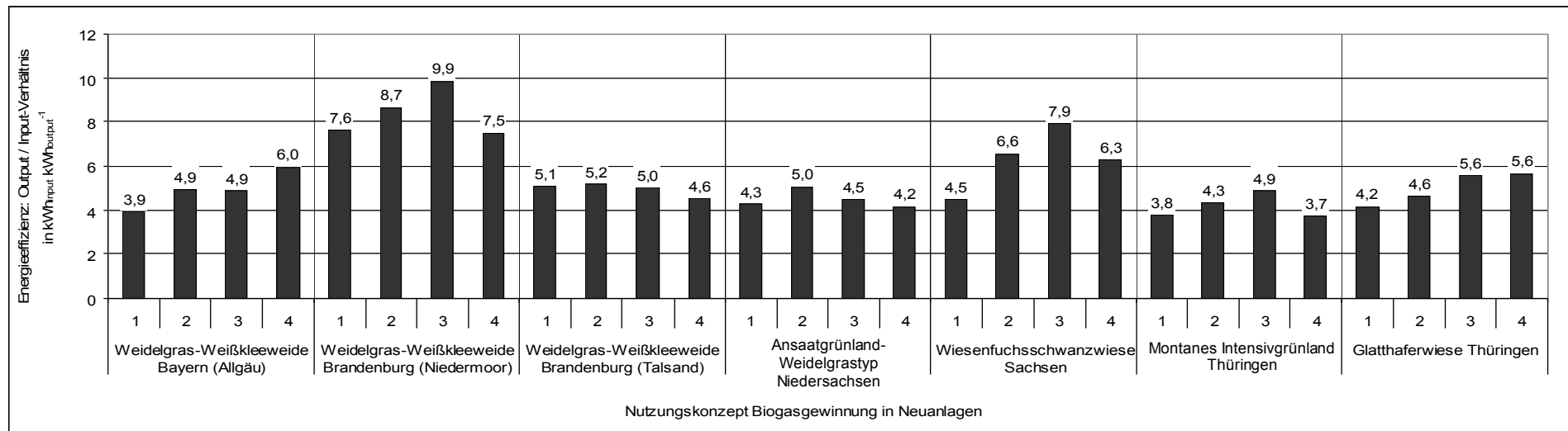


Abbildung 13: Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung der Dauergrünland-Typen aus der Biogasgewinnung in Neuanlagen

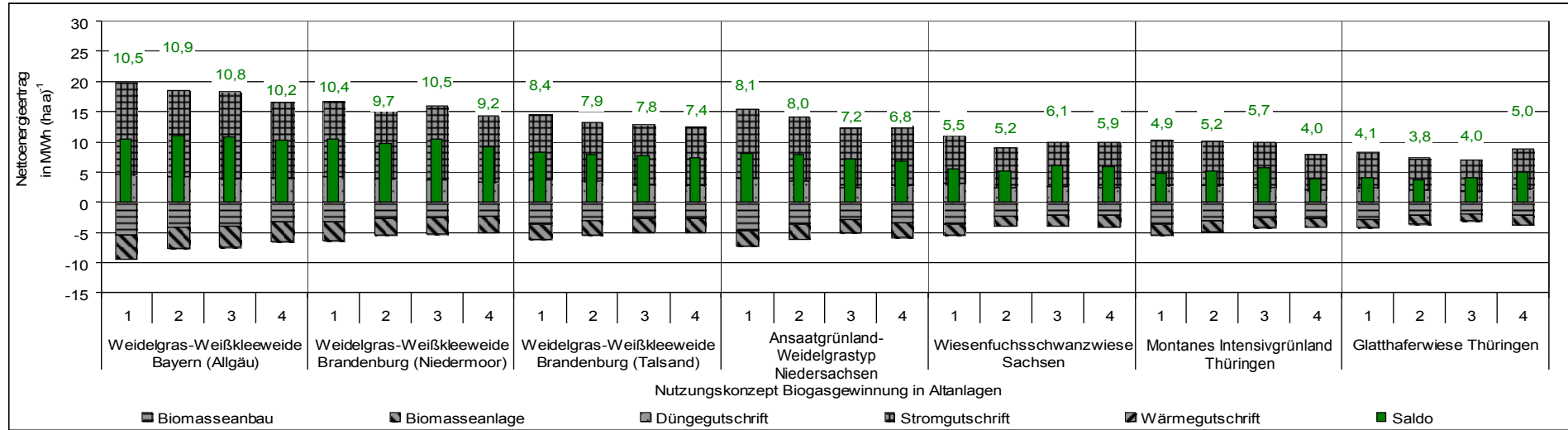


Abbildung 14: Energiebilanzen und Nettoenergieerträge der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogaserzeugung in Altanlagen

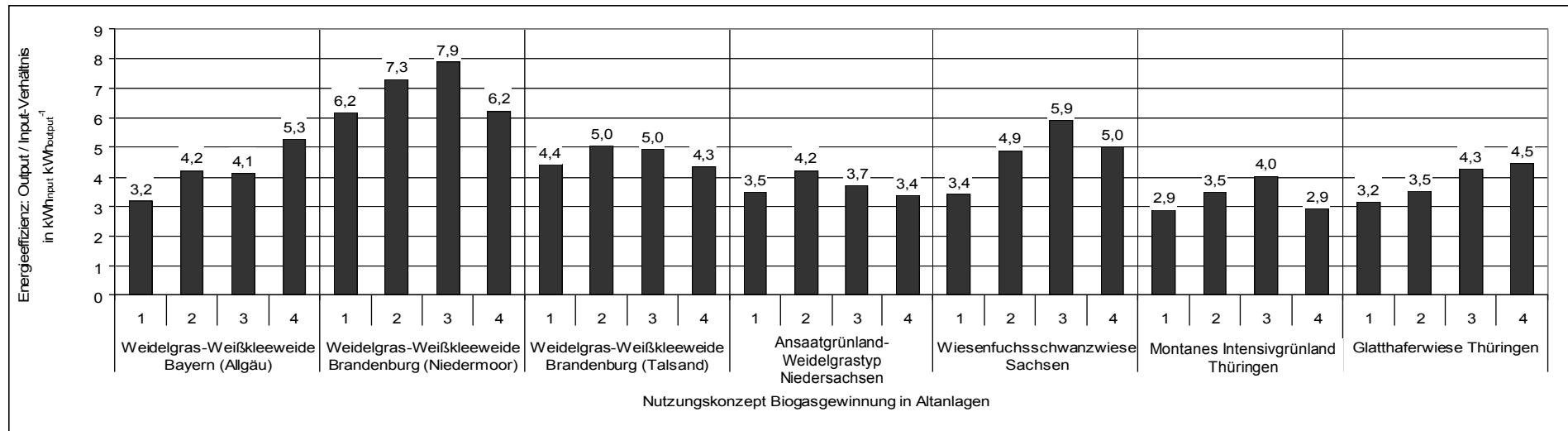


Abbildung 15: Output-/Input-Verhältnis der Energiebereitstellung der Dauergrünland-Typen im Nutzungskonzept der Biogaserzeugung in Altanlagen

Treibhausgasbilanzen der Biogasgewinnung

Die Treibhausgaseinsparpotenziale im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen liegen standort- und variantenabhängig zwischen 3,0 t CO₂eq je Hektar und Jahr für die Glatthaferwiese in Thüringen und 9,8 t CO₂eq je Hektar und Jahr auf der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) (Abbildung 16). Durch die ausschließliche Stromnutzung fallen die Treibhausgaseinsparpotenziale im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Altanlagen mit 2,3 bis 8,4 t CO₂eq je Hektar und Jahr geringer aus (Abbildung 17).

Die Unterschiede im Treibhausgaseinsparpotenzial zwischen den Bewirtschaftungsvarianten eines Grünlandstandortes belaufen sich im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen auf minimal 0,6 t CO₂eq je Hektar und Jahr am Standort der Weidelgras-Weißkleeweide in Brandenburg Talsand (Nutzungsvariante 1 und 4) und maximal auf 1,7 t CO₂eq je Hektar und Jahr am Standort des Montanen Intensivgrünlands in Thüringen (Nutzungsvariante 3 und 4).

Die Treibhausgasemissionen werden wesentlich durch die Aufwendungen zur Düngung, insbesondere der Stickstoffdüngung, bestimmt. So weisen die Bewirtschaftungsvarianten mit den höchsten Stickstoffgaben auch die deutlich höchsten Treibhausgasemissionen aus. Den größten Anteil an den Emissionen aus der Bereitstellung der Grassilage haben die direkten und indirekten Lachgasemissionen, die durch die Ausbringung von mineralischen oder organischen Stickstoffdüngern sowie den Verbleib von stickstoffhaltigen Ernteresten entstehen. Der Anteil der mineralischen Düngung, der ergänzend zur Gärrestdüngung appliziert werden muss, bestimmt zusätzlich das Bilanzergebnis.

Die Treibhausgaseinsparungen pro Kilowattstunde elektrisch liegen im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen zwischen 475 und 774 g CO₂eq inklusive Wärmegutschrift. Durch die Nutzung in Altanlagen werden zwischen 354 und 656 g CO₂eq kWh_{el}⁻¹ eingespart. Auf Grundlage dieses Kennwertes sind im Mittel der Versuchsjahre die Nutzungsvariante 3 an den Grünlandstandorten der Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg (Niedermoor und Talsand) und dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp in Niedersachsen sowie der Wiesenfuchsschwanzwiese in Sachsen und dem Montanen Intensivgrünland in Thüringen und die Nutzungsvariante 4 an den Standorten der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) und der Glatthaferwiese in Thüringen zu bevorzugen.

Die Treibhausgasreduzierungen aller Nutzungsvarianten und Standorte im Vergleich zur Energiebereitstellung aus fossilen Energieträgern liegen bei 47 % bis 80 % in Altanlagen und bei 54 % bis 82 % in Neuanlagen.

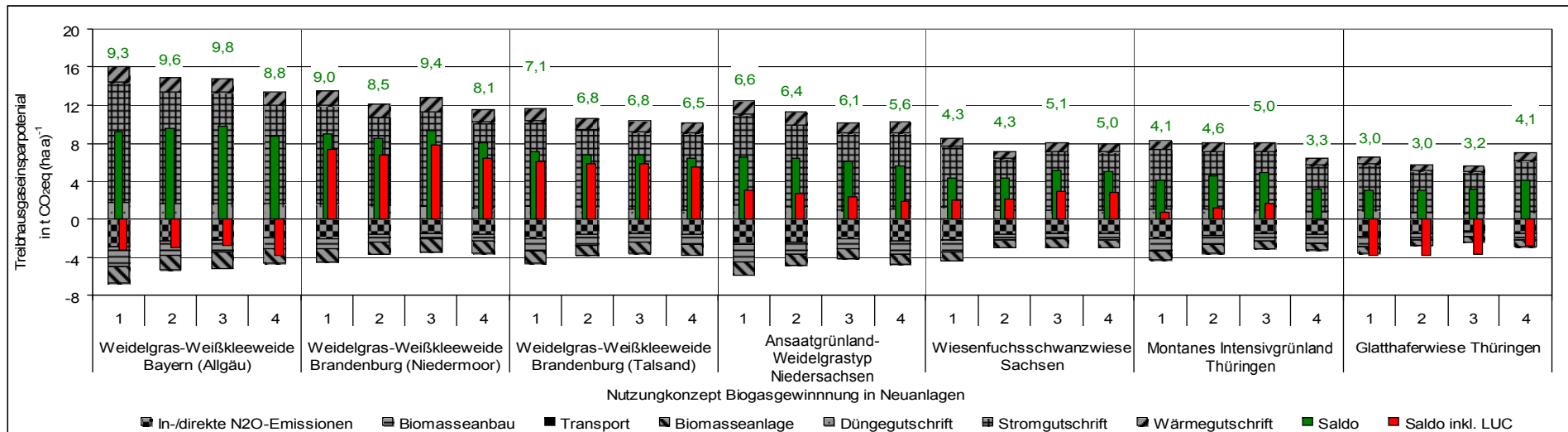


Abbildung 16: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der DGL-Typen im Nutzungskonzept der **Biogasgewinnung in Neuanlagen**

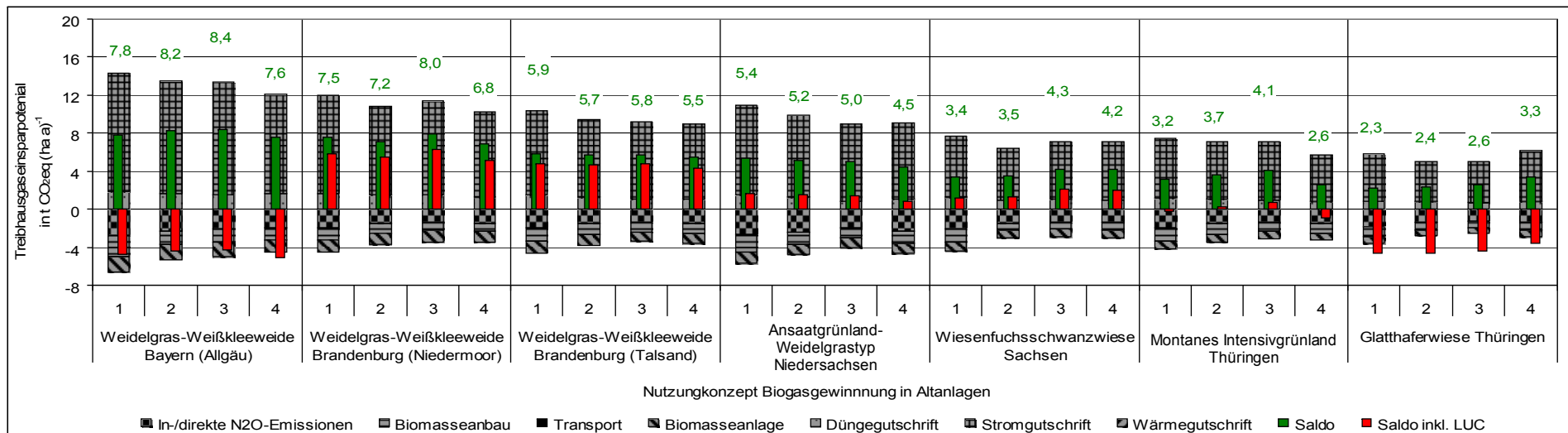


Abbildung 17: Treibhausgasbilanzen und Treibhausgaseinsparpotentiale der DGL-Typen im Nutzungskonzept der **Biogasgewinnung in Altanlagen**

Unter Berücksichtigung der Annahmen, dass zunächst eine Intensivierung der Grünlandflächen für die Futterproduktion nötig ist, um Flächen für die Biogasgewinnung freizusetzen, ändern sich die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzen (Saldo inkl. LUC) deutlich. Der Intensivierungsbedarf am jeweiligen Standort, d.h. wie viel Hektar intensiviert werden müssen (von Variante 4 auf Variante1), um einen Hektar für die Biogasproduktion freizusetzen und die gleiche Menge an Futterenergie bereitzustellen, führt zu einer erheblichen Verringerung des Treibhausgasreduzierungspotenzials.

Im Mittel der Versuchsjahre müssen in der Futterproduktion 1,3 bis 8,7 Hektar Grünlandfläche intensiviert werden, um einen Hektar für die Biogaserzeugung freizusetzen. Durch die Intensivierung werden Treibhausgasemissionen zwischen 1,1 t CO₂eq und 12,6 t CO₂eq je Hektar freigesetzte Grünlandfläche verursacht (Tabelle 55).

Tabelle 55: Landnutzungsreferenz Intensivierung: mittlerer Flächenbedarf und Treibhausgasemissionen der Versuchsjahre (2011-2013)

Dauergrünlandpflanzen- gesellschaft Standort	Intensivierungsbedarf [ha]	Treibhausgasemissionen [t CO ₂ eq ha _{Biogas} ⁻¹]
Ansaatgrünland-Weidelgras Niedersachsen	4,7	3,6
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	2,0	1,7
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	1,3	1,1
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	1,7	2,2
Glatthaferwiese Thüringen	8,7	6,9
Montanes Intensivgrünland Thüringen	4,3	3,4
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	7,0	12,6

An den Grünlandstandorten der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) und der Glatthaferwiese in Thüringen werden im Mittel der Versuchsjahre durch den Aufwand für die Intensivierung sogar deutlich mehr Treibhausgase emittiert, als durch die Biogasgewinnung eingespart werden können.

4.5. Wirtschaftlichkeit der Verwertung von Dauergrünlandbiomasse

4.5.1. Biomasseherstellungskosten

Die Biomasseherstellungskosten wurden im Mittel der Versuchsjahre 2011 bis 2013 sowohl pro Fläche als auch pro Tonne TM der Silage, pro Tonne Silage (FM) (Tabelle 56) und pro Kubikmeter Methan berechnet.

Große Unterschiede gab es sowohl zwischen den Nutzungsvarianten gleicher Dauergrünlandpflanzengesellschaften als auch zwischen den verschiedenen Dauergrünlandpflanzengesellschaften. Mit steigender Schnitthäufigkeit und höherer Düngung stiegen die Herstellungskosten pro Hektar an. Aufgrund der mit steigender Bewirtschaftungsintensität ebenfalls steigenden Erträge, relativierten sich die hohen Herstellungskosten pro Fläche bezogen auf die Tonne TM bzw. Silage. Folglich hatten die höchsten Herstellungskosten pro Hektar mehrheitlich die ersten beiden Nutzungsvarianten. Unter den Dauergrünlandpflanzengesellschaften waren die Herstellungskosten pro Hektar bei den weidelgrasbetonten Dauergrünlandpflanzengesellschaften Niedersachsen bzw. Bayern (Allgäu) mit 1 401,34 € ha⁻¹ bis 1 621,70 € ha⁻¹ bzw. 1 543,70 bis 1 949,27 € ha⁻¹ am höchsten, während die Glatthaferwiese (Thüringen) mit 929,25 € ha⁻¹ bis 1 137,73 € ha⁻¹ die niedrigsten Herstellungskosten pro Hektar hatte. Die anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften lagen mit Herstellungskosten von 1 022,30 € ha⁻¹ bis 1 374,78 € ha⁻¹ dazwischen.

Die niedrigsten Herstellungskosten pro Tonne TM bzw. Tonne Silage (FM) hatten die beiden Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg mit 117,37 € t⁻¹ TM bis 141,33 € t⁻¹ TM bzw. 39,33 € t⁻¹ Silage bis 48,46 € t⁻¹ Silage, wobei die Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) etwas günstiger war. Die höchsten Herstellungskosten pro Tonne TM bzw. Silage (FM) hatte die Glatthaferwiese Thüringen mit 160,22 € t⁻¹ TM bis 223,08 € t⁻¹ TM bzw. 57,86 € t⁻¹ Silage bis 72,55 € t⁻¹ Silage. Das Montane Intensivgrünland Thüringen bzw. die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) waren mit Herstellungskosten zwischen 179,86 € t⁻¹ TM bis 209,92 € t⁻¹ TM bzw. 152,72 € t⁻¹ TM bis 174,04 € t⁻¹ TM und 51,11 € t⁻¹ Silage bis 66,67 € t⁻¹ Silage bzw. 48,01 € t⁻¹ Silage und 55,74 € t⁻¹ Silage günstiger als der Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen sowie die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen, die Herstellungskosten zwischen 138,15 € t⁻¹ TM und 199,56 € t⁻¹ TM bzw. 53,83 € t⁻¹ Silage bis 68,38 € t⁻¹ Silage hatten.

Tabelle 56: Biomasseherstellungskosten [Euro] bezogen auf Hektar, Tonne Silage-TM und Tonne Silage-FM, die Netto-TM-Erträge und die Silageerträge als Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 (fettmarkierte Werte sind jeweils die günstigste Nutzungsvarianten)

Nutzungs- variante	Netto-TM- Ertrag [t ha ⁻¹]	Silage- ertrag [t ha ⁻¹]	Herstellungskosten		
			[€ ha ⁻¹]	[€ t ⁻¹ TM]	[€ t ⁻¹ Silage]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen					
1	9,2	26,57	1 621,70	176,27	61,04
2	8,3	23,89	1 475,97	177,83	61,78
3	7,9	22,31	1 401,34	177,38	62,82
4	7,7	22,00	1 504,26	195,36	68,38
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)					
1	10,4	29,91	1 357,39	130,52	45,38
2	9,6	26,71	1 233,32	128,47	46,17
3	10,1	31,82	1 251,62	123,92	39,33
4	9,8	26,20	1 150,21	117,37	43,90
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)					
1	9,2	26,83	1 300,20	141,33	48,46
2	8,5	25,54	1 138,58	133,95	44,58
3	8,5	26,30	1 179,39	138,75	44,84
4	8,7	24,86	1 066,68	122,61	42,91
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen					
1	7,1	21,64	1 374,78	193,63	63,53
2	6,0	17,86	1 197,34	199,56	67,04
3	6,8	18,59	1 109,33	163,14	59,67
4	7,4	18,99	1 022,30	138,15	53,83
Glatthaferwiese Thüringen					
1	5,1	16,29	1 137,73	223,08	69,84
2	4,7	14,26	1 008,53	214,58	70,72
3	4,6	12,92	937,41	203,78	72,55
4	5,8	16,06	929,25	160,22	57,86
Montanes Intensivgrünland Thüringen					
1	6,4	22,79	1 343,49	209,92	58,95
2	6,2	23,61	1 206,72	194,63	51,11
3	6,3	20,24	1 133,09	179,86	55,98
4	5,1	15,60	1 040,02	203,93	66,67
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)					
1	11,2	34,97	1 949,27	174,04	55,74
2	10,9	34,67	1 664,65	152,72	48,01
3	11,1	34,01	1 697,39	152,92	49,91
4	9,8	30,17	1 543,70	157,52	51,17

Bezogen auf den Kubikmeter Methan hatten die Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg mit 0,41 € m⁻³_N bis 0,48 € m⁻³_N die niedrigsten Herstellungskosten, wobei die Weidelgras-Weißkleeweide auf dem Niedermoor-Standort noch günstiger war. Die höchsten Methanherstellungskosten hatten die Nutzungsvarianten der Glatthaferwiese Thüringen mit Herstel-

lungskosten zwischen $0,57 \text{ € m}^{-3}_N$ und $0,76 \text{ € m}^{-3}_N$. Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) bzw. dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen lagen die Methanherstellungskosten mit $0,49 \text{ € m}^{-3}_N$ bis $0,54 \text{ € m}^{-3}_N$ bzw. $0,56 \text{ € m}^{-3}_N$ bis $0,62 \text{ € m}^{-3}_N$ höher als bei den Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg, jedoch niedriger als bei der Wiesenfuchschwanzwiese Sachsen bzw. dem Montanen Intensivgrünland Thüringen mit Methanherstellungskosten zwischen $0,55 \text{ € m}^{-3}_N$ und $0,73 \text{ € m}^{-3}_N$ bzw. $0,60 \text{ € m}^{-3}_N$ und $0,71 \text{ € m}^{-3}_N$. Die geringsten Unterschiede zwischen den niedrigsten und höchsten Methanherstellungskosten hatten die Weidelgras-Weißkleeweiden mit $0,03 \text{ € m}^{-3}_N$ (Brandenburg, Niedermoor), $0,04 \text{ € m}^{-3}_N$ (Brandenburg, Talsand) und $0,05 \text{ € m}^{-3}_N$ (Bayern, Allgäu) sowie das Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen mit $0,06 \text{ € m}^{-3}_N$. Dagegen fielen die Unterschiede mit $0,11 \text{ € m}^{-3}_N$ bei dem Montanen Intensivgrünland Thüringen, $0,18 \text{ € m}^{-3}_N$ bei der Weisenfuchschwanzwiese Sachsen und $0,19 \text{ € m}^{-3}_N$ bei der Glatthaferwiese Thüringen deutlich höher aus.

Als kostengünstigste Nutzungsvarianten pro Fläche stellten sich die Nutzungsvariante 3 bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen und die Nutzungsvariante 4 bei den anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften heraus. Pro Tonne Silage war die Nutzungsvariante 1 die günstigste bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp in Niedersachsen und die Nutzungsvariante 2 die günstigste bei der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) sowie dem Montanen Intensivgrünland Thüringen. Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) erwies sich die Nutzungsvariante 3 als günstigste Option pro Tonne Silage. Die Nutzungsvariante 4 konnte bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand), der Wiesenfuchschwanzwiese Sachsen sowie der Glatthaferwiese Thüringen als günstigste Nutzungsvariante pro Tonne Silage identifiziert werden.

Die Unterschiede zwischen den beiden jeweils günstigsten Nutzungsvarianten am Standort betragen pro Hektar zwischen $8,16 \text{ € ha}^{-1}$ (Glatthaferwiese Thüringen) und $120,95 \text{ € ha}^{-1}$ (Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)) sowie pro Tonne TM zwischen $0,20 \text{ € t}^{-1} \text{ TM}$ (Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)) und $43,56 \text{ € t}^{-1} \text{ TM}$ (Glatthaferwiese Thüringen). Der Unterschied pro Tonne Silage betrug zwischen $0,74 \text{ € t}^{-1} \text{ Silage}$ (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen) und $11,98 \text{ € t}^{-1} \text{ Silage}$ (Glatthaferwiese Thüringen).

4.5.2. Verfahrensbewertung der Verwertung von Dauergrünlandbiomasse

Ökonomische Bewertung Heuverbrennung

Bereitstellungskosten von Heu

Die Bereitstellungskosten von Heuquaderballen unter Einbeziehung der Transportkosten sowie der bundeslandspezifischen Flächenprämien belaufen sich für das modellierte Biomasse-Heizwerk (300 kW) auf $38 - 277 \text{ € t TM}^{-1}$ und für das modellierte Biomasse-Heizkraftwerk (8 MW) auf $48 - 288 \text{ € t TM}^{-1}$, wobei sich die deutlichen Kostenunterschiede zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften vorrangig durch das Ertragspotenzial der Dauergrünlandpflanzengesellschaft, aber auch durch die Bewirtschaftungsintensität der Nutzungsvariante erklären (Tabelle 57). Bei zentraler Verbrennung sind die Bereitstellungskosten aufgrund des größeren Einzugsgebietes der Verbrennungsanlage um $6 - 11 \text{ € t TM}^{-1}$ höher als bei dezentraler Verbrennung.

Tabelle 57: Bereitstellungskosten von Heuquaderballen frei Biomasseheiz(kraft)werk

Dauergrünlandpflanzen-gesellschaft Standort	Nutzungs-variante	Biomasse-Heizwerk 300 kW _{th}			Biomasse-Heizkraftwerk 2,5 MW _{el} , 5,5 MW _{th}		
		Transport-entfernung	Bereitstel-lungskosten frei Anlage		Transport-entfernung	Bereitstel-lungskosten frei Anlage	
		[km]	[€ t TM ⁻¹]	[€ MWh ⁻¹]	[km]	[€ t TM ⁻¹]	[€ MWh ⁻¹]
Schnabelseggenried Niedersachsen	1	6	64	13,5	29	71	14,9
	4	10	38	8,2	50	48	10,4
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg	2	6	73	15,5	27	79	16,9
	3	7	51	10,9	34	59	12,5
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen	3	10	76	16,4	50	87	18,6
	4	14	59	13,4	70	72	16,4
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen	2	9	182	40,4	43	191	42,4
	3	11	277	59,5	56	288	61,9
Pfeifengras-Streuwiese Bayern	2	11	50	10,6	56	61	13,0

Anhand des Kriteriums Bereitstellungskosten sind somit für die einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften die folgenden, den Erhaltungszustand sichernden Bewirtschaftungsvarianten am günstigsten:

Schnabelseggenried Niedersachsen: Nutzungsvariante 4

(Mähen und Räumen alle 2 Jahre Mitte September, keine Düngung)

Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg: Nutzungsvariante 3

(Mähen und Räumen jedes Jahr Mitte September, keine Düngung)

Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen: Nutzungsvariante 4

(Mähen und Räumen alle 2 Jahre Mitte August, keine Düngung)

Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen: Nutzungsvariante 2

(Mähen und Räumen jedes Jahr Ende Juni und Mitte September, Düngung 20 kg P und 110 kg N)

Pfeifengras-Streuwiese Bayern: Nutzungsvariante 2

(Mähen und Räumen jedes Jahr Mitte September, keine Düngung)

Wirtschaftlichkeit der Heuverbrennungsanlagen

Bei den Verbrennungsanlagen variieren innerhalb eines Anlagenkonzeptes ausschließlich die Bereitstellungskosten für die Biomasse der verschiedenen Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten (vgl. Tabelle 57). Alle weiteren Kosten und Erlöse sind innerhalb einer Anlagengröße konstant. Für die wirtschaftliche Bewertung der Anlagenkonzepte sind die Brennstoffkosten, Gesamtkosten und Ergebnisse sowie die Strom- und Wärmegestehungskosten angegeben (Tabelle 58). Eine detaillierte Zusammenstellung für die einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten befindet sich zusätzlich im Anhang (Tabelle A 36 und Tabelle A 37).

Tabelle 58: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Heuverbrennung

Parameter	Einheit	Biomasse- Heizwerk 300 kW _{th}	Biomasse- Heizkraftwerk 2,5 MW _{el} , 5,5 MW _{th}
jährliche Kosten, davon			
Abschreibung auf Investition	T€ a ⁻¹	28	984
Reparatur und Wartung	T€ a ⁻¹	5	188
Betriebsmittel und Ascheentsorgung	T€ a ⁻¹	4	125
Versicherung und Sonstiges	T€ a ⁻¹	7	250
Lohnkosten	T€ a ⁻¹	8	240
Stromzukauf	T€ a ⁻¹	2	40
Ölkosten	T€ a ⁻¹	16	
Wärmenetzkosten ges.	T€ a ⁻¹	13	263
Brennstoffkosten	T€ a ⁻¹	8 - 56	902 - 2 170
Gesamtkosten	T€ a⁻¹	92 - 140	2 991 - 4 259
Erlöse:			
Strom (EEG 2012)	T€ a ⁻¹		2 133
Wärme (7,5 ct kWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹		1 774
Ergebnis	T€ a ⁻¹		-352 - 916
Grenzwärmepreis	ct kWh _{th} ⁻¹		3,6 - 9,0
Wärmegestehungskosten		10,2 - 15,6	
Stromgestehungskosten inkl. Wärmegutschrift	ct kWh _{el} ⁻¹		9,7 - 19,9

Die **dezentrale Verbrennung** im modellierten Biomasseheizwerk 300kW_{th} zur alleinigen Wärmenutzung weist in Abhängigkeit von den Substratkosten jährliche Gesamtkosten zwischen 92 und 140 T€ a⁻¹ aus. Der Anteil der Brennstoffkosten an den Gesamtkosten beträgt 9 % (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) bis 40 % (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 3). Nach den Brennstoffkosten sind die größten Kostenträger die jährlichen Zins und Tilgungszahlungen gefolgt von den Ölkosten für den Spitzenlastkessel und den jährlichen Kosten für das Wärmenetz.

Die Wärmegestehungskosten liegen für das modellierte Biomasseheizwerk (300 kW) mit 10,2 bis 15,6 ct kWh_{th}⁻¹ deutlich über dem aktuellen Marktpreis für Fernwärme von 7,5 ct kWh_{th}⁻¹. Betrachtet man allerdings die Heizkosten von Heizsystemen zur Versorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern im Leistungsbereich zwischen 15 und 30 kW, liegen diese beispielsweise für Heizöl bei 11,7 bis 13,0 ct kWh_{th}⁻¹, für Holzpellets bei 11,2 bis 13,4 ct kWh_{th}⁻¹ (berechnet nach TFZ-MERKBLATT 14EBR006, 2014). Somit wäre die dezentrale Wärmeversorgung in Abhängigkeit von den Brennstoffkosten eine interessante Alternative zur Einzelfeuerung.

Für die **zentrale Verbrennung** zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung im modellierten Biomasseheizkraftwerk (2,5 MW_{el}, 5,5 MW_{th}) liegen die jährlichen Gesamtkosten zwischen 2 991 und 4 259 T€ a⁻¹. Der Anteil der Brennstoffkosten inklusive der Holzkosten macht 30 % (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) bis 50 % (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 3) aus. Die Erlöse der Anlage setzen sich zu rund 55 % aus dem Verkauf von Strom mit 17,1 ct kWh_{el}⁻¹ (EEG 2012) und zu rund 45 % aus dem Verkauf von Wärme zusammen.

Unter den getroffenen Annahmen und bei alleiniger Betrachtung der wirtschaftlich günstigsten Nutzungsvarianten können an allen Standorten positive Ergebnisse von 136 T€ a⁻¹ (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 2) bis 916 T€ a⁻¹ (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) erzielt werden (im Anhang Tabelle A 37). Ein weiterer wichtiger Kennwert sind die Stromgestehungskosten. Diese liegen unter Berücksichtigung der Wärmeerlöse zwischen 9,7 ct kWh_{el}⁻¹ (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) und 16,0 ct kWh_{el}⁻¹ (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 2) und somit unter der EEG-Vergütung von 17,1 ct kWh_{el}⁻¹. Allein die Bewirtschaftungsvariante 3 der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese in Thüringen weist Verluste in Höhe von 352 T€ a⁻¹ und Stromgestehungskosten von 19,9 ct kWh_{el}⁻¹ aus. Zur Deckung der Anlagenkosten wäre entweder eine zusätzliche Anlagenprämie von 2,8 ct kWh_{el}⁻¹, bzw. ein zu erzielender Wärmepreis von 9,0 ct kWh_{th}⁻¹ nötig.

Für eine gesicherte Substratversorgung wurde in diesem Nutzungskonzept der zusätzliche Einsatz von Holzhackschnitzeln (50 % des Biomassebedarfs) unterstellt. Somit ist die Konkurrenzfähigkeit der Grünlandbiomasse gegenüber dem Einsatzstoff Holz ein entscheidender Faktor. Bei einem angenommenen Holzhackschnitzelpreis von 25,4 € MWh⁻¹ bzw. 121 € t TM⁻¹ ist diese auch ohne gesonderte Grünlandförderung auf fast allen Grünlandstandorten gegeben (im Anhang Tabelle A 37). Ausgenommen ist die Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese in Thüringen, welche neben der bundeslandspezifischen Flächenprämie einen zusätzlichen Förderbedarf in Höhe von 307 bis 404 € ha⁻¹ ausweist.

Ökonomische Bewertung der Biogaserzeugung

Bereitstellungskosten von Grassilage

Unter Einbezug der bundeslandspezifischen Flächenprämie belaufen sich die Bereitstellungskosten von Grassilage frei Biogasanlage für Altanlagen auf 31,4 - 54,3 € t FM⁻¹ und für Neuanlagen auf 31,5 - 55,6 € t FM⁻¹. Die Kostenunterschiede zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften liegen bei bis zu 24 € t FM⁻¹. Innerhalb eines Grünlandstandortes treten Kostendifferenzen zwischen den Nutzungsvarianten von bis zu 12 € t FM⁻¹ auf (Tabelle 59).

Tabelle 59: Bereitstellungskosten von Grassilage frei Biogasanlage (fettgedruckt sind jeweils die vorzüglichsten Nutzungsvarianten bzw. die besten Werte)

Dauergrünland- pflanzen- gesellschaft Standort	Nut- zungs- variante	Silage- ertrag [t FM ha ⁻¹]	Methan- ausbeute [m ³ t FM ⁻¹]	Bereitstellungskosten frei Anlage			
				Altanlage		Neuanlage	
				inkl. Prämie		inkl. Prämie	
				[€ t FM ⁻¹]	[€ MWh ⁻¹]	[€ t FM ⁻¹]	[€ MWh ⁻¹]
Ansaatgrünland- Weidelgras Niedersachsen	1	28,0	103	46,9	45,7	47,7	46,5
	2	23,9	110	48,8	44,7	48,4	44,3
	3	23,3	105	46,8	44,6	48,0	45,7
	4	22,0	110	54,3	49,5	52,7	48,1
Weidelgras- Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	1	29,9	105	36,9	35,2	38,1	36,4
	2	26,7	106	36,7	34,8	37,9	36,1
	3	31,8	95	31,4	33,1	31,5	33,3
	4	26,2	105	34,2	32,7	35,5	33,9
Weidelgras- Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	1	26,8	101	39,0	38,7	41,9	41,6
	2	25,5	97	34,6	35,8	40,7	42,1
	3	26,3	93	35,2	37,9	38,7	41,7
	4	24,9	97	32,7	33,7	38,8	39,9
Wiesenfuchs- schwanzwiese Sachsen	1	21,6	90	50,3	56,2	51,8	57,9
	2	17,9	92	51,0	55,7	55,6	60,8
	3	18,6	100	44,2	44,5	48,7	49,0
	4	19,0	98	38,7	39,6	40,0	40,9
Glatthaferwiese Thüringen	1	16,3	92	52,8	57,5	54,6	59,3
	2	14,3	93	51,3	55,6	53,0	57,5
	3	12,9	102	51,1	50,3	53,0	52,2
	4	16,1	102	40,6	40,1	42,2	41,6
Montanes Inten- sivgrünland Thüringen	1	22,8	83	46,8	56,5	48,3	58,3
	2	23,6	78	39,4	50,8	43,0	55,4
	3	20,2	93	42,3	45,5	43,5	46,9
	4	15,6	96	48,9	51,1	54,4	56,8
Weidelgras- Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	1	35,0	104	46,5	44,9	48,8	47,1
	2	34,7	98	38,7	39,4	38,7	39,4
	3	34,0	100	40,4	40,4	40,9	40,9
	4	30,2	100	40,5	40,6	40,8	40,9

Neben den Bereitstellungskosten pro Tonne Frischmasse sind die dazugehörigen Methan-
ausbeuten und davon abhängigen Energiegehalte von entscheidender Bedeutung für die
wirtschaftliche Bewertung. Deshalb sind in Tabelle 59 zusätzlich die Kosten pro Megawatt-
stunde angegeben. So weist zwar beispielsweise die Nutzungsvariante 2 des Montanen In-
tensivgrünlands in Thüringen die niedrigsten Kosten pro Tonne Frischmasse aus, bezogen
auf die Megawattstunde ist allerdings die Nutzungsvariante 3 aufgrund der höheren Methan-
ausbeute kostengünstiger.

Wirtschaftlichkeit der Anlagenkonzepte der Biogasgewinnung

Die ökonomische Bewertung der Biogasgewinnung erfolgt für die beiden Nutzungskonzepte anhand der bundeslandspezifischen Anlagengröße (Kap. 3.5.2, Tabelle 19). Innerhalb einer Anlagengröße sind alle jährlichen Kosten und Erlöse mit Ausnahme der Bereitstellungskosten der Grassilage (vgl. Tabelle 59) identisch. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen in den Nutzungskonzepten werden deshalb die Kennwerte der Höhe der Substratkosten, die Gesamtkosten und Einnahmen sowie die Stromgestehungskosten angegeben. Eine detaillierte Auswertung der Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten ist zusätzlich im Anhang (Tabelle A 38 bis Tabelle A 43) aufgeführt. Zunächst wird gezeigt, inwiefern sich der Neubau von speziell für die Grasvergärung geplanten Biogasanlagen rentiert (Tabelle 60). Anschließend wird die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Grassilage in bereits bestehenden, maisbetonten Biogasanlagen dargestellt (Tabelle 61).

Tabelle 60: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasgewinnung in Neuanlagen

Parameter		500 kW	400 kW	250 kW
jährliche Kosten, davon				
Abschreibung auf Investition	T€ a ⁻¹	243	194	162
Reparatur und Wartung	T€ a ⁻¹	63	51	42
Versicherung und Sonstiges	T€ a ⁻¹	54	43	36
Lohnkosten	T€ a ⁻¹	30	26	18
Stromzukauf	T€ a ⁻¹	67	54	34
Ölkosten	T€ a ⁻¹			17
Wärmenetzkosten ges.	T€ a ⁻¹	27	22	13
Einsatzstoffkosten	T€ a ⁻¹	344 - 435	311 - 401	172 - 193
davon Gras	T€ a ⁻¹	194 - 297	193 - 279	105 - 129
Gesamtkosten	T€ a⁻¹	829 - 919	701 - 791	493 - 515
Erlöse:				
Strom (EEG 2012)	T€ a ⁻¹	746	602	385
Wärme (7,5 ct kWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹	116	92	50
Ergebnis:	T€ a⁻¹	-58 - 33	-97 - -7	-79 - -58
Stromgestehungskosten inkl. Wärmegutschrift	ct kWh _{el} ⁻¹	17,8 - 20,1	19,0 - 21,8	22,2 - 23,2
EEG-Vergütung (2012)	ct kWh _{el} ⁻¹	18,6	18,8	19,3
zu erzielender Wärmepreis	ct kWh _{th} ⁻¹	5,4 - 11,3	8,1 - 15,4	16,2 - 19,4

Da für den Bau der speziell für die Grasvergärung ausgelegten Biogasanlagen 20 % höhere Investitionskosten veranschlagt wurden, erweist sich ein rentabler Betrieb solcher Anlagen unter den angenommenen Vergütungssätzen für Strom (EEG 2012) und Wärme deutlich schwierig. Ohne Berücksichtigung der Substratkosten liegen die jährlichen Zins- und Tilgungskosten bei rund 50 % der Anlagenkosten inklusive Wärmenetzkosten.

Den größten Anteil an den jährlichen Gesamtkosten der Anlagen nehmen die Einsatzstoffkosten mit rund 35 bis 50 % ein, wobei die alleinigen Kosten der Grassilage (40 % des Einsatzstoffmixes) bis zu 70 % der Einsatzstoffkosten ausmachen. Kostengünstige und energie-

reiche Einsatzstoffe sind demnach für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen von entscheidender Bedeutung.

Ausschließlich die Weidelgras-Weißkleeweide am brandenburgischen Niedermoorstandort kann in der angenommenen Biogasanlagengröße von 500 kW positive Ergebnisse erzielen. Diese liegen für die günstigste Nutzungsvariante (3) bei rund 33 T€ a⁻¹. Alle anderen Standorte sind in diesem Konzept mit deutlichen Verlusten verbunden. Bei einem angenommenen Wärmeverkauf von 25 % der produzierten Wärmemenge zu 7,5 ct kWh_{th}⁻¹ liegen die Stromgestehungskosten bei 500 kW-Anlagen bei bis zu 20,1 ct kWh_{el}⁻¹, bei 400 kW-Anlagen bei bis zu 21,8 ct kWh_{el}⁻¹ und bei 250 kW-Anlagen bei bis zu 23,2 ct kWh_{el}⁻¹. Für einen rentablen Betrieb müssten Grasvergärungsanlagen demnach mit 1,5 bis 4,0 ct kWh_{el}⁻¹ zusätzlich unterstützt werden oder deutlich höhere Wärmepreise erzielen.

Tabelle 61: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasgewinnung in Altanlagen

Parameter		500 kW	400 kW	250 kW
jährliche Kosten, davon				
Investitionskosten	T€ a ⁻¹	175	140	117
Reparatur und Wartung	T€ a ⁻¹	46	37	31
Versicherung und Sonstiges	T€ a ⁻¹	39	31	26
Lohnkosten	T€ a ⁻¹	30	26	18
Stromzukauf	T€ a ⁻¹	58	46	29
Ölkosten	T€ a ⁻¹			17
Substratkosten	T€ a ⁻¹	368 - 408	307 - 336	173 - 179
davon Gras	T€ a ⁻¹	70 - 117	68 - 94	39 - 46
Grasbedingte Zusatzkosten	T€ a ⁻¹	6 - 7	4 - 6	3 - 3
Gesamtkosten	T€ a⁻¹	723 - 762	592 - 621	413 - 419
Erlöse:				
Strom (EEG 2009)	T€ a ⁻¹	759	622	416
Ergebnis:	T€ a⁻¹	-3 - 36	1 - 30	-3 - 3
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	18,1 - 19,1	18,5 - 19,4	20,7 - 20,9
EEG-Vergütung (2009)	ct kWh _{el} ⁻¹	19,0	19,4	20,8

Alternativ zum Neubau von Grasvergärungsanlagen ist der Einsatz der Grassilagen in maisbetonten Bestandsanlagen zu bewerten. Dies ist unter den getroffenen Annahmen für alle Anlagengrößen und Grünlandstandorte kostendeckend möglich (im Anhang Tabelle A 41 bis Tabelle A 43). Bis zu einem Grasanteil von ca. 20 % des Einsatzstoffmixes bedarf es keiner zusätzlichen Anpassungen der Anlagentechnik. Allerdings ist mit zusätzlichen Kosten für den höheren Rühraufwand und Verschleiß zu rechnen. Diese grasbedingten Zusatzkosten liegen bei einem angenommenen Grasanteil von 15 % des Einsatzstoffmixes unter 1 % der jährlichen Gesamtkosten der Biogasanlagen. Allerdings ist der Einsatz von Grassilage in solchen Anlagen wirtschaftlich nur sinnvoll, wenn die ursprünglichen Einsatzstoffe nicht mehr in der geforderten Menge vorhanden sind oder die Einsatzstoffpreise über denen der Grassilage inklusive der Zusatzkosten liegen. Da Maissilage der häufigste Einsatzstoff in Biogasanlagen ist, soll folgend die Konkurrenzfähigkeit der Grassilagen gegenüber Maissilage dargestellt werden (Abbildung 18). Dafür wurde angenommen, dass die Grassilage mit einem Maissila-

gepreis von 40 € t FM⁻¹, bei einer durchschnittlichen Methanausbeute der Maissilage von 106 m_N³ t FM⁻¹, konkurrieren muss.

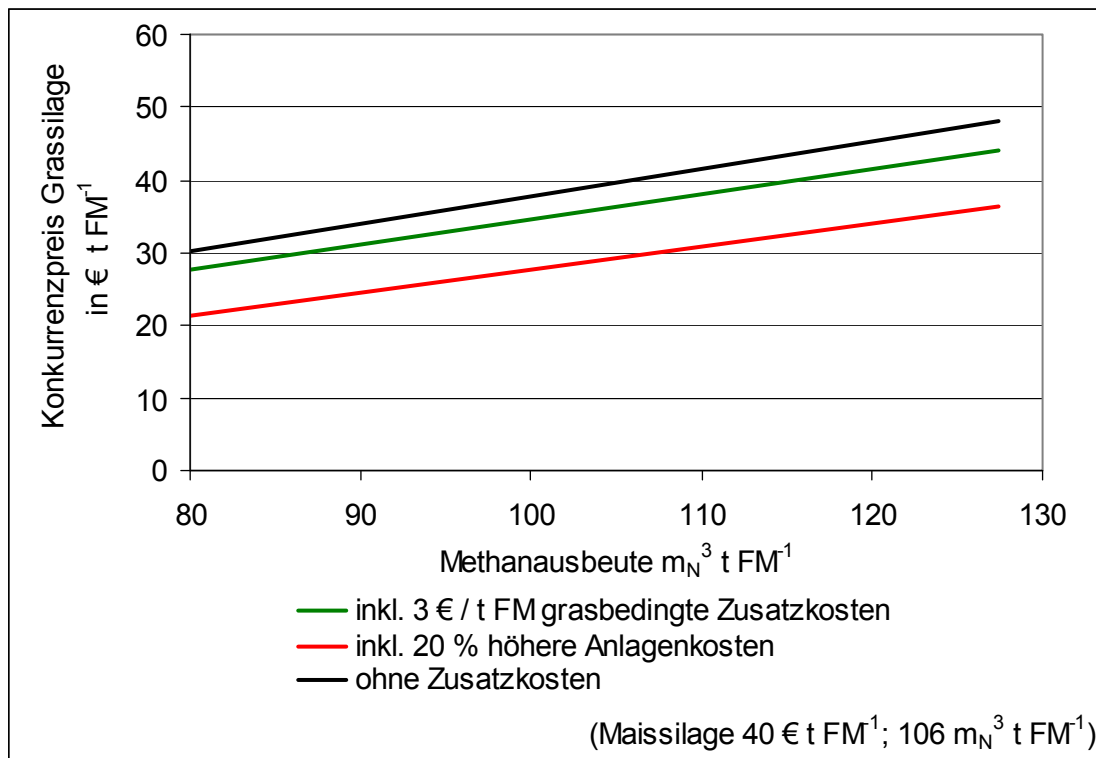


Abbildung 18: Konkurrenzpreis von Grassilage zum Maissilagepreis in Abhängigkeit von der Methanausbeute der Grassilage

Wie aus Tabelle 59 ersichtlich, schwanken die mittleren Methanausbeuten der Grünlandbewirtschaftungsvarianten zwischen 78 m_N³ t FM⁻¹ (Montanes Intensivgrünland Thüringen, Nutzungsvariante 2) und 110 m_N³ t FM⁻¹ (Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen, Nutzungsvarianten 2 und 4). Ohne Berücksichtigung jeglicher Zusatzkosten liegt der Konkurrenzpreis von Grassilagen zwischen 29 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) und 42 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹). Kalkuliert man grasbedingte Zusatzkosten von 3 € pro t Grassilage mit ein, sollte diese in Abhängigkeit von der Methanausbeute nicht teurer als 27 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) bzw. 38 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹) frei Anlage sein. Diese Preisschwellen sind ohne zusätzliche Förderung nur an den beiden Grünlandstandorten in Brandenburg zu erreichen. Der Förderbedarf der anderen Standorte liegt für die wirtschaftlich günstigsten Nutzungsvarianten zwischen 93 und 242 € ha⁻¹.

Bei einem höheren Anteil der Grassilage als 20 % am Einsatzstoffmix der Biogasanlage liegt der Konkurrenzpreis dieser zum Ausgleich der 20 % höheren Investitionskosten zwischen 21 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) und 31 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹).

4.6. Biomassepotenzial vom Dauergrünland in Deutschland

Grünlandtypen und deren Anteile in den Bundesländern (BL)

Wie bereits im Kapitel 3.6.2 beschrieben, ist die Güte der Angaben zu den Grünlandtypen in den einzelnen BL sehr differenziert. Zum einen handelt es sich um Angaben von GL-Experten aus dem jeweiligen Bundesland selbst, zum anderen konnten belegbare Quellen gefunden oder zumindest die Anteile daraus abgeleitet werden. Manche Angaben beruhen aber auch auf Schätzungen bzw. sachlogischer Ableitung anhand der Angaben anderer (ähnlicher) Bundesländer durch die GNUT-Projekt-Experten.

Aufgrund des doch z.T. stark unterschiedlichen Grünlandtypenvorkommens sind einige Bundesländer untenstehend einzeln aufgeführt, der größte Teil konnte jedoch zusammengefasst werden (Tabelle 62), eine bildliche Gesamtübersicht zeigt Abbildung 19.

GL-Typen Brandenburg (BB)

Anteile (%)

- | | |
|---|----|
| • überwiegend homogene, gut wasserregulierte Niedermoore, humose Sande, Anmoore | 30 |
| • überwiegend heterogene, wasserregulierte Niedermoore, humose Sande, Anmoore | 24 |
| • heterogene, z.T. degradierte Niedermoore, humusärmere, grundwasserbeeinflusste Sande, mäßig grundwasserbeeinflusste Auenstandorte | 24 |
| • heterogene, stark degradierte Niedermoore, mäßig grundwasserbeeinflusste Sande, stark vernässte Wiesen | 10 |
| • grundwasserferne Sande (Trockenrasen) | 2 |
| • Sonstige | 10 |

GL-Typen

MV SH* Anteile (%)

- | | | |
|--|------|------|
| • Intensivgrünland, frische Mineralstandorte, Ansaaten | 37,1 | 35,0 |
| • Intensivgrünland, Moore im Binnenland und an der Küste | 35,2 | 40,0 |
| • Auenwiesen (Fuchsschwanzwiesen), auch zeitweilig überflutet | 2,5 | 5,0 |
| • Küsten-Salzwiesen, Salzgrasland in Küstenüberflutungsgebieten | 1,0 | 1,0 |
| • extensiv genutztes Frischgrünland, wechselfeuchte, frische bis mäßig trockene Mineralstandorte | 9,0 | 8,5 |
| • Kohldistelwiese, Streuwiese; (ertragsarme) Nasswiesen | 13,4 | 10,0 |
| • Borstgrasrasen; Bodensaure Magerrasen | 1,8 | 0,2 |
| • Halbtrockenrasen, Kalkmagerwiese/-weiden; Basenreiche und trockene Magerrasen | 0,1 | 0,1 |
| • Sonstige | - | 0,2 |

* Zusammenführung grober Angaben aus dem BL selbst und den Angaben angrenzender BL sowie abschließender Festlegung der GNUT-Projekt-Experten

GL-Typen Nordrhein-Westfalen (NW)

Anteile (%)**

Fettgrünland	74,0
Fettgrünland nach FFH-Kriterien	18,5
Mager- und Feuchtgrünland	7,5

** Daten, Fakten, Hintergründe, Teil II, Kapitel 7, Natur und Landschaft, Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2009, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2009, https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/umweltbericht/umwelt-bericht_2009.pdf

Tabelle 62: GL-Typen und deren Anteile an der Gesamt-Dauergrünlandfläche im jeweiligen Bundesland (Angaben aus dem jeweiligen BL, wenn nicht anders gekennzeichnet)

GL-Typen	BW	BY ^{a)}	HE	NI	RP ^{b)}	SL ^{c)}	SN	ST ^{d)}	TH
	Anteile (%)								
• Ansaaten, „Intensivgrünland“, Mähweiden (Weidelgrasweiden); frische Standorte	54,0	43,2	75,0	65,0	65,0	65,0	70,7	60,0	20,0
• Fuchsschwanzwiesen; Auen (auch zeitweilig überflutet, Tal-Fettwiesen)	10,0	42,0	10,0	13,0	1,0	1,0	5,3	20,0	5,0
• Goldhaferwiesen, Rotschwengel-Straußgrasweiden; Bergwiesen/ -weiden	12,0	3,0	5,0	12,0	-	-	1,7	10,0	27,0
• Glatthaferwiesen; Sommertrockene Standorte (Muschelkalk, Hügelland), mesophile, gründige Verwitterungsstandorte	12,0	0,6	-	1,0	-	-	5,3	5,0	21,5
• Großseggenriede, Rohrglanzgrasgesellschaften, Staudenfluren; Ertragsreiche Nasswiesen, eutrophe Standorte	1,0	2,1	4,0	2,0	23,0	23,0	0,4	0,5	1,0
• Kohldistelwiese, Streuwiese; ertragsarme Nasswiesen	2,0	4,7	1,0	2,0	6,0	6,0	0,1	0,0	5,0
• Borstgrasrasen; Bodensaure Magerrasen	7,0	1,2	1,0	1,0	2,0	2,0	0,1	2,1	0,5
• Halbtrockenrasen, Kalkmagerwiese/-weiden; Basenreiche und trockene Magerrasen	2,0	3,2	4,0	1,0	3,0	3,0	0,1	2,4	20,0
• Sonstige	-	-	-	3,0	-	-	16,3	-	-

^{a)} BY: Ableitung der GL-Typenanteile aus der Biotoptypenkartierung Bayern (Flachland, Alpen), bereitgestellt über die LfL-BY

^{b)} RP: Ableitung der GL-Typenanteile aus der Fachdokumentation und Erfolgskontrolle im Vertragsnaturschutz, Ergebnisse einer 10-jährigen Untersuchung, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG), 2011, <http://www.luwg.rlp.de/icc/luwg/med/aab/aab23ae8-9b65-f21a-b687-da40defa5a20,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf>; Festlegung GNUT-Projekt-Experten

^{c)} SL: Aufgrund der räumlichen Nähe und strukturellen Ähnlichkeit, wurde von den gleichen Anteilen wie in RP ausgegangen; Festlegung GNUT-Projekt-Experten.

^{d)} ST: Festlegung der GL-Typenanteile durch die GNUT-Projekt-Experten.

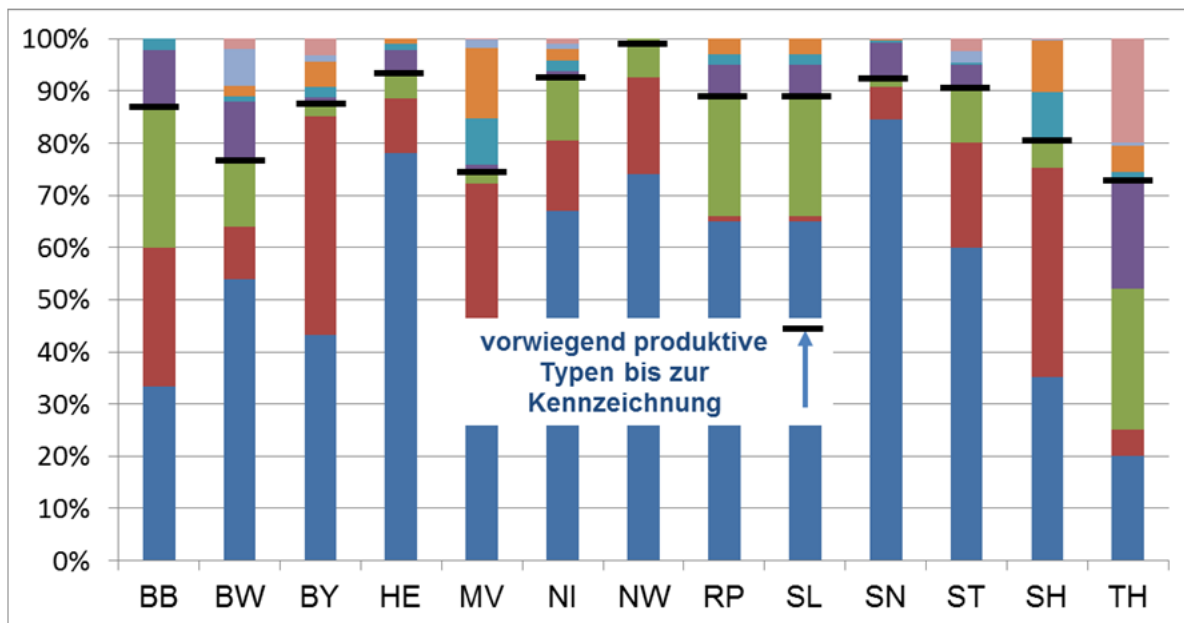


Abbildung 19: Übersicht über Anzahl und die jeweiligen Anteile einzelner Grünlandtypen am Gesamt-Dauergrünland eines Bundeslandes (in %) 2009

Teilt man die GL-Typen grob in produktive und nicht produktive Typen, wobei Letztere meist die naturschutzfachlich wertvolleren sind, so kann man erkennen, dass die produktiven GL-Typen in jedem BL deutlich überwiegen (Abbildung 19). Die Bewirtschaftung ist hierbei noch völlig unbeachtet, es geht hier um die Darstellung der grundsätzlich und standörtlich bedingt in den BL vorhandenen Dauergrünlandpflanzengesellschaften. Es sei der Hinweis bereits an dieser Stelle gestattet, dass es nicht ausreicht produktive GL-Typen extensiv zu bewirtschaften, um naturschutzfachlich wertvolle Typen zu erhalten, das Standortpotenzial dafür spielt eine nicht unerhebliche Rolle.

Agrarumweltmaßnahmen und deren Anteile im BL

Die Grünlandanteile der einzelnen BL wurden bereits in der Literaturübersicht (Kapitel 2.1, Abbildung 1) dargestellt. Diese schwanken von etwa 15 % GL-Anteil an der LF in Sachsen-Anhalt bis über 50 % GL-Anteil an der LF im Saarland. Ähnliche Schwankungsbreiten zeigen sich in der Nutzung dieser Grünlandanteile, entsprechend den Anteilen der GL-Flächen in Agrarumweltmaßnahmen (AUM) an der jeweiligen Gesamt-GL-Fläche eines BL (Abbildung 20).

Hierbei reichen die Anteile der AUM-Flächen von unter 10 % in SH bis über 90 % in BW (2009). In Verbindung mit den Grünlandtypen eines jeden Bundeslandes ergibt sich das überwiegende Bild, dass große Anteile der produktiven GL-Typen extensiv(er) in AUM genutzt werden. Die beiden Extreme in SH (produktive Nutzung auch nicht produktiver GL-Typen) und NW (keine nicht-produktiven GL-Typen im Land) sollte man hier nicht überbewerten, da die Datengrundlage in beiden Ländern sehr unsicher ist.

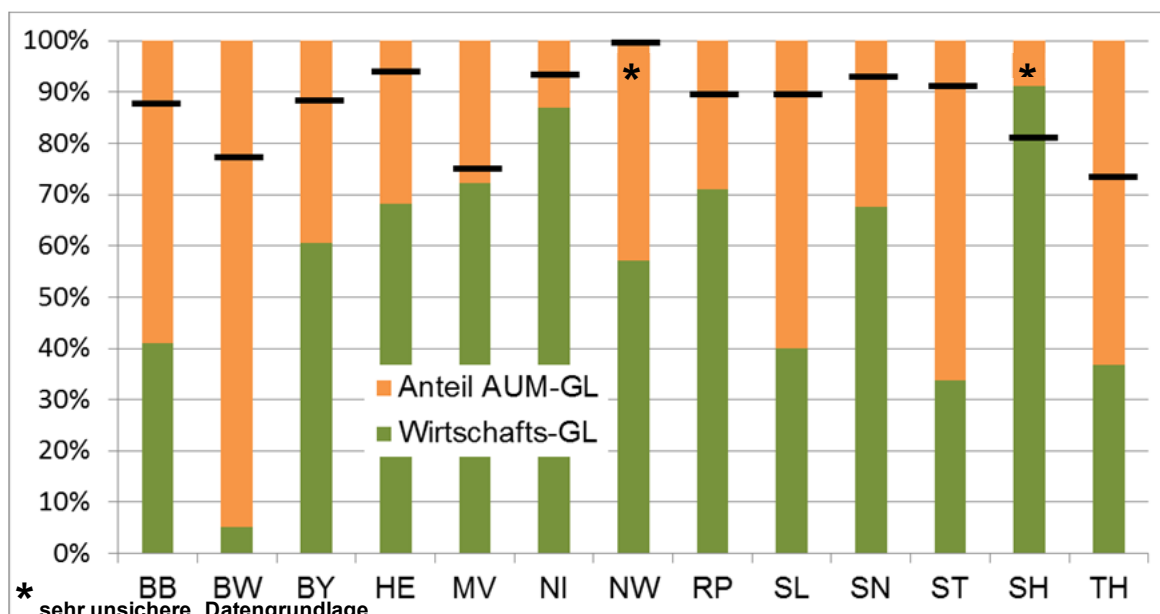


Abbildung 20: Jeweiliger Anteil an GL-Flächen mit Agrarumweltmaßnahmen an der Gesamt-GL-Fläche eines Bundeslandes (in %) 2009, einschließlich Kennzeichnung des Anteils vorwiegend produktiver GL-Typen am Gesamt-GL eines Bundeslandes

Grundfutterflächenertrag

Unter den zahlreichen getroffenen Annahmen (siehe Kapitel 3.6.2) lassen sich für das Szenario A „Dauergrünlandbiomasse-Potenzial 2009“ in den einzelnen Bundesländern sowie für Deutschland gesamt die Grundfutterflächenerträge berechnen (Tabelle 63).

Tabelle 63: Ertragsszenario A Jahresnetto-Erträge (in 1 000 t) der verschiedenen Grundfutterflächen und Bundesländer sowie insgesamt für Deutschland (2009)

Bundesland (BL)	Wirtschafts-GL	AUM DGL	Ackerfutter i.w.S.*	Grundfutter insgesamt
				Netto-Erträge (1 000 t Jahr ⁻¹)
BB	599,44	491,93	1 415,34	2 506,71
BW	241,58	3 251,06	1 315,89	4 808,53
BY	5.993,63	1 988,90	5 871,46	13 853,99
HE	1 390,27	338,04	540,51	2 268,81
MV	1 357,55	363,31	1 017,15	2 738,02
NI	5 060,18	554,65	3 915,36	9 530,19
NW	2 528,66	806,29	2 212,60	5 547,54
RP	945,57	398,49	431,86	1 775,92
SL	89,07	124,17	50,62	263,85
SN	879,41	321,71	839,64	2 040,76
ST	269,67	346,67	859,64	1 475,98
SH	2 621,92	135,30	1 798,03	4 555,25
TH	366,19	321,87	789,10	1 477,16
D	22 343,15	9 442,39	21 057,19	52 842,72

* i.w.S. meint die Summe aller auf Ackerfläche angebauten Kulturen zur Grundfuttersversorgung (Ackergras, Klee/Luzerne und deren Grasgemenge, Silomais und Ganzpflanzengetreide)

Die höchsten Ertragsmengen, aufgrund der hohen Anteile an Futterflächen und Tierhaltung, finden sich erwartungsgemäß in BY und NI, die geringsten in den viehhärmeren Gebieten, wie

RP (SL), TH, ST. Insgesamt konnten 2009 demnach 52,8 Mio. t TM an Grundfutter bereitgestellt werden.

In dem Szenario B „Dauergrünlandbiomasse-Potenzial 2030“ erfolgt die Berechnung der Grundfutterflächenerträge unter Berücksichtigung einer moderaten Ertragssteigerung von 5 % bis 15 % auf den jeweils produktiven Typen des Wirtschafts-GL, alle restlichen Annahmen bleiben konstant (Tabelle 64). In Thüringen wurden abweichend 44 % Ertragssteigerung bei den beiden produktivsten Dauergrünlandpflanzengesellschaften auf dem Wirtschafts-GL angenommen, da diese bisher vorwiegend sehr extensiv bewirtschaftet werden (siehe auch Abbildung 20).

Tabelle 64: Ertragsszenario B Jahresnetto-Erträge (in 1 000 t) der verschiedenen Grundfutterflächen und Bundesländer sowie insgesamt für Deutschland (2030)

Bundesland (BL)	Wirtschafts-GL	AUM DGL	Ackerfutter i.w.S.*	Grundfutter insgesamt
				Netto-Erträge (1.000 t Jahr ⁻¹)
BB	683,01	491,93	1 415,34	2 590,27
BW	253,06	3 251,06	1 315,89	4 820,01
BY	6 539,69	1 988,90	5 871,46	14 400,05
HE	1 524,68	338,04	540,51	2 403,22
MV	1 483,02	363,31	1 017,15	2 863,48
NI	5 304,70	554,65	3 915,36	9 774,71
NW	2 653,68	806,29	2 212,60	5 672,57
RP	1 036,98	398,49	431,86	1 867,33
SL	97,65	124,17	50,62	272,44
SN	906,97	321,71	839,64	2 068,32
ST	295,84	346,67	859,64	1 502,16
SH	2 727,96	135,30	1 798,03	4 661,29
TH	446,05	321,87	789,10	1 557,02
D	23 953,29	9 442,39	21 057,19	54 452,87

* i.w.S. meint die Summe aller auf Ackerfläche angebauten Kulturen zur Grundfuttermittellieferung (Ackergras, Klee/Luzerne und deren Grasgemenge, Silomais und Ganzpflanzengetreide)

Die Relationen zwischen den BL ändern sich nicht. Die Gesamt Grundfuttermenge erhöht sich auf rund 54,5 Mio. t TM.

Zwischen den Szenarien ergibt sich deutschlandweit ein Jahresmehrertrag von gerundeten 1,61 Mio. t TM Grünlandbiomasse vom Wirtschafts-GL. Dies entspricht einer relativen Ertragssteigerung vom Wirtschafts-GL auf 107,2 % Jahresertrag in 2030 im Vergleich zu 2009. Dabei reicht die relative Ertragssteigerung in den einzelnen Bundesländern von 3 % bis 21 %.

Raufutterfresser in den einzelnen BL und deren Grundfutterbedarf

Gemäß den in Deutschland sehr vielfältigen Agrarstrukturen, in Abhängigkeit der Größe der Bundesländer sowie deren Grünlandanteil/-fläche und Ertragspotenzial des Grünlandes, hat sich eine spezifische Tierhaltungsstruktur herausgebildet. So weisen BY und NI mit Abstand die höchsten Anzahlen der Raufutter-fressenden Großvieheinheiten (RGV) in Deutschland auf, während RP, TH und ST die geringsten Zahlen aufweisen (abgesehen vom SL; Abbildung 21). Die Relationen in den RGV-Zahlen folgen den Relationen der absoluten Gesamt-GL-Flächen der Bundesländer (Abbildung 21).

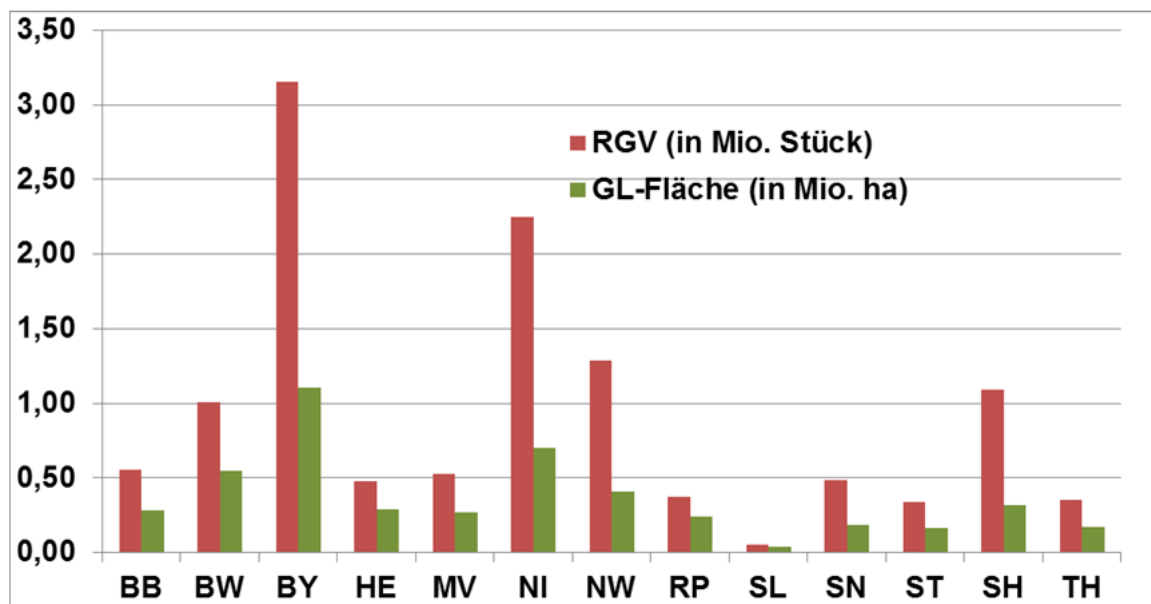


Abbildung 21: Anzahl RGV (in Mio. Stück) und gesamt GL-Fläche (in Mio. ha) je Bundesland (2009)

Mit der Multiplikation der RGV mit dem entsprechenden Grundfutter-TM-Bedarf nach Tierarten (siehe Tabelle 28) errechnet sich die notwendige Grundfuttermenge zur Deckung der bedarfsgerechten Ernährung der RGV (Tabelle 65).

Tabelle 65: Futtermengen (in 1 000 t TM Jahr⁻¹) zur bedarfsgerechten Versorgung der RGV in den einzelnen BL und Deutschland gesamt

BL	Grundfutterbedarf RGV (1 000 t TM Jahr ⁻¹)
BB	2 320,80
BW	4 163,46
BY	13 060,78
HE	1 976,77
MV	2 205,11
NI	9 240,38
NW	5 283,24
RP	1 564,22
SL	214,10
SN	2 025,64
ST	1 422,40
SH	4 499,90
TH	1 470,87
D	49 447,68

Grundfutterbilanz

Die Grundfutterbilanz ergibt sich durch die Subtraktion des RGV-Grundfutterbedarfes von dem Grundfutterflächenertrag und fällt erwartungsgemäß in den einzelnen BL unterschiedlich hoch aus (Tabelle 66).

Tabelle 66: Gegenüberstellung des Grundfutterbedarfs RGV und der Gesamt-Grundfutter-Flächen-Erträge 2009 (Szenario A) und „2030“ (Szenario B) sowie Darstellung der berechneten Grundfutterbilanz 2009 und 2030 (alles in 1 000 t TM Jahr⁻¹) je Bundesland und für Deutschland gesamt

BL	Gesamt-Grundfutterflächen-Ertrag		Grundfutterbedarf RGV	Grundfutterbilanz	
			1.000 t TM Jahr ⁻¹		
	2009	2030		2009	2030
BB	2 506,71	2 590,27	2 320,80	185,91	269,48
BW	4 808,53	4 820,01	4 163,46	645,07	656,55
BY	13 853,99	14 400,05	13 060,78	793,21	1 339,27
HE	2 268,81	2 403,22	1 976,77	292,04	426,45
MV	2 738,02	2 863,48	2 205,11	532,91	658,37
NI	9 530,19	9 774,71	9 240,38	289,81	534,33
NW	5 547,54	5 672,57	5 283,24	264,30	389,32
RP	1 775,92	1 867,33	1 564,22	211,70	303,11
SL	263,85	272,44	214,10	49,75	58,34
SN	2 040,76	2 068,32	2 025,64	15,12	42,68
ST	1 475,98	1 502,16	1 422,40	53,58	79,76
SH	4 555,25	4 661,29	4 499,90	55,35	161,39
TH	1 477,16	1 557,02	1 470,87	6,29	86,15
D	52 842,72	54 452,87	49 447,68	3 395,04	5 005,19

Für Deutschland gesamt ergibt sich zwischen den Szenarien A (2009) mit 3,4 Mio. t TM jährlich und B (2030) mit 5,0 Mio. t TM jährlich ein zusätzlicher Futterüberschuss von rund 1,6 Mio. t TM Jahr⁻¹, was zwangsläufig dem gewonnenen Mehrertrag an Dauergrünlandbiomasse vom Wirtschafts-GL entspricht. Der Futterbilanzüberschuss erhöht sich somit um den Faktor 1,47.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Grundfutterüberschuss auch im Szenario A (2009), nicht nur im Szenario B (2030), hauptsächlich die GL-Biomasse betrifft, da die marktbedingte Anbaukonkurrenz auf Ackerflächen zu hoch ist, um mit dem Anbau von Ackerfutterpflanzen nicht nutzbare „Überschusspotenziale“ zu produzieren.

Grünlandbiomassepotenzial zur energetischen Verwertung

Bezogen auf den Gesamt-GL-Biomasseertrag ergibt sich für 2009 ein durchschnittlicher relativer GL-Biomasseüberschuss von rund 11 % für Deutschland, der sich bis 2030 auf rund 15 %, unter den getroffenen Annahmen, steigert (Tabelle 67). Relevant ist jedoch die für die energetische Verwertung nutzbare Menge, die einen 5 %igen Abschlag von der Gesamt-GL-Biomasse zur Futtersicherung auch in ungünstigeren Erntejahren beinhaltet. Somit ergibt sich im Szenario A für 2009 bereits ein energetisch nutzbares GL-Biomasse-Potenzial von 1,96 Mio. t TM. Im Szenario B für 2030 sind es 3,35 Mio. t TM jährlichen Grünlandbiomasseaufwuchses zur energetischen Verwertung. Dies entspricht einer Potenzialerhöhung um den Faktor 1,7.

Tabelle 67: Gesamt-GL-Biomasse-Erträge (in 1 000 t TM Jahr⁻¹) sowie der relative GL-Biomasse-Überschuss (in %) und die resultierende potenzielle GL-Biomasse zur energetischen Verwertung (in 1 000 t TM Jahr⁻¹) in 2009 (Szenario A) und „2030“ (Szenario B) je Bundesland und für Deutschland gesamt

BL	Gesamt-GL-Biomasse-Ertrag		rel. GL-Biomasse-Überschuss*		potenzielle GL-Biomasse zur energetischen Verwertung**	
	in 1 000 t TM Jahr ⁻¹		%		in 1 000 t TM Jahr ⁻¹	
	2009	2030	2009	2030	2009	2030
BB	1 091,37	1 174,93	17,03	22,94	131,34	210,73
BW	3 492,64	3 504,12	18,47	18,74	470,44	481,34
BY	7 982,53	8 528,59	9,94	15,70	394,08	912,84
HE	1 728,31	1 862,72	16,90	22,89	205,62	333,31
MV	1 720,86	1 846,33	30,97	35,66	446,86	566,06
NI	5 614,83	5 859,35	5,16	9,12	9,06	241,36
NW	3 334,95	3 459,97	7,93	11,25	97,55	216,33
RP	1 344,06	1 435,47	15,75	21,12	144,50	231,33
SL	213,23	221,82	23,33	26,30	39,09	47,25
SN	1 201,12	1 228,68	1,26	3,47	0,00	0,00
ST	616,34	642,52	8,69	12,41	22,77	47,63
SH	2 757,22	2 863,26	2,01	5,64	0,00	18,23
TH	688,07	767,92	0,91	11,22	0,00	47,75
D	31 785,53	33 395,68	10,68	14,99	1 961,32	3 354,16

* Anteil berechnet aus dem Futterbilanzüberschuss bezogen auf den jeweiligen Gesamt-GL- Biomasseertrag

** Menge berechnet als rel. GL-Biomasse-Überschuss an 95 % des Gesamt-GL-Biomasseertrages zur Futterabsicherung auch in schlechteren Erntejahren.

Energetisches Potenzial vom Dauergrünland

Bereits die für das Szenario A (2009) errechneten 1,96 Mio. t TM Grünlandbiomassepotenzial für die energetische Verwertung ergeben ein Methanpotenzial von 572 Mio. m³ Methan im Jahr (vgl. Kap. 4.2, Tabelle 39 und Kap. 4.3, Tabelle 47), womit eine installierte Anlagenleistung von 278 MW_{el} zu realisieren wäre (bei angenommenen 7 800 Volllaststunden im Jahr).

Die für das Szenario B (2030) errechneten 3,35 Mio. t TM Grünlandbiomasse für die energetische Verwertung ergäben nach gleicher Rechenmethodik ein Methanpotenzial von 979 Mio. m³ Methan im Jahr, womit dann eine Anlagenleistung von 476 MW_{el} realisiert werden könnte.

5. Diskussion

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es, unter Verwendung einheitlicher Methoden, die alternative Verwertung der Biomasse sieben produktiver Dauergrünlandpflanzengesellschaften in der Biogasanlage bei Bewirtschaftung mit vier verschiedenen Nutzungsvarianten zu untersuchen und die jeweils zweckmäßigste Nutzungsvariante zu identifizieren, was mit dieser Systematik in diesem Umfang bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht wurde. Auch Aussagen zu der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Dauergrünlandpflanzengesellschaften hinsichtlich Ertragspotenzial, Methanausbeute bzw. Methanhektarertrag sowie Aussagen zu Qualitätseigenschaften und deren Bedeutung für die Tierfütterung mit gleichzeitigem Vergleich zu biogasrelevanten Parametern gab es so umfassend, wie in der vorliegenden Systematik noch nicht.

Zusätzlich erfolgte sowohl für die Heuverbrennung als auch für die Biogasnutzung eine Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biomassebereitstellung sowie Verwertung, was die Aussagen erlaubt, wie hoch gegebenenfalls eine finanzielle Unterstützung des Dauergrünlanderhalts mittels energetischer Nutzung durch die Gesellschaft ausfallen muss.

Gleichzeitig wurden Energie- und Treibhausgasbilanzen für beide Verwertungsrichtungen erstellt sowie die Entwicklung der hier untersuchten Pflanzengesellschaften für die Biogasproduktion festgestellt, um die ökologische Wertigkeit der Produktion und Verwertung von Dauergrünlandbiomasse beurteilen zu können.

Auf die extensiveren Standorte wird hier nur bei der Verfahrensbewertung eingegangen, da alle Ertragsleistungen, Qualitätseigenschaften und die Veränderungen der Vegetation bereits ausführlich im Endbericht des ersten GNUT-Projektes erläutert und diskutiert worden sind (GÖDEKE ET AL., 2011).

Letztlich wird das Biomassepotenzial vom Dauergrünland pro Flächenbundesland und für ganz Deutschland für das Statusjahr 2009 bestimmt sowie das mögliche Potenzial für 2030, wobei GL-Expertenschätzungen entweder aus den jeweiligen BL selbst oder aus der GNUT-Projektgruppe mit einfließen.

Die Leistungsfähigkeit der produktiven Dauergrünlandstandorte

Die hier untersuchten produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften repräsentieren wichtige Grünlandanbauggebiete und umfassten die leichten Standorte Nordwest, die trockenen Standorte Nordost, die günstigen Übergangslagen, die sommertrockenen Lagen Mitteldeutschlands, die Mittelgebirgslagen Ost sowie die Voralpengebiete. Dabei zählen die untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften am jeweiligen Standort zu den produktivsten Dauergrünlandpflanzengesellschaften. So ist es auch verständlich, dass sich unter den sieben produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften drei Weidelgras-Weißkleeweiden befanden, die sich jedoch aufgrund der verschiedenen Standorte, Anbauggebiete, Ausprägungen, Artenzahlen und bestandesprägenden Arten deutlich voneinander unterschieden und somit nicht als gleich anzusehen waren. Bestätigen konnte sich dies durch die jährlich durchgeführte Ertragsanteilsschätzung nach KLAPP-STÄHLIN (in VOIGTLÄNDER UND VOB, 1979) (Tabelle 50).

Bewirtschaftungseinfluss auf den Ertrag

Die an den sieben Dauergrünlandpflanzengesellschaften untersuchten vier verschiedenen Nutzungsvarianten repräsentierten eine weite Bandbreite hinsichtlich der Bewirtschaftung, sowohl von der Intensität der Düngung als auch vom Schnittregime (siehe Kapitel 3.1.1). Die Nutzungsvarianten umfassten die Qualitätsfutterbereitstellung für Milchvieh (Nutzungsvariante 1), die Qualitätsfutterbereitstellung mit reduzierter Stickstoffdüngung (Nutzungsvariante 2) als auch die Ausnutzung des Standortpotenzials (Nutzungsvariante 3) sowie die natürliche Regeneration des Pflanzenbestands (Nutzungsvariante 4).

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Standorte stellten sich in Bezug auf das Ertragspotenzial zwei Gruppen heraus. Zum einen die Gruppe bestehend aus den Weidelgras-Weißkleeweiden sowie dem Ansaatgrünland-Weidelgras und zum anderen die Gruppe, bestehend aus der Wiesenfuchsschwanzwiese, der Glatthaferwiese und dem Montanen Intensivgrünland.

Während die Gruppe der Weidelgras-Weißkleeweiden bzw. des Ansaatgrünland-Weidelgras im Mittel der Versuchsjahre je nach Nutzungsvariante TM-Erträge zwischen rund 90,0 dt ha⁻¹ und 140,0 dt ha⁻¹ erzielen konnten, lagen die TM-Erträge der zweiten Gruppe zwischen rund 65,0 dt ha⁻¹ und 90,0 dt ha⁻¹.

Damit bestätigen die ermittelten TM-Erträge zum einen die in der Literatur angegebenen Bereiche für produktive Dauergrünlandpflanzengesellschaften (BRIEMLE, 2007) und zum anderen spiegelt es die unterschiedliche Produktivität der Standorte und folglich der Dauergrünlandpflanzengesellschaften wider. Wobei auch im Versuch die Weidelgras-Weißkleeweiden bzw. das weidelgrasbetonte Ansaatgrünland die leistungsstärksten Dauergrünlandpflanzengesellschaften darstellten und die Wiesenfuchsschwanzwiese, die Glatthaferwiese sowie das Montane Intensivgrünland eine zwar niedrigere, aber dennoch produktive Ertragsleistung erreichten (SCHUBERT ET AL., 2001; DIERSCHKE UND BRIEMLE, 2002).

Im Versuch zeigte sich eine große Abhängigkeit des Ertragspotenzials der Nutzungsvarianten entsprechender Dauergrünlandpflanzengesellschaften von der Witterung der Versuchsjahre, worauf in der hier betrachteten Literatur wenig eingegangen wird. Die unterschiedliche Witterung führte dazu, dass zwischen den Versuchsjahren die TM-Erträge sehr stark schwankten und sich damit in einzelnen Versuchsjahren teils unterschiedliche Nutzungsvarianten als ertragsstärkste bzw. ertragsschwächste Nutzungsvarianten herausstellten. Dies wiederum hatte die Folge, dass sich bei keiner Dauergrünlandpflanzengesellschaft eine Nutzungsvariante in allen Versuchsjahren als die Nutzungsvariante mit den höchsten TM-Erträgen erweisen konnte.

Allerdings stellten sich bei den meisten Dauergrünlandpflanzengesellschaften Nutzungsvarianten heraus, die in der Mehrheit der Versuchsjahre (auch) die höchsten TM-Erträge erzielten. Dazu zählte die Nutzungsvariante 1, mit der höchsten Düngungsintensität und dem intensivsten Schnittregime. Bei der Wiesenfuchsschwanzwiese, der Glatthaferwiese bzw. dem Montanen Intensivgrünland konnte die Nutzungsvariante 1 in einem von drei, in zwei von vier bzw. in drei von vier Versuchsjahren (auch) die höchsten TM-Erträge erreichen und damit bestätigen, dass eine hohe Bewirtschaftungsintensität zu hohen TM-Erträgen führt (BOHNER ET AL., 2006; POZDIŠEK ET AL., 2007; GAUJOUR ET AL., 2012).

Auf der anderen Seite erzielten aber auch die Nutzungsvarianten mit reduzierter Düngung und/oder reduzierter Schnitthäufigkeit vergleichbare und teilweise höhere TM-Erträge, be-

sonders die Nutzungsvarianten 3 und 4. Dies widerspricht anfänglich der Literatur, worin der TM-Ertrag bei reduzierter Düngung und Schnitthäufigkeit niedriger sein sollte (ROBOWSKY, 1996). Das dies hier nicht so ist, lässt sich jedoch durch die insgesamt geringen Unterschiede in der Düngung und der Schnitthäufigkeit zwischen den untersuchten Nutzungsvarianten begründen. So unterschied sich die Düngung zwischen der Nutzungsvariante 2 und 4 nur bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu), während bei den anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften beide Nutzungsvarianten gleich gedüngt wurden und die Differenz zwischen Nutzungsvariante 1 und Nutzungsvariante 4 zwischen 50 kg ha^{-1} und 90 kg ha^{-1} Stickstoff betrug. Auch in Bezug auf die geplante Schnitthäufigkeit bestanden die Unterschiede nur in einem Aufwuchs. Hier wirkten sich aber besonders die witterungsbedingten Abweichungen von dem geplanten Schnittregime aus.

Die Differenzen im TM-Ertrag zwischen den ertragsstärksten Nutzungsvarianten bei den entsprechenden Dauergrünlandpflanzengesellschaften fielen in den meisten Versuchsjahren so gering aus, dass sich zwischen diesen nur in einzelnen Versuchsjahren signifikante Unterschiede zeigten. Bei einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Versuchsjahren ließen sich zudem überhaupt keine statistisch abzusichernden Unterschiede zwischen allen Nutzungsvarianten feststellen.

Da die Nutzungsvarianten aus der Kombination von Düngung, Schnittterminen und Schnitthäufigkeiten bestanden und es zudem in Abhängigkeit vom Versuchsjahr zu Änderungen der Schnitttermine und -häufigkeiten kam, ließen sich die direkten Einflüsse von Düngung und Schnittregime auf den TM-Ertrag nicht eindeutig trennen. In trockenen Versuchsjahren bzw. Versuchsjahren mit trockenen Perioden zeigten sich an einigen Standorten die Nutzungsvarianten mit reduzierter Schnitthäufigkeit bzw. längeren Wuchszeiten der Aufwüchse als ertragsüberlegen. Dies traf besonders auf die Glatthaferwiese Thüringen im Anbaubereich „sommertrockene Lagen“ zu.

Bewirtschaftungseinfluss auf die Nährstoffbilanz

Die Berechnung der über Leguminosen symbiotisch fixierten Stickstoffmenge erfolgte mit einer Formel, die für Weißklee entwickelt wurde. Dennoch wurde diese hier aus Ermangelung von Alternativen verwendet und um näherungsweise den Beitrag der Leguminosen an der Stickstoffversorgung zu quantifizieren.

Der Stickstoffüberschuss von maximal 60 kg ha^{-1} im Mittel von drei Jahren (Düngeverordnung) wurde von keiner Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Nutzungsvariante erreicht bzw. überschritten. Vielmehr lagen die Stickstoffbilanzen bei einem starken Defizit.

Besonders bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) konnte ein starkes Defizit ermittelt werden. Da allerdings keine ersichtlichen Stickstoffmangelsymptome an den Pflanzen erkennbar waren, ist davon auszugehen, dass durch den Niedermoorstandort ausreichend Stickstoff nachgeliefert werden konnte.

Trotz der hohen Stickstoffdüngungsintensität bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu), waren die Stickstoffbilanzen ausgeglichen (Nutzungsvariante 1) bzw. negativ (Nutzungsvarianten 2 bis 4). Dies erklärt sich durch die sehr hohen TM-Erträge sowie die sehr hohen Rohproteingehalte.

Bewirtschaftungseinfluss auf die Biomassequalität

Während eine reduzierte Düngung, veränderte Schnittzeitpunkte sowie teilweise reduzierte Schnitthäufigkeiten nicht zwangsläufig zu großen Unterschieden im TM-Ertrag führten, zeigten sich bei der Biomassequalität deutliche Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten.

Die Unterschiede zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften in Bezug auf die Biomassequalität waren dagegen weniger deutlich ausgeprägt, wobei sehr hohe Biomassequalitäten durch die ersten beiden Nutzungsvarianten bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen, der Weidelgras-Weißkleeweiden Bayern (Allgäu) sowie bei der Glatthaferwiese und dem Montanen Intensivgrünland Thüringen erreicht wurden. Etwas niedrigere Biomassequalitäten hatten die Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg und die niedrigste die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen.

Die sehr früh geernteten 1. Aufwüchse der Nutzungsvariante 4 (Ausnahme Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) hatten bei allen Dauergrünlandpflanzengesellschaften die höchsten Biomassequalitäten. Dem folgten die, mit Ausnahme der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu), etwas später geernteten 1. Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2. Der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 3, mit der längsten Wuchszeit, hatte die niedrigste Biomassequalität unter den ersten Aufwüchsen. Dies bestätigt sehr deutlich den Einfluss des Schnittzeitpunktes des 1. Aufwuchses auf dessen Biomassequalität, welche mit zunehmend späterem Schnitttermin abnimmt (KÄDING, 1994; ODSTRÉILOVÁ ET AL., 2007; GRUBER, 2009).

Auf die Biomassequalität der Folgeaufwüchse wirkte sich die höhere Schnitthäufigkeit positiv aus (WHITEHEAD, 2001; ODSTRÉILOVÁ ET AL., 2007; GRUBER, 2009; PAVLŮ ET AL., 2011). Dementsprechend lagen bei den Nutzungsvarianten 1 und 2 gegenüber den Nutzungsvarianten 3 und 4 die Biomassequalitäten in den Folgeaufwüchsen tendenziell höher.

In Bezug auf die Unterschiede in der Biomassequalität zwischen den Nutzungsvarianten zeigte sich ein differenziertes Bild der einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften (Tabelle A 10). Die geringsten Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten bestanden bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) aber auch bei dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen. Größere Unterschiede zwischen den Nutzungsvarianten bestanden bei der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen und der Glatthaferwiese Thüringen und hier besonders zwischen den Nutzungsvarianten 1 und 4.

Verglichen mit den Anforderungen an die Biomassequalität hinsichtlich Fütterung (Tabelle 1) als auch Biogasproduktion (Tabelle 3) zeigte sich, dass die Nutzungsvarianten 1 und 2 die Qualitätsanforderungen eher erreichen als die Nutzungsvarianten 3 und 4. Besonders die ersten beiden Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1 und 2 sowie der 1. Aufwuchs der Nutzungsvariante 4 (Ausnahme Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) erreichten die hohen Anforderungen der Fütterung. Die Anforderung an die Abbaubarkeit der organischen Masse von über 75,0 % der TM für die Biogasproduktion konnte im Mittel der Nutzungsvarianten bei keiner Dauergrünlandpflanzengesellschaft erreicht werden, sondern nur bei einzelnen Aufwüchsen.

Ein direkter Vergleich zwischen den entsprechenden Inhaltsstoffen des Grünguts und der Silagen war aufgrund der Erstellung von Mischproben sowohl bei der Probenahme der Grüngutproben als auch bei der Befüllung der Silagegläser, und damit nicht vorhandener Wiederholungen, problematisch. Es konnte somit nicht eindeutig identifiziert werden, ob die Unterschiede in den Inhaltsstoffen zwischen dem Grüngut und der Silage entsprechender

Aufwüchse und Dauergrünlandpflanzengesellschaften durch die Siliereignung bzw. Sillierung oder durch die Versuchsdurchführung bedingt waren. Dennoch zeigte sich, dass die Qualität der Silagen, analog der Qualität im Grüngut, in den ersten beiden Nutzungsvarianten am höchsten war.

Die Methanausbeuten lagen über alle Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten bei 325,3 I_N kg oTM, wobei die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) mit durchschnittlich 346,8 I_N kg oTM (Spannweite: 305,2 I_N kg oTM bis 358,2 I_N kg oTM) die höchsten und die Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen mit durchschnittlich 299,4 I_N kg oTM (Spannweite: 283,4 I_N kg oTM bis 318,8 I_N kg oTM) die niedrigsten Methanausbeuten erreichte. Die Methanausbeuten der anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften lagen im Mittel nur zwischen 7,3 I_N kg oTM und 27,3 I_N kg oTM niedriger als die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu). Die ermittelten Unterschiede in den Methanausbeuten waren im Mittel aller Nutzungsvarianten zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften gering, können aber auf die entsprechende Produktivität und Vegetation zurückgeführt werden (AMON ET AL., 2006A; KAISER, 2007).

Die im Versuch ermittelten Methanausbeuten befanden sich im Bereich der von AMON ET AL. (2006A)) und KAISER (2007) angegebenen Methanausbeuten der produktiveren Standorte. Ein direkter Vergleich mit den Methanausbeuten ist allerdings Aufgrund der unterschiedlichen Messverfahren nicht möglich.

Innerhalb der Dauergrünlandpflanzengesellschaften betragen die Unterschiede in den Methanausbeuten zwischen den Nutzungsvarianten im Versuchszeitraum rund 35,4 I_N kg oTM bis 62,4 I_N kg oTM und spiegeln die unterschiedlichen Bewirtschaftung wieder (PROCHNOW ET AL., 2005; KIESEWALTER ET AL., 2007). Dabei zeigte sich, dass mit zunehmender Intensität der Bewirtschaftung, speziell einer höheren Schnitthäufigkeit, die Methanausbeuten anstiegen. Dies konnte hauptsächlich auf niedrigere Gehalte an ADL, NDF_{org} und ADF_{org} bzw. höhere ELOS-Werte in physiologisch jüngerem Futter zurückgeführt werden (WEILAND, 2001; HEIERMANN ET AL., 2009; PROCHNOW ET AL., 2009; HERRMANN ET AL., 2010), die von allen Silageinhaltsstoffen und Silageparametern (Abbildung 22) am stärksten negativ bzw. positiv mit den Methanausbeuten korrelierten. Es muss jedoch beachtet werden, dass die anhand der vorliegenden Daten hier errechneten Korrelationen für Dauergrünland mit -0,541 bei ADL, -0,310 bei NDF_{org} und ADF_{org} bzw. 0,471 bei ELOS eher gering waren, im Vergleich zu den Korrelationen in Ackerfutterpflanzen (HEIERMANN ET AL., 2009; HERRMANN ET AL., 2010).

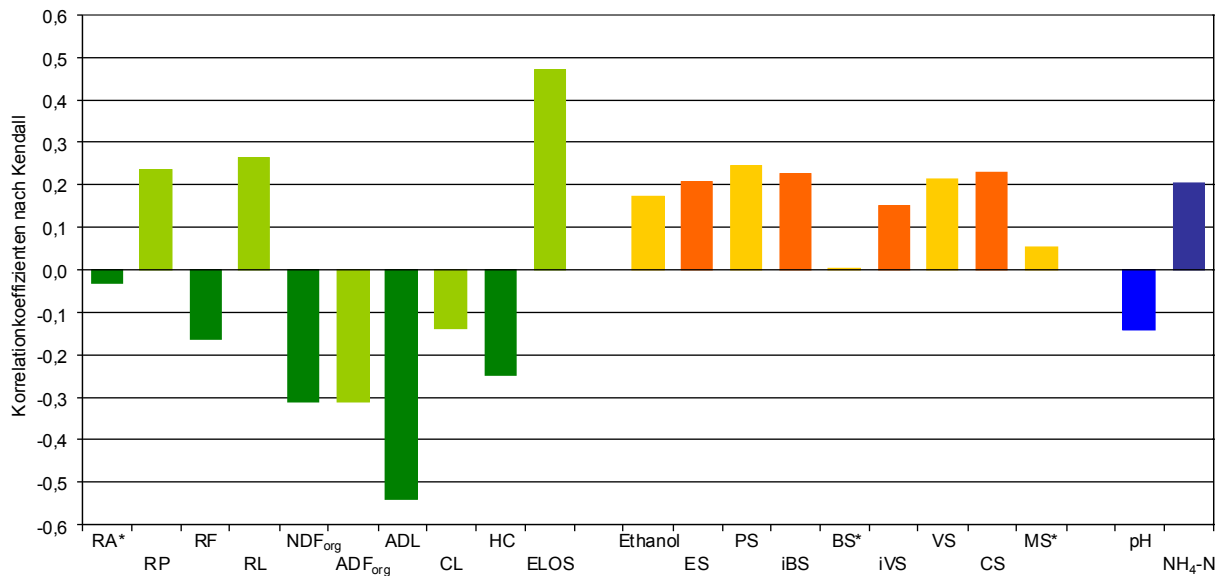


Abbildung 22: Korrelationskoeffizienten nach Kendall der Silageinhaltsstoffe und Silierparameter zu den Methanausbeuten (**wobei** ES - Essigsäure, iBS - Isobuttersäure, BS - Buttersäure, iVS - Isovaleriansäure, VS - Valeriansäure, CS - Capronsäure, MS - Milchsäure), * nicht signifikant bei $\alpha > 0,05$

Die anderen gemessenen Inhaltsstoffe hatten einen noch geringeren Einfluss auf die Methanausbeuten. Es zeigte sich allerdings, dass die Rohnährstoffe RP und RL prinzipiell einen positiven Einfluss auf die Methanausbeute haben, während sich die RF sowie besonders die Zellwandbestandteile negativ auf die Methanausbeute auswirken. Dies erklärt auch die höheren Methanausbeuten der ersten Aufwüchse der Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 (Ausnahme Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen) sowie die höheren Methanausbeuten der ersten beiden Nutzungsvarianten.

Im Mittel der Nutzungsvarianten führte eine zunehmende Intensität bei den Nutzungsvarianten 1 und 2 zu höheren Methanausbeuten gegenüber den Nutzungsvarianten 3 und 4.

Die Gärssäuren einschließlich Ethanol (Abbildung 22) haben ebenfalls einen positiven, wenn auch geringen Einfluss auf die Methanausbeuten, wobei interessanterweise der Einfluss von Buttersäure und Milchsäure sehr gering war. Dies widerspricht teilweise den Angaben in der Literatur (PLÖCHL ET AL., 2009; HERRMANN ET AL., 2011). Es konnte somit nicht festgestellt werden, dass ein Inhaltsstoff bzw. Silageparameter allein positiv oder negativ auf die Methanausbeute wirkt. Vielmehr wirkt eine Vielzahl von Parametern und deren Interaktionen auf die Methanausbeuten.

Dass die Düngung auf die Methanausbeute keinen bzw. einen geringen Einfluss ausübte (PROCHNOW ET AL., 2009), konnte speziell bei dem Vergleich der ersten beiden Nutzungsvarianten festgestellt werden, wo bei annähernd gleichem Schnittregime (Ausnahme Weidelgras-Weißkleewide Bayern (Allgäu) und Glatthaferwiese Thüringen) keine nennenswerten Unterschiede bestanden.

Bewirtschaftungseinfluss auf den Methanhektarertrag

Im Gegensatz zu der Biomassequalität und den Methanausbeuten unterschieden sich die Methanhektarerträge zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften erheblich. Im Mittel über alle Nutzungsvarianten lagen die Methanhektarerträge zwischen $1\,317\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ und $3\,633\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$. Analog der TM-Erträge hatten die Weidelgras-Weißkleeweiden und der Ansaatgrünland-Weidelgrastyp die höchsten und die Wiesenfuchsschwanzwiese, die Glatthferwiese sowie das Montane Intensivgrünland die niedrigsten Methanhektarerträge. Damit haben die TM-Erträge den größeren Einfluss auf die Methanhektarerträge im Vergleich zu den Methanausbeuten (ELSAESSER, 2007; ELSÄßER, 2007; PROCHNOW ET AL., 2009; MESSNER ET AL., 2011; TECHOW ET AL., 2011; FUKSA ET AL., 2012). Das geringe Methanausbeuten dennoch einen leicht höheren TM-Ertrag relativieren können, zeigte sich bei den Weidelgras-Weißkleeweiden Brandenburg und der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen. Hier hatten nicht immer die Nutzungsvarianten mit dem höheren TM-Ertrag auch die höheren Methanhektarerträge. So realisierte bei der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen die Nutzungsvariante 4 vor der Nutzungsvariante 1 die höheren TM-Erträge, während die Nutzungsvariante 1 vor der Nutzungsvariante 4 den höheren Methanhektarertrag realisieren konnte. Folglich war, bei geringen Differenzen im TM-Ertrag, die Biomassequalität und damit die Methanausbeute durchaus entscheidend.

Über alle Standorte betrachtet erzielten die Nutzungsvarianten 1 und 3 der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) die höchsten TM-Erträge. Die höchsten Methanhektarerträge über alle Standorte wurden jedoch durch die Nutzungsvarianten 1 und 3 der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) sowie durch die Nutzungsvarianten 1 und 2 der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) erreicht. Die Unterschiede im TM-Ertrag zwischen $1,9\text{ dt ha}^{-1}$ bzw. $7,5\text{ dt ha}^{-1}$ konnten durch hohe Methanausbeuten zu Unterschieden im Methanhektarertrag zwischen $227\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ bzw. $53\text{ m}^3_{\text{N}}\text{ ha}^{-1}$ führen. Somit zeigte sich auch hier, dass zwar der TM-Ertrag grundsätzlich den größeren Einfluss auf den Methanhektarertrag hat, in Kombination mit hohen Methanausbeuten dieser aber ausschlaggebend sein kann.

Eine weitere praxisrelevante Option ist die Kombination von Biogasproduktion und Tierhaltung, d.h. die Verwertung von Dauergrünland in der Biogasanlage besteht im Einsatz von Folgeaufwüchsen, deren Futterqualität nicht mehr den hohen Anforderungen der Milchviehfütterungen entspricht und die nicht für die Jungtieraufzucht benötigt werden. Dabei handelt es sich meist um die 3. und späteren Aufwüchse bei den Nutzungsvarianten 1 und 2. Die TM-Erträge, Methanausbeuten und entsprechenden Methanhektarerträge sowie die Anzahl Schnitte im Mittel des Versuchszeitraums sind nochmals in Tabelle 68 zusammengefasst. Eine Ausnahme bildeten die Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) und das Montane Intensivgrünland Thüringen, wo die Abnahme der Futterqualität nicht in dem Umfang stattfand, wie bei den anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften und auch die Folgeaufwüchse in der Milchviehfütterung eingesetzt werden könnten.

Die Unterschiede in TM-Erträgen zwischen diesen beiden Nutzungsvarianten lassen sich hauptsächlich auf die Unterschiede in der Düngung zurückführen und im Fall des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen, der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen und der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) zusätzlich noch auf die Unterschiede im Schnittregime.

Tabelle 68: TM-Erträge [dt ha⁻¹], Methanausbeuten [l_N kg⁻¹ oTM] sowie Methanhektarerträge [m³_N ha⁻¹] der Nutzungsvarianten 1 und 2 als Mittelwerte ab dem 3. Aufwuchs der Versuchsjahre 2011 bis 2013 (mit Spannweiten)

Nutzungs- variante	TM-Ertrag [dt ha ⁻¹]	Methanausbeute [l _N kg ⁻¹ oTM]	Methanhektarertrag [m ³ _N ha ⁻¹]	nutzbare Schnitte pro Jahr
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	35,0 (17,2 - 48,0)	335,8 (307,8 - 350,0)	861,7 (440,3 - 1234,9)	1,7
2	22,1 (17,2 - 26,4)	337,9 (319,9 - 348,5)	549,9 (434,4 - 659,5)	1,0
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	53,2 (34,4 - 67,0)	314,7 (311,3 - 317,5)	1 226,5 (805,6 - 1538,7)	1,7
2	42,1 (26,3 - 57,8)	305,5 (298,6 - 316,7)	940,3 (577,8 - 1337,2)	1,7
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	43,1 (27,2 - 74,6)	315,3 (309,1 - 320,8)	979,0 (626,6 - 1669,9)	1,3
2	32,5 (18,0 - 55,8)	307,3 (303,5 - 313,5)	716,4 (405,4 - 1219,5)	1,3
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	41,0 (25,4 - 55,8)	285,0 (272,5 - 302,4)	852,8 (506,8 - 1136,5)	1,7
2	28,9 (17,0 - 48,3)	283,7 (280,7 - 285,8)	593,1 (353,8 - 979,9)	1,3
Glatthaferwiese Thüringen				
1	24,0 (20,4 - 29,8)	322,5 (306,3 - 338,6)	551,5 (489,1 - 721,7)	1,0
2	16,7 (10,4 - 22,2)	282,1 (277,6 - 286,7)	334,4 (203,2 - 454,1)	1,0
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	24,8 (13,7 - 41,2)	308,3 (298,9 - 321,0)	570,7 (308,1 - 965,5)	1,3
2	20,4 (8,5 - 35,1)	299,5 (285,4 - 320,3)	461,8 (180,9 - 826,9)	1,3
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)				
1	73,8 (61,9 - 85,8)	344,3 (323,0 - 360,3)	1 850,2 (1643,8 - 2002,9)	3,0
2	54,6 (47,6 - 60,5)	330,8 (317,7 - 346,9)	1 308,5 (1073,3 - 1510,2)	2,0

Die Unterschiede in den Methanhektarerträgen beruhten auch hier hauptsächlich auf den Unterschieden in den TM-Erträgen, da sich die Methanausbeuten, bis auf die der Glatthaferwiese Thüringen, nicht oder nur gering unterschieden. Dementsprechend sind bei der Nutzung von Folgeaufwüchsen (ab. 3. Aufwuchs) bei der Nutzungsvariante 1 größere Methanhektarerträge als bei der Nutzungsvariante 2 zu erzielen.

Nicht mehr für die Tierernährung benötigte Dauergrünlandbiomasse kann für die Biogasproduktion eingesetzt werden. Entscheidend ist dabei, dass die Bewirtschaftungsintensität in Abhängigkeit der standörtlichen Gegebenheiten, d.h. Dauergrünlandpflanzengesellschaft und Biogasanlagenkonzept, erfolgt.

Bewirtschaftungseinfluss auf die Dauergrünlandvegetation

Die Beurteilung des Einflusses der unterschiedlichen Nutzungsvarianten auf die Bestandeszusammensetzung und damit den Erhalt der Dauergrünlandpflanzengesellschaft erfolgte durch die jährliche Vegetationsaufnahme mittels Ertragsanteilsschätzung nach KLAPP-STÄHLIN (in VOIGTLÄNDER UND VOß, 1979) durch HOCHBERG UND JÄGER (2014) (vgl. Tabelle 50 sowie im Anhang Tabelle A 1 bis Tabelle A 7).

Mit Ausnahme der Nutzungsvariante 4 bei der Glatthaferwiese Thüringen, blieb die Artenzahl konstant bzw. erhöhte sich sogar. Besonders deutlich war dies bei den Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg, wo bei drei bzw. zwei Nutzungsvarianten die Artenzahl um mehr als sechs Arten anstieg. Von dem Anstieg der Artenzahlen waren bei der Weidelgras-

Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) besonders die Nutzungsvarianten 1, 3 und 4 betroffen, wo sich die Artenzahl um 5 bis 9 Arten erhöhte. Bemerkenswert ist die Erhöhung der Artenzahl um 9 Arten bei der Nutzungsvariante 1 mit der höchsten Düngungsintensität und dem intensivsten Schnittregime. Zudem kam es hier nicht zu der in der Literatur angegebenen Erhöhung der Anzahl von Gräserarten und Reduzierung der Anzahl Kräuter- und Leguminosenarten mit zunehmender Intensität der Bewirtschaftung (WHITEHEAD, 2001; OSTRÉILOVÁ ET AL., 2007; BIJELIC ET AL., 2011; GAUJOUR ET AL., 2012) sondern zu einer entgegengesetzten Entwicklung. Trotz der Erhöhung der Artenzahl konnte sich der Grünlandwert nur minimal erhöhen. Auch bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand) traten bei der Nutzungsvariante 1 die höchsten Zunahmen in der Artenzahl auf. Allerdings reduzierte sich hier besonders die Anzahl der Leguminosenarten. Im Vergleich zum Versuchsbeginn änderte sich der naturschutzfachliche Grünlandwert nicht nennenswert. Lediglich bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) erhöhte sich bei den Nutzungsvarianten 2 und 3 der Grünlandwert tendenziell, ohne sich jedoch von den Nutzungsvarianten 1 und 4 deutlich zu unterscheiden.

Entsprechend wirkte sich die Nutzungsvariante 1 mit hoher Düngungsintensität und intensivem Schnittregime, die Nutzungsvariante 2 mit intensivem Schnittregime und reduzierter Düngung, die Nutzungsvariante 3 mit reduzierter Düngung und reduziertem Schnittregime und die Nutzungsvariante 4 mit reduziertem Schnittregime und besonders dem Auswachsen des 2. Aufwuchses (bei der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen der 1. Aufwuchs) nicht nennenswert auf den Grünlandwert aus und mit wenigen Ausnahmen auch nicht auf die Artenzahl.

Bei allen Dauergrünlandgesellschaften und Nutzungsvarianten, außer bei der Wiesenfuchsschwanzwiese, ist grundsätzlich eine Verbesserung des Schichtungsindex im Zeitraum 2010 bis 2013 zu erkennen, jedoch mit unterschiedlicher Ausprägung. Die stärkste Verbesserung konnte beim Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen, hier vor allem durch Nutzungsvariante 3, erzielt werden. Bei der Wiesenfuchsschwanzwiese hat die Bewirtschaftung mit den Nutzungsvarianten 1, 2 und 4 dagegen negativ (-6 bis -13) auf den Schichtungsindex gewirkt, lediglich die Nutzungsvariante 3 konnte eine leichte Steigerung der Habitatstruktur von +5 im Schichtungsindex dieses GL-Typs erreichen. Da die Bewirtschaftung des Überschwemmungsgebietes der Muldeaeue nicht immer passend bewirtschaftet werden konnte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine gewisse Mindestnutzung zur Bestandsveränderung nicht erreicht wurde (HOCHBERG, ET AL., 2008).

Grundsätzlich kann jedoch für alle untersuchten Nutzungsvarianten, auch bei höherer Intensität, von einer auf den Pflanzenbestand nachhaltigen Bewirtschaftung ausgegangen werden.

Bewirtschaftungseinfluss auf die Biomasseherstellungskosten

Als kostengünstigste Nutzungsvarianten pro Flächeneinheit stellten sich die Nutzungsvariante 3 bei dem Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen und die Nutzungsvariante 4 bei den anderen Dauergrünlandpflanzengesellschaften heraus.

Pro Tonne Silage war die Nutzungsvariante 2 die günstigste bei den weidelgrasbetonten GL-Typen in Niedersachsen und Bayern (Allgäu) sowie dem Montanen Intensivgrünland Thüringen. Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) erwies sich die Nutzungsvariante 3 als günstigste Option pro Tonne Silage. Die Nutzungsvariante 4 konnte bei

der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand), der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen sowie der Glatthaferwiese Thüringen als günstigste Nutzungsvariante pro Tonne Silage identifiziert werden.

Energie- und Treibhausgasbilanzen der Dauergrünlandbiomasseverwertung

Heuverbrennung

Im Hinblick auf den jährlichen Nettoenergieertrag sind am jeweiligen Standort die Nutzungsvarianten mit dem höheren Ertrag zu bevorzugen. Zwar weisen diese auch einen deutlich höheren kumulierten Energieaufwand aus, dieser fällt allerdings im Bilanzergebnis kaum ins Gewicht. Im Nutzungskonzept der zentralen Heuverbrennung werden aufgrund des etwas geringeren Gesamtwirkungsgrades der Verbrennungsanlage auch leicht geringere Nettoenergieerträge erzielt als bei der dezentralen Heuverbrennung.

Festzuhalten bleibt, dass nach der angewendeten Methode der Energiegewinn durch die Verbrennung von Heu je nach GL-Typ und Nutzungsvariante sowie Nutzungskonzept 4,8- bis 11,2-mal so hoch ist wie der fossile Energieaufwand.

Im Gegensatz zum Nettoenergieertrag sind die Treibhausgaseinsparpotenziale im Nutzungskonzept der zentralen Heuverbrennung in einem Biomasseheizkraftwerk (8 MW) pro Hektar und Jahr aufgrund der höheren Stromgutschriften deutlich höher als im dezentralen Nutzungskonzept zur alleinigen Wärmebereitstellung (vgl. Abbildung 11).

Die Ertragsunterschiede in den Bewirtschaftungsvarianten am jeweiligen Standort sind auch für die Unterschiede im Treibhausgaseinsparpotenzial relevant.

Betrachtet man z.B. allein die Treibhausgaseinsparungen pro Kilowattstunde so wäre am Beispiel des Rohrglanzgrasröhrichts in Brandenburg im zentralen Nutzungskonzept die Nutzungsvariante 3 mit 455 g CO₂eq der Nutzungsvariante 2 mit 451 g CO₂eq je Kilowattstunde thermisch und elektrisch vorzuziehen. Wie wichtig der Flächenbezug ist, zeigt in diesem Falle jedoch die um 6 t CO₂eq höhere jährliche Treibhausgasreduzierung der Nutzungsvariante 2, mit einem um über 5 t TM ha⁻¹ a⁻¹ höheren Ertrag.

Als Alternative zur Verbrennung der Grünlandbiomasse wurden zum Erhalt der Dauergrünlandpflanzengesellschaften die Verfahren des Mulchens bzw. das Abfahren der Biomasse mit anschließender Kompostierung angenommen. Unter Einbezug dieser Landnutzungsalternativen (Saldo inkl. LUC) erhöht sich das Treibhausgaseinsparpotenzial gegenüber der fossilen Energiebereitstellung zusätzlich. Allerdings kann auf diese Art und Weise keine zusätzliche Erneuerbare Energie erzeugt werden.

Biogasproduktion

Aus der Kombination der beiden Parameter Nettoenergieertrag und Output/ Input-Verhältnis ergeben sich folgende Vorzugsvarianten der Grünlandbewirtschaftung

Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort	Nutzungsvariante
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen	1
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	3
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	1
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	3
Glatthaferwiese Thüringen	4
Montanes Intensivgrünland Thüringen	3
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	2

Es kann demnach keine allgemein gültige Entscheidung für die günstigste Bewirtschaftungsvariante auf allen Grünlandstandorten getroffen werden.

In den meisten Fällen kann der Mehraufwand der Nutzungsvariante 1 (Qualitätsfutterbereitstellung) nicht durch die höhere Energieproduktion (Methanhektarerträge) ausgeglichen werden. Ausschließlich die weidelgrasbetonten GL-Typen in Brandenburg (Talsand) und Niedersachsen weisen in der Nutzungsvariante 1 neben den höchsten Erträgen auch die höchsten Treibhausgaseinsparpotenziale auf, die sich jedoch nicht wesentlich von den anderen Nutzungsvarianten unterscheiden.

Aufgrund der Treibhausgaseinsparungen pro Kilowattstunde elektrisch im Nutzungskonzept der Biogasgewinnung in Neuanlagen sind im Mittel der Versuchsjahre die Nutzungsvariante 3 an den Grünlandstandorten der Weidelgras-Weißkleeweide in Brandenburg (Niedermoor und Talsand) und dem Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsens sowie der Wiesenfuchsschwanzwiese in Sachsen und dem Montanen Intensivgrünland in Thüringen, andererseits die Nutzungsvariante 4 an den Standorten der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) und der Glatthaferwiese in Thüringen zu bevorzugen.

Die Treibhausgasreduzierungen aller Nutzungsvarianten und Standorte im Vergleich zur Energiebereitstellung aus fossilen Energieträgern liegen bei 47 % bis 80 % in Altanlagen und bei 54 % bis 82 % in Neuanlagen.

Im Mittel der Versuchsjahre müssten in der Futterproduktion 1,3 bis 8,7 Hektar Grünlandfläche von Nutzungsvariante 4 auf Nutzungsvariante 1 intensiviert werden, um einen Hektar für die Biogaserzeugung freizusetzen. Durch die Intensivierung werden zusätzliche Treibhausgasemissionen je Hektar freigesetzte Grünlandfläche verursacht (vgl. Tabelle 55).

An den Grünlandstandorten der Weidelgras-Weißkleeweide in Bayern (Allgäu) und der Glatthaferwiese in Thüringen werden im Mittel der Versuchsjahre durch den Aufwand für die Intensivierung sogar deutlich mehr Treibhausgase emittiert, als durch die Biogasgewinnung eingespart werden können.

Dies verdeutlicht die auf jeden GL-Typ abgestimmte Bewirtschaftung und optimierte Verwertung des Aufwuchses.

Vergleich Verbrennung und Biogaserzeugung

Folgend sollen die Nutzungskonzepte der Heuverbrennungen und Biogaserzeugung in Hinblick auf den Nettoenergieertrag (Abbildung 23) und das Treibhausgaseinsparpotenzial (Abbildung 24) gegenübergestellt werden.

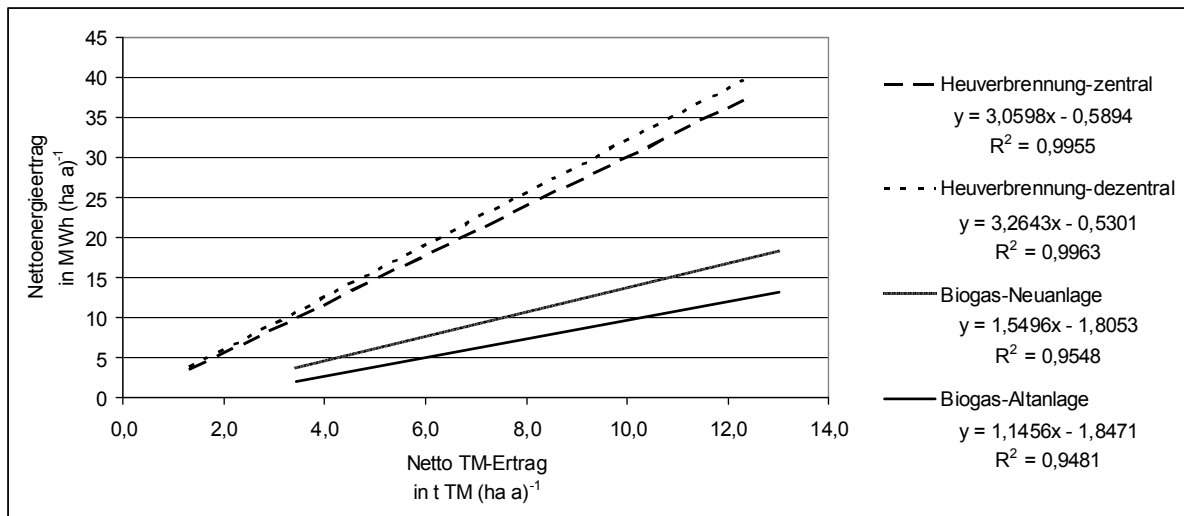


Abbildung 23: Nettoenergieerträge (in $\text{MWh ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) der Nutzungskonzepte der Energiebereitstellung repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften in Abhängigkeit vom Netto-TM-Ertrag (in $\text{t TM ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)

Alle Nutzungskonzepte weisen eine starke Abhängigkeit der Nettoenergieerträge vom Netto-Trockenmassenertrag (inkl. Verluste) aus. Die Nettoenergieerträge der Heuverbrennungskonzepte werden fast zu 100 % und die der Biogaskonzepte zu rd. 95 % durch den Ertrag erklärt. Durch die Heuverbrennung kann deutlich mehr Energie pro Tonne Trockenmasse bereitgestellt werden als durch die Biogaserzeugung.

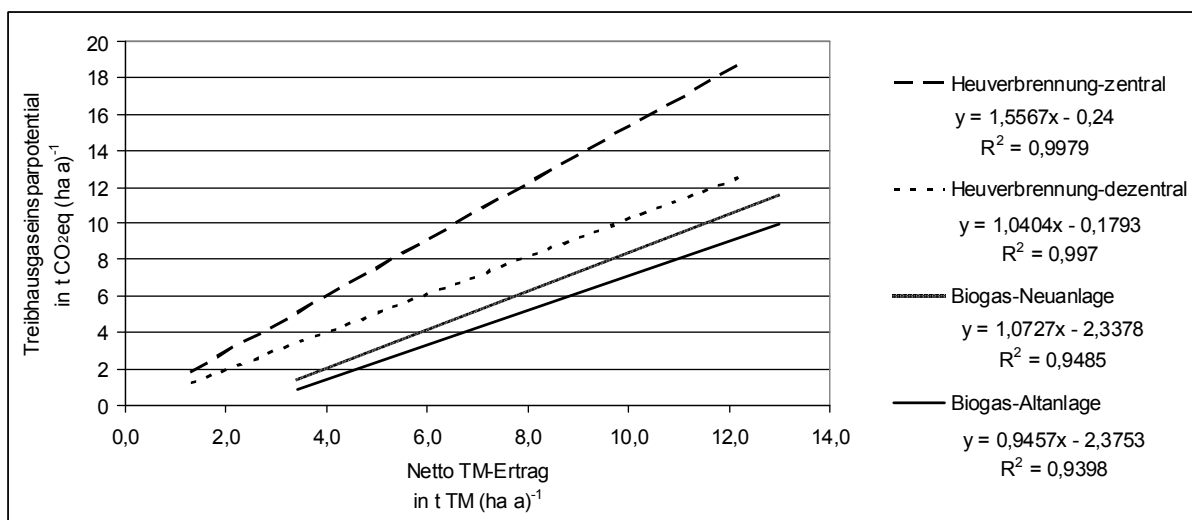


Abbildung 24: Treibhausgaseinsparpotenziale (in $\text{t CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) der Nutzungskonzepte der Energiebereitstellung repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften in Abhängigkeit vom Netto-TM-Ertrag (in $\text{t TM ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)

Ein ähnliches Bild zeigt die Korrelation des Netto-Trockenmasseertrags zum Treibhausgaseinsparpotenzial je Hektar und Jahr.

Wirtschaftlichkeit der Dauergrünlandbiomasseverwertung

Heuverbrennung

Anhand des Kriteriums Bereitstellungskosten sind somit für die einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften die folgenden, den Erhaltungszustand sichernden Bewirtschaftungsvarianten am günstigsten:

GL-Typ/Standort	Nutzungsvariante
Schnabelseggenried Niedersachsen (Mähen und Räumen alle 2 Jahre Mitte September, keine Düngung)	4
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg (Mähen und Räumen jedes Jahr Mitte September, keine Düngung)	3
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen (Mähen und Räumen alle 2 Jahre Mitte August, keine Düngung)	4
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen (Mähen und Räumen jedes Jahr Ende Juni und Mitte September, Düng. 20 kg P / 110 kg N)	2
Pfeifengras-Streuwiese Bayern (Mähen und Räumen jedes Jahr Mitte September, keine Düngung)	2

Der Anteil der Brennstoffkosten an den Gesamtkosten beträgt 9 % (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) bis 40 % (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 3) in deutlicher Abhängigkeit vom TM-Ertrag, der bereitgestellt werden kann.

Die Wärmegestehungskosten liegen für das modellierte Biomasseheizwerk (300 kW) deutlich über dem aktuellen Marktpreis für Fernwärme, jedoch in ähnlichen Größenordnungen wie die Heizkosten von Heizsystemen zur Versorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern im Leistungsbereich zwischen 15 und 30 kW. Somit wäre die dezentrale Wärmeversorgung in Abhängigkeit von den Brennstoffkosten eine interessante Alternative zur Einzelfeuerung.

Für die zentrale Verbrennung zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung im modellierten Biomasseheizkraftwerk (2,5 MW_{el}, 5,5 MW_{th}) liegen die jährlichen Gesamtkosten zwischen 2 991 und 4 259 T€ a⁻¹. Der Anteil der Brennstoffkosten inklusive der Holzkosten macht 30 % (Schnabelseggenried Niedersachsen, Nutzungsvariante 4) bis 50 % (Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen, Nutzungsvariante 3) aus. Die Erlöse der Anlage setzen sich zu rund 55 % aus dem Verkauf von Strom mit 17,1 ct kWh_{el}⁻¹ (EEG 2012) und zu rund 45 % aus dem Verkauf von Wärme zusammen.

Unter den getroffenen Annahmen und bei alleiniger Betrachtung der wirtschaftlich günstigsten Nutzungsvarianten können an allen Standorten positive Ergebnisse erzielt werden (im Anhang Tabelle A 37). Ein weiterer wichtiger Kennwert sind allerdings die Stromgestehungskosten. Diese liegen unter Berücksichtigung der Wärmeerlöse unter der EEG-Vergütung. Allein die Bewirtschaftungsvariante 3 der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese in Thüringen weist Verluste aus. Zur Deckung der Anlagenkosten wäre entweder eine zusätzliche Anlagenprämie von 2,8 ct kWh_{el}⁻¹ bzw. ein zu erzielender Wärmepreis von 9,0 ct kWh_{th}⁻¹ nötig.

Für eine gesicherte Substratversorgung wurde in diesem Nutzungskonzept der zusätzliche Einsatz von Holzhackschnitzeln (50 % des Biomassebedarfs) unterstellt. Somit ist die Konkurrenzfähigkeit der Grünlandbiomasse gegenüber dem Einsatzstoff Holz ein entscheidender Faktor. Bei einem angenommenen Holzhackschnitzelpreis von 25,4 € MWh⁻¹ bzw. 121 € t TM⁻¹ ist diese auch ohne gesonderte Grünlandförderung auf fast allen Grünlandstandorten gegeben (im Anhang Tabelle A 37). Ausgenommen ist auch hier wieder die Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese in Thüringen, welche neben der bundeslandspezifischen Flächenprämie einen zusätzlichen Förderbedarf in Höhe von 307 bis 404 € ha⁻¹ ausweist.

Biogasproduktion

Unter Einbezug der bundeslandspezifischen Flächenprämie belaufen sich die Bereitstellungskosten von Grassilage frei Biogasanlage für Altanlagen Neuanlagen in ähnlicher Größenordnung. Die Kostenunterschiede zwischen den Dauergrünlandpflanzengesellschaften liegen bei bis zu 24 € t FM⁻¹. Innerhalb eines Grünlandstandortes treten Kostendifferenzen zwischen den Nutzungsvarianten von bis zu 12 € t FM⁻¹ auf (vgl. Tabelle 59). So weist zwar beispielsweise die Nutzungsvariante 2 des Montanen Intensivgrünlands in Thüringen die niedrigsten Kosten pro Tonne Frischmasse aus, bezogen auf die Megawattstunde ist allerdings die Nutzungsvariante 3 aufgrund der höheren Methanausbeute kostengünstiger. Auf Grundlage der Bereitstellungskosten [€ MWh⁻¹] sind somit bestimmte Nutzungsvarianten zu bevorzugen (Tabelle 69).

Tabelle 69: Wirtschaftlich günstigste Nutzungsvarianten der Grünlandstandorte für die Biogasgewinnung

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Altanlagen	Neuanlagen
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen	3	2
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	4	3
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	4	4
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	4	4
Glatthaferwiese Thüringen	4	4
Montanes Intensivgrünland Thüringen	3	3
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	2	2

Den größten Anteil an den jährlichen Gesamtkosten der Anlagen nehmen die Einsatzstoffkosten mit rund 35 bis 50 % ein, wobei die alleinigen Kosten der Grassilage (40 % des Einsatzstoffmixes) bis zu 70 % der Einsatzstoffkosten ausmachen. Kostengünstige und energiereiche Einsatzstoffe sind demnach für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen von entscheidender Bedeutung.

Ausschließlich die Weidelgras-Weißkleeweide am brandenburgischen Niedermoorstandort kann in der angenommenen Biogasanlagengröße von 500 kW positive Ergebnisse erzielen. Alle anderen Standorte sind in diesem Konzept mit deutlichen Verlusten verbunden. Für einen rentablen Betrieb müssten Grasvergärungsanlagen demnach mit 1,5 bis 4,0 ct kWh_{el}⁻¹ zusätzlich unterstützt werden oder deutlich höhere Wärmepreise erzielen.

Ohne Berücksichtigung jeglicher Zusatzkosten liegt der Konkurrenzpreis von Grassilagen zwischen 29 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) und 42 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹). Kalkuliert man grasbedingte Zusatzkosten von 3 € pro t Grassilage mit ein, sollte diese in Abhängigkeit von der Methanausbeute nicht teurer als 27 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) bzw. 38 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹) frei Anlage sein. Diese Preisschwellen sind ohne zusätzliche Förderung nur an den beiden Grünlandstandorten in Brandenburg zu erreichen. Der Förderbedarf der anderen Standorte liegt für die wirtschaftlich günstigsten Nutzungsvarianten zwischen 93 und 242 € ha⁻¹.

Bei einem höheren Anteil der Grassilage als 20 % am Einsatzstoffmix der Biogasanlage liegt der Konkurrenzpreis dieser zum Ausgleich der 20 % höheren Investitionskosten zwischen 21 € t FM⁻¹ (bei 78 m_N³ t FM⁻¹) und 31 € t FM⁻¹ (bei 110 m_N³ t FM⁻¹).

Biomassepotenzial vom Dauergrünland

Abgesehen davon, dass die Datenbeschaffung z.T. sehr mühsam war, kann doch letztendlich auf eine gute Grundlage zurückgegriffen werden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, keine Futterration für die jeweiligen Tierarten unterstellen zu müssen, da auch innerhalb der Bundesländer starke regionale Unterschiede der Fütterung bestehen, die man in einer deutschlandweiten Kalkulation überhaupt nicht plausibel abbilden kann. Durch die Annahme, dass alle angebauten Ackerfutterpflanzen auch verfüttert werden, geht man diesem Kalkulationsrisiko der vielfältigen Futterrationen aus dem Wege. Da die meisten Potenzialberechnungen innerhalb der jeweiligen BL jedoch anders ansetzen, ist es nicht verwunderlich, dass man zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt. Allerdings ist eine Überschussproduktion von Ackerfutter sehr unwahrscheinlich, dafür sind die Opportunitätskosten der Ackerflächennutzung zu hoch. So dass der hier gewählte Ansatz plausibler und praxisrelevanter erscheint.

Es sollen hier die Potenzialberechnungen der jeweiligen Bundesländer aber auch nicht als falsch deklariert werden, sondern das Ziel des hier vorgestellten Ansatzes ist es alle Potenziale mit derselben Datengrundlage zu berechnen, die Bundesländer miteinander vergleichen zu können und damit eine deutschlandweite Zusammenfassung vornehmen zu können. Dies war vorher nicht möglich, da jedes BL, wie beschrieben, seinen eigenen Berechnungsansatz gewählt hatte.

Das gewählte Szenario A (2009) sollte die Ausgangssituation beschreiben. Dies ist sehr gut gelungen, denn die Status quo-DGL Überschüsse 2009 spiegeln die Gegebenheiten im jeweiligen BL wider. Grundsätzlich wird genauso viel Futter erzeugt, wie auch für eine bedarfsgerechte Versorgung der Tiere gebraucht wird. In den meisten BL entstehen demnach kaum Überschüsse, lediglich was sich aus den Jahresertragsschwankungen ergibt.

Die bereits höheren GL-Überschüsse > 15 % in BB, HE, MV, RP und SL lassen sich gut mit der Weidehaltung hoher Anteile an Mutterkühen erklären, bei einem eher geringen RGV-Besatz pro Hektar GL (Tabelle 70). Es steht demnach viel Weidefläche und -aufwuchs zur

Verfügung, der von den Tieren nicht gänzlich genutzt, sondern selbst auf den nicht so produktiven Standorten mehr zertreten als gefressen wird.

Nur BW fällt mit einem mittleren Mutterkuhanteil an der Gesamt-RGV-Anzahl aus dieser Relation heraus. Der relativ hohe Überschuss erklärt sich hier jedoch mit einem überproportional hohen Anteil an AUM-Flächen (> 90 %) auf einem grundsätzlich produktiven Standort, d.h. die trotzdem noch hohen Aufwuchsmengen werden nicht von dem zusätzlich relativ geringen RGV-Besatz pro Hektar Grünland verwertet (1,85 RGV/ha im Verhältnis zum Mittelwert von 2,54 in Deutschland, Median 2,04).

Tabelle 70: Übersicht über den Zusammenhang zwischen relativem GL-Überschuss (in %) und dem Anteil Mutterkühe an der Gesamt-RGV-Anzahl (in %) und dem RGV-Besatz pro Hektar Grünland je Bundesland in 2009

Bundesland (BL)	rel. GL-Biomasse-Überschuss* 2009 (in %)	Mutterkuhanteil an Gesamt-RGV (in %)	RGV/ha GL
BB	17,03	36,66	1,94
BW	18,47	15,20	1,85
BY	9,94	6,11	2,86
HE	16,90	23,39	1,65
MV	30,97	29,74	1,96
NI	5,16	9,17	3,19
NW	7,93	16,30	3,14
RP	15,75	27,85	1,58
SL	23,33	34,72	1,32
SN	1,26	17,79	2,58
ST	8,69	19,76	2,04
SH	2,01	12,83	3,43
TH	0,91	24,72	2,04

* Anteil berechnet aus dem Futterbilanzüberschuss bezogen auf den jeweiligen Gesamt-GL- Biomasseertrag

Zur Berechnung des zukünftigen GL-Biomassepotenzials wurde das Szenario B (2030) definiert, in dem sich lediglich der Ertrag des Wirtschafts-Dauergrünlandes moderat erhöht aber alle anderen Rahmenbedingungen gleich bleiben. Es wurde bewusst dieser konservative Ansatz gewählt, um schlussendlich auch ein vorsichtig realistisches energetisches Potenzial ausweisen zu können. Schließlich muss davon ausgegangen werden, dass Ertragssteigerungen auf dem Dauergrünland entweder eine Verringerung der Ackerfutterfläche oder eine Erweiterung der RGV-Haltung nach sich ziehen, wobei dann die erzeugten GL-Biomasseüberschüsse teilweise oder gänzlich auch wieder zur bedarfsgerechten Fütterung der Tiere eingesetzt würden.

Aufgrund der errechneten GL-Überschüsse 2030 abzüglich eines 5%igen Futtersicherungsabschlages, ergeben sich die in Tabelle 71 zusammengestellten Werte. Für die Berechnung der Biogasanlagenleistungen wurde die Methanausbeute der produktiven Standorte unterstellt. Da sich die GL-Biomasse aber nicht nur aus produktiven Aufwüchsen zusammensetzt erweist sich hier der oben beschriebene konservative Ansatz als berechtigt, um die Potenziale nicht zu überschätzen.

Demnach wurde jedoch bereits 2009 eine mögliche Biogasanlagenleistung in Deutschland aus GL-Biomasse von insgesamt 279 MW_{el} nicht realisiert. Das entspräche den Bestandsleistungen in SH und MV 2009 zusammen, die zusätzlich in Deutschland auf den bereits bewirtschafteten Flächen möglich gewesen wäre. Wobei MV und BW hier die höchste Unternutzung der Dauergrünlandflächen aufweisen (Tabelle 70). In 2030 wäre eine Biogasanlagenleistung von zusätzlichen 491 MW_{el} möglich, was der Biogasanlagenbestandsleistung von 2009 in NI entsprechen würde. Demnach bestünde ein nicht unerhebliches Potenzial an Dauergrünlandbiomasse, ohne auf AUM-Flächen oder mehr Ackerfutteranbau zurückgreifen zu müssen. In 2013 sind allerdings bereits 788 MW_{el} Biogasanlagenleistung in NI installiert gewesen (FvB, 2014), wobei Gras von Dauergrünlandaufwüchsen als Einsatzstoff erfahrungsgemäß immer noch nur ein kleines Segment bildet.

Tabelle 71: Tatsächliche Biogasanlagenleistung 2009 (in MW_{el}) sowie die potenzielle GL-Biomasse zur energetischen Verwertung 2009 und 2030 (in 1 000 t TM Jahr⁻¹) und die dadurch potenzielle zusätzliche Biogasanlagenleistung 2009 und 2030 (in MW_{el}) pro Bundesland und in Deutschland gesamt

Bundesland (BL)	tatsächliche Biogasanlagen- leistung*	potenzielle GL-Biomasse zur ener- getischen Verwertung**		Potenzielle zusätzliche Biogasanlagenleistung	
	(MW _{el})	(in 1 000 t TM Jahr ⁻¹)		(MW _{el})	
	2009	2009	2030	2009	2030
BB	111	131,34	210,73	19,23	30,85
BW	162	470,44	481,34	68,86	70,46
BY	424	394,08	912,84	57,69	133,62
HE	36	205,62	333,31	30,10	48,79
MV	162	446,86	566,06	65,41	82,86
NI	439	9,06	241,36	1,33	35,33
NW	126	97,55	216,33	14,28	31,67
RP	39	144,50	231,33	21,15	33,86
SL	6	39,09	47,25	5,72	6,92
SN	74	0,00	0,00	0,00	0,00
ST	116	22,77	47,63	3,33	6,97
SH	125	0,00	18,23	0,00	2,67
TH	72	0,00	47,75	0,00	6,99
D	1 892	1 961,32	3 354,16	278,45	476,19

* FvB, 2010

** Menge berechnet als rel. GL-Biomasse-Überschuss an 95 % des Gesamt-GL-Biomasseertrages zur Futterabsicherung auch in schlechteren Erntejahren.

Im Vergleich mit den Literaturwerten (FRITSCHKE ET AL., 2004; PROCHNOW ET AL., 2007B; KALTSCHMITT ET AL., 2008; THRÄN ET AL., 2010), die jedoch nur bedingt untereinander und mit den hier berechneten Werten vergleichbar sind, weisen z.B. THRÄN ET AL. (2010) bereits für 2020 doppelt so hohe TM-Grünlandbiomasseüberschüsse zur energetischen Verwertung aus, als hier für 2030 berechnet wurde. FRITSCHKE ET AL. (2004) weisen dagegen für 2030 um 1 Mio. t TM geringere GL-Überschüsse zur energetischen Verwertung aus, errechnen jedoch gleichzeitig ein um das 1,5-fache höhere Biogaspotenzial. PROCHNOW ET AL. (2007B) liegen mit ihren Werten genau zwischen den hier berechneten, sowohl in t TM als auch in m³ Methan, wobei hier der Zeitbezug nicht ganz klar ist, anzunehmen ist, dass die Kalkulation für 2007 gilt, und damit bereits höher als das Potenzial hier erst für 2009 berechnet wurde.

Grundsätzlich ist mit der durchgeführten Methodik ein Instrument geschaffen worden, welches einen einheitlichen Vergleich der Bundesländer untereinander und eine plausible Gesamtschätzung für Deutschland ermöglicht. Wünschenswert wäre, die noch unsicheren Daten in Zusammenarbeit mit den Zuständigen vor Ort belastbarer zu gestalten.

6. Handlungsempfehlungen

Aus den erzielten und diskutierten Ergebnissen ergeben sich nun die im Folgenden aufgeführten Vorzugsvarianten der Bewirtschaftung und Nutzung je nach Vegetationstyp und Verwertungsrichtung (Tabelle 72 und Tabelle 73)

Tabelle 72: Vorzügliche Bewirtschaftungsvarianten der **extensiven Standorte zur Heuproduktion** hinsichtlich der GL-Typ-Erhaltung, Ökonomie der Biomasseherstellung und -verwertung sowie der Energieeffizienz in zentralen und dezentralen Anlagen, dem THG-Einsparpotenzial und letztlich Ausweisung der Empfehlungsvarianten aus dem GNUT-Projekt (Nutzungsvarianten, Qualitäten, Verwertungseigenschaften siehe GÖDEKE ET AL., 2011)

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Vorzügliche Bewirtschaftungsvariante(n) hinsichtlich						Empfehlungsvariante GNUT-Projekt
	Erhaltung GL-Typ	Ökonomie		Verfahrens-		THG-Einsparpotenzial	
		Bio-masseherstellung	Verwertungsverfahren	Energieeffizienz dezentrale Anlage	zentrale Anlage		
Schnabelseggenried Niedersachsen	1 4	4	1 4	4	1 4	1	1
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg	2 3	3	2 3	3	3	2	2
Waldengelwurz-Kohldistelfeuchtwiese Sachsen	3 4	4	3 4	3 4	3	3	3
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen	2 3	2	3	2 3	3	2	2
Pfeifengras-Streuwiese Bayern	2	2	2	2	2	2	2

Empfehlungsvarianten: NI 1 = 2 Schnitte/Jahr, Juli+Sept.; BB 2 = 2 Schnitte/Jahr, Juni+Sept mit K-Düngung; SN 3 = 1 Schnitt/Jahr, Aug.; TH 2 = 2 Schnitte/Jahr, Juni+Sept, mit PK-Düngung; BY 2 = 1 Schnitt/Jahr, Sept.

Bei den extensiven GL-Typen zur Heuproduktion und –verwertung lag der Fokus auf dem Erhalt der jeweiligen Dauergrünlandpflanzengesellschaft. Daher gingen auch nur diese Nutzungsvarianten, die den GL-Typ erhalten, in die weitere Bewertung ein. Gut zum Ausdruck kommt hier, dass die Energieeffizienz als ökonomische Größe mit einfließt, denn die Nutzungsvarianten bei der Ökonomie und der Energieeffizienz sind, je nach ökonomischer Bewertungsebene und Anlagentyp, gleich. Widersprüchlicher zeigt sich dagegen das THG-Einsparpotenzial, wobei sich hier, durch die begrenzte Auswahl an bewerteten Nutzungsvarianten in diesem Parameter, auch immer eine ökonomisch vertretbare gemeinsame Nutzungsvariante identifizieren lässt.

Schlussendlich können alle Einzel-Parameter-Bewertungen zu einer abschließenden Empfehlung für eine dauergrünlandpflanzengesellschaftserhaltende Bewirtschaftungs- und Nutzungs- sowie Verwertungsvariante an extensiven Standorten zusammengefasst werden. Jedoch bildet die Tabelle 72 für jeden Grünlandwirt eine gute Matrix sich seine Kombination aus GL-Typ, Produktionstyp (Biomassebereitsteller oder –verwerter) sowie Anlagenkonzept herauszusuchen und die optimale Einzellösung für sich zu definieren. Denn durch die Vielfältigkeit der Dauergrünlandgesellschaften aufgrund von Boden-Klima- und Naturräumen sowie individuellen Betriebskonzepten kann es nur optimierte Einzellösungen geben.

Bei den produktiven Standorten zur Biogasproduktion sind die Aussagen bzgl. der betrachteten Parameter differenzierter (Tabelle 73).

Tabelle 73: Vorzügliche Bewirtschaftungsvarianten der **produktiven Standorte zur Biogasproduktion** hinsichtlich der GL-Typ-Erhaltung, Ökonomie der Biomasseherstellung und -verwertung sowie dem Energie-Nettoertrag in Verbindung mit der Energieeffizienz, dem THG-Einsparpotenzial und letztlich Ausweisung der Empfehlungsvarianten aus dem GNUT-Projekt

Dauergrünlandpflanzengesellschaft Standort	Vorzügliche Nutzungsvariante(n) hinsichtlich					Empfehlungsvariante GNUT-Projekt
	Erhaltung/Verbesserung GL-Typ	Ökonomie		Verfahrens-		
		Biomasseherstellung	Biogasverfahren	Energie-Nettoertrag und -effizienz	THG-Einsparpotenzial	
Ansaatgrünland-Weidelgras Niedersachsen	3	3	2 (N) 3 (A)	1	3	3
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)	2 3	3	3 (N) 4 (A)	3	3	3
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)	2 3	4	4	1	3	3 (+ Förderung)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen	2 3	4	4	3	3	3 (+ Förderung)
Glatthaferwiese Thüringen	1 2	4	4	4	4	1 2 (+ Förderung)
Montanes Intensivgrünland Thüringen	3 4	3	3	3	3	3
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)	2 3 4	2	2	2	4	2

(N) Neuanlage (A) Altanlage **Varianten:** 1 = ortsüblich optimal; 2 = wie 1 mit red. N-Düngung; 3 = Standortpotenzialnutzung; 4 = Bestandespflege

Lediglich bei dem Montanen Intensivgrünland Thüringen und der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor) lässt sich jeweils eine eindeutige Empfehlung ableiten. Hier entsprechen sich alle ökonomischen und ökologischen Aspekte bzgl. der Nutzungsvariantenvorzüglichkeit.

Bei der Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu) und Brandenburg (Talsand) sowie der Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen widersprechen die Vorzugsvarianten in der THG-Einsparung denen der Wirtschaftlichkeit sowohl in der Biomassebereitstellung als auch in der -verwertung. Ausschlaggebend für die Empfehlungsvariante im GNUT-Projekt ist hierbei die Nutzungsvariante mit dem besten THG-Einsparpotenzial und der Sicherstellung der Erhaltung des GL-Typs. Eigentlich sollte dies nicht der Fokus der Bewertung sein aber dies sind politisch- gesellschaftliche Ansprüche, die umgesetzt werden sollen und dann auch in entsprechendem Maße von Politik und Gesellschaft mitgetragen werden müssen. Extrem ist hier das Beispiel der Glatthaferwiese in Thüringen, bei der sowohl die Ökonomie als auch die THG-Einsparung mit einer Nutzungsvariante die besten Ergebnisse aufweisen, die nicht optimal den GL-Typ erhalten würde. Nutzungsvariante 3 und 4 der Glatthaferwiese zeigen in der Entwicklung von 2010 bis 2013 sogar eine deutliche Abnahme der Artenzahl und eine leichte Abnahme des Grünlandwertes. Diese, doch einen deutlichen Trend aufzeigende, Entwicklung zeigte sich in den 4 Versuchsjahren. Längerfristig ist ein Fortsetzen des Trends zu erwarten. Es stellt sich aber grundsätzlich die Frage, ob es sich dann um einen GL-Typ handelt, der unbedingt erhalten werden muss.

Auch für diese Produktions- und Verwertungsrichtungen auf den produktiven Grünlandstandorten ist im GNUT-Projekt mit der Tabelle 73 eine Matrix entstanden, aus der jeder interessierte Grünlandwirt seine optimalen Rahmenbedingungen ablesen kann, um seine individuelle Lösung ins Betriebskonzept einzupassen.

Grundsätzlich ist nicht immer die höchste Bewirtschaftungsintensität die optimale, auch auf den produktiven Standorten.

Auch ist aus den jeweiligen Matrices (Tabelle 72 und Tabelle 73) abzulesen, bei welchen ökologisch optimalen Dauergrünlandbewirtschaftungsvarianten Politik und Gesellschaft ihren Anteil erbringen müssen, um speziell verfolgte gesellschaftlich-politische Ziele zu erreichen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der möglichen Massenanteile der Grasvergärung in einer auf Wirtschaftsdünger und NawaRo ausgelegten Biogasanlage ohne technische Anpassungen vornehmen zu müssen. Des Weiteren wäre zu überprüfen inwieweit eine Qualitätsverbesserung des Dauergrünlandes durch Nachsaat von Weidelgräsern die Methanausbeuten der Aufwüchse der verschiedenen Dauergrünlandpflanzengesellschaften signifikant erhöhen würde und ob es gleichzeitig zu signifikanten sowie dauerhaften Veränderungen der Artenzusammensetzung an den Standorten kommen würde.

7. Zusammenfassung

Dauergrünland hat aufgrund seiner Multifunktionalität eine große Bedeutung und wird deshalb seitens der EU mit dem Dauergrünlanderhaltungsgebot besonders geschützt. Durch sinkende Tierbestände bzw. steigende Anforderungen an die Qualität der Dauergrünlandbiomasse seitens der Tierernährung, werden nicht mehr benötigte oder nicht mehr geeignete Dauergrünlandflächen suboptimal bewirtschaftet bzw. fallen aus der Bewirtschaftung. Dabei kann Dauergrünland, je nach Standort und Grünlandtyp auch alternativ als Substrat für die energetische Verwertung genutzt werden. Zahlreiche Untersuchungen sind zu dieser Thematik bereits durchgeführt worden, jedoch beziehen sich diese nur auf einzelne Gräser bzw. Dauergrünlandpflanzengesellschaften und die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen sind aufgrund unterschiedlicher Methoden nur begrenzt oder gar nicht miteinander vergleichbar.

Ziel dieser Arbeit war es daher, die alternative Verwertung von sieben produktiven Dauergrünlandpflanzengesellschaften, die unterschiedliche Grünlandanbaugebiete und Standortbedingungen Deutschlands repräsentieren, hinsichtlich ihrer Eignung für die Biogasproduktion bei Bewirtschaftung mit vier verschiedenen Nutzungsvarianten zu untersuchen. Dabei erfolgte sowohl die Ertragsfeststellung sowie die qualitative Untersuchung des Grünguts und der Silagen der unterschiedlichen Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten, als auch die Bestimmung der Methanausbeuten mit einheitlichen Methoden. Ergänzt wurde dies durch die Beurteilung des Erhalts der Dauergrünlandpflanzengesellschaft mittels der Ertragsanteilsschätzung nach KLAPP-STÄHLIN, der Berechnung des Schichtungsindex und des Grünlandwertes. Des Weiteren schlossen sich Bewertungsverfahren an, die sowohl Energie- und Treibhausgasbilanzen als auch die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Verwertungspfade Heuverbrennung von Aufwüchsen der fünf extensiven Standorte (GNUT-Verbrennung, GÖDEKE ET AL., 2011) und Biogasproduktion von Aufwüchsen der sieben produktiven Standorte betrachteten. Zusätzlich wurde das Biomasse- sowie das energetische Potenzial zur Biogasproduktion für Gesamt-Deutschland nach Bundesländern errechnet.

Die höchsten TM-Erträge auf den produktiven Standorten hatten die Weidelgras-Weißkleewiden bzw. des Ansaatgrünland-Weidelgras typ mit $91,7 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $138,5 \text{ dt ha}^{-1}$. Die Wiesenfuchsschwanzwiese, die Glatthaferwiese bzw. das Montane Intensivgrünland erreichten TM-Erträge zwischen $63,6 \text{ dt ha}^{-1}$ und $91,6 \text{ dt ha}^{-1}$. Die Nutzungsvarianten mit den höchsten TM-Erträgen, abhängig von der Dauergrünlandpflanzengesellschaften waren mehrheitlich die Nutzungsvarianten 1 (ortsüblich optimal) und 4 (Bestandspflege), aber einzeln konnten auch die Nutzungsvarianten 2 (ortsüblich optimal mit reduzierter N-Düngung) und 3 (Ausnutzung des Standortpotenzials) hohe TM-Erträge realisieren. In Bezug auf die Futterqualität und die Qualität für die Biogasnutzung erwiesen sich erwartungsgemäß im Mittel die Nutzungsvarianten 1 und 2 als die Besten, während die Nutzungsvarianten 3 und 4 geringere Qualitäten aufwiesen. Dies spiegelt sich auch in den Methanausbeuten wieder, die bei den Nutzungsvarianten 1 und 2 mit $305,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $356,9 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und $305,8 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $344,7 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ am höchsten und bei den Nutzungsvarianten 3 und 4 mit $298,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $341,7 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bzw. $287,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ bis $340,6 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ am niedrigsten ausfielen. Es zeigte sich, dass es zwischen den einzelnen Dauergrünlandpflanzengesellschaften keine großen Unterschiede gab. Bei den Methanhektarerträgen zeigte sich die große Abhängigkeit vom TM-Ertrag und der geringe Einfluss der Methanausbeute, sodass die Weidelgras-Weißkleewiden sowie das Ansaatgrünland-Weidelgras typ mit

2 353 m³_N ha⁻¹ bis 3 622 m³_N ha⁻¹ die höchsten Methanhektarerträge erreichen konnten und die drei anderen untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften Wiesenfuchsschwanzwiese, Glatthaferwiese sowie Montanes Intensivgrünland mit 1 317 m³_N ha⁻¹ bis 1 941 m³_N ha⁻¹ die niedrigsten aufwiesen.

Die Bewertung der Auswirkungen der Nutzungsvarianten auf die Vegetation ergab, dass sich in dem, für Dauergrünland kurzen Betrachtungszeitraum, bei keiner Dauergrünlandpflanzengesellschaft drastische Änderungen in der Artenzusammensetzung ergeben haben. Jedoch war es möglich bestandserhaltende bzw. –verbessernde Nutzungsvarianten zu identifizieren, wobei die Nutzungsvariante 2 (ortsüblich optimal mit reduzierter N-Düngung) und Nutzungsvariante 3 (Ausnutzung des Standortpotenzials) die beiden Nutzungsvarianten waren, die sich an den meisten Standorten als die dafür optimale Bewirtschaftungsvariante herausstellten.

Auch das Treibhausgaseinsparpotenzial für die Verwertung der Aufwüchse in der Biogasanlage erwies sich bei den extensiveren Nutzungsvarianten auf den produktiven Standorten für die Nutzungsvarianten 3 (Ausnutzung des Standortpotenzials) und 4 (Bestandspflege) als empfehlenswert. Bei der Heuverbrennung ist die Höhe der geernteten TM bei der Biomassebereitstellung mit ausschlaggebend für die Höhe des THG-Einsparpotenzials, da fast keine Düngung erfolgt. Daher sind hier die jeweils produktivsten Nutzungsvarianten am extensiven Standort die empfehlenswertesten. Die Energiebilanzen zeigen ein sehr differenziertes Bild, zumal bei der Heuverbrennung die beiden Konzepte dezentrale und zentrale Verwertung kalkuliert und bei der Biogasproduktion Alt- und Neuanlagen berücksichtigt wurden. In keinem anderen betrachteten Parameter spiegelt sich das Zusammenwirken von Standortunterschieden und Verwertungsoptionen so vielfältig wieder.

In der ökonomischen Betrachtung erweisen sich in der Biomasseherstellung und der gesamten Verfahrensbetrachtung nicht immer dieselben Nutzungsvarianten als die empfehlenswertesten. Daher ist als Grünlandwirt genau zu prüfen, ob es sich lohnt eine Verwertungsline aufzubauen oder ob es günstiger ist lediglich die Biomasse bereitzustellen. Während bei der Heuproduktion- und -verbrennung standörtlich sehr unterschiedliche Bewirtschaftungsvarianten ökonomisch sinnvoll sind, haben bei der Biogasproduktion die Nutzungsvarianten 3 (Ausnutzung des Standortpotenzials) und 4 (Bestandspflege), also Varianten mit reduziertem Betriebsmittel- und Arbeitsaufwand, klare ökonomische Priorität.

Das Dauergrünlandbiomassepotenzial zur energetischen Verwertung belief sich deutschlandweit auf 1,96 Mio. t TM pro Jahr in 2009 und wird sich nach vorsichtigen Schätzungen 2030 auf 3,35 Mio. t TM pro Jahr belaufen. Dies stellt eine bereits für 2009 zusätzliche Biogasanlagenleistung von 287 MW_{el} und für 2030 von 491 MW_{el} dar. Größte Potenziale ergeben sich hierbei für BY, BW und MV.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit den GNUT-Projekten belastbare Matrices entstanden sind, aus denen jeder interessierte Grünlandwirt, angepasst an Standort, GL-Typ, Produktions- und Verwertungsline, seine optimale Bewirtschaftungsvariante in Einklang von Ökologie und Ökonomie ablesen kann. Gleichzeitig ist für Politik und Verwaltung erkennbar, in welchen Bereichen Handlungsbedarf hinsichtlich Förderung unabdingbar ist, um politisch-gesellschaftlich gesetzte Ziele zu erreichen. Zusätzlich wird aufgezeigt wo und in welchen (vorsichtig kalkulierten) Mengen in Deutschland Dauergrünlandbiomasse zur energetischen Verwertung zur Verfügung steht.

8. Literaturverzeichnis

- Amlinger, F., Peyr, S., (2003) Umweltrelevanz der Dezentralen Kompostierung - Klimarelevante Gasemissionen, flüssige Emissionen, Massenbilanz, Hygienisierungsleistung, Endbericht, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik (ILUET), Universität für Bodenkultur, Wien, Austria
- Amon, T.; Amon, A.; Kryvoruchko, V.; Machmüller, A.; Hopfner-Sixt, K.; Bodiroza, V.; Hrbek, R.; Friedel, J.; Pötsch, E.; Wagenristl, H.; Schreiner, M. und Zollitsch, W. (2006a) Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations, *Bioresource Technology* 98, 3204-3212
- Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, B.; Ramusch, M.; Milovanovic, D.; Bodiroza, V.; Sapik, R.; Zima, J.; Machmüller, A.; Zollitsch, W.; Knaus, W.; Friedel, J.; Hrbek, R.; Pötsch, E.; Gruber, L.; Steinwider, A.; Pfundtner, E. und Wagenristl, H. (2006b) Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung* 80/2006, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- Bahrs, E. und Thiering, J. (2009) Landschaftspflegematerial für die Biogasproduktion, *Forum new power* 4, 7-10
- Baserga, U. (1998) Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, FAT-Berichte Nr. 512
- Baumgaertel, G. und Behnke, M. (2013): Mindestwerte für die Wirkung des Stickstoffs in organischen Nährstoffträgern, LWK-Niedersachsen <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/341/article/15868.html>
- Behm, C. (2012) MdB Pressemitteilung: Grünlandfläche nimmt in Deutschland weiter ab Grünland-Erhaltungsverordnungen wirken aber keine Entwarnung möglich, Bündnis 90/ Die Grünen Bundesvorstand, D-10115 Berlin, <http://www.gruene.de>
- Bijelic, Z.; Tomic, Z. und Ružic-Music, D. (2011) The effect of nitrogen fertilization on production and qualitative properties of sown grasslands in the system of sustainable production. *Biotechnology in Animal Husbandry* 27, 615-630.
- BLE 2013 Milchwirtschaft auf einen Blick in Deutschland nach Kalenderjahren. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, http://www.ble.de/DE/01_Markt/09_Marktbeobachtung/01_MilchUndMilcherzeugnisse/TabellenMilchDeutschland.html
- BNatSchG 2009 Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 100 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf
- Börjesson, P. und Berglund, M. (2007) Environmental systems analysis of biogas systems - Part II: the environmental impact of replacing various reference systems, *Biomass Bioenergy* 31, p. 326-344
- Bohner, A.; Öhlinger, R. und Tomanova, O. (2006) Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung und Flächenstilllegung auf Vegetation, Boden, mikrobielle Biomasse und Futterqualität, *Die Bodenkultur* 57, 33-45.
- Briemle, G. (2007) Empfehlungen zu Erhalt und Management von Extensiv- und Biotopgrünland, *Landinfo* 2/2007, S. 16-22.
- CARMEN e.V. (2013) Betriebsdaten geförderter bayerischer Biomasse-Heizwerke, Auswertung Betriebsjahr 2012, http://www.carmen-ev.de/files/festbrennstoffe/Eval_2012.pdf
- CARMEN e.V., Wärmegestehungskosten, <http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/biomasseheizwerke/wirtschaftlichkeit/474-waermegestehungskosten>, abgerufen 20.11.2013

- DBV (2013) Situationsbericht 2012/13, Trends und Fakten zur Landwirtschaft, Deutscher Bauernverband, <http://www.bauernverband.de/situationsbericht-2014>
- Degner, J. (2010) Betriebswirtschaftliche Richtwerte für die Produktion von Silage, Heu und Weidefutter aus Feldgras (zur Fütterung), Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/fgr0710.pdf>
- DESTATIS (2014) Gehaltene Tiere: Deutschland, Jahre, Tierarten. Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank, https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data;jsessionid=16EBD913E83AD4AF5CC1EC840CA6049E.tomcat_GO_1_2?operation=abrufabelleAbrufen&selectionname=41311-0001&levelindex=1&levelid=1420927450257&index=1
- Dierschke, H. und Briemle, G. (2002) Kulturgrasland: Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren, Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- DirektZahlVerpflG (2014) Gesetz zur Regelung der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen durch Landwirte im Rahmen gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über Direktzahlungen und sonstige Stützungsregelungen (Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz-DirektZahlVerpflG), <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/DirektZahlVerpflG.pdf>.
- DMK (2009) Maisanbaufläche Deutschland in ha, 2008 und 2009 (vorläufig) nach Bundesländern und Nutzungsrichtung in ha, Deutsches Maiskomitee, Kleffmann, Stand Mai 2009, http://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/produktion/Maisanbauflaeche_D_08-09.pdf
- EEG (2009) Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634) geändert worden ist, https://www.clearingstelle-eeeg.de/files/EEG_2009_juris_Stand_110721.pdf
- EEG (2012) Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. August 2012 (BGBl. I S. 1754) geändert worden ist, https://www.clearingstelle-eeeg.de/files/EEG2012_juris_120817.pdf
- EEG (2014) Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2406) geändert worden ist, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeeg_2014/gesamt.pdf
- Elsässer, M. (2003) Möglichkeiten der Verwendung alternativer Verfahren zur Verwertung von Grünlandmähgut: Verbrennen, Vergären, Kompostieren. Berichte über Landwirtschaft 4, 512-526
- Elsässer, M. (2006) Nichtproduktionsfunktionen von Dauergrünland. In Büchs, W., Möglichkeiten und Grenzen der Ökologisierung der Landwirtschaft - wissenschaftliche Grundlagen und praktische Erfahrungen -, Beiträge aus dem Arbeitskreis „Agrarökologie“, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 403, ISSN 0067-5849, ISBN 3-930037-24-6, S.81-89
- Elsässer, M. (2007) Two cuts - and afterwards? - Effects of adapted management on permanent grassland. In European Grassland Federation, Permanent and Temporary Grassland - Plant, Environment and Economy, Grassland Science in Europe Vol. 12, p. 580 - 583
- Elsässer, M.; Messner, J.; Keymer, U.; Rossberg, R.; Setzer, F. (2012) Biogas aus Gras – Wie Grünlandaufwüchse zur Energieerzeugung beitragen können, DLG-Merkblatt 386, 1. Auflage 11/2012
- Èop, J.; Vidrih, M. und Hacin, J. (2009) Influence of cutting regime and fertilizer application on the botanical composition, yield and nutritive value of herbage of wet grasslands in Central Europe, Grass and Forage Science 64, 454-465
- EU (2009) VERORDNUNG (EG) Nr. 1120/2009 DER KOMMISSION vom 29. Oktober 2009, mit Durchführungsbestimmungen zur Betriebsprämienregelung gemäß Titel III der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates mit gemeinsamen Regeln für

- Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:316:0001:0026:DE:PDF>
- FNR (2013) Hrsg., Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 6., überarbeitete Auflage, ISBN 3-00-014333-5
- FNR (2013) Basisdaten Bioenergie Deutschland 2013, Festbrennstoffe Biokraftstoffe Biogas, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.), <http://mediathek.fnr.de/broschuren/bioenergie/basisdaten-bioenergie.html> abgerufen 23.12.2013
- Fritsche, U. R.; Dehoust, G.; Jenseits, W.; Hühnecke, K.; Rausch, L.; Schüler, D.; Wiegmann, K.; Heinz, A.; Hiebel, M.; Ising, M.; Kabasci, S.; Unger, C.; Thrän, D.; Fröhlich, N.; Scholwin, F.; Reinhardt, G.; Gärtner, S.; Patyk, A.; Baur, F.; Bemmann, U.; Groß, B.; Heib, M.; Ziegler, C.; Flake, M.; Schmehl, M. und Simon, S. (2004) Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Öko-Institut & Partner, Darmstadt, ISBN 3-934490-20-4
- Fuksa, P.; Hakl, J.; Hrevušová, Z.; Šantrucek, J.; Gerndtová, I. und Harbart, J. (2012) Utilization of Permanent Grassland for Biogas Production, Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems, Dr. Arzu Şencan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0600-5, InTech, DOI: 10.5772/36180, <http://www.intechopen.com/books/modeling-and-optimization-of-renewable-energy-systems/utilization-of-permanent-grassland-for-biogas-production>, p. 170-196
- FvB (2010) Biogas Branchenzahlen 2010, Fachverband Biogas e. V., Stand 12/2009, [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM_29_10/\\$file/10-11-17_Biogas%20Branchenzahlen%202010_%C3%BCberarbeitet-sf.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM_29_10/$file/10-11-17_Biogas%20Branchenzahlen%202010_%C3%BCberarbeitet-sf.pdf)
- FvB (2014) Biogas Branchenzahlen 2014/15, Fachverband Biogas e. V., Stand 12/2014, [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/14-11-25_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/14-11-25_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf)
- Gaujour, E.; Amiaud, B.; Mignolet, C. and Plantureux, S. (2012) Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands, A review. *Agronomy for sustainable development*, 32(1), p. 133-160
- GEMIS (2012) – Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, Version 4.8, Öko-Institut/IINAS, Darmstadt
- Gerighausen, H.-G. (2011) Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, DLG-Verlag, Frankfurt, ISBN 978-3-7690-0791-6
- Gerin, P. A.; Vliegen, F.; Jossart, J.-M. (2008) Energy and CO₂ balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion, *Bioresource Technology* 99, p. 2620-2627
- Gödeke, K.; Hering, T.; Schmidt, F.; Lochmann, Y.; Hochberg, E.; Jäger, U. und Hochberg, H. (2011) Endbericht zum Verbundprojekt "Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung (GNUT-Verbrennung)", <http://www.tll.de/ainfo/pdf/gnut1211.pdf>
- Graf, R.; Michel, V.; Roßberg, D. und Neukampf, R. (2009) Definition pflanzenartspezifischer Anbauggebiete für ein regionalisiertes Versuchswesen im Pflanzenbau, *Journal für Kulturpflanzen* 61, S. 247-253
- Gräfe, E. (2014) Betriebswirtschaftliche Richtwerte der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (persönliche Mitteilung)
- Greiner, B.; Schuppenies, R.; Hertwig, F.; Hochberg, H. und Riehl, G. (2007) Düngung von Grünland mit Phosphor und Kalium nach Entzug - Auswirkungen auf die Nährstoffgehalte in der Pflanze und im Boden, 51. Jahrestagung der AGGF vom 30. August bis 1. September 2007 in Göttingen „Neue Funktionen des Grünlands: Ökosystem, Energie, Erholung“, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland

und Futterbau Band 8, N. Wrage und J. Isselstein (Hrsg.), ISBN: 978-3-00-022335-8

Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg, H. und Riehl, G. (2010) Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland, 122. VDLUFAKongress vom 21. - 24. September 2010 in Kiel, „Landschaftselement oder Rohstofflieferant - zur Multifunktionalität des Grünlandes“, VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, ISBN 978-3-941273-08-5, S. 157-168

Gruber, L. (2009) Bedeutung der Grundfutterqualität aus der Sicht einer zeitgemäßen Wiederkäuerfütterung, 15. Alpenländisches Expertenforum 2009, „Grundfutterqualität - aktuelle Ergebnisse und zukünftige Entwicklungen“ am LFZ Raumberg-Gumpenstein, ISBN-13: 978-3-902559-34-0, ISSN: 1818-7722, S. 1 - 10

Halbzeitbewertungen (2010)

BB: Stegmann, S.; Welz, D.; Horlitz, T.; Jungmann, S.; Rudow, K.; Bathke, M.; Kliebisch, Chr.; Oerkermann, G. (2010) Halbzeitbewertung des Entwicklungsplans für den ländlichen Raum Brandenburgs und Berlins (EPLR) 2007 Bis 2013, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-brandenburg-berlin_de.pdf

BW: Schramek, J.; Gehrlein, U.; Geißendörfer, M.; Schaer, B.; Wippel, B.; Kasperczyk, N.; Koch, F.; Steinhuber, M.; Roedel, T.; Vögtlin, J.; Braun, S. (2010) Halbzeitbewertung "Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2007 - 2013 (MEPL II)" nach der VO (EG) 1698/2005, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-baden-wuerttemberg_de.pdf

BY: Rödel, T.; Geißendörfer, M.; Küpker, M.; Seibert, O.; Eckstein, K.; Hoffmann, H.; Rommel, W.; Endres, E.; Koch, F.; Schaer, B.; Wissinger, E.; Steinhuber, M. (2010) Evaluierung des Bayerischen Zukunftsprogramms Agrarwirtschaft und Ländlicher Raum 2007-2013 (BayZAL), Halbzeitbewertung des BayZAL 2007-2009, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-bavaria_de.pdf

HE: Grajewski, R.; Forstner, B.; Bormann, K.; Horlitz, T. (2010) Halbzeitbewertung des EPLR Hessen Entwicklungsplan für den Ländlichen Raum 2007 – 2013 im Rahmen der 7-Länder-Bewertung, Kurzfassung, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-hessen_de.pdf

MV: Grajewski, R.; Forstner, B.; Bormann, K.; Horlitz, T. (2010) Halbzeitbewertung des EPLR Mecklenburg-Vorpommern Entwicklungsplan für den Ländlichen Raum 2007 – 2013 im Rahmen der 7-Länder-Bewertung, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-mecklenbug-vorpommern_de.pdf

NI: Dickel, R.; Reiter, K.; Roggendorf, W.; Sander, A. (2010) Halbzeitbewertung, Teil II – Kapitel 13, Zahlungen für Agrarumweltmaßnahmen (ELER-Code 214), http://www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1525&article_id=92991&psmand=7

NW: Grajewski, R.; Forstner, B.; Bormann, K.; Horlitz, T. (2010) Halbzeitbewertung des NRW-Programms Ländlicher Raum 2007 – 2013 Plan des Landes Nordrhein-Westfalen zur Entwicklung des ländlichen Raums 2007 – 2013 im Rahmen der 7-Länder-Bewertung, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-nordrhein-westfalen_de.pdf

RP: Schramek, J.; Gehrlein, U.; Kasperczyk, N.; Kullmann, A.; Bergs, R.; Wippel, B.; Dreer, J. (2010) Halbzeitbewertung Programm „Agrarwirtschaft, Umweltmaßnahmen, Landentwicklung“ (PAUL) nach der VO (EG) 1698/2005,

- http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-rheinland-pfalz_de.pdf
- SL: Doluschitz, R.; Grosskopf, W.; Nienaber, B. (2010) ELER - Plan zur Entwicklung des ländlichen Raums im Saarland 2007-2013, Halbzeitbewertung 2007-2009, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-saarland_de.pdf
- SN: Strecker, O.; Kliebisch, Chr.; Oerkermann, G.; Hannus, V.; Stegmann, S.; Welz, D.; Horlitz, T.; Bathke, M.; Roger, M.; Rudow, K.; Thies, M.; Setzer, F.; Weiser, K. (2010) Bericht zur Halbzeitbewertung des Entwicklungsprogramms für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2007 bis 2013, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-saxony_de.pdf
- ST: isw, Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gemeinnützige Gesellschaft mbH (2010) Laufende (jährliche) Bewertung, Halbzeit- und Ex-post-Bewertung des Programms zur Entwicklung des ländlichen Raums in Sachsen-Anhalt (EPLR) 2007 bis 2013 nach VO (EG) Nr. 1698/2005 (ELER) - Bericht zur Halbzeitbewertung, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-saxony-anhalt_de.pdf
- SH: Grajewski, R.; Forstner, B.; Bormann, K.; Horlitz, T. (2010) Halbzeitbewertung des ZPLR Schleswig-Holstein Zukunftsprogramm Ländlicher Raum 2007 – 2013 im Rahmen der 7-Länder-Bewertung, http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-schleswig-holstein_de.pdf
- TH Stegmann, S.; Welz, D.; Horlitz, T.; Jungmann, S.; Rudow, K.; Thies, M.; Pawletko, K.; Roger, M.; Rose, St.; Setzer, F.; Schramek, J. (2010) Halbzeitbewertung der Förder Initiative Ländliche Entwicklung in Thüringen 2007 – 2013 (FILET), http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/countries/de/mte-rep-de-thuringen_de.pdf
- Harrison, J. H.; Blauwiekel, R. und Stokes, M. R. (1994) Fermentation and Utilization of Grass Silage, *Journal of Dairy Science* 77, S. 3209-3235.
- Hegner, H. und Weiß, A. (2014): Versuchsfeldführer Grünland 2014, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.till.de/ainfo/pdf/ffgl0314.pdf>
- Heiermann, M.; Idler, C.; Herrmann, C. und Scholz, V. (2009) Abschlussbericht des Teilprojekt 4 (FKZ: 22002605) „Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute in Labor und in der Praxis“ im Rahmen des Verbundvorhabens „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/Untersuchungsberichte/Teilprojekte/Substrat_Gas/Endbericht_tp4_eva1.pdf
- Herrmann, C.; Heiermann, M. und Idler, C. (2010) Silierbarkeit und Methanbildungspotenziale von Energiepflanzen, 2. Symposium Energiepflanzen am 17./18. November 2009 in Berlin, Hrsg. FNR, Gülzower Fachgespräche Band 34; S. 147-156.
- Herrmann, C.; Heiermann, M. und Idler, C. (2011) Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops, *Bioresource Technology* 102, p. 5153-5161
- Herrmann, C.; Prochnow, A.; Heiermann, M.; Idler, C. (2013) Biomass from landscape management of grassland used for biogas production effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yield, *Grass & Forage Science*, 69 (4), p. 549-566
- Hertwig, F. und Pickert, J. (2005) Anforderungen an die landwirtschaftliche Grünlandnutzung in Brandenburg, http://leif.brandenburg.de/media_fast/4055/Anforderungen%20an%20landwirtschaftliche%20Gr%C3%BCnlandnutzung.pdf

- Hertwig, F. und Schuppenies, R. (2011) Mähnutzung von Niedermoorgrünland erfordert Düngung mit Phosphor, http://lfl.brandenburg.de/media_fast/4055/M%C3%A4hnutzung%20von%20Niedermoorgr%C3%BCn.pdf
- Hochberg, E. und Jäger, U. (2014) Pflanzenbestandsveränderungen, Projektinterne Zuarbeit, noch unveröffentlicht
- Hochberg, H.; Schwabe, M.; Plogsties, A. und Strümpfel, J. (2013) Ursachen des Flächenrückgangs beim Thüringer Dauergrünland, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/rdgr0713.pdf>
- Hochberg, H.; Zopf, D.; Maier, U.; Schwabe, M. und Hochberg, E. (2008) Ex-post Evaluation Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Thüringen 2000-2006, TLL Jena im Auftrag des TMLFUN zur Erfüllung der Berichtspflicht gegenüber der EU, http://ec.europa.eu/agriculture/rur/countries/de/thuring/ex-post_de.pdf
- Hopkins, A.; Gilbey, J.; Dibb, C.; Bowling, P. J. und Murray, P. J. (1990) Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen, 1. Herbage production and herbage quality, *Grass and Forage Science* 45, p. 43-55
- Huyghe, C.; Baumont, R. und Isselstein, J. (2008) Plant diversity in grasslands and feed quality, *Grassland Science in Europe* 13, p. 375-386
- IPCC (2006): Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; editors 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11, Agriculture, forestry and other land use; IGES Japan, ISBN 4-88788-032-4
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, ISBN 978-0-521-70596-7 paperback
- Isselstein, J. (2010) Ökosystemfunktionen des Grünlands, 122. VDLUFAKongress vom 21. - 24. September 2010 in Kiel, „Landschaftselement oder Rohstofflieferant - zur Multifunktionalität des Grünlandes“, VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, ISBN 978-3-941273-08-5, S. 27-37
- Jury, C.; Benetto, E.; Koster, D.; Schmitt, B.; Welfring, J. (2010) Life cycle assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid, *Biomass Bioenergy* 34, p. 54-66
- Käding, H. (1994) Einfluss von Düngung, Nutzung, Pflanzenbestand und Grundwasserstand auf die Futterqualität von Niedermoorgrünland, *Archives of Agronomy and Soil Science* 38, S. 195-202
- Kaiser, F.; Diepolder, M.; Eder, J.; Hartmann, S.; Prestele, H.; Gerlach, R.; Ziehfrennd, G. und Gronauer, A. (2004) Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Tagungsband zur LfL-Jahrestagung am 9. Dezember 2004 in Rosenheim, „Biogas in Bayern“, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 13/2004, ISSN 1611-4159, S. 43-55
- Kaiser, F. und Gronauer, A. (2007) Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen, Information der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weißenstephan, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_27455.pdf
- Kaiser, F. L. (2007) Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren, Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, http://www.tec.wzw.tum.de/downloads/diss/2007_kaiser.pdf
- Kaltschmitt, M.; Lenz, V. und Thrän, D. (2008) Zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland - Potenziale, Stand und Perspektiven, Leibniz-Institut LIFIS ONLINE, ISSN 1864-6972, http://leibniz-institut.de/archiv/kaltschmitt_25_04_08.pdf

- Kaltschmitt, M. und Reinhardt, G. A. (1997) Hrsg., *Nachwachsende Energieträger - Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung*, Vieweg-Verlagsgesellschaft Braunschweig/Wiesbaden, ISBN 978-3528067786
- Kern, M.; Raussen, T.; Funda, K.; Lootsma, A.; Hofmann, H. (2010) Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz, UBA (Hrsg.), *TEXTE 43/2010*, ISSN 1862-4804
- Kiesewalter, S.; Riehl, G.; Albert, E. und Röhricht, C. (2007) Nutzungsalternativen für Grünland, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 2/2007, ISSN 1861-5988, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14154>
- Kromus, S.; Narodoslowsky, M. und Krotscheck, C. (2002) Grüne Bioraffinerie - Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2002*, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, des Landes Oberösterreich und des Landes Steiermark, http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/0218_gruene_bioraffinerie.pdf
- KTBL (2004): *KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005*, Landwirtschaftsverlag Münster, Auflage: 19 (2004), ISBN 978-3-784321-78-3
- KTBL (2006): *KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/2007*, Landwirtschaftsverlag Münster, Auflage: 20 (2006), ISBN 978-3-939371-07-6
- KTBL (2010): *KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/2011*, Landwirtschaftsverlag Münster, Auflage: 22(2010), ISBN: 978-3-941583-38-2
- KTBL-Feldarbeitsrechner (2013) Online-Anwendung, <http://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html;jsessionid=28A80D9EACD32051D9400EB10E9B0C80>
- KTBL-MaKost (2013) Maschinenkosten und Reparaturkosten, Online-Anwendung, <http://daten.ktbl.de/makost/startseite.do;jsessionid=BCB3C01EF4F950AD4AE34FCF4CB0F975#start>
- Laser, H.; Königs, V.; Opitz von Boberfeld, W. und Theobald, P. (2007) Potentielle Eignung von ausgewählten mono- und dikotylen Grünlandarten für die Biomasseverbrennung in Hinblick auf die Rückstands- und NO_x-Problematik, 50. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. vom 31. August – 2. September 2006 in Straubing (Niederbayern), „Die Zukunft von Praxis und Forschung in Grünland und Futterbau“, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 17/2006, ISSN 1611-4159, S. 137-140
- LfL (2014) Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten, Internetinformation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/031560/>.
- Mähnert, P.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Schelle, H. und Linke, B. (2002) Verwertungsalternativen für Grünlandbestände - Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung. *Landtechnik 5*, S. 260-261
- Matthias, J. (2010) Ansprüche an die Biogasanlage beim Einsatz von Alternativen zu Mais, NRW-Energiepflanzentagung: Biogas – Alternativen zu Mais, <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2010/2010-05-26-energiepflanzen-07.pdf>
- Memmler, M.; Merkel, K.; Pabst, J.; Rother, St.; Schneider, S.; Dreher, M. (2013) Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2012, Umweltbundesamt CLIMATE CHANGE 15/2013, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2012>
- Messner, J.; Nussbaum, H. und Elsässer, M. (2011) Specific utilization intensity of permanent grassland used as biogassubstrate, in *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions*, Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, Gumpenstein, Austria, p. 392-394

- Meyer-Aurich, A. (2005) Economic and environmental analysis of sustainable farming practices - a Bavarian case study. *Agricultural Systems* 86, p. 190-206
- Meyer-Aurich, A.; Schattauer, A.; Hellebrand, H.J.; Klauss, H.; Plöchl, M.; Berg, W. (2012) Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources, *Renewable Energy* 37, p. 277-284
- Moll, E. und Piepho, H.-P. (2001) Die Auswertung von Versuchsserien balancierter und unbalancierter einfaktorieller Blockanlagen A-BI mit Hilfe von SAS, *Zeitschrift für Agrarinformatik* 9, S. 76-84
- Narodoslawsky, M. (2003) Alternative Grünlandnutzung – Stoffliche Verwertung grüner Biomasse in der „Grünen Bioraffinerie“, 9. Alpenländisches Expertenforum, 27. - 28. März 2003 in der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, „Das österreichische Berggrünland - ein aktueller Situationsbericht mit Blick in die Zukunft“, S. 77-80, <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/48-expertenforum-2003/402-alternative-gruenlandnutzung-narados.html>
- Nitsch, H.; Osterburg, B.; Laggner, B. und Roggendorf, W. (2010) Wer schützt das Grünland? - Analysen zur Dynamik des Dauergrünlandes und entsprechender Schutzmechanismen, Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung der GEWISOLA "Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse", http://www.ti.bund.de/media/institute/lr/GEWISOLA_2010/Tagungsbeitraege/A3_3.pdf
- Nussbaum, H.(2007): Technische Verfahrenslösungen für die Futterernte – Clever einsilieren ins Fahrsilo, Deutscher Grünlandtag/DLG-Grünlandtagung 2007, „Futterernte auf dem Grünland – Technik für Qualität und Leistung“ in Arnstadt, DLG, S. 45-49, <https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/dates/gruenland/Gruenlandtagung07.pdf>
- Odstrčilová, V.; Kohoutek, A.; Hrabě, F.; Rosická, L.; Šrámek, P.; Kašparová, J.; Komárek, P.; Nerušil, P.; Gaisler, J.; Fiala, J.; Pozdíšek, J.; Mičová, P.; Svozilová, M. and Jakešová, H. (2007) Effects of intensity of fertilisation and cutting frequency on botanical composition of permanent grassland, in *European Grassland Federation, Permanent and Temporary Grassland - Plant, Environment and Economy, Grassland Science in Europe Vol. 12*, p. 398-401
- Oertel, D. (2007) Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe – Sachstandsbericht zum Monitoring »Nachwachsende Rohstoffe«. Büro für Technologiefolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 114, <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab114.pdf>
- Osterburg, B.; Nieberg, H.; Rüter, S.; Isermeyer, F.; Haenel, H.-D.; Hahne, J.; Krentler, J.-G.; Paulsen, H.-M.; Schuchardt, F.; Schweinle, J.; Weiland, P. (2009) Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors, *Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie* 3/2009 http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dk041942.pdf
- Osterburg, B.; Nitsch, H.; Laggner, B. und Roggendorf, W. (2009) Auswertung von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems zur Abschätzung von Wirkungen der EU-Agrarreform auf Umwelt und Landschaft. *Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie* 7/2009, http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dk043146.pdf
- Ostermeyer, A. und Pirscher, F. (2010) Potenzial von Bioenergie in Deutschland - Studien im Vergleich, *Berichte über Landwirtschaft* 88, S. 247-274
- Pavlů, V.; Schellberg, J. und Hejzman, M. (2011) Cutting frequency vs. N application: effect of a 20-year management in *Lolio-Cynosuretum* grassland, *Grass and Forage Science* 66, p. 501-515

- Plöchl, M.; Heiermann, M.; Linke, B.; Schelle, H. (2009) Biogas crops - Part II: balance of greenhouse gas emissions and energy from using field crops for anaerobic digestion, *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal* (11), p. 1-11, <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/viewFile/1086/1191>
- Pozdíšek, J.; Štýbnarová, M.; Svozilová, M. und Látal, O. (2007) Changes in chemical composition, digestibility and energy content in permanent grassland influenced by intensity of utilization and fertilization; In *European Grassland Federation, Permanent and Temporary Grassland - Plant, Environment and Economy, Grassland Science in Europe Vol. 12*, p. 70-73
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Drenckhan, A. und Schelle, H. (2005) Seasonal Pattern of Biomethanisation of Grass from Landscape Management. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 7, p. 1-17
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Drenckhan, A. und Schelle, H. (2007a) Biomethanisierung von Landschaftspflegeaufwuchs - Jahresverlauf der Biogaserträge, *Naturschutz und Landschaftsplanung* 39, S. 19-24
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Idler, C.; Linke, B.; Mähner, P. und Plöchl, M. (2007b) Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge, in „Gas aus Gras und was noch?“, *Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes 1/2007*, Berlin, S. 11-22
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Linke, B.; Idler, C.; Amon, T. und Hobbs, P. J. (2009) Bioenergy from permanent grassland - A review: 1. Biogas, *Bioresource Technology* 100, p. 4931-4944
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Plöchl, M. (2013) Permanent grasslands for bioenergy: factors affecting management and conversion efficiency. In: *The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas, Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013, Grassland Science In Europe, Vol. 18, ISBN 978-9979-881-20-9*, p. 514-521.
- Ramesohl, S.; Arnold, K.; Kaltschmitt, M.; Scholwin, F.; Hofmann, F.; Plättner, A.; Kalies, M.; Lulies, S.; Schröder, G.; Althaus, W.; Urban, W. und Burmeister, F. (2005) Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen (Wuppertal Institut), <http://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/2274>
- Reinhold, G. (2012) Biogasgülle-Rechner der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Online-Anwendung, <http://www.tll.de/ainfo/prog/bior0812.xls>
- Reinhold, G. (2014) Konsultation zur Wirtschaftlichkeitsberechnung der Versuchsergebnisse GNUT-Biogas (persönliche Mitteilung)
- Reinhold, G.; Degner, J.; Gödeke, K.; Vetter, A. (2014) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Biogas bei Einsatz von Ko-Substraten und Reststoffen in Bestandsanlagen, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 2. Überarbeitete Auflage, http://www.tll.de/ainfo/pdf/ll_bgas.pdf
- Richter, C. (2014) Konsultation zur statistischen Auswertung GNUT-Versuch (persönliche Mitteilung)
- Robowsky, K.-D. (1996) Futterwert von nach Naturschutzaufgaben bewirtschaftetem Grünland, 40. Jahrestagung der AGGF vom 29. bis 31. August 1996 in Neuruppin/Pailinenaue, Lehr- und Versuchsanstalt für Grünland und Futterwirtschaft Paulinenaue e. V. (Hrsg.), Druck: Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneueordnung, Frankfurt/Oder, LELF TZ 141/0.25/96, S. 193-196
- Rösch, C.; Raab, K.; Skarka, J. und Stelzer, V. (2007) Energie aus dem Grünland - eine nachhaltige Entwicklung?, *Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, ISSN 0947-8620*, <http://www.itas.kit.edu/pub/v/2007/roua07b.pdf>

- Schaumberger, A. (2011) Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland, Dissertation, Technische Universität Graz, ISBN 978-3-902559-67-8
- Schmaler, K. und Barthelmes, G. (2012) Methanertragspotenzial von Grünlandbeständen bei unterschiedlicher Intensität der Schnittnutzung, 56. Jahrestagung der AGGF vom 30. August - 1. September in Witzenhausen, „Energetische Nutzung von Grünlandaufwüchsen“, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau Band 13, ISBN 978-3-00-038005-1, S. 35-39
- Schubert, R.; Hilbig, W. und Klotz, S. (2001) Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, ISBN 978-3827409157
- Schuppenies, R.; Greiner, B.; Hertwig, F.; Hochberg, H. und Riehl, G. (2005) Ergebnisse aus siebenjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf ostdeutschen Grünlandstandorten, 49. Jahrestagung der AGGF vom 25. bis 27. August 2005 in Bad Elster, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau Band 7, ISBN 3-00-016913-X, S. 99-102
- Spiekers, H. (2004) Tierphysiologische Anforderungen an die Silagequalität. LfL, Institut für Tiernäherung und Futterwirtschaft, Grub, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/030320_tierphysiologische_anforderungen_an_die_silagequalitaet.pdf
- Spiekers, H.; Nussbaum, H. und Potthast, V. (2009) Erfolgreiche Milchviehfütterung, DLG-Verlag Frankfurt am Main, 5. überarbeitete Auflage, ISBN 978-3769007305
- Statistisches Bundesamt (2010): Statistisches Jahrbuch 2010 - Für die Bundesrepublik Deutschland mit »Internationalen Übersichten«, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2010.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt (2011): Statistisches Jahrbuch 2011 - Für die Bundesrepublik Deutschland mit »Internationalen Übersichten«, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2011.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt (2013): Statistisches Jahrbuch Deutschland und Internationales 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2013.pdf?__blob=publicationFile
- Stein, S. und Krug, A. (2008) The boom in biomass production - a challenge for grassland biodiversity?, Grassland Science in Europe, Vol. 13, p. 730-732.
- Techow, A.; Quakernack, R.; Pacholski, A.; Kage, H.; Taube, F. und Hermann, A. (2011) Perennial ryegrass for biogas production: How do cutting frequency and cultivar maturity influence methane yield? Grassland Science in Europe, Vol. 13, p. 377-379
- TFZ (2014) Wirtschaftlichkeit von Biomassefeuerungen, Merkblatt 14EBr006, Stand: September 2014, http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/14ebr006_mb_wirtschaftlichkeit_1407.pdf
- Thaysen, J.; Bosma, A.H.; Frick, R.; Gerighausen, H.G.; Honig, H.; Hoerner, R.; Nussbaum, H.J.; Raue, F.; Sarreiter, R. (1999) Mäh- und Intensivaufbereiter, DLG-Merkblatt 313, Frankfurt/Main, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_313.pdf
- Thrän, D.; Bunzel, K.; Seyfert, U.; Zeller, V.; Buchhorn, M.; Müller, K.; Matzendorf, B.; Gaasch, N.; Klöckner, K.; Möller, I.; Starick, A.; Brandes, J.; Günther, K.; Tum, M.; Zeddies, J.; Schönleber, N.; Gamer, W.; Schweinle, J. und Weimar, H. (2010) Globale und regionale räumliche Verteilung von Biomassepotenzialen - Status Quo und Möglichkeiten der Präzisierung, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2010, https://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Berichte_Projektdaten/bank/bmvbs_DL_ON272010-1.pdf

- Thrän, D.; Fischer, E.; Fritsche, U.; Hennenberg, K.; Herrmann, A.; Oehmichen, K.; Pfeiffer, D.; Schmersahl, R.; Schröder, T.; Zeller, V.; Zeymer, M. (2011) Methodenhandbuch "Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte", Methoden zur Bestimmung von Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben in Rahmen des BMU-Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung", Version 2.1 (Oktober 2011) Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung" Band 4, Deutsches BiomasseForschungszentrum (DBFZ), Leipzig, 98 S.
- Thurner, S.; Konrad, M.; Strobl, M. (2013) Substratbereitstellung von Grünland aus verfahrenstechnischer Sicht, Biogas Forum Bayern Nr. II – 21/2013, Hrsg. ALB Bayern e.V., http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Substratbereitstellung_von_Grunland.pdf, abgerufen am 23.11.2013
- Tilman, D.; Socolow, R.; Foley, J. A.; Hill, J.; Larson, E.; Lynd, L.; Pacala, S.; Reilly, J.; Searchinger, T.; Somerville, Chr. and Williams, R. (2009) Beneficial biofuels - the food, energy, and environment trilemma, Science Vol. 325, p. 270-271
- TMLFUN, 2013 Informationsbroschüre für die Empfänger von Direktzahlungen und für bestimmte ELER-Zuwendungsempfänger über die anderweitigen Verpflichtungen - Cross Compliance - Ausgabe Thüringen 2013. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN), Erfurt
- Tonn, B.; Thumm, U. und Claupein, W. (2007) Chemische Brennstoffqualität als Grundlage der Verbrennung von Aufwüchsen extensiv genutzter Grünlandbestände; 51. Jahrestagung der AGGF vom 30. August bis 1. September 2007 in Göttingen „Neue Funktionen des Grünlands: Ökosystem, Energie, Erholung“, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau Band 8, N. Wrage und J. Isselstein (Hrsg.), ISBN: 978-3-00-022335-8, S. 169-172
- Vogt, R. (2008) Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen, Kurzdokumentation Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Heidelberg (ifeu), http://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/THG_Bilanzen_Bio_Erdgas.pdf, abgerufen am 13.03.2013
- Voigtländer, G. und Voß, N. (1979) Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. Grünland - Feldfutter – Rasen, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 978-3-800130-43-6
- Walter, K. (2008) Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen 2. Grundfutterqualität und erzielbare Leistung. Landbauforschung - vTI Agricultural and Forestry Research 3, S. 211-230
- Wank, S. und Keymer, U. (2011) Betriebswirtschaftliche Bewertung, in Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung– Machbarkeitsstudie, LfL-Schriftenreihe 4/2011, S. 137-170
- Weiland, P. 2001 Grundlagen der Methanvergärung - Biologie und Substrate, VDI-Tagung in Hannover am 19. und 20. Juni 2001, „Biogas als regenerative Energie - Stand und Perspektiven“, VDI-Berichte 1620, S. 19-32
- Weiland, P. (2010) Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology 85, p. 849-860
- Weißbach, F. (2008) Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik 63, S. 356-358
- Weißbach, F. (2009) Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung, Landtechnik 5, S. 317-321
- Whitehead, D. C. (2001) Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships, CABI Publishing, ISBN 978-0851994376
- Zeller, V., Thraen, D., Zeymer, M. et al.: Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung (DBFZ Report Nr. 13), Leipzig 2012, ISSN 2190 – 7943

9. Anhang

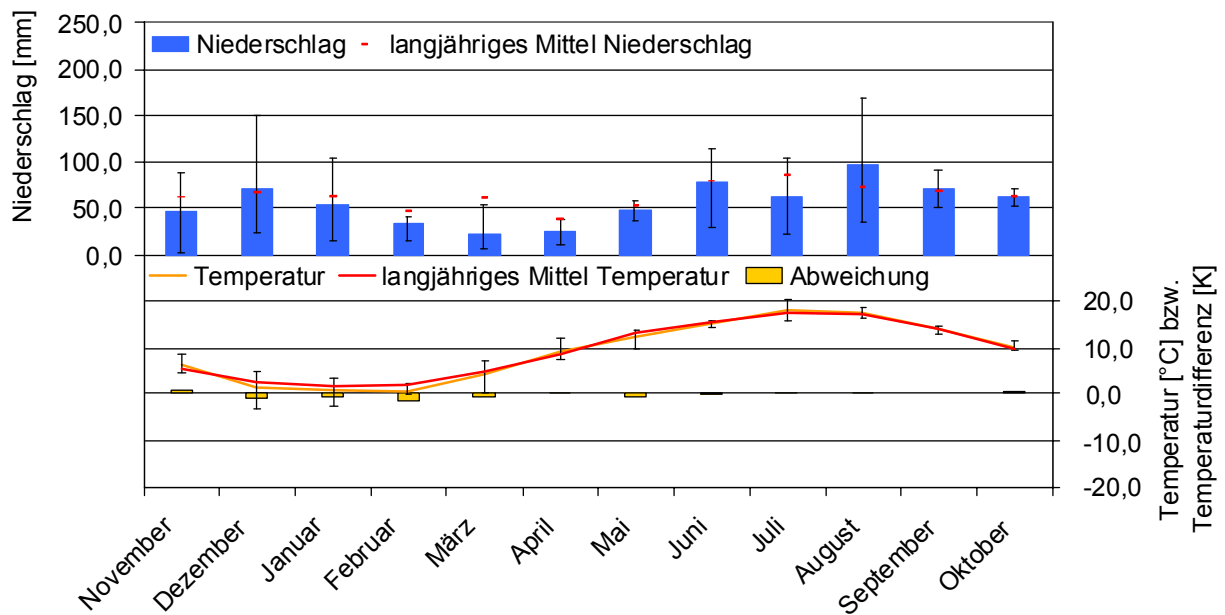


Abbildung A 1: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 des **Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

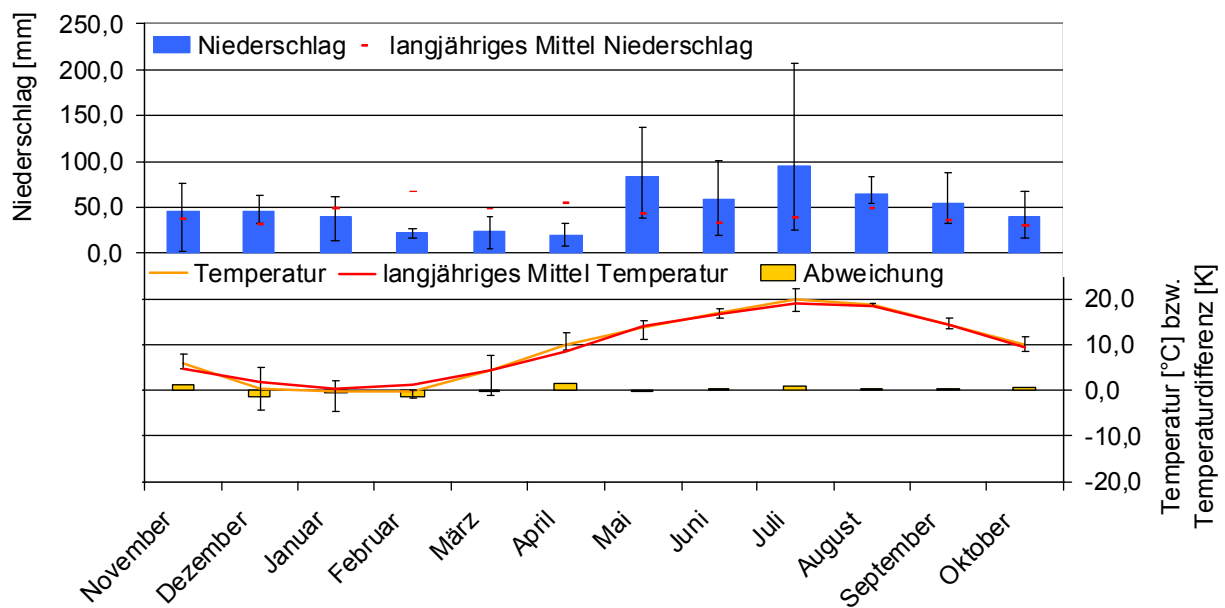


Abbildung A 2: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der **Weidelgras-Weißkleeweiden in Brandenburg** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

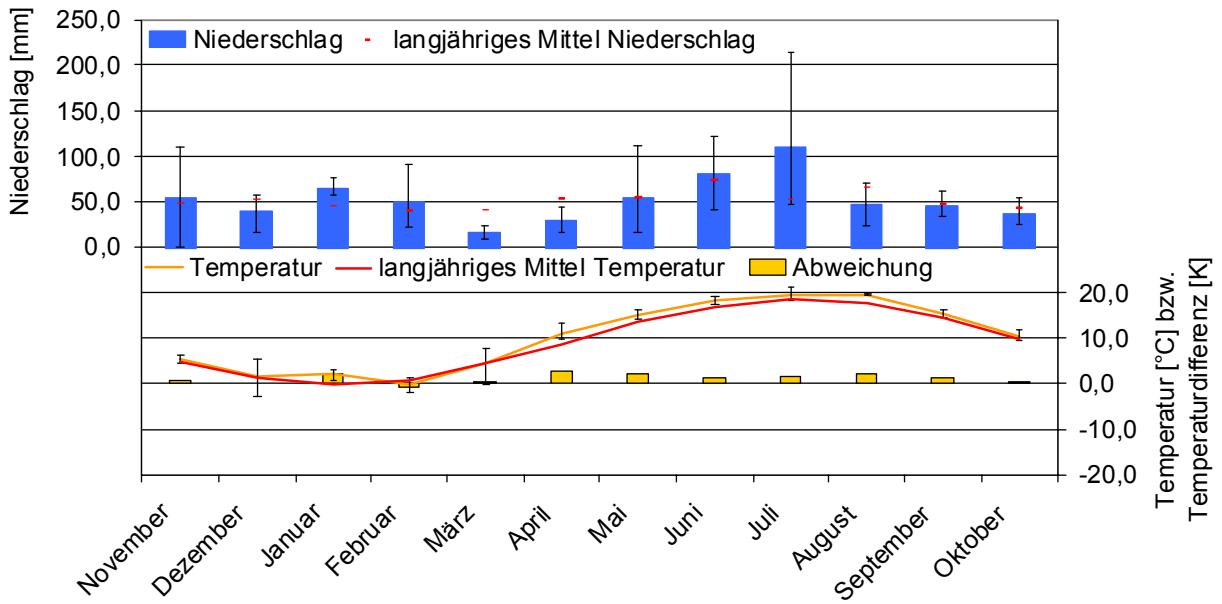


Abbildung A 3: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der **Wiesenfuchsschwanzwiese in Sachsen** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

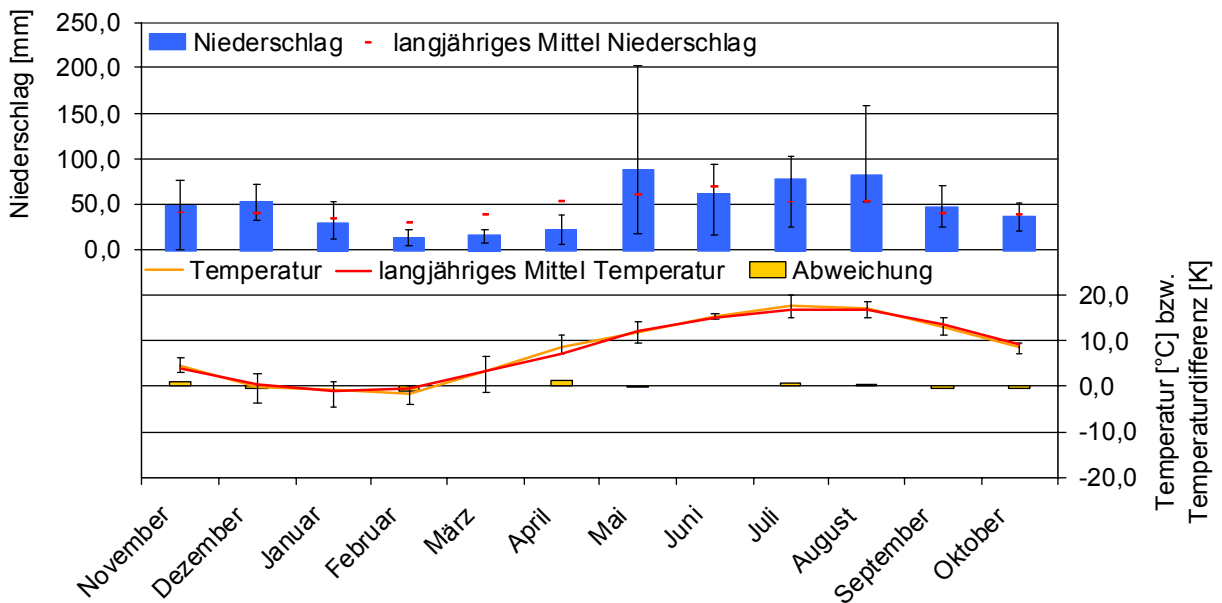


Abbildung A 4: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der **Glatthaferwiese in Thüringen** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

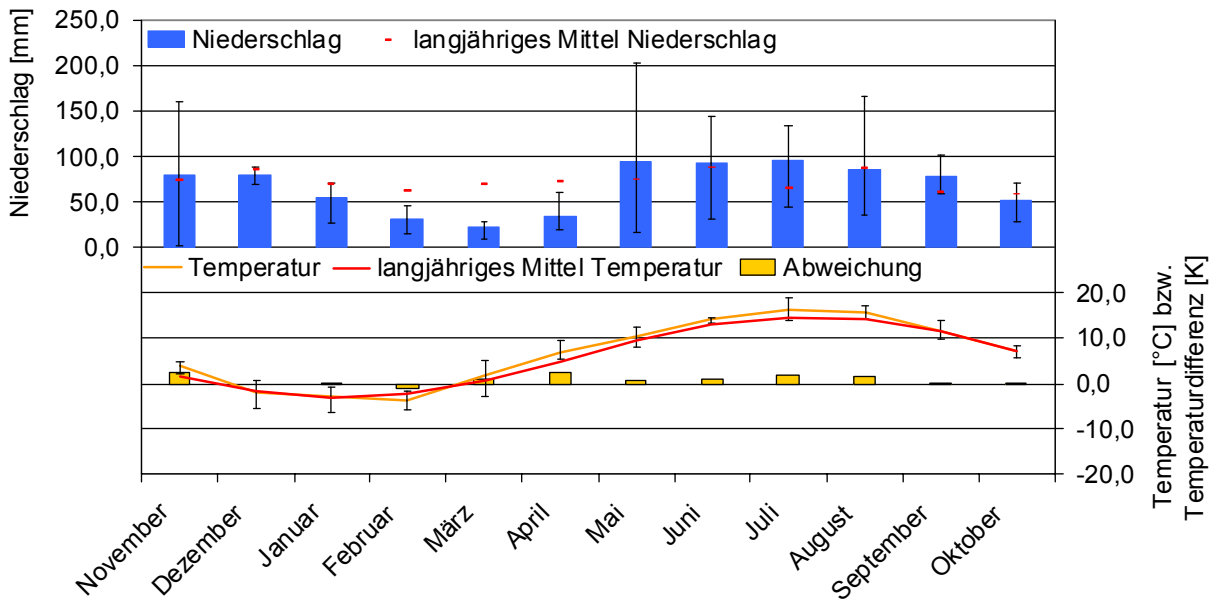


Abbildung A 5: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

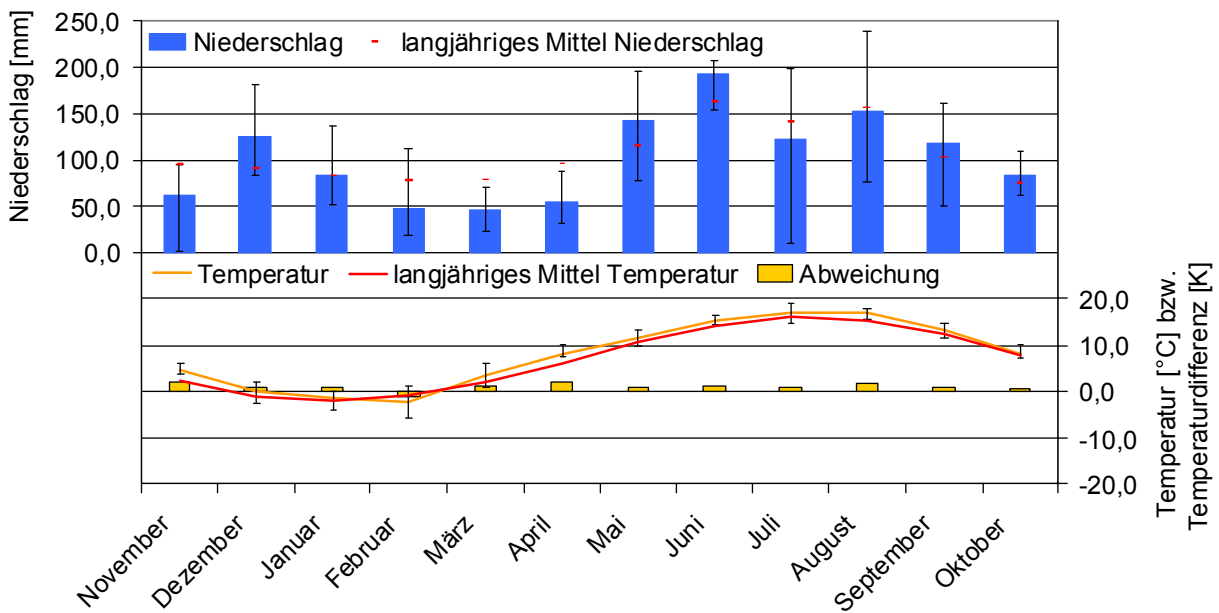


Abbildung A 6: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2010 - 2013 der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** mit Angabe der Spannweiten und Temperaturabweichungen

Tabelle A 1: Pflanzenbestand des **Ansaatgrünland-Weidelgrastyps (Niedersachsen)** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Honiggras, Wolliges	r	r	+	+							r	+				
Knaulgras		r	1	1			+	+			+	+				
Lieschgras, Wiesen-	4	6	8	9	3	4	9	16	5	5	6	23	9	9	10	15
Rispe, Gemeine	+	+	1	2	+	+	1	3	+	+	+	6	+	1	2	4
Rispe, Wiesen-	1	2	3	3	1	2	3	7	1	1	2	28	1	1	3	6
Weidelgras, Deutsches	94	91	83	81	95	92	84	71	92	92	89	41	87	86	81	68
Weidelgras, Hybrid	1	1	4	4	1	2	3	3	2	2	3	2	3	3	4	6
ges. Gräser	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Ampfer, Krauser													+			
Hirtentäschel			r													
Hornkraut, Gemeines																
Kerbel, Wiesen-																
Knöterich, Floh-			r	r												
Knöterich, Wiesen-				r												
Löwenzahn, Gemeiner							r	r	r	r	r	r			+	1
Miere, Grasstern-																
Miere, Vogel-							r					r				
ges. Kräuter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

r=0,1 +=0,2

Tabelle A 2: Pflanzenbestand der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Fuchsschwanz, Wiesen					r	+	+	+								
Knaulgras	+	1	1	2	4	3	4	4	5	5	4	5	3	3	3	8
Lieschgras, Wiesen					1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	3
Quecke, Gemeine	27	24	20	28	25	20	17	17	20	25	20	27	30	42	36	31
Rispe, Gemeine	15	15	15	12	11	14	15	9	16	13	14	10	13	13	14	11
Rispe, Jährige	+	+	+	1												
Rispe, Wiesen-	29	36	36	24	26	34	33	28	40	37	32	26	17	17	16	15
Rohrglanzgras					+	1	+	1	r	+	+	+				
Straußgras, Rotes							r	+								
Weidelgras, Deutsches	18	11	17	16	21	17	18	21	11	9	10	14	23	14	18	19
ges. Gräser	89	87	89	83	88	90	88	81	94	90	81	84	87	90	88	87
Ampfer, Krauser	1	2	1	1	1	1	+	+	+	+	1	1	+	+	+	1
Bärenklau, Wiesen-		+	+	r		+			r	1	+	r				
Brennnessel, Große				r	r			+	r	+	r	+				
Distel, Gänse-					r			r								+
Ehrenpreis, Feld-																
Fingerkraut, Gänse	r	r	r	+	r		+	+		r	r	r		r	r	r
Gänseblümchen				r				r								
Gundermann				r				r				r				
Hahnenfuß, Scharfer	1	1	+	1	r	r	r	r	r	+	+	+	+	r	r	r
Hirtentäschel		+	r	+	r			r		r	r	r		+		+
Hornkraut, Gemeines		r		+	r	r		+		r	+	+		r	+	1
Klette, Kleine	+	r						+			+			+		
Knöterich, Floh-				r								r				
Kratzdistel, Acker	1	3	2	3	4	3	2	3	2	3	5	3	3	5	6	5
Kratzdistel, Lanzett	+	2	1	1	r	1	1	+		1	2	+		r	r	+
Löwenzahn, Gemeiner	7	4	6	8	6	5	6	10	4	4	8	7	8	4	5	4
Pimpinelle, Große										+	r	r			+	
Pippau, Wiesen-																
Sauerampfer, Wiesen-											+	r				
Schafgarbe, Gemeine			r	+	r	r	r	1		r	r	1				
Storchschnabel, Schlitzbl.																r
Taubnessel, Rote	+	1	+	+	r	r		r	+	1	r	r	r	+	+	r
Vogelmiere		r		r		r										r
Wegerich, Breit-			r				r	r								r
Wegerich, Spitz-			r	1												
ges. Kräuter	10	13	10	15	11	10	9	14	6	10	16	12	11	9	11	11
Klee, Rot					+			+	+	r			1	r	r	+
Klee, Weiß	1	+	1	2	1	+	3	5	r	+	3	4	1	1	1	2
Vogelwicke																
ges. Leguminosen	1	0	1	2	1	0	3	5	0	0	3	4	2	1	1	2

r= 0,1 + = 0,2

Tabelle A 4: Pflanzenbestand der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Fuchsschwanz, Knick-				+								+				
Fuchsschwanz, Wiesen-	37	35	36	50	40	38	38	49	45	36	34	42	38	37	36	50
Hafer, Glatt-	+	+	1	r	r	r	+						1	1	1	1
Honiggras, Wolliges					r	r	r	r								
Knautgras	8	6	4	3	7	5	5	3	5	3	2	1	6	5	5	4
Quecke, Gemeine	6	5	8	11	2	2	6	10	7	11	15	19	5	6	9	16
Rispe, Gemeine	2	1	1	2	1	1	2	3	2	1	3	4	2	2	3	4
Rispe, Wiesen-	+	+	1	1	1	1	1	1	+	2	3	3	+	+	+	1
Schwingel, Wiesen-									r	r	+	r				
Straußgras, Rotes	36	34	29	18	39	38	31	15	29	25	22	9	32	30	24	9
Trespe										r	r					
Weidelgras, Deutsches	2	1	2	4	1	+	1	3	1	1	+	1	3	+	1	3
ges. Gräser	91	82	82	89	91	85	84	84	89	79	79	79	87	81	79	88
Bärenklau, Wiesen-	r	r	+						+	+	+		+	+	+	r
Brennnessel			r	r					+	1	1	+			+	+
Ehrenpreis, Feld-					r	r	r	r								
Glockenblume, Wiesen-	r	r	r		r	r	r									
Habichtskraut, Gemeines					r	r	1	+		r	r	r				
Hahnenfuß, Scharfer								r							r	r
Hohlzahn							r									
Hornkraut, Gemeines	r	r	r	r	r	r	r		r			r				
Klette, Kleine													r			
Labkraut, Wiesen-	1	1	2	1	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	r
Löwenzahl, Gemeiner	1	7	3	r	+	5	3	2	2	6	3	1	2	6	8	3
Löwenzahl, Herbst		r	r	r	r	r	+	+	r	+	+	r				
Melde										r						
Möhre, Wilde							r									
Sauerampfer, Wiesen	6	9	11	9	7	8	9	12	9	12	15	19	11	12	12	9
Schafgarbe, Gemeine	1	1	1	+	1	1	2	1	+	1	2	1	+	1	1	r
Taubnessel, Weiße			r		r	r	r	r			+	r		r	+	r
Vogelmiere			r												r	
Wegerich, Spitz-	+	+	1	1	r	+	+	1	+	1	+	+	r	+	+	+
ges. Kräuter	9	18	18	11	9	15	16	16	11	21	21	21	13	19	21	12
Weißklee							r									
ges. Leguminosen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

r=0,1 +=0,2

Tabelle A 5: Pflanzenbestand der **Glatthaferwiese Thüringen** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Fuchsschwanz, Wiesen-	6	6	4	5	3	4	3	5	7	7	8	8	5	6	6	7
Hafer, Glatt-	16	12	11	11	10	9	6	7	16	17	17	14	15	16	14	14
Hafer, Gold-	7	10	8	9	6	6	7	6	5	6	5	5	7	6	7	6
Kammgras							+	r					1	1	1	1
Knautgras	4	5	5	6	5	6	5	6	4	4	5	4	8	8	8	8
Quecke, Gemeine	2	3	4	4					1	2	3	3	1	1	1	2
Rispe, Gemeine	4	3	4	3	5	4	4	4	3	3	3	3	4	5	5	4
Rispe, Wiesen-	12	9	8	7	15	12	12	10	12	10	11	12	3	3	4	3
Schwingel, Rot-	7	8	10	10	10	12	11	13	6	7	8	8	8	8	9	9
Weidelgras, Deutsches	12	10	11	12	10	12	12	11	5	5	5	4	13	13	11	12
ges. Gräser	70	66	65	67	64	65	60	62	59	61	65	61	65	67	66	66
Bocksbart, Wiesen-													1	1	1	1
Ehrenpreis, Gamander-	+	+	+	+	1	1	1	1	r	r	r	+				
Fingerkraut, Kriechendes													r	r		
Günsel, Kriechender						r	r									
Hahnenfuß, Scharfer	3	2	2	2	1	1	1	+	2	2	2	1	1	1	1	1
Hornkraut, Gemeines													r	r		
Kerbel, Wiesen-	5	4	5	4	3	4	4	3	5	5	4	4	4	4	4	3
Labkraut, Wiesen-	3	4	5	4	8	9	9	9	8	7	7	7	4	4	5	5
Löwenzahl, Gemeiner	8	8	9	9	13	8	12	13	9	8	9	11	5	6	7	8
Löwenzahl, rauhaariger													r	r		
Margerite	r	+	+	+	+	r	r	r					r	r	r	r
Möhre, Wilde									r				3	2	1	1
Pippau, Wiesen							r	r					r	r		
Sauerampfer, Wiesen	1	1	+	1	+	+	r	+	1	1	1	1	1	1	1	1
Schafgarbe, Gemeine	3	3	4	4	4	5	7	6	7	6	6	7	4	4	4	4
Storchschnabel, Wiesen-	6	11	9	8	5	6	5	5	7	8	5	5	5	6	6	5
Vergissmeinnicht, Acker-													r			
Wegerich, Spitz-									+	+	+	1	1	1	1	2
Winde, Acker-													1	+	r	r
ges. Kräuter	29	33	34	32	35	34	39	37	39	37	34	37	30	30	31	31
Klee, Gelb		r	r	r	r	+	r	r					r			
Klee, Rot	+	r	r	r	r	+	r	r	1	1	+	1	2	1	1	1
Wicke, Vogel-	r	+	+	+	+	+	r	r								
Wicke, Zaun-	1	1	1	1												
Platterbse, Erdnuss-													+	+	+	+
Klee, Weiß			r	+	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2
ges. Leguminosen	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	5	3	3	3

r=0,1 ++=0,2

Tabelle A 6: Pflanzenbestand des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Fuchsschwanz, Wiesen-									15	9	6	6	2	4	4	3
Hafer, Glatt-	1	1	1	1	1	1	+	1	+	+	4	4	+	+	+	+
Hafer, Gold-	27	24	21	24	31	27	25	25	26	25	29	30	28	26	27	28
Honiggras, Wolliges									+	+	+	+	1	1	1	1
Knautgras	16	16	15	13	14	13	13	12	+	+	3	3	12	12	14	16
Lieschgras, Wiesen-	5	6	5	5	6	7	8	7	1	2	2	2	1	1	1	1
Rispe, Gemeine	6	6	7	7	5	5	5	6	6	5	5	5	8	7	6	5
Rispe, Wiesen-	12	11	11	12	11	10	7	8	15	15	14	13	14	11	11	13
Ruchgras, Gemeines									r	+	r	r				
Schwingel, Rot-									+	+	+	+				
Schwingel, Wiesen-					2	2	1	2	4	5	5	5	3	3	3	3
ges. Gräser	67	64	60	62	70	65	59	61	67	61	68	68	69	65	67	70
Ampfer, Stumpfbältriger				r	+	+	+	+	1	+	+	+	+	r	r	r
Bärenklau, Wiesen-	8	5	4	5	6	4	3	3	5	4	3	3	4	3	2	3
Ehrenpreis, Feld-	r				r	r			r			r		r	r	r
Ehrenpreis, Gamander-		r	r	r	r	1	1	1		r	1	1		r	r	+
Frauenmantel	1	1	1	1	+	+	r	r	2	1	1	1	1	1	1	+
Gänseblümchen	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	+	+	2	2	2	3
Hahnenfuß, Scharfer	r	r	r	r	+	r	r	r	+	r	r	+	+	r	r	r
Hirtentäschel																
Hornkraut, Gemeines	+	1	+	r	r	1	+	r	r	r	r	r	+	+	+	r
Kerbel, Wiesen-	1	+	1	1	1	1	1	1	+	r	r	r	1	1	1	+
Labkraut, Wiesen-	r	r	r	r												
Löwenzahl, Gemeiner	10	18	20	18	11	15	19	19	12	20	14	16	11	16	14	13
Löwenzahl, Herbst																
Sauerampfer, Wiesen	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Schafgarbe, Gemeine					+	1	1	1	+		r	+	1	2	1	1
Schaumkraut, Wiesen-																
Vogelmiere	r	r	r	r												
Wegerich, Spitz-		+	+	+									1	+	1	1
ges. Kräuter	24	28	29	28	22	27	28	29	23	29	20	22	22	26	23	22
Klee, Rot	5	4	4	3	5	4	5	3	5	4	5	4	6	4	5	4
Klee, Weiß	4	4	7	7	3	4	8	7	5	6	7	6	3	5	5	4
ges. Leguminosen	9	8	11	10	8	8	13	10	10	10	12	10	9	9	10	8

r= 0,1 += 0,2

Tabelle A 7: Pflanzenbestand der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** nach Nutzungsvariante und Versuchsjahr

Pflanzenart	Nutzungsvariante															
	1				2				3				4			
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Fuchsschwanz, Wiesen-	3	3	2	2	3	4	2	2	3	2	1	5	3	2	1	5
Glatthafer						+	2	4		1	3	6		1	4	7
Kammgras, Weide-									r	r	r	+				
Knaulgras, Gemeines	7	9	11	11	4	6	10	11	8	10	17	12	9	13	15	11
Lieschgras, Wiesen-	2	1	1	1	1	1	+	1	3	2	1	1	2	2	1	2
Rispe, Gemeine	5	3	4	5	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	6
Rispe, Jährige	+	+	+	+				r		+	+	+		r	r	+
Rispe, Wiesen-	4	7	4	4	5	8	4	4	4	6	3	4	3	3	4	4
Schwingel, Rot-	+	+	+	+												
Schwingel, Wiesen-	2	2	1	2	2	1	1	1	3	2	1	2	2	1	+	1
Straußgras, Rotes	2	2	2	+	2	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Weidelgras, Dt. + Hybrid-	60	55	55	59	63	54	59	60	50	49	52	49	47	39	52	48
ges. Gräser	85	82	80	84	83	79	82	87	74	76	81	82	69	65	80	84
Ampfer, Stumpfbältriger	r	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	1	1	1	1
Bärenklau, Wiesen-					r	+	+	+								
Gänseblümchen, Gem.	+	+	r	r				r	r	r	r	r	r	r		
Hahnenfuß, Scharfer	1	1	1	1	+	1	r	+	+	1	+	2	1	2	1	1
Hornkraut, Gemeines	r				r			r	r	r	r	r	r	r	r	
Kerbel, Wiesen-									+	+	+	r				
Löwenzahn, Gemeiner	7	11	11	8	7	11	9	6	8	12	10	5	8	11	7	4
Sauerampfer, Wiesen-						r	r	r								r
Scharbockskraut, Frühl.	1	+	r	r	1	+	r	r	+	r	r	r	+	+	r	r
Wegerich, Breit-	r	r								r	r	r				
Wegerich, Spitz-	1	2	4	4	2	3	4	2	1	1	2	2	2	3	2	2
ges. Kräuter	10	14	16	13	11	15	13	8	9	14	12	9	12	17	11	8
Klee, Rot-							r			r	+	2		r		+
Klee, Weiß-	5	4	4	3	6	6	5	5	17	10	7	7	19	18	9	8
ges. Leguminosen	5	4	4	3	6	6	5	5	17	10	7	9	19	18	9	8

r=0,1 +=0,2

Tabelle A 8: Schnitttermine der einzelnen Aufwüchse, Nutzungsvarianten, Versuchsjahre und Dauergrünlandpflanzengesellschaften

Nutzungs- variante	Schnitt	Erntetermin			
		2010	2011	2012	2013
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen					
	Vegetationsbeginn	01.04.	24.03.	14.03.	17.04.
1	1	26.05.	23.05.	21.05.	03.06.
1	2	23.06.	05.07.	05.07.	23.07.
1	3	12.08.	22.08.	20.08.	30.09.
1	4	01.10.	17.10.	09.11.	
2	1	26.05.	23.05.	21.05.	03.06.
2	2	23.06.	05.07.	05.07.	23.07.
2	3	12.08.	22.08.	20.08.	30.09.
2	4	08.11.	17.10.	09.11.	
3	1	10.06.	07.06.	19.06.	01.07.
3	2	31.08.	03.08.	08.08.	12.09.
3	3	01.10.	13.10.	30.10.	
4	1	12.05.	02.05.	08.05.	15.05.
4	2	22.07.	19.07.	17.07.	11.07.
4	3	08.11.	05.09.	05.09.	30.09.
4	4		24.10.		
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)					
	Vegetationsbeginn	02.04.	28.03.	17.03.	18.04.
1	1	08.05.	10.05.	10.05.	20.05.
1	2	06.06.	10.06.	11.06.	11.07.
1	3	16.07.	20.07.	24.07.	30.08.
1	4	24.09.	02.10.	02.10.	
2	1	08.05.	10.05.	10.05.	20.05.
2	2	06.06.	10.06.	11.06.	11.07.
2	3	16.07.	20.07.	24.07.	30.08.
2	4	24.09.	02.10.	03.10.	
3	1	16.05.	18.05.	20.05.	05.06.
3	2	19.06.	28.06.	04.07.	20.07.
3	3	06.08.	18.08.	29.08.	23.10.
3	4	14.10.	17.10.		
4	1	08.05.	05.05.	08.05.	15.05.
4	2	16.07.	20.07.	24.07.	16.08.
4	3	30.09.	02.10.	03.10.	

Fortsetzung Tabelle A 8

Nutzungs- variante	Schnitt	Erntetermin			
		2010	2011	2012	2013
Weidelgras-Weißkleeweiße Brandenburg (Sand)					
	Vegetationsbeginn	02.04.	28.03.	17.03.	18.04.
1	1	08.05.	09.05.	09.05.	17.05.
1	2	06.06.	10.06.	11.06.	08.07.
1	3	16.07.	19.07.	25.07.	31.08.
1	4	30.09.	13.10.	25.09.	
2	1	08.05.	09.05.	09.05.	17.05.
2	2	06.06.	10.06.	11.06.	08.07.
2	3	16.07.	19.07.	25.07.	31.08.
2	4	30.09.		25.09.	
3	1	16.05.	15.05.	20.05.	28.05.
3	2	19.06.	22.06.	03.07.	20.07.
3	3	06.08.	13.10.	29.08.	22.10.
3	4	14.10.			
4	1	08.05.	03.05.	04.05.	13.05.
4	2	16.07.	19.07.	16.07.	17.08.
4	3	30.09.	13.10.	16.10.	
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen					
	Vegetationsbeginn	24.03.	18.03.	15.03.	16.04.
1	1	11.05.	09.05.	09.05.	07.05.
1	2	18.06.	14.06.	13.06.	27.06.
1	3	29.07.	28.07.	26.07.	07.08.
1	4	22.09.	04.10.	04.10.	09.10.
2	1	11.05.	09.05.	09.05.	07.05.
2	2	18.06.	14.06.	13.06.	27.06.
2	3	29.07.	28.07.	26.07.	07.08.
2	4	22.09.	04.10.	04.10.	09.10.
3	1	20.05.	24.05.	22.05.	23.05.
3	2	08.07.	07.07.	11.07.	11.07.
3	3	22.09.	06.10.	08.10.	07.10.
4	1	20.05.	06.06.	04.06.	02.07.
4	2	16.07.	28.07.	26.07.	27.08.
4	3	22.09.	06.10.	08.10.	07.10.

Fortsetzung Tabelle A 8

Nutzungs- variante	Schnitt	Erntetermin			
		2010	2011	2012	2013
Glatthaferwiese Thüringen					
Vegetationsbeginn		05.04.	31.03.	21.03.	21.04.
1	1	04.05.	10.05.	11.05.	16.05.
1	2	03.06.	20.06.	22.06.	02.07.
1	3	12.07.	25.07.	08.08.	
1	4	07.09.			
2	1	04.05.	10.05.	11.05.	16.05.
2	2	03.06.	20.06.	22.06.	02.07.
2	3	12.07.	26.09.	24.09.	
2	4	05.10.			
3	1	17.05.	17.05.	21.05.	23.05.
3	2	25.06.	29.06.	11.07.	15.07.
3	3	05.10.	26.09.		
4	1	04.05.	02.05.	08.05.	06.05.
4	2	12.07.	25.07.	01.08.	24.06.
4	3	05.10.			
Montanes Intensivgrünland Thüringen					
Vegetationsbeginn		18.04.	05.04.	04.04.	26.04.
1	1	10.05.	16.05.	14.05.	21.05.
1	2	10.06.	29.06.	25.06.	01.07.
1	3	15.07.	02.08.	06.08.	21.08.
1	4	20.09.	26.09.	09.10.	
2	1	10.05.	16.05.	14.05.	21.05.
2	2	10.06.	29.06.	25.06.	01.07.
2	3	15.07.	02.08.	06.08.	21.08.
2	4	20.09.	26.09.	09.10.	
3	1	17.05.	23.05.	29.05.	28.05.
3	2	24.06.	05.07.	09.07.	09.07.
3	3	07.10.	30.08.	17.09.	23.09.
4	1	10.05.	09.05.	08.05.	16.05.
4	2	15.07.	19.07.	30.07.	01.07.
4	3	07.10.	13.09.	09.10.	23.09.

Fortsetzung Tabelle A 8

Nutzungs- variante	Schnitt	Erntetermin			
		2010	2011	2012	2013
Weidelgras-Weißkleeweiße Bayern (Allgäu)					
	Vegetationsbeginn	08.04.	28.03.	29.03.	18.04.
1	1	10.05.	10.05.	08.05.	08.05.
1	2	17.06.	06.06.	05.06.	12.06.
1	3	22.07.	11.07.	10.07.	18.07.
1	4	31.08.	05.09.	14.08.	22.08.
1	5	01.10.	05.10.	02.10.	01.10.
2	1	10.05.	17.05.	14.05.	13.05.
2	2	17.06.	20.06.	19.06.	19.06.
2	3	02.08.	01.08.	01.08.	31.07.
2	4	01.10.	27.09.	25.09.	24.09.
3	1	25.05.	23.05.	24.05.	28.05.
3	2	06.07.	04.07.	04.07.	08.07.
3	3	02.09.	23.08.	23.08.	26.08.
3	4	01.10.	05.10.	02.10.	01.10.
4	1	04.05.	02.05.	02.05.	03.05.
4	2	12.07.	18.07.	17.07.	18.07.
4	3	31.08.	31.08.	03.09.	03.09.
4	4	01.10.	11.10.	16.10.	14.10.

Tabelle A 9: TM-Erträge [dt ha⁻¹] der einzelnen Aufwüchse der Nutzungsvarianten, Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Versuchsjahre mit Spannweiten in Klammern

Nutzungs- variante	Aufwuchs	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr
		2010 [dt ha ⁻¹]	2011 [dt ha ⁻¹]	2012 [dt ha ⁻¹]	2013 [dt ha ⁻¹]
Ansaatgrünland-Weidelgrasyp Niedersachsen					
1	1	51,1 (49,5 - 53,9)	47,1 (43,5 - 51,9)	28,8 (25,1 - 34,2)	50,9 (47,5 - 57,8)
	2	25,2 (22,3 - 29,4)	35,3 (33,3 - 38,5)	42,6 (40,0 - 46,6)	29,5 (25,4 - 36,6)
	3	18,9 (16,3 - 22,1)	26,8 (25,7 - 28,3)	26,6 (25,2 - 28,2)	20,9 (17,2 - 22,8)
	4	19,2 (16,2 - 21,3)	20,0 (18,6 - 21,3)	10,7 (9,1 - 11,9)	
2	1	52,0 (46,5 - 58,3)	50,1 (46,3 - 56,0)	29,2 (26,3 - 34,6)	54,1 (53,1 - 54,9)
	2	24,1 (21,4 - 27,1)	35,8 (32,8 - 40,3)	41,7 (38,3 - 45,2)	29,5 (27,9 - 30,6)
	3	20,7 (17,1 - 30,2)	23,2 (20,1 - 25,5)	23,6 (22,2 - 26,4)	19,6 (17,2 - 20,7)
	4	20,7 (17,4 - 23,4)			
3	1	62,9 (58,1 - 69,1)	56,0 (49,1 - 62,5)	56,5 (43,6 - 62,8)	59,7 (57,5 - 62,6)
	2	26,8 (21,0 - 31,1)	40,9 (39,4 - 41,5)	27,4 (25,6 - 29,4)	19,3 (14,7 - 28,5)
	3	13,1 (11,1 - 14,3)	23,7 (20,8 - 27,1)	11,0 (8,8 - 12,5)	
4	1	22,1 (19,3 - 25,3)	26,6 (25,7 - 27,8)	15,3 (15,0 - 15,6)	18,9 (14,1 - 22,1)
	2	45,3 (40,2 - 49,4)	51,0 (49,1 - 53,5)	49,7 (41,7 - 59,3)	55,9 (49,6 - 60,7)
	3	13,8 (10,7 - 15,8)	26,2 (24,1 - 27,9)	21,4 (18,7 - 25,8)	20,4 (17,8 - 24,8)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)					
1	1	24,7 (23,7 - 25,2)	42,0 (39,8 - 44,6)	36,3 (33,7 - 38,7)	40,9 (38,1 - 46,7)
	2	26,4 (24,6 - 28,2)	32,2 (26,1 - 34,8)	28,1 (26,3 - 30,1)	45,8 (42,6 - 48,6)
	3	43,3 (35,5 - 46,6)	36,8 (33,3 - 38,6)	35,3 (33,6 - 36,9)	36,7 (34,4 - 38,7)
	4	31,0 (28,0 - 36,8)	26,0 (21,5 - 28,4)	24,8 (21,8 - 28,8)	
2	1	25,3 (24,5 - 26,2)	45,7 (38,0 - 52,6)	33,8 (30,4 - 37,0)	41,4 (39,1 - 43)
	2	26,8 (25,2 - 27,4)	33,1 (31,4 - 35,0)	26,4 (24,9 - 27,0)	48,7 (42,8 - 51,4)
	3	35,1 (30,1 - 37,8)	26,9 (24,9 - 28,8)	23,5 (21,3 - 25,9)	26,8 (26,3 - 27,6)
	4	30,2 (24,9 - 32,4)	27,2 (23,6 - 29,7)	21,9 (18,5 - 27,3)	
3	1	33,7 (30,3 - 42,9)	49,6 (41,0 - 59,2)	47,8 (44,5 - 50,7)	66,0 (48,9 - 76,8)
	2	29,5 (27,7 - 30,1)	39,4 (37,1 - 41,4)	32,9 (27,5 - 35,7)	44,1 (42,2 - 46,5)
	3	33,2 (24,9 - 40,4)	31,3 (29,0 - 34,8)	29,1 (25,1 - 32,9)	20,0 (16,2 - 22,6)
	4	22,2 (20,2 - 26,0)	13,4 (8,6 - 18,3)		
4	1	25,0 (24,2 - 25,8)	25,8 (25,1 - 26,6)	27,0 (24,5 - 28,8)	30,3 (23,8 - 32,9)
	2	84,4 (78,0 - 93,9)	63,7 (53,7 - 75,6)	70,2 (65,8 - 74)	80,0 (72,3 - 83,8)
	3	29,6 (24,4 - 33,9)	36,1 (33,7 - 37,4)	28,8 (25,1 - 33,1)	
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)					
1	1	29,3 (27,6 - 32,6)	49,6 (45,0 - 54,0)	19,8 (13,7 - 23,9)	40,3 (34,8 - 44,6)
	2	33,1 (31,9 - 34,3)	25,2 (18,3 - 28,8)	34,2 (28,0 - 42,3)	41,8 (39,7 - 44,8)
	3	38,3 (30,6 - 44,2)	31,0 (27,2 - 34,0)	36,6 (32,9 - 42,8)	34,9 (32,9 - 39,9)
	4	21,5 (19,1 - 22,6)		26,7 (21,3 - 31,8)	
2	1	29,9 (26,6 - 31,7)	50,8 (48,6 - 52,6)	20,3 (15,2 - 23,5)	45,2 (37,2 - 53,5)
	2	32,4 (30,7 - 33,8)	26,7 (24,2 - 29,3)	29,4 (27,5 - 31,3)	45,9 (43,3 - 48,8)
	3	26,8 (25,2 - 29,2)	20,3 (18,0 - 21,6)	24,7 (22,0 - 28,3)	26,4 (21,5 - 29,0)
	4	21,5 (18,7 - 24,5)		26,1 (23,0 - 28,1)	
3	1	40,4 (31,4 - 46,8)	45,3 (37,8 - 50,1)	38,0 (32,3 - 42,3)	58,7 (53,2 - 65,8)
	2	35,1 (34,0 - 36,8)	25,2 (18,3 - 31,2)	33,4 (30,9 - 38,9)	37,7 (36,2 - 38,6)
	3	25,1 (21,9 - 28,1)	25,1 (17,0 - 30,3)	29,5 (28,3 - 31,2)	19,6 (16,4 - 25,0)
	4	20,8 (17,8 - 22,5)			
4	1	31,4 (30,4 - 33,8)	37,7 (34,0 - 43,4)	17,8 (16,3 - 19,8)	29,0 (24,4 - 35,9)
	2	78,9 (75,9 - 84,7)	56,2 (42,7 - 71,9)	76,6 (65,5 - 88,0)	70,0 (56,0 - 75,7)
	3	22,5 (19,7 - 24,5)		36,3 (32,5 - 39,2)	

Fortsetzung Tabelle A 9

Nutzungs- variante	Aufwuchs	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr
		2010 [dt ha ⁻¹]	2011 [dt ha ⁻¹]	2012 [dt ha ⁻¹]	2013 [dt ha ⁻¹]
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen					
1	1		36,7 (32,7 - 40,9)	35,8 (31,3 - 40,7)	14,5 (13,4 - 15,5)
	2		18,0 (17,5 - 19,1)	10,5 (9,6 - 11,6)	22,9 (20,1 - 24,3)
	3		34,0 (32,9 - 35,2)	27,8 (25,4 - 29,7)	27,3 (24,0 - 29,9)
	4		18,5 (14,6 - 20,6)		15,3 (13,7 - 16,1)
2	1		36,6 (29,8 - 40,8)	29,7 (26,0 - 32,6)	14,5 (13,4 - 15,5)
	2		18,2 (17,4 - 18,8)	12,1 (11,7 - 12,5)	23,3 (21,3 - 24,7)
	3		27,5 (24,1 - 29,9)	21,7 (20,8 - 22,5)	19,2 (17,0 - 21,8)
	4		18,4 (17,1 - 20,6)		
3	1		48,4 (46,0 - 53,5)	44,9 (43,4 - 48,3)	36,3 (35,6 - 36,9)
	2		14,1 (12,5 - 15,3)	26,7 (23,3 - 29,2)	29,3 (26,9 - 30,9)
	3		21,0 (17,8 - 26,3)	11,4 (9,0 - 15,2)	21,1 (19,8 - 23,2)
4	1		54,9 (47,9 - 59,2)	48,2 (44,1 - 53,8)	51,9 (45,6 - 61,1)
	2		32,0 (30,6 - 34,2)	31,1 (29,6 - 33,4)	36,0 (34,8 - 36,9)
	3		20,8 (17,8 - 24,1)		
Glatthaferwiese Thüringen					
1	1	32,3 (28,2 - 37,9)	35,9 (32,1 - 41,6)	17,0 (14,5 - 19,0)	24,6 (18,4 - 33,5)
	2	19,1 (17,1 - 20,8)	14,7 (12,2 - 17,6)	31,7 (30,7 - 32,6)	17,7 (15,9 - 20,9)
	3	17,4 (14,4 - 20,7)	23,5 (20,4 - 29,8)	24,4 (22,4 - 27,5)	
	4	27,5 (23,2 - 34,6)			
2	1	25,1 (21,9 - 28,6)	31,2 (24,6 - 37,1)	15,9 (13,6 - 20,2)	23,7 (17,0 - 29,2)
	2	18,7 (17,7 - 19,8)	13,0 (10,5 - 14,4)	36,5 (32,2 - 38,3)	20,4 (15,3 - 25)
	3	10,1 (8,4 - 11,6)	19,2 (17,5 - 22,2)	14,1 (10,4 - 20,2)	
	4	26,5 (22,1 - 32,5)			
3	1	42,2 (38,2 - 46,7)	35,4 (30,0 - 42,6)	28,2 (25,5 - 33,9)	25,6 (18,8 - 34,0)
	2	30,7 (28,1 - 33,5)	18,4 (15,9 - 21,5)	32,4 (30,7 - 33,6)	18,2 (15,6 - 19,6)
	3	27,2 (23,3 - 28,6)	13,4 (10,8 - 15,5)		
4	1	25,6 (22,0 - 27,1)	26,0 (22,1 - 32,0)	19,0 (16,2 - 20,4)	9,2 (7,3 - 11,8)
	2	53,0 (45,7 - 60,5)	47,0 (44,2 - 50,5)	59,3 (53,2 - 63,1)	53,4 (50,1 - 55,7)
	3	30,9 (27,2 - 35,5)			
Montanes Intensivgrünland Thüringen					
1	1	17,7 (15,3 - 20,1)	26,5 (22,7 - 30,9)	32,9 (26,2 - 39,0)	32,5 (28,8 - 36,5)
	2	25,4 (21,6 - 28,6)	18,3 (17,2 - 19,4)	27,8 (25,8 - 29,6)	24,1 (21,2 - 26,2)
	3	15,7 (13,9 - 17,5)	21,3 (19,0 - 24,7)	20,7 (15,5 - 25,6)	18,5 (13,7 - 21,5)
	4	17,8 (15,1 - 20,0)	13,9 (11,1 - 16,9)		
2	1	16,2 (14,8 - 18,8)	24,7 (21,7 - 26,7)	37,7 (33,1 - 41)	33,2 (29,9 - 35,1)
	2	25,8 (23,2 - 26,8)	18,7 (17,4 - 19,4)	28,2 (26,3 - 29,8)	26,2 (24,5 - 27,6)
	3	9,1 (8,3 - 10,3)	14,9 (13,2 - 15,6)	18,1 (16,2 - 19,4)	11,7 (8,5 - 16,1)
	4	12,9 (11,9 - 14,1)	16,5 (13,2 - 19,5)		
3	1	20,7 (19,0 - 21,6)	33,6 (25,7 - 38,2)	53,7 (48,4 - 57,3)	36,8 (35,3 - 38,0)
	2	34,8 (32,6 - 35,9)	21,1 (20,2 - 22,6)	24,7 (22,2 - 26,6)	28,2 (25,7 - 29,6)
	3	16,1 (14,5 - 17,4)	25,3 (22,7 - 28,6)	10,4 (7,6 - 13,3)	
4	1	16,8 (15,8 - 17,7)	21,5 (15,7 - 27,6)	21,5 (17,2 - 26,7)	18,9 (16,1 - 21,6)
	2	56,6 (52,5 - 65,4)	43,0 (41,2 - 46,3)	35,4 (33,1 - 36,9)	34,3 (31,1 - 37,9)
	3	17,6 (16,3 - 18,5)	15,0 (13,9 - 16,0)		

Fortsetzung Tabelle A 9

Nutzungs- variante	Aufwuchs	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr	Versuchsjahr
		2010 [dt ha ⁻¹]	2011 [dt ha ⁻¹]	2012 [dt ha ⁻¹]	2013 [dt ha ⁻¹]
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)					
1	1	60,0 (57,0 - 62,4)	43,3 (41,5 - 45,6)	29,7 (27,7 - 32,4)	
	2	23,9 (21,0 - 26,1)	19,8 (18,4 - 21,2)	17,7 (15,8 - 19,2)	
	3	32,2 (31,2 - 33,4)	33,0 (31,1 - 36,8)	29,1 (27,6 - 30,7)	
	4	25,2 (23,9 - 27,6)	28,0 (26,6 - 29,7)	21,3 (21,0 - 21,6)	
	5	19,0 (18,0 - 19,7)	19,9 (19,3 - 20,3)	13,7 (12,2 - 15,8)	
2	1	70,1 (66,9 - 73,6)	52,5 (49,3 - 55,7)	39,7 (38,6 - 40,9)	
	2	32,8 (31,5 - 33,7)	29,2 (27,8 - 31,3)	17,2 (16,2 - 18,1)	
	3	27,0 (25,7 - 28,1)	32,1 (26,7 - 35,2)	26,1 (23,5 - 28,6)	
	4	29,4 (26,0 - 32,4)	19,9 (18,7 - 20,9)	29,2 (28,0 - 32,5)	
3	1	78,9 (76,4 - 83,6)	61,2 (56,0 - 63,2)	51,8 (47,2 - 54,4)	
	2	29,4 (27,5 - 32,1)	27,9 (24,5 - 31,7)	23,7 (20,8 - 26,1)	
	3	28,9 (26,4 - 31,3)	30,3 (27,9 - 32,5)	21,3 (21,0 - 21,6)	
	4	22,1 (20,3 - 23,7)	20,7 (18,4 - 22,1)	13,8 (1,02 - 15,7)	
4	1	46,6 (44,1 - 49,1)	33,3 (32,0 - 36,6)	20,3 (18,5 - 22,4)	
	2	37,7 (35,3 - 39,8)	33,6 (32,9 - 35,3)	45,7 (41,9 - 48,0)	
	3	28,5 (26,0 - 32,0)	31,5 (30,9 - 31,8)	31,0 (28,7 - 32,2)	
	4	20,7 (20,0 - 21,7)	17,0 (13,7 - 20,7)	18,1 (16,1 - 19,9)	

Tabelle A 10: Futterqualität im Grüngut im Mittel der Versuchsjahre nach Nutzungsvarianten mit Spannweiten in Klammern

Nutzungs- variante	Rohprotein [% in der TM]	Rohfaser [% in der TM]	ELOS [% in der TM]	Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	14,6 (13,5 - 15,5)	25,6 (23,5 - 27,9)	68,8 (65,3 - 73,3)	6,3 (6,0 - 6,7)
2	14,2 (11,9 - 15,9)	26,1 (23,7 - 28,2)	68,2 (64,3 - 71,8)	6,2 (6,0 - 6,5)
3	10,7 (9,8 - 12,3)	28,6 (26,6 - 30,8)	61,1 (56,2 - 63,7)	5,7 (5,3 - 5,9)
4	12,6 (11,0 - 13,8)	26,8 (25,2 - 28,2)	62,2 (58,3 - 65,5)	5,8 (5,5 - 6,0)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	15,6 (13,7 - 17,9)	26,9 (25,7 - 29,4)	62,7 (59,6 - 66,5)	5,8 (5,6 - 6,1)
2	15,4 (13,4 - 17,9)	26,0 (24,0 - 29,5)	63,9 (59,9 - 69,7)	6,0 (5,7 - 6,3)
3	13,8 (11,4 - 16,9)	27,6 (25,1 - 30,7)	61,0 (55,7 - 64,7)	5,7 (5,2 - 6,0)
4	12,2 (9,9 - 14,2)	28,7 (26,8 - 31,3)	53,3 (50,7 - 56,1)	5,2 (5,0 - 5,3)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	14,8 (13,0 - 16,0)	26,1 (24,5 - 28,2)	65,5 (59,6 - 70,9)	6,0 (5,6 - 6,3)
2	14,7 (11,6 - 17,0)	25,3 (22,3 - 29,0)	65,4 (59,7 - 72,4)	6,0 (5,6 - 6,6)
3	12,4 (10,9 - 14,7)	26,8 (23,0 - 29,4)	62,1 (56,1 - 69,0)	5,7 (5,3 - 6,4)
4	11,5 (9,7 - 13,3)	28,4 (25,7 - 30,4)	55,3 (50,5 - 63,9)	5,2 (4,8 - 5,9)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	17,9 (17,4 - 18,7)	25,9 (24,8 - 26,8)	57,9 (52,0 - 61,1)	5,6 (5,1 - 5,8)
2	16,7 (16,3 - 17,4)	25,2 (23,9 - 26,1)	58,8 (53,6 - 61,6)	5,6 (5,1 - 5,9)
3	14,4 (12,8 - 15,7)	28,6 (27,1 - 29,9)	54,0 (51,6 - 55,4)	5,2 (5,0 - 5,3)
4	12,3 (11,5 - 13,8)	29,2 (28,4 - 30,1)	48,1 (41,6 - 51,6)	4,7 (4,1 - 5,1)
Glatthaferwiese Thüringen				
1	15,2 (13,4 - 17,2)	23,4 (20,9 - 26,0)	70,6 (68,5 - 75,0)	6,4 (6,2 - 6,9)
2	14,4 (13,3 - 15,0)	22,7 (21,2 - 25,1)	69,0 (67,8 - 70,9)	6,3 (6,2 - 6,6)
3	12,7 (11,1 - 13,7)	24,3 (22,1 - 27,2)	66,1 (62,2 - 69,5)	6,0 (5,7 - 6,4)
4	11,9 (10,7 - 14,1)	28,0 (23,4 - 34,1)	60,7 (53,7 - 69,1)	5,6 (5,0 - 6,4)
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	17,7 (16,6 - 19,1)	22,3 (20,9 - 24,1)	71,5 (70,1 - 73,6)	6,6 (6,4 - 6,7)
2	18,7 (17,1 - 19,7)	21,9 (20,3 - 23,7)	72,0 (70,4 - 74,0)	6,6 (6,4 - 6,9)
3	15,3 (13,3 - 17,0)	25,0 (21,3 - 28,0)	66,3 (62,3 - 70,5)	6,1 (5,7 - 6,4)
4	14,6 (12,4 - 15,8)	25,9 (23,9 - 26,9)	63,6 (58,1 - 67,4)	5,9 (5,4 - 6,2)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)				
1	16,3 (14,8 - 18,4)	22,1 (21,2 - 23,2)	73,1 (69,9 - 76,2)	6,7 (6,4 - 7,0)
2	15,1 (13,7 - 16,7)	24,6 (23,8 - 25,4)	69,5 (68,0 - 72,1)	6,3 (6,1 - 6,6)
3	13,7 (12,9 - 14,8)	25,4 (24,4 - 26,6)	66,1 (64,9 - 67,6)	6,1 (5,9 - 6,3)
4	16,0 (15,3 - 17,2)	23,5 (22,7 - 24,7)	70,0 (68,4 - 71,2)	6,4 (6,3 - 6,6)

Tabelle A 11: Futterqualität in der Silage des Ansaatgrünland-Weidelgrastyps Niedersachsen
(Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	14,9 (13,3 - 17,4)	13,8 (11,5 - 15)	14,9 (13,5 - 17)	16,9 (14,1 - 19,7)
2	14,2 (13,1 - 15,9)	13,8 (12,1 - 15,2)	13,5 (12,5 - 15,3)	
3	8,7 (7,8 - 10,1)	11,5 (10,8 - 12,1)	15,5 (14,5 - 16,4)	
4	19,1 (18 - 20,1)	9,7 (9,2 - 10,1)	14,4 (13,9 - 15,1)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	27,2 (24,7 - 31,1)	27,1 (25,3 - 28,6)	26,5 (26,0 - 27,4)	22,1 (21,4 - 22,8)
2	27,9 (25,6 - 31,5)	27,2 (25,3 - 29,4)	26,1 (26,0 - 26,2)	
3	31,0 (27,3 - 34,8)	27,2 (26,0 - 28,8)	18,5 (14,5 - 22,5)	
4	22,4 (19,4 - 27,0)	30,7 (27,4 - 33,5)	26,2 (26,0 - 26,6)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	67,1 (58,7 - 72,3)	65,5 (62,8 - 69,1)	63,0 (58,9 - 65,3)	62,4 (52,4 - 72,3)
2	65,7 (58,1 - 69,9)	62,8 (60,2 - 66,1)	63,2 (57,2 - 66,5)	
3	55,3 (49,1 - 59,9)	62,4 (58,6 - 66,0)	58,2 (56,3 - 60,1)	
4	76,5 (70,1 - 81,6)	54,1 (48,2 - 60,8)	62,8 (58,0 - 66,0)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,2 (5,6 - 6,6)	6,1 (5,8 - 6,4)	6,1 (5,9 - 6,2)	6,2 (5,6 - 6,8)
2	6,1 (5,5 - 6,4)	5,9 (5,6 - 6,4)	6,1 (5,7 - 6,3)	
3	5,3 (4,7 - 5,7)	5,9 (5,7 - 6,2)	5,9 (5,8 - 5,9)	
4	7,1 (6,6 - 7,5)	5,2 (4,8 - 5,8)	6,1 (5,7 - 6,2)	

* n=1 ** n=3

Tabelle A 12: Futterqualität in der Silage der Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Nieder-moor) (Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	16,1 (14,4 - 17,1)	15,4 (11,6 - 18,7)	15,8 (14,1 - 17,8)	13,2 (12,7 - 13,6)
2	16,0 (14,9 - 16,7)	15,2 (12 - 17,5)	15,2 (14,3 - 16,3)	13,8 (13,7 - 13,8)
3	11,8 (9,8 - 13,5)	13,4 (12,3 - 14,4)	12,2 (11,7 - 12,7)	16,9 (16,9 - 16,9)
4	19,2 (16,3 - 21,6)	9,7 (9 - 10,6)	12,3 (12,2 - 12,4)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	26,5 (23,7 - 31,1)	26,8 (22,8 - 31,9)	27,7 (27 - 28,2)	24,6 (24,6 - 24,6)
2	26,1 (24,1 - 29,8)	26,7 (24,3 - 30,4)	25,5 (24,5 - 27,2)	22,8 (21,9 - 23,7)
3	28,6 (26,1 - 31,9)	28,2 (27,5 - 29)	26,2 (24,2 - 27,5)	19,6 (19,6 - 19,6)
4	23,7 (21,7 - 27)	30,7 (29,3 - 32,2)	26,5 (26,4 - 26,5)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	67,3 (60,4 - 71,4)	63,4 (51,8 - 71,7)	59,3 (57,5 - 61,5)	56,5 (52,8 - 60,1)
2	68,6 (64 - 72,1)	63,3 (53,7 - 69,8)	61,8 (59,7 - 64,9)	60,1 (56,7 - 63,5)
3	58,8 (51,3 - 64,3)	58,6 (57 - 60,4)	55,5 (52,4 - 58,8)	61,5 (61,5 - 61,5)
4	72,1 (68,6 - 74,2)	47,8 (46,3 - 49,7)	54,8 (52,7 - 56,8)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,2 (5,6 - 6,5)	5,9 (5 - 6,6)	5,6 (5,5 - 5,8)	5,5 (5,3 - 5,7)
2	6,3 (5,9 - 6,5)	5,9 (5,1 - 6,4)	5,9 (5,7 - 6,1)	5,8 (5,6 - 6,1)
3	5,5 (5 - 6)	5,6 (5,5 - 5,7)	5,3 (5,2 - 5,5)	6,0 (6 - 6)
4	6,7 (6,4 - 6,9)	4,8 (4,6 - 4,9)	5,4 (5,2 - 5,5)	

* n=2 ** n=3

Tabelle A 13: Futterqualität in der Silage der **Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)**
(Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)

Nutzungsvariante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0		
1	16,1 (15,2 - 17,4)	14,5 (10,1 - 18,1)	14,3 (13 - 16,4)	12,6 (12,6 - 12,6)
2	16,0 (14,7 - 17,9)	14,4 (10 - 17,7)	12,9 (11,6 - 14,5)	13,0 (13 - 13)
3	11,5 (10,5 - 12,3)	11,9 (10,2 - 13,3)	12,7 (11,8 - 13,7)	
4	19,4 (16,4 - 21)	8,6 (7,8 - 9)	10,3 (10,3 - 10,3)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	25,2 (23,2 - 28,2)	27,4 (24,2 - 32,3)	27,4 (25,5 - 29,8)	25,5 (25,5 - 25,5)
2	24,3 (22 - 27,6)	27,6 (25,4 - 31,2)	26,1 (24,8 - 28,5)	23,9 (23,9 - 23,9)
3	28,5 (25,4 - 31,8)	26,5 (24 - 29,2)	20,7 (13,7 - 25)	
4	24,0 (22,2 - 27,5)	31,1 (27,1 - 33,4)	28,9 (28,9 - 28,9)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	68,8 (62 - 73,7)	62,1 (52,2 - 69,6)	58,5 (55,2 - 63,5)	60,4 (60,4 - 60,4)
2	68,4 (61,7 - 73,4)	60,9 (53,5 - 66)	59,5 (55,1 - 65,1)	58,6 (58,6 - 58,6)
3	60,8 (54,2 - 65)	60,0 (54,9 - 68,2)	54,6 (50 - 62,5)	
4	73,0 (67,5 - 76,6)	43,8 (39,8 - 46,4)	53,4 (53,4 - 53,4)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1		
1	6,3 (5,8 - 6,7)	5,8 (5,1 - 6,4)	5,5 (5,3 - 5,9)	5,8 (5,8 - 5,8)
2	6,3 (5,8 - 6,7)	5,7 (5,1 - 6,1)	5,6 (5,4 - 6)	5,7 (5,7 - 5,7)
3	5,6 (5,2 - 6)	5,6 (5,3 - 6,2)	5,3 (4,9 - 5,9)	
4	6,7 (6,3 - 7)	4,4 (4 - 4,6)	5,2 (5,2 - 5,2)	

* n=1 ** n=2

Tabelle A 14: Futterqualität in der Silage der **Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen** (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	18,2 (17,6 - 19,0)	18,8 (17,0 - 22,2)	15,7 (14,1 - 17,6)	18,5 (17,7 - 19,2)
2	18,0 (16,9 - 19,1)	18,2 (17,1 - 20,1)	15,2 (13,5 - 16,0)	15,8 (15,8 - 15,8)
3	13,0 (11,8 - 14,0)	16,9 (13,0 - 21,8)	14,3 (13,7 - 15,2)	
4	10,3 (9,6 - 11,4)	15,1 (13,0 - 17,6)	16,1 (16,1 - 16,1)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	25,4 (25,0 - 25,9)	23,0 (22,0 - 23,6)	27,3 (26,5 - 27,9)	22,9 (22,1 - 23,7)
2	23,8 (23,1 - 24,8)	23,0 (21,8 - 23,8)	26,9 (25,5 - 28,3)	23,6 (23,6 - 23,6)
3	30,7 (30,4 - 30,9)	27,3 (23,3 - 30,1)	25,0 (24,4 - 25,5)	
4	29,3 (25,6 - 31,6)	27,8 (26,7 - 29,5)	24,9 (24,9 - 24,9)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	66,6 (64,4 - 68)	60,4 (51,0 - 68,3)	51,8 (45,3 - 57,0)	48,6 (44,1 - 53,1)
2	67,3 (63,0 - 69,6)	59,5 (49,9 - 65,6)	53,9 (49,7 - 58,8)	41,9 (41,9 - 41,9)
3	53,7 (52,6 - 54,3)	55,5 (51,3 - 60,8)	41,9 (39,3 - 46,0)	
4	43,7 (33,7 - 48,8)	51,0 (42,2 - 58,3)	40,8 (40,8 - 40,8)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,2 (6,0 - 6,3)	5,8 (5,0 - 6,4)	5,1 (4,7 - 5,5)	5,1 (4,7 - 5,6)
2	6,3 (6,0 - 6,5)	5,7 (5,0 - 6,2)	5,3 (5,0 - 5,7)	4,7 (4,7 - 4,7)
3	5,2 (5,1 - 5,3)	5,4 (5,0 - 5,9)	4,7 (4,4 - 5,1)	
4	4,4 (3,4 - 4,8)	5,1 (4,6 - 5,6)	4,5 (4,5 - 4,5)	

* n=1 ** n=2

Tabelle A 15: Futterqualität in der Silage der **Glatthaferwiese Thüringen** (Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	16,1 (15,0 - 18,0)	16,0 (12,2 - 21,1)	14,2 (12,9 - 15,5)	
2	16,0 (14,9 - 17,8)	16,3 (12,8 - 21,2)	10,5 (9,8 - 11,3)	
3	14,8 (11,9 - 19,1)	13,6 (10,9 - 17,2)	11,1 (11,1 - 11,1)	
4	19,1 (18,7 - 19,7)	10,0 (9,3 - 10,6)		
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	24,1 (23,1 - 25,7)	23,8 (20,3 - 27,4)	24,2 (22,9 - 25,4)	
2	22,8 (21,0 - 25,7)	23,0 (18,6 - 26,3)	25,1 (24,5 - 25,6)	
3	25,1 (20,1 - 27,8)	24,5 (22,2 - 28,4)	24,4 (24,4 - 24,4)	
4	20,4 (20,1 - 21,1)	31,2 (27,7 - 34,4)		
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	69,8 (66,3 - 72,2)	67,2 (62,8 - 73,3)	67,7 (66,1 - 69,2)	
2	70,1 (63,8 - 74,3)	68,4 (64,3 - 75,1)	57,2 (54,2 - 60,1)	
3	65,8 (62,1 - 73,0)	66,3 (61,3 - 70,8)	58,6 (58,6 - 58,6)	
4	74,5 (74,3 - 74,9)	57,2 (51,3 - 68,2)		
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,4 (6,1 - 6,5)	6,2 (5,7 - 6,9)	6,3 (6,1 - 6,4)	
2	6,5 (5,9 - 6,9)	6,3 (5,9 - 7,1)	5,6 (5,4 - 5,8)	
3	6,1 (5,7 - 6,9)	6,1 (5,6 - 6,5)	5,8 (5,8 - 5,8)	
4	6,9 (6,9 - 7,0)	5,4 (5,0 - 6,1)		

* n=1 ** n=2 *** n=3

Tabelle A 16: Futterqualität in der Silage des **Montanen Intensivgrünlands Thüringen** (Mittelwert der Jahre 2010 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=4)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0		
1	19,4 (18,1 - 20,9)	18,0 (17,4 - 19,1)	16,5 (14,3 - 18,6)	17,3 (17,3 - 17,3)
2	20,2 (18,4 - 21,9)	18,7 (17,4 - 19,9)	16,9 (13,1 - 19,6)	21,1 (21,1 - 21,1)
3	14,9 (13,0 - 16,4)	17,8 (15,1 - 19,7)	16,0 (14,6 - 17,3)	
4	22,2 (21,4 - 23,4)	11,6 (10,4 - 12,5)	15,0 (15,0 - 15,0)	
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	21,3 (20,4 - 22,5)	23,4 (22,2 - 24,8)	23,9 (21,9 - 25,3)	19,4 (19,4 - 19,4)
2	22,1 (20,4 - 24,4)	23,1 (21,8 - 23,8)	22,8 (20,0 - 25,7)	19,4 (19,4 - 19,4)
3	27,0 (22,8 - 30,4)	25,0 (22,4 - 27,0)	22,9 (21,7 - 24,0)	
4	20,9 (19,6 - 22,6)	30,4 (27,9 - 34,7)	23,7 (23,7 - 23,7)	
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	72,2 (69,3 - 74,4)	68,1 (63,8 - 72,0)	68,0 (64,6 - 71,9)	67,9 (67,9 - 67,9)
2	72,3 (68,2 - 75,1)	68,9 (66,9 - 71,9)	69,3 (64,0 - 73,6)	70,9 (70,9 - 70,9)
3	62,0 (56,1 - 67,3)	66,8 (64,3 - 69,6)	65,4 (63,6 - 67,1)	
4	74,7 (70,3 - 77,3)	54,2 (46,5 - 59,0)	64,6 (64,6 - 64,6)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1		
1	6,7 (6,4 - 6,9)	6,4 (5,9 - 6,7)	6,5 (6,3 - 6,7)	6,4 (6,4 - 6,4)
2	6,7 (6,3 - 6,9)	6,4 (6,3 - 6,7)	6,5 (6,2 - 6,8)	6,7 (6,7 - 6,7)
3	5,9 (5,3 - 6,4)	6,2 (6,0 - 6,5)	6,2 (6,0 - 6,4)	
4	7,0 (6,6 - 7,2)	5,3 (4,7 - 5,7)	6,2 (6,2 - 6,2)	

* n=2 ** n=3

Tabelle A 17: Futterqualität in der Silage der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)** (Mittelwerte der Jahre 2011 und 2013 mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)

Nutzungs- variante	1. AW	2. AW	3. AW	4. AW	5. AW
Rohprotein [% in der TM]					
	Ziel: 14,0 - 16,0	Ziel: 15,0 - 17,0			
1	15,1 (12,5 - 17,3)	17,2 (14,5 - 18,7)	15,4 (13,2 - 17,0)	19,1 (15,7 - 23,6)	22,5 (20,2 - 24,1)
2	13,4 (11,1 - 15,2)	17,6 (16,5 - 18,7)	16,0 (14,7 - 16,9)	17,2 (15,4 - 18,3)	
3	10,1 (9,3 - 11,3)	14,3 (13,4 - 15,3)	16,5 (15,5 - 18,3)	20,6 (19,6 - 21,9)	
4	18,3 (14,6 - 22,7)	12,5 (10,6 - 13,8)	18,7 (17,9 - 19,6)	23,1 (20,4 - 25,7)	
Rohfaser [% in der TM]					
	Ziel: 22,0 - 24,0				
1	24,7 (23,6 - 25,6)	21,3 (20,7 - 21,7)	24,4 (22,9 - 25,4)	23,1 (21,6 - 24,1)	20,3 (19,3 - 21,0)
2	27,0 (26,7 - 27,4)	22,5 (21 - 24,1)	23,8 (22,4 - 25,5)	22,9 (21,9 - 24,1)	
3	28,9 (26,5 - 30,1)	24,3 (22,8 - 25,6)	24,3 (23,2 - 26,3)	19,4 (18,4 - 20,5)	
4	21,8 (20,9 - 22,9)	27,9 (25,1 - 31,4)	23,8 (21,1 - 26,2)	19,5 (18,7 - 20,0)	
ELOS [% in der TM]					
	Ziel: ≥ 65,0				
1	70,6 (66,3 - 74,5)	75,8 (74,9 - 76,7)	70,7 (67,3 - 74,8)	70,8 (62,3 - 77,0)	71,7 (61,8 - 77,2)
2	65,3 (61,3 - 68,5)	74,3 (73,0 - 75,4)	69,8 (69,0 - 70,7)	64,0 (60,3 - 68,9)	
3	57,8 (56,3 - 58,8)	69,7 (68,2 - 72,0)	65,4 (61,1 - 70,4)	70,4 (65,0 - 75,5)	
4	73,7 (71,9 - 77,1)	58,7 (54,1 - 62,3)	68,5 (64,2 - 72,7)	73,8 (73,1 - 74,1)	
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]					
	Ziel: ≥ 6,4	Ziel: ≥ 6,1			
1	6,4 (6,1 - 6,8)	7,0 (6,9 - 7,1)	6,7 (6,3 - 7,0)	6,8 (6,1 - 7,3)	6,8 (5,9 - 7,3)
2	6,0 (5,7 - 6,3)	6,9 (6,7 - 7,1)	6,6 (6,5 - 6,7)	6,1 (5,7 - 6,5)	
3	5,5 (5,3 - 5,6)	6,5 (6,3 - 6,7)	6,3 (6,0 - 6,8)	6,6 (6,1 - 7,1)	
4	6,7 (6,6 - 7,0)	5,5 (5,1 - 5,9)	6,5 (6,1 - 6,9)	7,0 (6,9 - 7,0)	

Tabelle A 18: Futterqualität in der Silage im Mittel der Versuchsjahre nach Nutzungsvarianten mit Spannweiten in Klammern

Nutzungs- variante	Rohprotein [% in der TM]	Rohfaser [% in der TM]	ELOS [% in der TM]	Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	14,4 (14,2 - 14,6)	26,9 (24,8 - 29,3)	64,8 (60,2 - 69,2)	6,1 (5,8 - 6,5)
2	13,7 (13,4 - 13,9)	27,5 (25,6 - 29,1)	63,8 (60,1 - 65,7)	6,0 (5,8 - 6,1)
3	10,1 (9,0 - 11,3)	28,8 (24,2 - 33,6)	57,3 (51,0 - 62,2)	5,5 (4,9 - 5,9)
4	12,8 (12,1 - 13,1)	28,0 (25,3 - 29,8)	60,7 (56,8 - 66,6)	5,8 (5,5 - 6,3)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	15,3 (13,7 - 17,1)	27,0 (25,1 - 30,6)	61,9 (56,2 - 66,6)	5,8 (5,3 - 6,2)
2	15,1 (13,7 - 16,2)	25,9 (23,7 - 28,9)	63,8 (58,9 - 68,4)	6,0 (5,5 - 6,3)
3	12,5 (11,0 - 13,6)	27,8 (26,2 - 29,9)	57,9 (53,2 - 60,5)	5,5 (5,2 - 5,7)
4	12,2 (10,6 - 13,6)	28,6 (26,7 - 31,0)	54,4 (51,4 - 56,9)	5,3 (5,0 - 5,5)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	14,6 (12,6 - 16,5)	26,7 (24,1 - 29,4)	62,5 (56,3 - 68,5)	5,9 (5,4 - 6,3)
2	14,2 (12,1 - 15,6)	25,8 (23,4 - 28,5)	62,6 (56,6 - 67,9)	5,9 (5,4 - 6,3)
3	12,0 (11,2 - 13,0)	26,3 (21,2 - 28,7)	59,3 (53,8 - 66,3)	5,5 (5,2 - 6,1)
4	11,7 (9,9 - 14,7)	29,0 (24,8 - 31,6)	52,8 (47,9 - 60,0)	5,1 (4,7 - 5,7)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	17,4 (16,5 - 18,0)	25,3 (24,9 - 26,0)	57,8 (51,7 - 62,3)	5,6 (5,2 - 5,9)
2	16,9 (16,6 - 17,4)	24,7 (24,0 - 25,2)	58,9 (53,1 - 63,5)	5,7 (5,2 - 6,0)
3	14,2 (12,7 - 15,7)	28,8 (28,0 - 29,2)	51,2 (49,5 - 52,4)	5,1 (4,9 - 5,2)
4	12,3 (11,0 - 14,4)	28,5 (26,2 - 30,9)	45,8 (36,9 - 50,5)	4,6 (3,8 - 5,0)
Glatthaferwiese Thüringen				
1	15,1 (13,7 - 16,8)	24,4 (22,4 - 25,9)	67,6 (65,9 - 70,9)	6,2 (6,0 - 6,6)
2	14,6 (13,8 - 15,5)	23,9 (21,7 - 25,0)	66,1 (64,7 - 69,3)	6,2 (6,0 - 6,6)
3	13,8 (11,4 - 17,4)	25,1 (21,3 - 28,1)	65,1 (61,6 - 70,3)	6,0 (5,6 - 6,6)
4	12,3 (11,1 - 14,3)	28,7 (24,6 - 32,9)	60,9 (54,0 - 70,7)	5,7 (5,2 - 6,4)
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	18,1 (17,3 - 18,8)	22,5 (21,2 - 23,3)	69,6 (68,5 - 70,8)	6,5 (6,4 - 6,7)
2	19,1 (16,9 - 20,3)	22,3 (21,2 - 23,8)	70,6 (68,5 - 71,7)	6,6 (6,4 - 6,7)
3	15,9 (14,6 - 17,6)	26,0 (22,3 - 29,0)	63,5 (59,7 - 66,9)	6,0 (5,6 - 6,3)
4	15,4 (14,7 - 16,0)	26,9 (24,4 - 29,9)	61,6 (57,0 - 64,8)	5,9 (5,5 - 6,2)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)				
1	17,0 (16,1 - 17,8)	23,3 (23,1 - 23,5)	71,5 (69,9 - 73,3)	6,7 (6,5 - 6,8)
2	15,5 (14,0 - 16,5)	24,6 (24,3 - 24,9)	67,7 (65,7 - 69,8)	6,3 (6,2 - 6,5)
3	13,6 (12,7 - 14,6)	25,7 (24,7 - 26,9)	63,3 (60,8 - 65,4)	6,0 (5,7 - 6,2)
4	17,0 (15,7 - 17,9)	24,2 (22,5 - 25,9)	67,4 (65,2 - 69,0)	6,3 (6,1 - 6,5)

Tabelle A 19: Ertragsgewichtete Mittel der Silagequalitätsparameter für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, entsprechend der Dauergrünlandpflanzengesellschaften und Nutzungsvarianten der Versuchsjahre 2011 bis 2013, je n=12

Nutzungs- variante	oTM [% in der TM]	ELOS [% in der TM]	Rohfaser [% in der TM]	ADF_{org} [% in der TM]	ADL [% in der TM]
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen					
1	91,5 (91,3 - 92,0)	64,8 (60,2 - 69,2)	26,9 (24,8 - 29,3)	28,9 (27,2 - 30,5)	3,2 (2,8 - 4,0)
2	91,6 (91,3 - 92,0)	63,8 (60,1 - 65,7)	27,5 (25,6 - 29,1)	29,4 (27,5 - 30,8)	3,0 (2,7 - 3,3)
3	93,4 (92,3 - 94,3)	57,3 (51,0 - 62,2)	28,8 (24,2 - 33,6)	32,3 (29,5 - 36,0)	4,3 (3,7 - 5,5)
4	92,5 (91,9 - 93,3)	60,7 (56,8 - 66,6)	28,0 (25,3 - 29,8)	30,2 (28,0 - 32,8)	3,8 (3,0 - 4,5)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)					
1	90,4 (90,0 - 91,0)	61,9 (56,2 - 66,6)	27,0 (25,1 - 30,6)	29,9 (28,3 - 32,4)	3,7 (3,4 - 4,1)
2	90,1 (89,3 - 90,7)	63,8 (58,9 - 68,4)	25,9 (23,7 - 28,9)	29,0 (27,6 - 31,4)	3,4 (3,2 - 3,7)
3	90,4 (89,6 - 91,1)	57,9 (53,2 - 60,5)	27,8 (26,2 - 29,9)	31,8 (29,7 - 33,0)	3,8 (3,5 - 4,3)
4	91,7 (91,3 - 92,3)	54,4 (51,4 - 56,9)	28,6 (26,7 - 31,0)	31,7 (30,3 - 33,2)	5,0 (4,5 - 5,6)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)					
1	89,6 (89,1 - 90,3)	62,5 (56,3 - 68,5)	26,7 (24,1 - 29,4)	30,0 (27,2 - 32,6)	3,9 (3,1 - 4,7)
2	89,2 (88,8 - 89,7)	62,6 (56,6 - 67,9)	25,8 (23,4 - 28,5)	29,3 (27,3 - 31,8)	3,7 (3,2 - 4,4)
3	89,5 (88,7 - 90,0)	59,3 (53,8 - 66,3)	26,3 (21,2 - 28,7)	31,3 (28,7 - 33,0)	3,8 (3,0 - 4,7)
4	89,2 (86,2 - 91,2)	52,8 (47,9 - 60,0)	29,0 (24,8 - 31,6)	32,8 (28,8 - 36,1)	4,5 (3,7 - 5,6)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen					
1	89,6 (86,5 - 91,3)	57,8 (51,7 - 62,3)	25,3 (24,9 - 26)	28,8 (27,6 - 29,7)	4,1 (4,0 - 4,3)
2	89,1 (85,4 - 91,1)	58,9 (53,1 - 63,5)	24,7 (24,0 - 25,2)	28,1 (27,5 - 28,6)	4,0 (3,8 - 4,3)
3	90,8 (90,3 - 91,3)	52,3 (50,6 - 52,9)	29,3 (28,0 - 30,6)	32,4 (31,2 - 33,4)	5,0 (3,9 - 6,2)
4	87,4 (78,1 - 92,4)	45,8 (36,9 - 50,5)	28,5 (26,2 - 30,9)	32,9 (29,8 - 35,5)	4,9 (4,7 - 5,3)
Glatthaferwiese Thüringen					
1	89,1 (88,8 - 89,5)	67,6 (65,9 - 70,9)	24,4 (22,4 - 25,9)	28,3 (25,6 - 30,8)	3,2 (2,9 - 3,6)
2	88,7 (88,2 - 89,7)	66,1 (64,7 - 69,3)	23,9 (21,7 - 25,0)	27,4 (25,2 - 29,2)	3,4 (3,1 - 4,0)
3	89,7 (89,4 - 90,3)	65,1 (61,6 - 70,3)	25,1 (21,3 - 28,1)	29,6 (26,0 - 33,6)	4,4 (3,9 - 5,3)
4	90,4 (89,8 - 91,1)	60,9 (54,0 - 70,7)	28,7 (24,6 - 32,9)	32,6 (28,5 - 35,1)	4,7 (4,2 - 5,6)
Montanes Intensivgrünland Thüringen					
1	91,2 (90,5 - 91,8)	69,6 (68,5 - 70,8)	22,5 (21,2 - 23,3)	26,4 (25,6 - 27,8)	3,3 (2,8 - 3,7)
2	91,2 (91,0 - 91,6)	70,6 (68,5 - 71,7)	22,3 (21,2 - 23,8)	26,6 (25,9 - 27,2)	3,5 (2,8 - 4,0)
3	91,7 (90,8 - 92,3)	63,5 (59,7 - 66,9)	26,0 (22,3 - 29,0)	29,8 (27,1 - 33,8)	3,7 (3,2 - 4,5)
4	91,6 (91,2 - 92,1)	61,6 (57,0 - 64,8)	26,9 (24,4 - 29,9)	29,7 (27,6 - 32,7)	3,8 (3,0 - 4,7)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)					
1	90,3 (89,3 - 91,0)	71,5 (69,9 - 73,3)	23,3 (23,1 - 23,5)	25,6 (24,1 - 26,8)	2,7 (2,5 - 2,9)
2	90,1 (89,1 - 90,6)	67,7 (65,7 - 69,8)	24,6 (24,3 - 24,9)	27,5 (26,4 - 28,6)	3,1 (2,9 - 3,3)
3	90,5 (89,1 - 91,3)	63,3 (60,8 - 65,4)	25,7 (24,7 - 26,9)	28,6 (27,7 - 29,9)	3,3 (3,0 - 3,6)
4	89,9 (89,1 - 90,4)	67,4 (65,2 - 69,0)	24,2 (22,5 - 25,9)	27,3 (26,6 - 27,8)	3,2 (3,1 - 3,3)

Tabelle A 20: Mittelwerte der Methanausbeuten [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$] und Netto-TM-Erträge [dt ha^{-1}] sowie Mittelwerte der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$] mit Spannweiten in Klammern (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p \leq 0,05$ innerhalb Dauergrünlandpflanzengesellschaft zwischen den Nutzungsvarianten)

Nutzungs- variante	Methanausbeute [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	Netto-TM-Ertrag* [dt ha^{-1}]	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$]	
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen				
1	343,4 (317,0 - 358,2)	91,6 (78,9 - 107,4)	2 882,0 (2 408,6 - 3 514,4)	(a)
2	344,7 (326,6 - 354,0)	82,8 (72,5 - 98,7)	2 619,9 (2 164,7 - 3 192,8)	(b)
3	331,3 (324,7 - 336,0)	79,5 (59,8 - 104,7)	2 456,1 (1 877,6 - 3 233,1)	(b)
4	339,8 (305,2 - 358,6)	77,1 (61,6 - 88,5)	2 430,5 (1 770,0 - 2 900,3)	(b)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				
1	328,6 (315,7 - 337,0)	103,9 (93,4 - 114,6)	3 087,5 (2 692,9 - 3 461,5)	(a)
2	313,6 (291,5 - 334,4)	95,9 (77,2 - 115,8)	2 717,1 (2 174,7 - 3 493,5)	(b)
3	317,9 (287,1 - 339,4)	100,8 (79,4 - 115,3)	2 895,0 (2 351,9 - 3 492,5)	(c)
4	298,2 (277,6 - 311,1)	97,3 (84,7 - 109,3)	2 666,6 (2 169,2 - 3 035,4)	(b)
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				
1	319,0 (295,8 - 341,8)	91,8 (77,1 - 103,1)	2 618,5 (2 333,2 - 2 954,9)	(a)
2	314,8 (284,9 - 344,0)	85,3 (77,8 - 104,7)	2 380,6 (2 173,5 - 2 670,5)	(a)
3	311,9 (286,9 - 329,3)	85,0 (68,1 - 102,9)	2 364,1 (1 939,1 - 2 648,6)	(a)
4	303,2 (283,6 - 331,4)	87,3 (63,6 - 113,6)	2 352,7 (1 799,6 - 3 025,3)	(a)
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				
1	305,6 (293,0 - 318,8)	70,5 (55,5 - 89,3)	1 941,4 (1 484,0 - 2 577,2)	(a)
2	305,8 (293,2 - 316,6)	59,7 (43,6 - 87,1)	1 638,4 (1 153,2 - 2 482,9)	(b)
3	298,6 (290,0 - 312,0)	68,4 (61,3 - 73,4)	1 854,8 (1 652,8 - 2 010,4)	(a)
4	287,6 (283,4 - 291,0)	74,2 (61,5 - 92,7)	1 863,0 (1 518,2 - 2 398,9)	(a)
Glatthaferwiese Thüringen				
1	329,1 (309,7 - 350,1)	51,2 (27,8 - 62,8)	1 502,1 (806,9 - 1 967,5)	(a)
2	317,6 (296,0 - 332,1)	47,0 (28,6 - 57,1)	1 320,4 (821,7 - 1 674,8)	(b)
3	317,2 (305,7 - 325,8)	46,3 (31,1 - 59,5)	1 316,9 (881,6 - 1 734,1)	(b)
4	313,8 (287,7 - 332,2)	57,7 (46,7 - 67,3)	1 632,3 (1 349,8 - 1 914,7)	(c)
Montanes Intensivgrünland Thüringen				
1	325,5 (317,4 - 330,9)	63,8 (55,6 - 76,3)	1 893,9 (1 689,4 - 2 216,8)	(a)
2	324,6 (318,7 - 329,9)	62,1 (53 - 71,3)	1 836,4 (1 567,9 - 2 084,5)	(a)
3	326,3 (318,9 - 335,1)	63,1 (51,5 - 77,3)	1 885,6 (1 592,8 - 2 298,0)	(a)
4	320,2 (302,8 - 339,2)	51,2 (40,2 - 69)	1 498,0 (1 128,6 - 2 025,6)	(b)
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)				
1	356,9 (342,2 - 370,1)	112,2 (88,2 - 134,5)	3 622,3 (2 872,8 - 4 530,4)	(a)
2	346,5 (336,7 - 352,7)	109,4 (86,6 - 134,2)	3 413,2 (2 766,1 - 4 240,3)	(b)
3	341,7 (325,3 - 353,4)	110,6 (87,2 - 135,8)	3 414,6 (2 799,0 - 4 293,6)	(b)
4	340,6 (325,5 - 356,5)	98,2 (90,8 - 111,1)	3 017,0 (2 643,7 - 3 570,6)	(c)

* TM-Erträge abzüglich 10 % TM-Verlust bei der Ernte sowie 10 % TM-Verlust bei der Silierung

Tabelle A 21: Pflanzengesellschaft und Anbaugesamt Grünland/Futterbau (GRAF ET AL., 2009) am Versuchsstandort **Triesdorf** sowie die Ausprägung zu Versuchsbeginn und die jeweiligen bestandesprägenden Arten

Dauergrünland-pflanzengesellschaft	Standort und Anbaugesamt	Ausprägung zu Versuchsbeginn	bestandesprägende Arten
Weidelgras-Weißkleeweide <i>Lolio-Cynosuretum</i>	Bayern (Mittelfranken), sommertrockene Lagen	artenreich, typische Ausprägung 40 Arten	Dt. Weidelgras, Gemeine Rispe, Wiesenrispe, Löwenzahn

Tabelle A 22: Standortcharakteristika des Versuchsstandortes **Triesdorf**

Dauergrünland-pflanzengesellschaft Standort	Bodentyp	Klima			Höhe über N.N. [mm]
		langj. mittlere Jahrestemperatur [°C]	langj. mittlerer Jahresniederschlag [mm Jahr ⁻¹]		
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)	Pseudogley-Gley	7,7	632	442	

Tabelle A 23: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn mit Spannweiten in Klammern und Einordnung in die entsprechenden Gehaltsklasse am Standort **Triesdorf**

Dauergrünland-pflanzengesellschaft Standort	pH - Wert	Phosphor	Kalium [mg 100 g ⁻¹ Boden]	Magnesium
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)	6,7 E	25,0	21,0	9,0

Tabelle A 24: Gemittelter Vegetationsbeginn (Spannweiten in Klammern) im Versuchszeitraum 2010 bis 2013 am Versuchsstandort **Triesdorf**

Dauergrünlandpflanzengesellschaft	Vegetationsbeginn
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)	03. April (27. März - 17. April)

Tabelle A 25: Übersicht der Niederschlagsmengen [mm] sowie der Temperatur [°C] im Mittel der Versuchsjahre bzw. Vegetationszeiträume 2010 bis 2013 am Standort **Triesdorf**

Standort	mittlere Niederschlagssumme [mm]		mittlere Temperatur [°C]	
	November bis Oktober	April bis Oktober	November bis Oktober	April bis Oktober
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)				
Mittel 2010-2013	690,8	456,5	8,2	13,4
<i>langjähriges Mittel</i>	632,4	399,4	7,7	12,8

Tabelle A 26: Schnitttermine der einzelnen Aufwüchse, Nutzungsvarianten und Versuchsjahre am Standort **Triesdorf**

Nutzungs- variante	Schnitt	Erntetermin		
		2011	2012	2013
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)				
	Vegetationsbeginn	30.3	27.3	17.4
1	1	3.5	8.5	1.5
1	2	5.6	*5.6	12.6
1	3	24.7	23.7	15.7
1	4	25.9		22.9
2	1	3.5	8.5	1.5
2	2	5.6	*5.6	12.6
2	3	24.7	23.7	15.7
2	4	25.9		22.9
3	1	8.5	8.5	13.5
3	2	19.6	18.6	16.6
3	3	31.7	2.8	4.8
3	4	3.10		22.10
4	1	25.4	2.5	28.4
4	2	10.7	9.7	7.7
4	3	11.9	10.9	15.8
4	4			22.10

* Aufwuchs gemulcht

Tabelle A 27: TM-Erträge [dt ha⁻¹] der einzelnen Aufwüchse der Nutzungsvarianten und Versuchsjahre mit Spannweiten in Klammern am Standort **Triesdorf**

Nutzungs- variante	Aufwuchs	Versuchsjahr	
		2012 [dt ha ⁻¹]	2013 [dt ha ⁻¹]
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)			
1	1	24,0 (20,4 - 28,6)	27,8 (23,4 - 31)
	2	*	48,4 (45,2 - 51,2)
	3	16,4 (15 - 17,4)	20,7 (18,8 - 22,8)
	4		20,8 (19,3 - 22,5)
2	1	27,4 (21,9 - 34,9)	27,0 (21 - 31,2)
	2	*	53,5 (52,9 - 54,6)
	3	19,2 (18,1 - 20,3)	21,3 (16,1 - 29,5)
	4		17,4 (16 - 18)
3	1	21,3 (20,2 - 23,5)	49,1 (46,1 - 51,7)
	2	14,1 (12,2 - 17,9)	28,9 (24,4 - 33,2)
	3	12,2 (10,9 - 13,9)	17,8 (16,8 - 20,1)
			15,0 (13,3 - 16,3)
4	1	19,7 (16,2 - 25,9)	22,6 (20,5 - 25,7)
	2	22,0 (19,9 - 24,8)	67,4 (63,9 - 76)
	3	3,4 (2,5 - 4,1)	*
	4		23,1 (20,4 - 24,8)

* Auswuchs gemulcht

Tabelle A 28: Futterqualität im Grüngut der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)**
(Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	21,6 (18,1 - 26,4)	**18,5 (14,9 - 22,1)	17,9 (15,1 - 23,4)	*14,8
2	21,1 (20,4 - 22,4)	**17,5 (14,1 - 20,9)	17,2 (15,3 - 20,5)	*14,4
3	19,0 (16,6 - 21,7)	16,1 (15,4 - 17,1)	15,1 (13,2 - 17,5)	*15,0
4	24,2 (21,0 - 27,2)	11,4 (8,9 - 13,7)	*14,4	*16,0
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	20,9 (19,1 - 21,8)	**22,6 (17,1 - 28,2)	23,2 (22,1 - 23,8)	*23,1
2	22,0 (16,9 - 26,7)	**22,7 (18,4 - 27,0)	23,4 (23,0 - 23,9)	*23,6
3	25,6 (21,5 - 32,7)	24,6 (23,6 - 25,4)	25,2 (23,5 - 27,4)	*24,2
4	22,0 (17,9 - 27,8)	28,1 (24,4 - 32,2)	*24,3	*18,7
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	69,9 (56,9 - 78,3)	**68,8 (61,9 - 75,7)	67,0 (66,6 - 67,6)	*61,6
2	75,8 (73,7 - 79,9)	**68,0 (60,2 - 75,8)	66,1 (63,1 - 68,4)	*61,8
3	69,9 (61,1 - 74,4)	65,6 (63,6 - 66,9)	66,1 (63,0 - 68,6)	*60,6
4	76,2 (71,5 - 78,6)	55,8 (45,3 - 62,8)	*58,7	*47,2
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,4 (5,3 - 7,3)	**6,4 (5,7 - 7,0)	6,3 (6,3 - 6,3)	*6,0
2	7,0 (6,8 - 7,4)	**6,3 (5,6 - 7,1)	6,3 (6,1 - 6,5)	*6,1
3	6,5 (5,7 - 7,0)	6,2 (5,9 - 6,4)	6,3 (6,2 - 6,5)	*5,9
4	7,1 (6,6 - 7,4)	5,4 (4,5 - 6,1)	*5,7	*4,6

* n=1 ** n=2

Tabelle A 29: Futterqualität in der Silage der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)**
(Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013, mit Spannweiten in Klammern, nach Nutzungsvarianten und Aufwüchsen, je n=3)

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
Rohprotein [% in der TM]				
	Ziel: 14,0 - 16,0		Ziel: 15,0 - 17,0	
1	18,9 (17,9 - 19,7)	**17,1 (12,3 - 21,8)	16,4 (15,5 - 17,8)	*15,4
2	20,0 (18,4 - 21,3)	**17,6 (12,3 - 22,9)	16,7 (15,8 - 17,9)	*15,8
3	18,6 (16,9 - 20,7)	16,9 (15,3 - 18,1)	16,2 (15,0 - 17,6)	*15,5
4	22,3 (20,1 - 24,0)	11,3 (8,1 - 13,3)	*14,8	*18,4
Rohfaser [% in der TM]				
	Ziel: 22,0 - 24,0			
1	22,9 (19,2 - 28,2)	**25,2 (17,4 - 33)	24,3 (23,2 - 25,4)	*24,2
2	22,5 (18,5 - 26,9)	**25,6 (18,7 - 32,5)	24,7 (23,2 - 26,3)	*25,4
3	24,8 (21,0 - 31,5)	24,5 (22,4 - 27,4)	25,4 (24,0 - 27,3)	*24,5
4	21,1 (18,5 - 22,6)	29,4 (27,0 - 34,2)	*23,7	*22,9
ELOS [% in der TM]				
	Ziel: ≥ 65,0			
1	71,1 (62,9 - 76,7)	**63,0 (51,2 - 74,7)	67,0 (66,6 - 67,6)	*58,4
2	72,0 (64,8 - 77,6)	**64,4 (54,4 - 74,3)	67,7 (67,2 - 67,9)	*54,9
3	68,7 (59,9 - 73,1)	65,5 (63,5 - 67,5)	65,8 (62,8 - 67,7)	*52,6
4	72,5 (69,9 - 76,8)	54,4 (43,2 - 60,4)	*55,9	*57,5
Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TM]				
	Ziel: ≥ 6,4		Ziel: ≥ 6,1	
1	6,7 (6,0 - 7,2)	**6,0 (5,0 - 7)	6,4 (6,3 - 6,4)	*5,8
2	6,8 (6,2 - 7,4)	**6,1 (5,2 - 7)	6,1 (5,7 - 6,4)	*5,6
3	6,5 (5,8 - 6,8)	6,2 (6,0 - 6,4)	6,3 (6,2 - 6,6)	*5,4
4	6,9 (6,5 - 7,2)	5,4 (4,5 - 5,9)	*5,5	*5,6

* n=1 ** n=2

Tabelle A 30: Gärqualität der Silagen der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)** nach Nutzungsvariante und Aufwuchs (Mittelwerte der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je n=3

Nutzungs-variante	Aufwuchs	TS-Gehalt [% in der FM]	pH-Wert	Buttersäure* [% in der TM]	Siliererfolg (Punkte)
1	1	25,0 (16,8 - 35,8)	5,3 (4,3 - 6,8)	2,750 (0,042 - 5,262)	44,7 (0 - 93)
	2	***39,6 (34,0 - 45,1)	***4,8 (4,6 - 5,0)	***2,633 (0,054 - 4,907)	***81,5 (81 - 82)
	3	33,1 (29,1 - 37,6)	4,9 (4,7 - 5,3)	0,869 (0,012 - 2,496)	63,3 (58 - 68)
	4	***29,8 (23,5 - 36,1)	***4,9 (4,7 - 5,1)	***1,868 (0,027 - 3,516)	***53,5 (43 - 64)
2	1	23,6 (15,0 - 33,1)	5,4 (4,5 - 6,8)	0,018 (0,014 - 0,022)	40,0 (0 - 84)
	2	***42,0 (35,2 - 48,7)	***4,9 (4,9 - 4,9)	***0,017 (0,013 - 0,021)	***78,5 (78 - 79)
	3	34,3 (30,2 - 39,1)	5,0 (4,7 - 5,4)	0,151 (0,016 - 0,396)	65,3 (60 - 73)
	4	***31,4 (25,4 - 37,3)	***5,0 (4,7 - 5,3)	***0,979 (0,390 - 1,722)	***55,0 (52 - 58)
3	1	38,2 (24,6 - 46,8)	5,0 (4,8 - 5,1)	1,159 (0,017 - 2,043)	66,3 (34 - 87)
	2	31,6 (25,0 - 35,2)	4,8 (4,7 - 4,8)	0,488 (0,017 - 0,936)	70,7 (55 - 85)
	3	39,9 (30,1 - 51,9)	5,5 (4,8 - 5,8)	0,276 (0,008 - 0,560)	56,7 (53 - 63)
	4	**39,2	**5,2	**0,688	**63,0
4	1	22,4 (18,0 - 24,6)	5,6 (5,4 - 6,1)	0,859 (0,020 - 1,698)	21,5 (19 - 25)
	2	40,7 (36,8 - 43,2)	5,0 (4,9 - 5,2)	1,090 (0,722 - 1,458)	73,7 (65 - 81)
	3	***38,5 (32,5 - 44,4)	***5,4 (4,9 - 5,9)	***1,837 (1,837 - 1,837)	***53,0 (41 - 65)
	4	**43,4	**4,8	**0,011	**88,0

Siliererfolgsbewertung: **Note 1:** 100 – 90 sehr gut; **Note 3:** 71 – 52 verbesserungsbedürftig; **Note 5:** <30 sehr schlecht
Note 2: 89 - 72 gut; **Note 4** 51 - 30 schlecht;

* Summe aus Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure, Valeriansäure, Capronsäure

** n=1 ***=2

Tabelle A 31: Mittel der Silagequalitätsparameter der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)** für Biogas und deren Spannweiten in Klammern, dargestellt nach Nutzungsvariante der Versuchsjahre 2011 bis 2013, je n=12

Nutzungs-variante	Schnitt	oTM [% in der TM]	ELOS [% in der TM]	Rohfaser [% in der TM]	ADF _{org} [% in N TM]	ADL [% in der TM]
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)						
1	1	25,0 (16,8 - 35,8)	71,1 (62,9 - 76,7)	22,9 (19,2 - 28,2)	25,2 (21,7 - 28,6)	3,1 (2,4 - 4,3)
1	*2	39,6 (34,0 - 45,1)	63,0 (51,2 - 74,7)	25,2 (17,4 - 33,0)	28,0 (21,6 - 34,3)	4,5 (4,2 - 4,9)
1	3	33,1 (29,1 - 37,6)	67,0 (66,6 - 67,6)	24,3 (23,2 - 25,4)	26,7 (26,1 - 27,5)	3,4 (3,1 - 3,7)
1	**4	29,8 (23,5 - 36,1)	61,8 (58,4 - 65,2)	23,5 (22,8 - 24,2)	26,3 (25,3 - 27,2)	3,4 (2,7 - 4,1)
2	1	23,6 (15,0 - 33,1)	72,0 (64,8 - 77,6)	22,5 (18,5 - 26,9)	25,2 (21,2 - 27,3)	3,0 (2,4 - 3,4)
2	*2	42,0 (35,2 - 48,7)	64,4 (54,4 - 74,3)	25,6 (18,7 - 32,5)	28,2 (21,5 - 34,8)	3,6 (3,3 - 3,8)
2	3	34,3 (30,2 - 39,1)	67,7 (67,2 - 67,9)	24,7 (23,2 - 26,3)	32,3 (26,7 - 42)	3,6 (2,9 - 4,1)
2	**4	31,4 (25,4 - 37,3)	59,0 (54,9 - 63,0)	24,5 (23,6 - 25,4)	27,6 (26,3 - 28,9)	3,8 (3,6 - 4)
3	1	38,2 (24,6 - 46,8)	68,7 (59,9 - 73,1)	24,8 (21 - 31,5)	27,2 (23,7 - 32)	3,7 (2,9 - 4,5)
3	2	31,6 (25 - 35,2)	65,5 (63,5 - 67,5)	24,5 (22,4 - 27,4)	28,5 (26,8 - 30,2)	3,2 (2,9 - 3,7)
3	3	39,9 (30,1 - 51,9)	65,8 (62,8 - 67,7)	25,4 (24,0 - 27,3)	28,5 (27,2 - 31,1)	4,3 (3,7 - 5,4)
3	**4	39,2 (39,2 - 39,2)	52,6 (52,6 - 52,6)	24,5 (24,5 - 24,5)	28,0 (28 - 28)	3,9 (3,9 - 3,9)
4	1	22,4 (18,0 - 24,6)	73,5 (69,9 - 76,8)	21,1 (18,5 - 22,6)	23,7 (21,7 - 24,9)	2,7 (2 - 3,5)
4	2	40,7 (36,8 - 43,2)	54,4 (43,2 - 60,4)	29,4 (27,0 - 34,2)	31,4 (29,5 - 34,5)	4,6 (4,2 - 5,5)
4	**3	38,5 (32,5 - 44,4)	60,4 (55,9 - 64,9)	24,5 (23,7 - 25,3)	29,6 (28,0 - 31,2)	4,7 (4,1 - 5,3)
4	**4	43,4 (43,4 - 43,4)	57,5 (57,5 - 57,5)	22,9 (22,9 - 22,9)	25,4 (25,4 - 25,4)	3,3 (3,3 - 3,3)

* n=1 ** n=2

Tabelle A 32: Methanausbeuten [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$] der Silagen entsprechender Aufwüchse, Nutzungsvarianten der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)** (Mittelwert der Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit Spannweiten in Klammern), je $n=3$

Nutzungs- variante	1. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	2. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	3. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]	4. Aufwuchs [$\text{I}_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$]
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)				
1	362,2 (325,7 - 413,5)	**327,5 (317,6 - 337,3)	331,0 (316 - 340,6)	*325,1 (325,1 - 325,1)
2	383,6 (354 - 410,3)	**333,4 (317,5 - 349,2)	329,4 (320 - 336,8)	*338,5 (338,5 - 338,5)
3	359,1 (352,1 - 372,1)	334,2 (331,2 - 338,4)	324,0 (317,2 - 337,1)	*305,7 (305,7 - 305,7)
4	361,0 (330,5 - 389,7)	294,0 (275,1 - 312,8)	*297,7 (297,7 - 297,7)	*332,7 (332,7 - 332,7)
* $n = 1$	** $n = 2$			

Tabelle A 33: Mittelwert der Methanhektarerträge [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$] mit Spannweite in Klammern der unterschiedlichen Nutzungsvarianten der **Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)** in den jeweiligen Versuchsjahren sowie als Mittelwert über alle Jahre

Nutzungs- variante	2012	2013	MW 2011-2013
	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$]	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$]	Methanhektarertrag [$\text{m}^3_N \text{ ha}^{-1}$]
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Mittelfranken)			
1	999 (893 - 1 142)	2 988 (2 788 - 3 202)	1 993 (893 - 3 202)
2	1 175 (1 051 - 1 350)	3 000 (2 779 - 3 321)	2 087 (1 051 - 3 321)
3	1 184 (1 086 - 1 280)	2 410 (2 254 - 2 496)	1 797 (1 086 - 2 496)
4	1 509 (1 330 - 1 799)	2 571 (2 506 - 2 649)	2 040 (1 330 - 2 649)

Tabelle A 34: Nutzungsdauer und Gewicht der eingesetzten Maschinen in den Verbrennungsvarianten

Maschinen	Nutzungsdauer	Gewicht (kg)
Anbauschleuderstreuer, 1,5 m ³	5.000 t	800
Anhängeschleuderstreuer, 6 m ³	17.500 t	2200
Ballenspieß	25.000 t	225
Ballentransportwagen 15 t (11,3 t)	55.000 t	3700
Dreiseitenkipper 8 t (5,7 t)	48.000 t	2300
Düngerförderschnecke	1.500 h	
Frontlader 1500 daN	2.500 h	450
Frontlader 1750 daN	2.500 h	500
Frontlader 1900 daN	2.500 h	550
Glattwalze 6 m	6.000 ha	3000
Grünlandschleppe 6,0 m angebaut	3.000 ha	550
Kreiselzetenwender 7,5 m	3.750 ha	940
Kreiselzettwender 5,5 m	2.750 ha	600
LKW-Sattelzugmaschine 300 kW	12.000 h	7000
Mineraldüngerschaufel 0,65 m ³	43.300 t	200
Quaderballenpresse 120x90x220 cm	100.000 Ballen	8200
Quaderballenzange	24.400 t	230
Rotationsmähwerk 2,4 m	900 ha	540
Rotationsmähwerk 3 m angehängt	1.125 ha	1450
Sattelzugauflieger 34 t (25 t)	200.000 t	9000
Schlegelmulcher 3 m	1.500 ha	1200
Schlepper 102 kW	10.000 h	5650
Schlepper 54 kW	10.000 h	3500
Schlepper 67 kW	10.000 h	4000
Schlepper 83 kW	10.000 h	5000
Zweikreiselmitten-schwader 6 m	3.000 ha	1100
Zweikreiselmitten-schwader 7,5 m	3.750 ha	1750

nach KTBL 2006/2007 und KTBL 2004

Tabelle A 35: Nutzungsdauer und Gewichte der eingesetzten Maschinen in den Biogasvarianten

Maschinen	Nutzungsdauer	Gewicht (kg)
Anbauschleuderstreuer 1,5 m ³ angebaut	5.000 t	300
Anhängeschleuderstreuer 12000 l	35.000 t	5000
Düngerförderschnecke	1.500 h	
Feldhäcksler 300 kW	3.000 h	10000
Glattwalze 6 m	6.000 ha	3000
Grünlandschleppe 6,0 m angebaut	3.000 ha	550
Häckseltguttransportwagen 33 m ³ 7t	100.000 t	5800
Kreiselzetenwender 13 m	5.250 ha	1870
Leichtgutschaufel 4 m ³	100.000 t	900
Mineraldüngerschaufel 2,3 m ³	100.000 t	800
Pickuptrommel für Häcksler 3 m angebaut	2.000 h	900
Pumptankwagen 24 m ³	100.000 m ³	9000
Radlader 105 kW	10.000 h	10000
Radlader 83 kW	10.000 h	9000
Rotationsmähwerk Front 3,1 m angebaut	1.160 ha	1070
Rotationsmähwerk Heck 3,2 m angebaut	1.200 ha	1050
Schlegelmulcher 4m	2.000 ha	1750
Schlepper 102 kW	10.000 h	5650
Schlepper 120 kW	10.000 h	6500
Schlepper 140 kW	10.000 h	6700
Schlepper 200 kW	10.000 h	9000
Schlepper 45 kW	10.000 h	3500
Schlepper 54 kW	10.000 h	3500
Schlepper 83 kW	10.000 h	5000
Schleppschlauchverteiler 9,0 m angebaut	37.500 m ³	900
Schneidzange 2 m ³	24.000 m ³	1000
Vierkreiselschwader 15 m aufgesattelt	7.800 ha	6000

nach KTBL 2006/2007 und KTBL 2004

Tabelle A 36: Wirtschaftlichkeit der **Heuverbrennung**, Nutzungskonzept **dezentrale Verbrennung (300 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Schnabelseggenried Niedersachsen		Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg		Waldengelwurz- Kohldistel- Feuchtwiese Sachsen		Waldstorchschnabel- Goldhaferwiese Thü- ringen		Pfeifengras- Streuwiese Bayern
		1	4	2	3	3	4	2	3	2
Ertrag, netto	t TM ha ⁻¹	6,3	4,3	10,8	6,8	3,1	3,2	4,0	2,4	1,6
Heukosten frei Anlage	€ t TM ⁻¹	64	38	73	51	76	59	182	277	50
inkl. Transport	€ MWh ⁻¹	13,5	8,2	15,5	10,9	16,4	13,4	40,4	59,5	10,6
Notwendige Fläche	ha	32	95	19	30	66	134	53	86	125
jährliche Kosten:										
Anlagenkosten	T€ a ⁻¹	71								
Wärmenetzkosten	T€ a ⁻¹	13								
Substratkosten	T€ a ⁻¹	13	8	15	10	15	13	38	56	10
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	97	92	99	94	99	97	122	140	94
Wärmegestehungskosten	ct kWh _{th} ⁻¹	10,7	10,2	11,0	10,5	11,0	10,7	13,6	15,6	10,4

*Schnitt alle 2 Jahre

Tabelle A 37: Wirtschaftlichkeit der **Heuverbrennung**, Nutzungskonzept **zentrale Verbrennung (8 MW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Schnabelseggenried Niedersachsen		Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg		Waldengelwurz- Kohldistel- Feuchtwiese Sachsen		Waldstorchschnabel- Goldhaferwiese Thüringen		Pfeifengras- Streuwiese Bayern
Nutzungsvariante		1	4	2	3	3	4	2	3	2
Ertrag, netto	t TM ha ⁻¹	6,3	4,3	10,8	6,8	3,1	3,2	4,0	2,4	1,6
Heukosten frei Anlage	€ t TM ⁻¹	71	48	79	59	87	72	191	288	61
inkl. Transport	€ MWh ⁻¹	14,9	10,4	16,9	12,5	18,6	16,4	42,4	61,9	13,0
Notwendige Fläche	ha	830	2.465	487	771	1.720	3.390	1.346	2.227	3.277
Transportentfernung	km	29	50	27	34	50	70	43	56	56
jährliche Kosten:										
Anlagenkosten	T€ a ⁻¹	1.826								
Wärmenetzkosten	T€ a ⁻¹	263								
Substratkosten	T€ a ⁻¹	1.009	902	1.060	949	1.101	1.056	1.682	2.170	960
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	3.098	2.991	3.149	3.039	3.190	3.145	3.771	4.259	3.049
Erlöse:										
Strom(EEG 2012)	T€ a ⁻¹	2.133								
Wärme (7,5 ct kWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹	1.774								
Ergebnis	T€ a ⁻¹	809	916	758	868	717	762	136	-352	858
Grenzwärmepreis	ctkWh _{th} ⁻¹	4,1	3,6	4,3	3,8	4,5	4,3	6,9	9,0	3,9
Stromgestehungskosten inkl. Wärmegutschrift	ctkWh _{el} ⁻¹	10,6	9,7	11,0	10,1	11,3	11,0	16,0	19,9	10,2
Differenz zum Holzpreis	€ t TM ⁻¹	-50	-69	-40	-61	-32	-39	77	170	-59
Notwendige Prämie	€ ha ⁻¹	unnötig	unnötig	unnötig	Unnötig	unnötig	unnötig	307	404	unnötig

*Schnitt alle 2 Jahre

Tabelle A 38: Wirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung, Nutzungskonzept Neuanlagen (500 kW), Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		500 kW											
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Weidelgras-Weißkleeeweide Brandenburg (Niedermoor)				Weidelgras-Weißkleeeweide Brandenburg (Talsand)				Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen			
Nutzungsvariante		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	38,1	37,9	31,5	35,5	41,9	40,7	38,7	38,8	47,7	48,4	48,0	52,7
	€ MWh ⁻¹	36,4	36,1	33,3	33,9	41,6	42,1	41,7	39,9	46,5	44,3	45,7	48,1
Notwendige Fläche	ha	193	216	193	221	221	238	236	243	209	236	248	256
jährliche Kosten:													
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	458	458	458	458	458	458	458	458	458	458	458	458
Wärmenetzkosten ges.	T€ a ⁻¹	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Substratkosten	T€ a ⁻¹	362	360	344	348	393	396	393	383	423	411	419	435
davon Gras	T€ a ⁻¹	220	219	194	206	248	247	241	235	280	273	277	297
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	847	845	829	832	878	880	878	868	908	896	904	919
Erlöse:													
Strom (EEG 2012)	T€ a ⁻¹	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746
Wärme (7,5 ctkWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
Ergebnis	T€ a ⁻¹	14	16	33	29	-17	-19	-16	-7	-47	-35	-43	-58
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	18,3	18,2	17,8	17,9	19,1	19,1	19,1	18,8	19,8	19,5	19,7	20,1
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	0,4	0,4	0,8	0,7	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	-1,2	-0,9	-1,1	-1,5
zu erzielender Wärmepreis	ct kWh _{th} ⁻¹	6,6	6,5	5,4	5,6	8,6	8,7	8,6	7,9	10,5	9,8	10,3	11,3
Graspreis=Maispreis	€ t FM ⁻¹	39,7	39,8	35,9	39,6	38,1	36,6	35,1	36,8	38,9	41,4	39,7	41,5
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	unnötig	unnötig	unnötig	unnötig	101	105	95	51	248	168	193	246
Graspreis+Mehrinvest.=Maispreis	€ t FM ⁻¹	29,3	29,4	26,1	29,2	28,0	26,7	25,5	26,8	28,6	30,7	29,3	30,8
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	264	227	172	164	373	357	349	297	535	422	435	481

Tabelle A 39: Wirtschaftlichkeit der **Biogasgewinnung**, Nutzungskonzept **Neuanlagen (400 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		400 kW											
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				Montanes Intensivgrünland Thüringen				Glatthaferwiese Thüringen			
Nurtzungsvariante		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	51,8	55,6	48,7	40,0	48,3	43,0	43,5	54,4	54,6	53,0	53,0	42,2
	€ MWh ⁻¹	57,9	60,8	49,0	40,9	58,3	55,4	46,9	56,8	59,3	57,5	52,2	41,6
Notwendige Fläche	ha	234	281	257	254	232	232	245	313	307	350	365	294
jährliche Kosten:													
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Wärmenetzkosten ges.	T€ a ⁻¹	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Substratkosten	T€ a ⁻¹	387	401	349	311	385	370	338	385	395	387	366	315
davon Gras	T€ a ⁻¹	263	279	232	193	256	236	216	265	273	264	250	199
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	777	791	739	701	775	760	728	775	785	776	755	705
Erlöse:													
Strom (EEG 2012)	T€ a ⁻¹	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602
Wärme (7,5 ct kWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Ergebnis	T€ a ⁻¹	-83	-97	-45	-7	-81	-66	-34	-81	-91	-82	-61	-10
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	21,4	21,8	20,2	19,0	21,3	20,9	19,9	21,3	21,6	21,4	20,7	19,1
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	-2,6	-3,0	-1,4	-0,2	-2,5	-2,1	-1,0	-2,5	-2,8	-2,6	-1,9	-0,3
zu erzielender Wärmepreis	ct kWh _{th} ⁻¹	14,2	15,4	11,2	8,1	14,1	12,8	10,2	14,0	14,9	14,2	12,5	8,3
Graspreis=Maispreis	€ t FM ⁻¹	33,8	34,6	37,6	37,0	31,4	29,3	35,2	36,2	34,8	34,9	38,5	38,4
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	388	375	205	57	386	322	169	283	322	258	188	61
Graspreis+Mehrinvest.=Maispreis	€ t FM ⁻¹	24,4	25,0	27,6	27,1	22,3	20,6	25,5	26,4	25,2	25,3	28,3	28,2
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	593	546	392	246	593	529	365	436	479	396	320	225

Tabelle A 40: Wirtschaftlichkeit der **Biogasgewinnung**, Nutzungskonzept **Neuanlagen (250 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		250 kW			
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)			
Nutzungsvariante		1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	48,8	38,7	40,9	40,8
	€ MWh ⁻¹	47,1	39,4	40,9	40,9
Notwendige Fläche	ha	75	78	79	89
jährliche Kosten:					
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	309	309	309	309
Wärmenetzkosten ges.	T€ a ⁻¹	13	13	13	13
Substratkosten	T€ a ⁻¹	193	172	176	176
davon Gras	T€ a ⁻¹	129	105	110	110
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	515	493	497	497
Erlöse:					
Strom (EEG 2012)	T€ a ⁻¹	385	385	385	385
Wärme (7,5 ct kWh _{th} ⁻¹)	T€ a ⁻¹	50	50	50	50
Ergebnis	T€ a ⁻¹	-79	-58	-62	-62
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	23,2	22,2	22,4	22,4
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	-4,0	-2,9	-3,1	-3,1
zu erzielender Wärmepreis	ct kWh _{th} ⁻¹	19,4	16,2	16,8	16,8
Graspreis=Maispreis	€ t FM ⁻¹	39,2	37,1	37,9	37,7
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	335	53	103	93
Graspreis+Mehrinvest.=Maispreis	€ t FM ⁻¹	24,0	22,4	23,0	22,9
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	866	564	609	541

Tabelle A 41: Wirtschaftlichkeit der **Biogasgewinnung**, Nutzungskonzept **Altanlagen (500 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		500 kW											
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)				Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)				Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen			
Nutzungsvariante		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	36,9	36,7	31,4	34,2	39,0	34,6	35,2	32,7	46,9	48,8	46,8	54,3
	€ MWh ⁻¹	35,2	34,8	33,1	32,7	38,7	35,8	37,9	33,7	45,7	44,7	44,6	49,5
Rohfasergehalt	% FM	9,4	9,3	8,8	10,6	9,2	8,7	8,4	10,3	8,7	9,5	9,6	9,8
Notwendige Fläche	ha	73	81	70	83	82	87	85	89	78	90	93	98
jährliche Kosten:													
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348
Substratkosten	T€ a ⁻¹	374	373	370	368	382	376	380	371	398	396	396	408
davon Gras	T€ a ⁻¹	80	80	70	74	85	77	78	72	102	105	102	117
Grasbedingte Zusatzkosten	T€ a ⁻¹	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	729	728	725	723	737	731	735	726	752	751	750	762
Erlöse:													
Strom (EEG 2009)	T€ a ⁻¹	759	759	759	759	759	759	759	759	759	759	759	759
Ergebnis	T€ a ⁻¹	31	31	35	36	23	29	24	34	7	9	9	-3
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	18,2	18,2	18,1	18,1	18,4	18,3	18,4	18,1	18,8	18,8	18,8	19,1
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	0,8	0,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,6	0,8	0,2	0,2	0,2	-0,1
Graspreis+Zusatzkosten=Maispreis	€ t FM ⁻¹	36,5	36,6	32,9	35,9	35,0	33,6	32,2	33,2	35,9	38,1	36,4	38,2
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	13	1	unnötig	unnötig	108	27	78	unnötig	309	256	242	355

Tabelle A 42: Wirtschaftlichkeit der **Biogasgewinnung**, Nutzungskonzept **Altanlagen (400 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		400 kW											
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen				Montanes Intensivgrünland Thüringen				Glatthaferwiese Thüringen			
Nutzungsvariante		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	50,3	51,0	44,2	38,7	46,8	39,4	42,3	48,9	52,8	51,3	51,1	40,6
	€ MWh ⁻¹	56,2	55,7	44,5	39,6	56,5	50,8	45,5	51,1	57,5	55,6	50,3	40,1
Rohfasergehalt	% FM	8,2	8,2	10,6	11,1	6,3	5,9	8,1	8,7	7,6	7,8	8,9	10,3
Notwendige Fläche	ha	83	100	95	93	80	78	88	114	110	125	135	109
jährliche Kosten:													
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Substratkosten	T€ a ⁻¹	334	333	316	307	332	322	317	327	336	333	326	308
davon Gras	T€ a ⁻¹	90	91	78	68	85	73	75	87	94	92	89	71
Grasbedingte Zusatzkosten	T€ a ⁻¹	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	6
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	619	619	601	592	616	606	602	612	621	618	611	594
Erlöse:													
Strom (EEG 2009)	T€ a ⁻¹	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622
Ergebnis	T€ a ⁻¹	3	3	21	30	6	16	20	10	1	4	10	28
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	19,3	19,3	18,8	18,5	19,3	18,9	18,8	19,1	19,4	19,3	19,1	18,6
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	0,1	0,1	0,7	0,9	0,2	0,5	0,6	0,3	0,0	0,1	0,3	0,9
Graspreis+Zusatzkosten=Maispreis	€ t FM ⁻¹	31,0	31,8	34,0	33,2	29,2	27,3	32,4	33,2	32,2	32,3	35,4	34,8
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	416	342	190	105	401	284	201	244	337	272	203	93

Tabelle A 43: Wirtschaftlichkeit der **Biogasgewinnung**, Nutzungskonzept **Altanlagen (250 kW)**, Auswertung der Grünlandstandorte und Nutzungsvarianten

Anlagengröße		250 kW			
Dauergrünlandpflanzengesellschaft/ Standort		Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)			
Nutzungsvariante		1	2	3	4
Silagekosten frei Anlage	€ t FM ⁻¹	46,5	38,7	40,4	40,5
	€ MWh ⁻¹	44,9	39,4	40,4	40,6
Rohfasergehalt	% FM	7,5	7,8	8,3	7,8
Notwendige Fläche	ha	28	29	29	33
jährliche Kosten:					
Anlagenkosten ohne Substrate	T€ a ⁻¹	237	237	237	237
Substratkosten	T€ a ⁻¹	179	173	174	175
davon Gras	T€ a ⁻¹	46	39	40	40
Grasbedingte Zusatzkosten	T€ a ⁻¹	3	3	3	3
Gesamtkosten	T€ a ⁻¹	419	413	414	414
Erlöse:					
Strom (EEG 2009)	T€ a ⁻¹	416	416	416	416
Ergebnis	T€ a ⁻¹	-3	3	1	1
Stromgestehungskosten	ct kWh _{el} ⁻¹	20,9	20,7	20,7	20,7
Differenz zur EEG-Vergütung	ct kWh _{el} ⁻¹	-0,1	0,1	0,1	0,1
Graspreis+Zusatzkosten=Maispreis	€ t FM ⁻¹	36,6	34,5	35,0	35,0
notwendige Flächenprämie	€ ha ⁻¹	345	146	183	163

Tabelle A 44: Energiebilanzen in kWh ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **dezentralen Verbrennung**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungsvariante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasseanbau	Transport	Biomasseanlage	Energieinput	Strom	Wärme	Energieoutput	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Schnabelseggenried Niedersachsen										
1	2008	6,6	-738	-126	-1.584	-2.448	0	24.114	24.114	21.666
	2009	5,7	-720	-109	-1.368	-2.197	0	20.828	20.828	18.631
	2010	6,6	-738	-125	-1.571	-2.434	0	23.918	23.918	21.484
4	2010	4,3	-204	-50	-501	-755	0	7.635	7.635	6.880
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg										
2	2008	9,0	-1.560	-168	-2.129	-3.858	0	32.417	32.417	28.559
	2009	11,1	-1.606	-208	-2.629	-4.443	0	40.027	40.027	35.584
	2010	12,3	-1.627	-231	-2.907	-4.764	0	44.265	44.265	39.500
3	2008	5,8	-440	-110	-1.367	-1.918	0	20.811	20.811	18.893
	2009	6,9	-459	-131	-1.625	-2.216	0	24.751	24.751	22.535
	2010	7,9	-480	-151	-1.863	-2.494	0	28.363	28.363	25.869
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen										
3	2008	3,4	-397	-85	-803	-1.285	0	12.233	12.233	10.947
	2009	2,6	-384	-64	-610	-1.059	0	9.295	9.295	8.236
	2010	3,2	-397	-79	-752	-1.228	0	11.445	11.445	10.217
4	2010	3,2	-197	-98	-355	-650	0	5.398	5.398	4.748
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen										
2	2008	3,2	-1.589	-74	-720	-2.383	0	10.956	10.956	8.573
	2009	4,8	-1.623	-113	-1.077	-2.812	0	16.394	16.394	13.582
	2010	4,1	-1.608	-96	-923	-2.628	0	14.060	14.060	11.432
3	2008	2,3	-863	-56	-546	-1.465	0	8.308	8.308	6.844
	2009	2,7	-871	-66	-633	-1.570	0	9.634	9.634	8.064
	2010	2,1	-860	-51	-492	-1.403	0	7.490	7.490	6.087
Pfeifengras-Streuwiese Bayern										
2	2008	1,3	-357	-33	-312	-702	0	4.757	4.757	4.055
	2009	1,9	-369	-47	-450	-866	0	6.847	6.847	5.981
	2010	1,6	-364	-40	-384	-788	0	5.843	5.843	5.056

Tabelle A 45: Energiebilanzen in kWh ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **zentralen Verbrennung**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasseanbau	Transport	Biomasseanlage	Energieinput	Strom	Wärme	Energieoutput	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Schnabelseggenried Niedersachsen										
1	2008	6,6	-738	-317	-1.440	-2.495	7.876	14.902	22.778	20.283
	2009	5,7	-720	-274	-1.244	-2.238	6.803	12.871	19.674	17.437
	2010	6,6	-738	-315	-1.428	-2.481	7.812	14.781	22.593	20.112
4	2010	4,3	-204	-159	-456	-818	2.494	4.718	7.212	6.394
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg										
2	2008	9,0	-1.560	-406	-1.935	-3.901	10.588	20.033	30.621	26.720
	2009	11,1	-1.606	-501	-2.390	-4.497	13.074	24.736	37.809	33.312
	2010	12,3	-1.627	-555	-2.643	-4.824	14.458	27.355	41.813	36.988
3	2008	5,8	-440	-153	-1.242	-1.836	6.797	12.861	19.658	17.822
	2009	6,9	-459	-364	-1.478	-2.300	8.084	15.296	23.380	21.079
	2010	7,9	-480	-417	-1.693	-2.590	9.264	17.527	26.791	24.201
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen										
3	2008	3,4	-397	-257	-730	-1.385	3.996	7.560	11.555	10.170
	2009	2,6	-384	-195	-555	-1.135	3.036	5.744	8.780	7.645
	2010	3,2	-397	-241	-683	-1.321	3.738	7.073	10.811	9.490
4	2010	3,2	-197	-163	-322	-683	1.763	3.336	5.099	4.416
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen										
2	2008	3,2	-1.589	-210	-654	-2.454	3.579	6.771	10.349	7.896
	2009	4,8	-1.623	-158	-979	-2.760	5.355	10.131	15.486	12.727
	2010	4,1	-1.608	-270	-839	-2.718	4.592	8.689	13.281	10.563
3	2008	2,3	-863	-188	-496	-1.547	2.714	5.134	7.848	6.238
	2009	2,7	-871	-220	-575	-1.666	3.147	5.954	9.100	7.435
	2010	2,1	-860	-85	-447	-1.392	2.446	4.629	7.075	5.683
Pfeifengras-Streuwiese Bayern										
2	2008	1,3	-357	-54	-284	-694	1.554	2.940	4.494	3.799
	2009	1,9	-369	-77	-409	-855	2.236	4.231	6.467	5.612
	2010	1,6	-364	-66	-349	-778	1.909	3.611	5.519	4.741

Tabelle A 46: Treibhausgasbilanzen in kg CO₂eq ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **dezentralen Verbrennung**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Systememissionen				Gutschriften			Einsparpotenzial	
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Transport	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Schnabelseggenried Niedersachsen											
1	2008	6,6	-264	-211	-34	-776		0	8.150	6.866	7.773
	2009	5,7	-229	-205	-30	-670		0	7.040	5.907	6.814
	2010	6,6	-262	-211	-34	-769		0	8.084	6.809	7.716
4	2010	4,3	-69	-58	-13	-246		0	2.581	2.194	3.102
Kompostierung			17	86		855					
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg											
2	2008	9,0	-331	-398	-46	-1.043		0	10.957	9.139	10.732
	2009	11,1	-405	-412	-56	-1.288		0	13.529	11.368	12.962
	2010	12,3	-442	-418	-62	-1.424		0	14.962	12.615	14.208
3	2008	5,8	-231	-126	-30	-669		0	7.034	5.978	7.571
	2009	6,9	-275	-132	-36	-796		0	8.366	7.128	8.721
	2010	7,9	-315	-138	-41	-912		0	9.587	8.180	9.774
Kompostierung			36	128		1.539					
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen											
3	2008	3,4	-170	-111	-23	-393		0	4.135	3.438	3.918
	2009	2,6	-129	-106	-17	-299		0	3.142	2.590	3.070
	2010	3,2	-159	-110	-21	-368		0	3.868	3.210	3.690
4	2010	3,2	-70	-55	-13	-174		0	1.825	1.513	1.994
Mulchen			444	36							
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen											
2	2008	3,2	-136	-426	-20	-352		0	3.703	2.769	3.178
	2009	4,8	-215	-436	-30	-527		0	5.541	4.333	4.742
	2010	4,1	-178	-432	-26	-452		0	4.752	3.665	4.074
3	2008	2,3	-83	-260	-15	-267		0	2.808	2.182	2.591
	2009	2,7	-103	-263	-18	-310		0	3.256	2.563	2.973
	2010	2,1	-78	-259	-14	-241		0	2.532	1.940	2.349
Mulchen			310	99							
Pfeifengras-Streuwiese Bayern											
2	2008	1,3	-44	-98	-9	-153		0	1.608	1.303	1.526
	2009	1,9	-64	-102	-13	-220		0	2.314	1.915	2.138
	2010	1,6	-55	-100	-11	-188		0	1.975	1.621	1.844
Mulchen			187	36							

Tabelle A 47: Treibhausgasbilanzen in kg CO₂eq ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **zentralen Verbrennung**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Systememissionen				Gutschriften			Einsparpotenzial	
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Transport	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Schnabelseggenried Niedersachsen											
1	2008	6,6	-264	-211	-82	-624		6.443	5.037	10.299	11.206
	2009	5,7	-229	-205	-71	-539		5.565	4.350	8.872	9.779
	2010	6,6	-262	-211	-81	-619		6.390	4.996	10.214	11.121
4	2010	4,3	-69	-58	-41	-198		2.040	1.595	3.269	4.176
Kompostierung			17	86		855					
Rohrglanzgrasröhricht Brandenburg											
2	2008	9,0	-331	-398	-105	-839		8.661	6.771	13.759	15.352
	2009	11,1	-405	-412	-129	-1.036		10.694	8.361	17.073	18.666
	2010	12,3	-442	-418	-143	-1.146		11.827	9.246	18.923	20.516
3	2008	5,8	-231	-126	-79	-539		5.560	4.347	8.933	10.526
	2009	6,9	-275	-132	-94	-641		6.613	5.170	10.642	12.235
	2010	7,9	-315	-138	-107	-734		7.578	5.924	12.208	13.801
Kompostierung			36	128		1.539					
Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese Sachsen											
3	2008	3,4	-170	-111	-66	-317		3.268	2.555	5.160	5.641
	2009	2,6	-129	-106	-50	-241		2.483	1.941	3.899	4.379
	2010	3,2	-159	-110	-62	-296		3.058	2.391	4.821	5.302
4	2010	3,2	-70	-55	-42	-140		1.442	1.128	2.264	2.744
Mulchen			444	36		0					
Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese Thüringen											
2	2008	3,2	-136	-426	-54	-284		2.927	2.289	4.317	4.726
	2009	4,8	-215	-436	-81	-424		4.380	3.424	6.648	7.057
	2010	4,1	-178	-432	-69	-364		3.756	2.937	5.650	6.059
3	2008	2,3	-83	-260	-48	-215		2.220	1.735	3.348	3.757
	2009	2,7	-105	-263	-56	-249		2.574	2.012	3.916	4.325
	2010	2,1	-78	-259	-44	-194		2.001	1.564	2.991	3.400
Mulchen			310	99		0					
Pfeifengras-Streuwiese Bayern											
2	2008	1,3	-44	-98	-27	-123		1.271	994	1.971	2.194
	2009	1,9	-64	-102	-39	-177		1.829	1.430	2.877	3.100
	2010	1,6	-55	-100	-34	-151		1.561	1.220	2.442	2.665
Mulchen			187	36		0					

Tabelle A 48: Energiebilanzen in kWh ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: Biogasgewinnung in Neuanlagen, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungsvariante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasseanbau	Biomasseanlage	Düngegut-schrift	Energieinput	Strom	Wärme	Energieoutput	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)										
1	2011	13,0	-5.465	-5.072	4.928	-5.609	18.300	6.100	24.401	18.792
2	2011	12,9	-4.224	-4.826	4.570	-4.480	17.091	5.697	22.788	18.309
3	2011	12,9	-3.991	-4.807	4.316	-4.482	17.100	5.700	22.800	18.318
4	2011	10,8	-3.462	-4.067	4.378	-3.151	14.528	4.843	19.371	16.220
1	2012	11,7	-5.529	-4.258	4.719	-5.068	14.948	4.983	19.931	14.862
2	2012	10,8	-4.039	-3.849	4.216	-3.673	13.639	4.546	18.186	14.513
3	2012	11,3	-3.888	-3.907	4.131	-3.665	13.775	4.592	18.367	14.702
4	2012	9,3	-3.345	-3.240	3.954	-2.632	11.408	3.803	15.210	12.579
1	2013	9,0	-5.258	-3.457	4.045	-4.670	12.399	4.133	16.532	11.862
2	2013	9,1	-3.906	-3.400	3.870	-3.437	12.157	4.052	16.209	12.772
3	2013	9,0	-3.613	-3.348	3.470	-3.491	12.047	4.016	16.063	12.572
4	2013	9,3	-3.302	-3.351	3.979	-2.674	11.974	3.991	15.965	13.291
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)										
1	2011	11,1	-3.334	-3.567	4.946	-1.955	13.395	5.157	18.551	16.597
2	2011	10,8	-2.857	-3.448	4.564	-1.741	12.922	4.975	17.897	16.156
3	2011	10,8	-2.469	-3.540	4.346	-1.664	13.175	5.072	18.247	16.584
4	2011	10,2	-2.413	-3.014	3.614	-1.813	11.327	4.361	15.688	13.875
1	2012	10,1	-3.303	-3.233	4.076	-2.461	12.044	4.637	16.680	14.220
2	2012	8,5	-2.697	-2.571	3.608	-1.659	9.585	3.690	13.276	11.617
3	2012	8,9	-2.084	-2.831	3.468	-1.447	10.455	4.025	14.480	13.033
4	2012	10,2	-2.522	-3.101	3.402	-2.221	11.531	4.439	15.970	13.749
1	2013	10,0	-3.001	-3.259	3.712	-2.548	12.179	4.689	16.868	14.320
2	2013	9,5	-2.459	-2.998	3.447	-2.010	11.226	4.322	15.548	13.538
3	2013	10,5	-2.219	-3.420	3.609	-2.030	12.590	4.847	17.437	15.407
4	2013	8,9	-2.099	-2.677	2.707	-2.069	10.009	3.853	13.862	11.793

Fortsetzung Tabelle A 48

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Düngegut- schrift	Energie- input	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)										
1	2011	8,6	-3.647	-2.787	3.730	-2.704	10.401	4.005	14.406	11.702
2	2011	7,9	-3.354	-2.614	3.432	-2.535	9.640	3.712	13.352	10.817
3	2011	7,7	-2.938	-2.381	2.828	-2.492	8.916	3.433	12.349	9.857
4	2011	7,6	-2.940	-2.283	2.667	-2.556	8.535	3.286	11.821	9.265
1	2012	9,5	-4.012	-2.922	3.926	-3.009	10.821	4.166	14.987	11.978
2	2012	8,1	-3.612	-2.476	3.464	-2.624	9.150	3.523	12.673	10.049
3	2012	8,2	-3.045	-2.594	3.062	-2.576	9.566	3.683	13.249	10.673
4	2012	10,6	-3.522	-3.087	3.182	-3.427	11.278	4.342	15.620	12.193
1	2013	9,5	-3.681	-2.998	3.568	-3.111	11.203	4.313	15.516	12.405
2	2013	9,5	-3.363	-2.898	3.501	-2.760	10.820	4.166	14.985	12.225
3	2013	9,4	-3.217	-2.961	3.162	-3.016	10.803	4.159	14.962	11.945
4	2013	8,0	-2.959	-2.442	2.575	-2.827	9.166	3.529	12.695	9.868
Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen										
1	2011	10,5	-4.949	-3.666	4.387	-4.228	13.636	5.250	18.886	14.658
2	2011	8,9	-3.747	-3.065	3.914	-2.898	11.485	4.422	15.906	13.008
3	2011	9,8	-3.160	-3.279	3.264	-3.175	12.090	4.655	16.744	13.569
4	2011	8,5	-3.656	-2.928	3.308	-3.276	11.087	4.269	15.356	12.080
1	2012	8,8	-4.851	-2.786	3.643	-3.994	10.188	3.922	14.110	10.116
2	2012	7,7	-3.716	-2.475	3.031	-3.160	9.125	3.513	12.638	9.478
3	2012	7,7	-2.934	-2.508	2.335	-3.107	9.331	3.593	12.924	9.816
4	2012	7,0	-3.433	-2.156	2.316	-3.273	8.010	3.084	11.093	7.821
1	2013	8,2	-4.288	-2.806	4.012	-3.082	10.717	4.126	14.843	11.761
2	2013	8,4	-3.428	-2.834	3.610	-2.652	10.836	4.172	15.008	12.356
3	2013	6,4	-2.565	-2.094	1.924	-2.736	8.056	3.102	11.158	8.422
4	2013	7,8	-3.484	-2.673	3.034	-3.122	10.043	3.867	13.910	10.788

Fortsetzung Tabelle A 48

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Düngegut- schrift	Energie- input	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen										
1	2011	8,7	-3.562	-2.641	3.819	-2.383	9.931	3.823	13.754	11.371
2	2011	8,2	-2.337	-2.451	3.432	-1.356	9.270	3.569	12.839	11.484
3	2011	6,8	-1.963	-1.880	2.726	-1.118	7.131	2.745	9.877	8.759
4	2011	8,7	-2.238	-2.374	3.090	-1.523	9.023	3.474	12.497	10.974
1	2012	6,0	-3.382	-1.809	2.754	-2.437	6.439	2.479	8.918	6.481
2	2012	5,2	-2.118	-1.547	2.222	-1.443	5.512	2.122	7.634	6.192
3	2012	6,7	-1.958	-1.933	2.639	-1.253	7.186	2.766	9.952	8.699
4	2012	6,4	-2.166	-1.880	2.014	-2.032	6.827	2.628	9.455	7.423
1	2013	6,5	-3.395	-1.881	2.908	-2.368	6.890	2.653	9.542	7.174
2	2013	4,6	-2.024	-1.346	1.998	-1.373	4.900	1.886	6.786	5.413
3	2013	7,1	-2.032	-2.163	2.629	-1.566	7.909	3.045	10.954	9.387
4	2013	7,1	-2.098	-1.766	2.365	-1.499	6.497	2.501	8.999	7.500
Montanes Intensivgrünland Thüringen										
1	2011	6,5	-3.735	-2.111	2.823	-3.023	7.721	2.973	10.694	7.671
2	2011	6,1	-3.272	-1.960	2.750	-2.482	7.158	2.756	9.914	7.432
3	2011	6,5	-2.690	-2.039	2.696	-2.033	7.540	2.903	10.443	8.410
4	2011	6,4	-2.961	-2.011	2.461	-2.511	7.466	2.874	10.340	7.829
1	2012	6,6	-3.530	-2.112	3.024	-2.618	7.622	2.934	10.556	7.939
2	2012	6,8	-3.108	-2.202	3.068	-2.241	7.917	3.048	10.965	8.724
3	2012	7,2	-2.534	-2.277	2.552	-2.259	8.536	3.286	11.823	9.563
4	2012	4,6	-2.515	-1.376	1.795	-2.095	5.139	1.979	7.118	5.022
1	2013	6,1	-3.277	-2.002	2.563	-2.716	7.315	2.816	10.132	7.416
2	2013	5,8	-2.864	-1.927	2.468	-2.322	6.895	2.654	9.549	7.227
3	2013	5,3	-2.290	-1.797	1.991	-2.095	6.483	2.496	8.979	6.885
4	2013	4,3	-2.427	-1.453	1.870	-2.010	5.318	2.048	7.366	5.356

Fortsetzung Tabelle A 48

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Düngegut- schrift	Energie- input	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Glatthaferwiese Thüringen										
1	2011	6,0	-2.909	-2.003	2.918	-1.994	7.476	2.878	10.354	8.360
2	2011	5,1	-2.232	-1.600	2.155	-1.676	6.044	2.327	8.371	6.695
3	2011	5,4	-2.026	-1.692	2.198	-1.520	6.303	2.427	8.730	7.209
4	2011	5,9	-2.030	-1.852	2.470	-1.412	7.005	2.697	9.702	8.291
1	2012	5,9	-2.959	-1.789	2.633	-2.115	6.520	2.510	9.030	6.915
2	2012	5,4	-2.364	-1.566	2.335	-1.596	5.661	2.179	7.840	6.245
3	2012	4,9	-1.676	-1.435	1.994	-1.117	5.367	2.066	7.433	6.316
4	2012	6,3	-2.117	-1.834	2.147	-1.804	6.677	2.571	9.248	7.444
1	2013	3,4	-2.215	-1.083	1.489	-1.809	3.976	1.531	5.507	3.698
2	2013	3,6	-1.916	-1.118	1.599	-1.435	4.092	1.575	5.667	4.232
3	2013	3,6	-1.595	-1.101	1.366	-1.330	4.086	1.573	5.658	4.329
4	2013	5,1	-2.094	-1.554	2.010	-1.639	5.845	2.250	8.096	6.457

Tabelle A 49: Energiebilanzen in kWh ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **Biogasgewinnung in Altanlagen**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungs-variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergie-ertrag
			Biomasse-anbau	Biomasse-anlage	Dünge-gutschrift	Energie-input	Strom	Wärme	Energie-output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)										
1	2011	13,0	-5.528	-4.540	4.928	-5.139	18.300	0	18.300	13.161
2	2011	12,9	-4.161	-4.310	4.570	-3.900	17.091	0	17.091	13.191
3	2011	12,9	-3.989	-4.298	4.316	-3.972	17.100	0	17.100	13.128
4	2011	10,8	-3.396	-3.643	4.378	-2.661	14.528	0	14.528	11.867
1	2012	11,7	-5.592	-3.827	4.719	-4.700	14.948	0	14.948	10.248
2	2012	10,8	-3.977	-3.461	4.216	-3.222	13.639	0	13.639	10.417
3	2012	11,3	-3.887	-3.510	4.131	-3.266	13.775	0	13.775	10.509
4	2012	9,3	-3.280	-2.925	3.954	-2.251	11.408	0	11.408	9.157
1	2013	9,0	-5.321	-3.127	4.045	-4.404	12.399	0	12.399	7.995
2	2013	9,1	-3.844	-3.064	3.870	-3.037	12.157	0	12.157	9.119
3	2013	9,0	-3.611	-3.021	3.470	-3.162	12.047	0	12.047	8.885
4	2013	9,3	-3.237	-3.021	3.979	-2.279	11.974	0	11.974	9.695
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)										
1	2011	11,1	-3.450	-3.197	4.946	-1.701	13.395	0	13.395	11.694
2	2011	10,8	-2.907	-3.094	4.564	-1.438	12.922	0	12.922	11.484
3	2011	10,8	-2.648	-3.170	4.346	-1.472	13.175	0	13.175	11.703
4	2011	10,2	-2.464	-2.700	3.614	-1.550	11.327	0	11.327	9.777
1	2012	10,1	-3.419	-2.906	4.076	-2.249	12.044	0	12.044	9.794
2	2012	8,5	-2.747	-2.328	3.608	-1.467	9.585	0	9.585	8.118
3	2012	8,9	-2.262	-2.538	3.468	-1.332	10.455	0	10.455	9.123
4	2012	10,2	-2.572	-2.774	3.402	-1.945	11.531	0	11.531	9.586
1	2013	10,0	-3.117	-2.920	3.712	-2.325	12.179	0	12.179	9.854
2	2013	9,5	-2.510	-2.689	3.447	-1.752	11.226	0	11.226	9.475
3	2013	10,5	-2.397	-3.054	3.609	-1.842	12.590	0	12.590	10.748
4	2013	8,9	-2.150	-2.387	2.707	-1.829	10.009	0	10.009	8.179

Fortsetzung Tabelle A 49

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergie- ertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Energieinput	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)										
1	2011	8,6	-3.452	-2.493	3.730	-2.215	10.401	0	10.401	8.186
2	2011	7,9	-2.934	-2.342	3.432	-1.844	9.640	0	9.640	7.797
3	2011	7,7	-2.493	-2.132	2.828	-1.797	8.916	0	8.916	7.119
4	2011	7,6	-2.520	-2.038	2.667	-1.891	8.535	0	8.535	6.644
1	2012	9,5	-3.818	-2.638	3.926	-2.530	10.821	0	10.821	8.291
2	2012	8,1	-3.192	-2.247	3.464	-1.975	9.150	0	9.150	7.176
3	2012	8,2	-2.600	-2.330	3.062	-1.867	9.566	0	9.566	7.699
4	2012	10,6	-3.102	-2.771	3.182	-2.691	11.278	0	11.278	8.587
1	2013	9,5	-3.487	-2.695	3.568	-2.613	11.203	0	11.203	8.590
2	2013	9,5	-2.943	-2.605	3.501	-2.047	10.820	0	10.820	8.773
3	2013	9,4	-2.772	-2.652	3.162	-2.262	10.803	0	10.803	8.540
4	2013	8,0	-2.540	-2.183	2.575	-2.148	9.166	0	9.166	7.018
Ansaatgrünland-Weidelgras typ Niedersachsen										
1	2011	10,5	-4.865	-3.271	4.387	-3.749	13.636	0	13.636	9.887
2	2011	8,9	-3.663	-2.734	3.914	-2.482	11.485	0	11.485	9.002
3	2011	9,8	-3.075	-2.915	3.264	-2.727	12.090	0	12.090	9.363
4	2011	8,5	-3.572	-2.614	3.308	-2.878	11.087	0	11.087	8.209
1	2012	8,8	-4.766	-2.513	3.643	-3.636	10.188	0	10.188	6.552
2	2012	7,7	-3.631	-2.227	3.031	-2.827	9.125	0	9.125	6.298
3	2012	7,7	-2.849	-2.251	2.335	-2.766	9.331	0	9.331	6.565
4	2012	7,0	-3.348	-1.947	2.316	-2.980	8.010	0	8.010	5.030
1	2013	8,2	-4.204	-2.521	4.012	-2.713	10.717	0	10.717	8.004
2	2013	8,4	-3.343	-2.547	3.610	-2.281	10.836	0	10.836	8.555
3	2013	6,4	-2.481	-1.886	1.924	-2.443	8.056	0	8.056	5.613
4	2013	7,8	-3.399	-2.399	3.034	-2.764	10.043	0	10.043	7.279

Fortsetzung Tabelle A 49

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergieertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Energie- input	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen										
1	2011	8,7	-3.644	-2.393	3.819	-2.218	9.931	0	9.931	7.713
2	2011	8,2	-2.468	-2.231	3.432	-1.267	9.270	0	9.270	8.003
3	2011	6,8	-2.094	-1.722	2.726	-1.091	7.131	0	7.131	6.040
4	2011	8,7	-2.282	-2.160	3.090	-1.353	9.023	0	9.023	7.670
1	2012	6,0	-3.464	-1.637	2.754	-2.347	6.439	0	6.439	4.092
2	2012	5,2	-2.249	-1.406	2.222	-1.433	5.512	0	5.512	4.079
3	2012	6,7	-2.089	-1.766	2.639	-1.217	7.186	0	7.186	5.969
4	2012	6,4	-2.210	-1.692	2.014	-1.889	6.827	0	6.827	4.938
1	2013	6,5	-3.477	-1.728	2.908	-2.297	6.890	0	6.890	4.592
2	2013	4,6	-2.155	-1.237	1.998	-1.395	4.900	0	4.900	3.505
3	2013	7,1	-2.163	-1.958	2.629	-1.493	7.909	0	7.909	6.416
4	2013	7,1	-2.142	-1.594	2.365	-1.371	6.497	0	6.497	5.126
Montanes Intensivgrünland Thüringen										
1	2011	6,5	-3.786	-1.909	2.823	-2.872	7.721	0	7.721	4.849
2	2011	6,1	-3.239	-1.777	2.750	-2.267	7.158	0	7.158	4.891
3	2011	6,5	-2.632	-1.834	2.696	-1.770	7.540	0	7.540	5.770
4	2011	6,4	-2.928	-1.813	2.461	-2.280	7.466	0	7.466	5.186
1	2012	6,6	-3.581	-1.898	3.024	-2.454	7.622	0	7.622	5.168
2	2012	6,8	-3.075	-1.974	3.068	-1.981	7.917	0	7.917	5.936
3	2012	7,2	-2.476	-2.056	2.552	-1.980	8.536	0	8.536	6.556
4	2012	4,6	-2.482	-1.254	1.795	-1.941	5.139	0	5.139	3.198
1	2013	6,1	-3.328	-1.805	2.563	-2.570	7.315	0	7.315	4.745
2	2013	5,8	-2.832	-1.742	2.468	-2.106	6.895	0	6.895	4.789
3	2013	5,3	-2.231	-1.611	1.991	-1.851	6.483	0	6.483	4.632
4	2013	4,3	-2.394	-1.305	1.870	-1.830	5.318	0	5.318	3.488

Fortsetzung Tabelle A 49

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto	Energieaufwand				Energiebereitstellung			Nettoenergie- ertrag
			Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Energie- input	Strom	Wärme	Energie- output	
kWh ha ⁻¹ a ⁻¹										
Glatthaferwiese Thüringen										
1	2011	6,0	-2.967	-1.802	2.918	-1.851	7.476	0	7.476	5.625
2	2011	5,1	-2.276	-1.460	2.155	-1.580	6.044	0	6.044	4.464
3	2011	5,4	-2.070	-1.541	2.198	-1.413	6.303	0	6.303	4.889
4	2011	5,9	-2.074	-1.662	2.470	-1.265	7.005	0	7.005	5.740
1	2012	5,9	-3.017	-1.623	2.633	-2.007	6.520	0	6.520	4.513
2	2012	5,4	-2.408	-1.428	2.335	-1.502	5.661	0	5.661	4.159
3	2012	4,9	-1.720	-1.304	1.994	-1.030	5.367	0	5.367	4.337
4	2012	6,3	-2.161	-1.644	2.147	-1.658	6.677	0	6.677	5.019
1	2013	3,4	-2.319	-986	1.489	-1.816	3.976	0	3.976	2.160
2	2013	3,6	-1.961	-1.016	1.599	-1.377	4.092	0	4.092	2.714
3	2013	3,6	-1.640	-1.003	1.366	-1.276	4.086	0	4.086	2.809
4	2013	5,1	-2.138	-1.403	2.010	-1.531	5.845	0	5.845	4.314

Tabelle A 50: Treibhausgasbilanzen in kg CO₂eq ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **Biogasgewinnung in Neuanlagen**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektar- bedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)											
1	2011	13,0	-2.867	-2.094	-2.084	2.006	15.080	1.903	11.944	5	2.943
2	2011	12,9	-2.250	-1.521	-1.971	1.852	14.083	1.777	11.970		2.969
3	2011	12,9	-2.133	-1.373	-1.966	1.752	14.090	1.778	12.149		3.148
4	2011	10,8	-1.989	-1.172	-1.665	1.754	11.971	1.511	10.411		1.410
1	2012	11,7	-2.856	-2.110	-1.734	1.914	12.317	1.555	9.086	3	3.520
2	2012	10,8	-2.231	-1.475	-1.572	1.695	11.239	1.418	9.073		3.508
3	2012	11,3	-2.115	-1.347	-1.593	1.636	11.351	1.433	9.365		3.799
4	2012	9,3	-1.968	-1.142	-1.321	1.576	9.400	1.186	7.731		2.165
1	2013	9,0	-2.835	-2.041	-1.417	1.674	10.217	1.289	6.887	13	-16.068
2	2013	9,1	-2.220	-1.441	-1.393	1.569	10.017	1.264	7.796		-15.158
3	2013	9,0	-2.090	-1.278	-1.374	1.389	9.927	1.253	7.826		-15.128
4	2013	9,3	-1.979	-1.131	-1.372	1.623	9.866	1.245	8.252		-14.702
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)											
1	2011	11,1	-2.059	-1.098	-1.519	1.936	11.037	1.609	9.906	2	8.228
2	2011	10,8	-1.619	-856	-1.467	1.786	10.648	1.552	10.043		8.365
3	2011	10,8	-1.483	-683	-1.502	1.688	10.856	1.583	10.458		8.780
4	2011	10,2	-1.585	-733	-1.283	1.432	9.333	1.361	8.524		6.846
1	2012	10,1	-2.028	-1.090	-1.373	1.612	9.924	1.447	8.492	2	6.919
2	2012	8,5	-1.583	-816	-1.092	1.422	7.898	1.151	6.981		5.408
3	2012	8,9	-1.439	-574	-1.198	1.309	8.615	1.256	7.968		6.395
4	2012	10,2	-1.570	-761	-1.316	1.325	9.501	1.385	8.565		6.991
1	2013	10,0	-2.013	-1.002	-1.385	1.469	10.036	1.463	8.567	2	6.897
2	2013	9,5	-1.577	-744	-1.275	1.363	9.251	1.349	8.365		6.695
3	2013	10,5	-1.446	-608	-1.446	1.369	10.374	1.512	9.755		8.085
4	2013	8,9	-1.537	-642	-1.138	1.034	8.247	1.202	7.166		5.495

Fortsetzung Tabelle A 50

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektar- bedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)											
1	2011	8,6	-2.020	-1.312	-1.184	1.461	8.571	1.249	6.765	1	5.982
2	2011	7,9	-1.587	-1.108	-1.106	1.332	7.944	1.158	6.634		5.851
3	2011	7,7	-1.436	-923	-1.013	1.087	7.347	1.071	6.133		5.350
4	2011	7,6	-1.558	-992	-970	1.042	7.033	1.025	5.580		4.797
1	2012	9,5	-2.024	-1.416	-1.238	1.519	8.917	1.300	7.058	2	5.616
2	2012	8,1	-1.584	-1.184	-1.048	1.330	7.540	1.099	6.152		4.711
3	2012	8,2	-1.434	-950	-1.097	1.131	7.883	1.149	6.682		5.240
4	2012	10,6	-1.568	-1.150	-1.302	1.202	9.293	1.355	7.829		6.388
1	2013	9,5	-2.008	-1.321	-1.274	1.377	9.231	1.346	7.350	1	6.563
2	2013	9,5	-1.577	-1.110	-1.231	1.308	8.915	1.300	7.605		6.817
3	2013	9,4	-1.441	-994	-1.248	1.185	8.901	1.298	7.700		6.913
4	2013	8,0	-1.545	-997	-1.040	970	7.553	1.101	6.042		5.255
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen											
1	2011	10,5	-2.615	-1.919	-1.555	1.661	11.236	1.638	8.445	4	5.017
2	2011	8,9	-2.354	-1.371	-1.304	1.484	9.463	1.380	7.298		3.870
3	2011	9,8	-1.946	-1.062	-1.387	1.210	9.962	1.452	8.229		4.801
4	2011	8,5	-2.329	-1.348	-1.250	1.264	9.136	1.332	6.804		3.376
1	2012	8,8	-2.586	-1.895	-1.175	1.374	8.395	1.224	5.337	1	4.312
2	2012	7,7	-2.252	-1.363	-1.047	1.106	7.519	1.096	5.059		4.034
3	2012	7,7	-1.918	-1.005	-1.064	886	7.689	1.121	5.709		4.684
4	2012	7,0	-2.167	-1.288	-915	887	6.600	962	4.079		3.054
1	2013	8,2	-2.613	-1.741	-1.202	1.567	8.831	1.287	6.130	9	-323
2	2013	8,4	-2.371	-1.287	-1.214	1.368	8.929	1.302	6.727		273
3	2013	6,4	-2.152	-903	-899	725	6.638	968	4.377		-2.077
4	2013	7,8	-2.335	-1.301	-1.138	1.166	8.276	1.206	5.873		-580

Fortsetzung Tabelle A 50

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektar- bedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen											
1	2011	8,7	-2.160	-1.314	-1.125	1.564	8.183	1.193	6.341	2	3.632
2	2011	8,2	-1.524	-689	-1.046	1.396	7.639	1.114	6.889		4.179
3	2011	6,8	-1.491	-584	-803	1.100	5.876	857	4.955		2.245
4	2011	8,7	-1.397	-722	-1.015	1.241	7.435	1.084	6.626		3.916
1	2012	6,0	-2.206	-1.261	-756	1.140	5.306	773	2.996	2	345
2	2012	5,2	-1.514	-626	-647	912	4.542	662	3.330		680
3	2012	6,7	-1.484	-582	-820	1.055	5.921	863	4.952		2.301
4	2012	6,4	-1.446	-696	-791	804	5.625	820	4.317		1.666
1	2013	6,5	-2.115	-1.272	-794	1.178	5.677	828	3.501	1	2.249
2	2013	4,6	-1.582	-602	-567	801	4.037	589	2.675		1.423
3	2013	7,1	-1.474	-601	-912	1.010	6.517	950	5.489		4.237
4	2013	7,1	-1.457	-679	-747	917	5.354	780	4.170		2.917
Montanes Intensivgrünland Thüringen											
1	2011	6,5	-2.001	-1.317	-891	1.179	6.362	928	4.261	10	-3.473
2	2011	6,1	-1.581	-1.074	-826	1.159	5.898	860	4.435		-3.299
3	2011	6,5	-1.449	-837	-863	1.112	6.213	906	5.082		-2.652
4	2011	6,4	-1.561	-984	-853	1.009	6.152	897	4.660		-3.074
1	2012	6,6	-2.105	-1.293	-887	1.255	6.281	916	4.166	1	3.273
2	2012	6,8	-1.678	-1.061	-923	1.278	6.523	951	5.090		4.196
3	2012	7,2	-1.435	-833	-969	1.023	7.034	1.025	5.845		4.952
4	2012	4,6	-1.605	-900	-585	723	4.235	617	2.485		1.592
1	2013	6,1	-1.986	-1.226	-844	1.060	6.028	879	3.909	2	2.439
2	2013	5,8	-1.562	-996	-807	1.017	5.681	828	4.161		2.691
3	2013	5,3	-1.480	-760	-754	803	5.342	779	3.930		2.460
4	2013	4,3	-1.603	-874	-613	728	4.382	639	2.659		1.189

Fortsetzung Tabelle A 50

Nutzungs- variante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O- Emissionen	Biomasse- anbau	Biomasse- anlage	Dünge- gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektar- bedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Glatthaferwiese Thüringen											
1	2011	6,0	-1.860	-1.054	-851	1.129	6.160	898	4.422	23	-13.949
2	2011	5,1	-1.411	-760	-682	835	4.980	726	3.688		-14.683
3	2011	5,4	-1.283	-629	-718	828	5.194	757	4.149		-14.222
4	2011	5,9	-1.417	-698	-791	931	5.772	841	4.640		-13.732
1	2012	5,9	-1.844	-1.067	-754	1.002	5.372	783	3.493	2	1.923
2	2012	5,4	-1.415	-793	-658	890	4.664	680	3.369		1.799
3	2012	4,9	-1.270	-529	-610	729	4.422	645	3.387		1.817
4	2012	6,3	-1.406	-720	-773	814	5.502	802	4.220		2.650
1	2013	3,4	-1.796	-862	-458	549	3.277	478	1.188	1	638
2	2013	3,6	-1.379	-669	-472	580	3.372	491	1.923		1.374
3	2013	3,6	-1.246	-509	-467	492	3.366	491	2.127		1.578
4	2013	5,1	-1.392	-717	-662	723	4.817	702	3.471		2.922

Tabelle A 51: Treibhausgasbilanzen in kg CO₂eq ha⁻¹ a⁻¹ der Dauergrünlandpflanzengesellschaften, Nutzungskonzept: **Biogasgewinnung in Altanlagen**, Auswertung der einzelnen Versuchsjahre

Nutzungsvariante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O-Emissionen	Biomasseanbau	Biomasseanlage	Düngegutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektarbedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Weidelgras-Weißkleeweide Bayern (Allgäu)											
1	2011	13,0	-2.765	-2.194	-1.948	2.006	15.080	0	10.179	5	1.099
2	2011	12,9	-2.250	-1.504	-1.840	1.852	14.083	0	10.341		1.261
3	2011	12,9	-2.104	-1.391	-1.837	1.752	14.090	0	10.511		1.431
4	2011	10,8	-1.989	-1.154	-1.558	1.754	11.971	0	9.026		-54
1	2012	11,7	-2.754	-2.210	-1.624	1.914	12.317	0	7.643	3	2.030
2	2012	10,8	-2.231	-1.458	-1.474	1.695	11.239	0	7.771		2.158
3	2012	11,3	-2.086	-1.365	-1.492	1.636	11.351	0	8.044		2.431
4	2012	9,3	-1.968	-1.124	-1.241	1.576	9.400	0	6.642		1.029
1	2013	9,0	-2.732	-2.141	-1.334	1.674	10.217	0	5.684	13	-17.475
2	2013	9,1	-2.220	-1.424	-1.307	1.569	10.017	0	6.635		-16.524
3	2013	9,0	-2.062	-1.295	-1.291	1.389	9.927	0	6.667		-16.491
4	2013	9,3	-1.979	-1.113	-1.289	1.623	9.866	0	7.109		-16.049
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Niedermoor)											
1	2011	11,1	-1.945	-1.254	-1.425	1.936	11.037	0	8.348	2	6.650
2	2011	10,8	-1.528	-980	-1.377	1.786	10.648	0	8.549		6.850
3	2011	10,8	-1.392	-835	-1.409	1.688	10.856	0	8.908		7.210
4	2011	10,2	-1.494	-857	-1.204	1.432	9.333	0	7.211		5.512
1	2012	10,1	-1.914	-1.247	-1.289	1.612	9.924	0	7.086	2	5.492
2	2012	8,5	-1.492	-939	-1.030	1.422	7.898	0	5.859		4.265
3	2012	8,9	-1.348	-727	-1.124	1.309	8.615	0	6.726		5.132
4	2012	10,2	-1.479	-884	-1.233	1.325	9.501	0	7.230		5.636
1	2013	10,0	-1.899	-1.159	-1.299	1.469	10.036	0	7.148	2	5.457
2	2013	9,5	-1.486	-868	-1.197	1.363	9.251	0	7.063		5.372
3	2013	10,5	-1.355	-761	-1.353	1.369	10.374	0	8.275		6.584
4	2013	8,9	-1.446	-766	-1.064	1.034	8.247	0	6.005		4.314

Fortsetzung Tabelle A 51

Nutzungsvariante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O-Emissionen	Biomasseanbau	Biomasseanlage	Düngegutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektarbedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Weidelgras-Weißkleeweide Brandenburg (Talsand)											
1	2011	8,6	-1.929	-1.381	-1.109	1.461	8.571	0	5.612		4.792
2	2011	7,9	-1.467	-1.167	-1.037	1.332	7.944	0	5.605	1	4.784
3	2011	7,7	-1.367	-929	-949	1.087	7.347	0	5.189		4.368
4	2011	7,6	-1.438	-1.051	-908	1.042	7.033	0	4.677		3.856
1	2012	9,5	-1.933	-1.485	-1.166	1.519	8.917	0	5.853		4.335
2	2012	8,1	-1.465	-1.243	-990	1.330	7.540	0	5.172	2	3.654
3	2012	8,2	-1.365	-955	-1.030	1.131	7.883	0	5.663		4.145
4	2012	10,6	-1.449	-1.210	-1.222	1.202	9.293	0	6.615		5.098
1	2013	9,5	-1.917	-1.390	-1.197	1.377	9.231	0	6.104		5.279
2	2013	9,5	-1.457	-1.169	-1.157	1.308	8.915	0	6.440	1	5.615
3	2013	9,4	-1.373	-999	-1.170	1.185	8.901	0	6.544		5.719
4	2013	8,0	-1.425	-1.056	-974	970	7.553	0	5.067		4.242
Ansaatgrünland-Weidelgrastyp Niedersachsen											
1	2011	10,5	-2.621	-1.895	-1.455	1.661	11.236	0	6.926		3.498
2	2011	8,9	-2.359	-1.346	-1.220	1.484	9.463	0	6.022	4	2.593
3	2011	9,8	-1.952	-1.037	-1.295	1.210	9.962	0	6.888		3.460
4	2011	8,5	-2.335	-1.323	-1.171	1.264	9.136	0	5.571		2.142
1	2012	8,8	-2.591	-1.870	-1.106	1.374	8.395	0	4.202		3.177
2	2012	7,7	-2.258	-1.338	-984	1.106	7.519	0	4.044	1	3.019
3	2012	7,7	-1.923	-980	-999	886	7.689	0	4.673		3.648
4	2012	7,0	-2.173	-1.264	-862	887	6.600	0	3.189		2.164
1	2013	8,2	-2.618	-1.716	-1.129	1.567	8.831	0	4.934		-1.519
2	2013	8,4	-2.376	-1.262	-1.141	1.368	8.929	0	5.517	9	-937
3	2013	6,4	-2.158	-879	-846	725	6.638	0	3.480		-2.973
4	2013	7,8	-2.341	-1.277	-1.069	1.166	8.276	0	4.755		-1.698

Fortsetzung Tabelle A 51

Nutzungsvariante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O-Emissionen	Biomasseanbau	Biomasseanlage	Düngegutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektarbedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Wiesenfuchsschwanzwiese Sachsen											
1	2011	8,7	-2.103	-1.393	-1.062	1.564	8.183	0	5.190		2.492
2	2011	8,2	-1.433	-809	-990	1.396	7.639	0	5.802	2	3.104
3	2011	6,8	-1.400	-704	-763	1.100	5.876	0	4.109		1.411
4	2011	8,7	-1.329	-817	-961	1.241	7.435	0	5.569		2.871
1	2012	6,0	-2.149	-1.339	-713	1.140	5.306	0	2.245		-394
2	2012	5,2	-1.422	-746	-611	912	4.542	0	2.675	2	36
3	2012	6,7	-1.393	-703	-778	1.055	5.921	0	4.102		1.463
4	2012	6,4	-1.377	-791	-744	804	5.625	0	3.518		878
1	2013	6,5	-2.058	-1.350	-755	1.178	5.677	0	2.692		1.445
2	2013	4,6	-1.491	-722	-539	801	4.037	0	2.085	1	839
3	2013	7,1	-1.383	-722	-860	1.010	6.517	0	4.562		3.316
4	2013	7,1	-1.388	-774	-703	917	5.354	0	3.406		2.159
Montanes Intensivgrünland Thüringen											
1	2011	6,5	-1.910	-1.441	-839	1.179	6.362	0	3.352		-4.445
2	2011	6,1	-1.462	-1.220	-780	1.159	5.898	0	3.595	10	-4.202
3	2011	6,5	-1.380	-928	-811	1.112	6.213	0	4.205		-3.592
4	2011	6,4	-1.441	-1.130	-803	1.009	6.152	0	3.787		-4.010
1	2012	6,6	-2.014	-1.417	-833	1.255	6.281	0	3.273		2.373
2	2012	6,8	-1.559	-1.206	-866	1.278	6.523	0	4.170	1	3.271
3	2012	7,2	-1.367	-925	-913	1.023	7.034	0	4.853		3.953
4	2012	4,6	-1.486	-1.045	-554	723	4.235	0	1.873		973
1	2013	6,1	-1.895	-1.350	-794	1.060	6.028	0	3.048		1.565
2	2013	5,8	-1.443	-1.142	-760	1.017	5.681	0	3.354	2	1.871
3	2013	5,3	-1.411	-852	-707	803	5.342	0	3.175		1.692
4	2013	4,3	-1.483	-1.020	-576	728	4.382	0	2.032		549

Fortsetzung Tabelle A 51

Nutzungs-variante	Jahr	TM-Ertrag netto [t ha ⁻¹]	Systememissionen			Gutschriften			Einsparpotenzial		
			In-/direkte N ₂ O-Emissionen	Biomasse-anbau	Biomasse-anlage	Dünge-gutschrift	Strom fossil	Wärme fossil	Saldo	Hektarbedarf [ha]	Saldo inkl. LUC
kg CO ₂ eq ha ⁻¹ a ⁻¹											
Glatthaferwiese Thüringen											
1	2011	6,0	-1.768	-1.180	-800	1.129	6.160	0	3.541	23	-14.999
2	2011	5,1	-1.343	-855	-647	835	4.980	0	2.971		-15.569
3	2011	5,4	-1.215	-724	-680	828	5.194	0	3.403		-15.136
4	2011	5,9	-1.349	-793	-742	931	5.772	0	3.819		-14.720
1	2012	5,9	-1.753	-1.192	-712	1.002	5.372	0	2.718	2	1.134
2	2012	5,4	-1.346	-889	-623	890	4.664	0	2.697		1.112
3	2012	4,9	-1.201	-625	-577	729	4.422	0	2.748		1.164
4	2012	6,3	-1.338	-815	-724	814	5.502	0	3.439		1.855
1	2013	3,4	-1.705	-1.001	-433	549	3.277	0	687	1	116
2	2013	3,6	-1.311	-764	-446	580	3.372	0	1.431		860
3	2013	3,6	-1.178	-604	-442	492	3.366	0	1.634		1.064
4	2013	5,1	-1.323	-812	-624	723	4.817	0	2.781		2.210