

Schlussbericht

Projekt

„Effizienzsteigerung von Grünlandsubstraten in der Biogasgewinnung unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Belange“

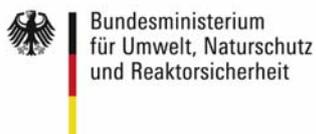
„Grünland“FKZ 03KB029

Autoren:

Dr. Wulf Carius , Projektleiter
Herbert Främbs, Heuschrecken
Frank Hellberg, Vegetation

BUND-Landesverband Niedersachsen e.V.
BUND Institut für ökologisches Ressourcenmanagement
Grenzweg 8
27243 Prinzhöfte
Tel/Fax: 04432/912108
Mobil: 0172/4155277
Email: carius@wendbuedel.de

Gefördert durch:



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

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Einführung	6
1.1 Aufgabenstellung	6
1.2 Voraussetzungen für die Durchführung	7
1.3 Stand der Wissenschaft und Technik vor Beginn des Vorhabens.....	8
2 Durchführung des Vorhabens August 2009 - September 2011	10
2.1 Untersuchungsgebiete.....	10
2.2 Ernte	11
2.2.1 Material und Methoden.....	11
2.2.1.1 Mahdtermine	11
2.2.1.2 Mahdtechnik	11
2.2.1.3 Konservierung von Grasschnitt auf Naturschutzflächen	13
2.2.2 Ergebnisse- Ernte	16
2.2.2.1 Unmittelbare Wirkung von Aufbereiter und Mulcher auf die Ernte.....	16
2.2.2.2 Erntequalität-Konservierung	16
2.2.2.3 Ernteerträge	18
2.3 Schädigung der Heuschreckenfauna durch Maschineneinsatz.....	19
2.3.1 Aufgabenstellung	19
2.3.2 Material und Methode	20
2.3.2.1 Mähgeräte und Mahdtechnik	20
2.3.2.2 Heuschrecken-Erfassungen.....	21
2.3.2.3 Aufbereitung und Analyse der Daten	27
2.3.3 Ergebnisse Maschineneinsatz -Schädigung der Heuschreckenfauna	27
2.3.3.1 Schädigung von Heuschrecken-Individuen durch Mähgeräte und Mahdtechnik	27
2.3.4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der Schädigungsversuche an Heuschrecken	35
2.4 Begleitende Vegetationsuntersuchungen	36
2.4.1 Material und Methode	36
2.4.2 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung	37
2.4.2.1 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Delmetal	37
2.4.2.2 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Bornhorster Huntewiesen.....	41
2.4.2.3 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Moorplacken.....	45
2.5 Biogasertrag	47

2.5.1	Biogasanlage	47
2.5.2	Ermittlung der organischen Trockensubstanz / Charge	49
2.5.3	Ermittlung der Gasausbeute pro Charge.....	50
2.5.4	Ergebnisse Biogausbeute.....	52
2.5.4.1	Vergleich einschüriges – zweischüriges Mahdregime	54
2.5.4.2	Vergleich der Biogausbeute der 3 Ernteverfahren	56
2.6	Energiebilanz	57
2.6.1	Verbrauch fossiler Energieträger bei der Ernte auf Feuchtgrünland- Naturschutzflächen.....	57
2.6.2	Energiegewinn durch Mähverfahren und Konservierungen.....	59
2.7	Zusammenfassung der Ergebnisse und Wertungen des Forschungsvorhabens.....	62
2.7.1	Einsatz der Maschinen	62
2.8	Klimarelevanz des Vorhabens.....	63
2.8.1	Substrat	63
2.8.2	Biogasanlage	64
2.9	Notwendigkeit der Förderung des Vorhabens	65
2.10	Verwertungsplan.....	66
2.11	Modellcharakter/Übertragbarkeit.....	67
3	Literatur	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 :	Ergebnisse der Silagekonservierung auf unterschiedlichen Böden mit unterschiedlichen Ernteverfahren.	17
Tabelle 2 :	Mahd- und Datenerhebungstermine in den Untersuchungsjahren 2009 und 2010.	21
Tabelle 3 :	Schädigungsraten (prozentualer Anteil schwer verletzter und toter Tiere am jeweiligen Fang) aller Heuschrecken-Arten auf fünf Mahdvarianten.....	28
Tabelle 4 :	Schädigungsraten (prozentualer Anteil schwer verletzter und toter Tiere am jeweiligen Fang) der vorkommenden Heuschrecken-Arten auf fünf Mahdvarianten. Versuchsreihe im Delmetal am 19. u. 20.8.2010.....	29
Tabelle 5 :	Termine zur Erfassung der Bestandeszusammensetzung und des phänologischen Zustandes in den Untersuchungsgebieten	36
Tabelle 6 :	Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände im mittleren Delmetal.....	38
Tabelle 7 :	Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände im mittleren Delmetal.....	38
Tabelle 8 :	Synoptisches Phänogramm der Vegetationsbestände im mittleren Delmetal zum ersten Mahdtermin	40
Tabelle 9 :	Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände in den Bornhorster Huntewiesen	41
Tabelle 10 :	Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände der Bornhorster Huntewiesen.....	42
Tabelle 11 :	Synoptisches Phänogramm der Vegetationsbestände in den Bornhorster Huntewiesen	44
Tabelle 12 :	Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände in den Moorplacken	45
Tabelle 13 :	Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände in den Moorplacken	46
Tabelle 14 :	Tabellarische Auflistung der Bestimmung der organischen Trockensubstanz (oTS) einer Charge	49
Tabelle 15 :	Beispiel einer Gasausbeuteberechnung	52
Tabelle 16 :	Biogausausbeuten der untersuchten Substrate in Norm l /kg Trockensubstanz - der einzelnen Konservierungen, Mahdtechniken und Bodentypen.....	53
Tabelle 17 :	Darstellung – durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch / ha in Liter Diesel - Ernteverfahren auf Naturschutzflächen.....	58
Tabelle 18 :	Energiegewinn von „guter“ Silage, gewonnen durch das Mähmulchverfahren	59
Tabelle 19 :	Energiegewinn von schlechter Silage gewonnen mit einfachen Mähverfahren der BUND-Biogasanlage.....	60
Tabelle 20 :	Energiegewinn Silage – Bodentypen – Mahdtechniken . Grundlage: durchschnittliche Biogausausbeuten Tabelle 14	61
Tabelle 21 :	Zusammenfassung der Schädigung der Heuschreckenfauna durch die einzelnen Mahdverfahren.....	62
Tabelle 22 :	CO ₂ -Äquivalente aus dem Betrieb der Biogasanlage.....	64
Tabelle 23 :	CO ₂ – Äquivalente aus dem Betrieb eines Erdgas-BHKW	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Untersuchungsgebiete	10
Abbildung 2 : Maschinenkombination Frontmäher und Heckmulcher – Mähmulchen.....	12
Abbildung 3 : Vergleich von Mahdtechnik bei der Ernte von Rohrglanzgras Links: Mähmulch / rechts: einfache Mahd.....	12
Abbildung 4 : Silagegewinnung durch Maschinenkombination Frontmähwerk mit Aufbereiter und Ballenpresse.....	15
Abbildung 5 : Maschinenkombination Frontmähwerk und Ladewagen	15
Abbildung 6 : Darstellung der mittleren Ernterträge der einzelnen Mahdintervalle und Bodentypen in t Trockensubstanz.....	18
Abbildung 7 : Aufsammeln von Heuschrecken in der Fangschleuse.....	22
Abbildung 8 : Im Vorhaben entwickelter Anbau-Folienabwickler	23
Abbildung 9 : Traktor mit Frontmäher und Mulcher, sowie der Folienabrollvorrichtung beim Einfahren in die Fangschleuse.....	23
Abbildung 10 : Abgerissenen Beine und Quetschungen des Hinterleibs sind zwei typische Beispiele für die Schädigung von Heuschrecken durch Mähgeräte.....	26
Abbildung 11 : Abnahme der Populationsdichte [Ind./100 m ²] der Heuschrecken- Artengemeinschaft bei aufeinander folgenden Arbeitsschritten der Mahd. Iso = Isolationsrechteck, Fs = Fangschleuse.....	31
Abbildung 12 : Prozentuale Abnahme der Populationsdichte [Ind./100 m ²] der Heuschrecken- Artengemeinschaft bei aufeinander folgenden Arbeitsschritten der Mahd.	32
Abbildung 13 : Trockenfermentationsanlage auf dem BUND-Hof Wendbüdel.....	47
Abbildung 14 : Beschickungsverfahren einer Bioferm- Trockenfermentationsanlage (Bioferm 2004).....	48
Abbildung 15 : Tägliche Gaserträge zweier unterschiedlicher Grassubstrate nach Fermenterwechsel in m ³	51
Abbildung 16 : Darstellung der Biogasausbeuten von Silage unterschiedlicher Mahdtermine auf Hochmoorflächen	54
Abbildung 17 : Vergleich der im Projekt erzielten Biogasausbeuten von Grassilage gewonnen auf Naturschutzflächen mit Grassilage von intensiv bewirtschafteten Acker ..	55
Abbildung 19 : Vergleich Biogasausbeuten der Ernteverfahren Mähschnitt, Aufbereiter und Mähmulchen – Grassilage von Hochmoorflächen	56

1 Einführung

Die Nutzung von Grasschnitt aus der Landschaftspflege in der Biogaserzeugung ist in der Vergangenheit als nicht sehr effektiv angesehen worden. Der Gesetzgeber hat aus diesem Grund für Biogasanlagen im Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) einen so genannten Landschaftspflegebonus von 2 Eurocent / Kilowattstunde eingeführt. Der BUND Niedersachsen betreibt seit 2006 eine Biogasanlage in der ausschließlich Landschaftspflegematerial fermentiert wird. Bei der wirtschaftlichen Überprüfung des Stromverkaufs einschließlich des Landschaftspflegebonus stellte sich heraus, dass eine „normale“ Ernte und Silierung von Grasschnitt von Naturschutzflächen nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt hat. Die auch in der Literatur (FNR 2010) beschriebenen schlechten Eigenschaften wie Ligningehalt und hohe Trockenmasse bei einmaligen Schnitten auf Naturschutzflächen haben eine schlechte Silierung und einen geringen Biogasertrag zur Folge. Die Erntequalität durch spezielle Mahdverfahren im Hinblick auf Konservierung und Biogasertrag zu erhöhen war Aufgabe dieses Vorhabens.

1.1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Projektes war die Effizienzsteigerung bei der Biogas-Fermentation von Landschaftspflegematerial, das auf Feuchtgrünlandflächen in naturschutzrelevanten Gebieten geerntet wird.

Um das Gesamtziel zu erreichen waren folgende wissenschaftliche und technische Arbeitsziele notwendig

- Steigerung der Aufschlussmöglichkeit des Landschaftspflegematerials für Methanbakterien in einer Trockenfermentationsanlage durch Zerkleinerung bei unterschiedlichen Ernteverfahren.
- Verbesserung der Konservierung von Landschaftspflegematerial bei der Rundballenherstellung von Heu und Silage durch verschiedene Ernteverfahren unter Berücksichtigung der Pflanzenphänologie der gewählten sowie der vom Naturschutz vorgeschriebenen Erntezeitpunkte.
- Untersuchung der letalen Verluste der Kleintierfauna durch die einzelnen Verfahren.
- Erstellung von Energiebilanzen der einzelnen Ernteverfahren im Zusammenhang mit dem Gasertrag der Ernte.
- Feststellen der Biogausausbeute und Wirtschaftlichkeit der Produkte der einzelnen Verfahren und Konservierungen
- Kontinuierliche Weitergabe der Ergebnisse an interessierte Gruppen, um schon wäh-

rend des Vorhabens weitere praktische Versuche zum Thema Landschaftspflegema-
terial in anderen Biogasanlagen zu initiieren.

Dabei wurde auf folgende Aspekte ein großer Wert gelegt:

- a) Annahme der Effizienzsteigerung nur, wenn bei einem Arbeitsverfahren eine quantitativ höhere regenerative Energieleistung produziert wird, als der Verbrauch von fossilen Energieträgern bei den entwickelten Verfahren.
- b) Annahme der Effizienzsteigerung nur, wenn Arbeitsverfahren dem Naturschutz nicht gravierend entgegenstehen, um nicht eine neuen Naturschutzauflage zu provozieren und damit die Landschaftspflege und die Weiterverarbeitung der Ernten zu erschweren.

1.2 Vorraussetzungen für die Durchführung

Der BUND Landesverband Niedersachsen betreibt den „BUND – Hof Wendbüdel“ seit dem Jahre 2002. Der Hof liegt im Naturpark „Wildeshauser Geest“ zwischen Delmenhorst und Wildeshausen. Im Jahre 2002 wurden ca. 40 ha Feuchtgrünland in den Flusstälern von Delme und Hunte und 10 ha Geestland bewirtschaftet. Seit 2005 bewirtschaftet der Hof zusätzliche Feuchtgrünlandflächen im EU Vogelschutzgebiet „Bornhorster Wiesen“ (75 ha) und ca. 15 ha Hochmoorgrünland im „Moorplacken“ auf dem Gebiet der Stadt Oldenburg. Der überwiegende Teil der Flächen ist in öffentlicher Hand und wurde dem BUND kostenlos oder mit einer geringen Pacht überlassen.

Der Hof ist ein Ökohof nach EU-Norm und alle Flächen sind landwirtschaftlich angemeldet. Alle Flächen des Hofes sind Grünlandflächen. Für das Vorhaben wurden die hofeigenen Erntemaschinen genutzt.

Seit 2006 betreibt der BUND eine Biogasanlage in die ausschließlich Gras (100%) von den hofeigenen Flächen eingebracht wird. Hier wird die Silage oder Heuernte je nach Mahdregime von 50 – 70 ha Grünland benötigt.

Die BUND-Forschungsanlage ist eine Trockenfermentationsanlage von 50 KW/h elektrische Leistung.

Die Forschungsanlage wird mit dem Radlader beladen und das Substrat verweilt lediglich unter Besprühung durch die umlaufende Sickerflüssigkeit (Perkolat) je nach Versuch 3-4 Wochen im Fermenter.

Die geringe Größe der Forschungsanlage bewirkte, dass die zu untersuchenden Chargen besser in Hinsicht auf Flächengröße, Boden, Pflanzenzusammensetzung, Schnittzeitpunkt und mechanische Aufbereitung differenziert untersucht werden konnten. Gleichzeitig ist die

Anlage groß genug als Praxisanlage zu gelten. Pro Charge wurden ca. 60 Rundballen (1,20 m Durchmesser – ca. 10-14 t organische Trockensubstanz) benötigt.

Die diskontinuierlich zu beschickende Trockenfermentation war gerade durch die Chargenabgrenzung besonders geeignet, Ergebnisse von Gasausbeute, Abbaugrad und Gaszusammensetzung in einer Praxisanlage darzustellen. In der Forschungsanlage wurden die Chargen der unterschiedlichen Verfahren und Konservierungen in 21 Tagen getestet.

In den Jahren 2009 und 2010 wurden innerhalb der Vegetationsperiode die Arbeitsverfahren Mähen und Pressen, Mähen-Aufbereiten-Pressen, Mähen-Mulchen-Pressen auf den Bodentypen Niedermoor, Hochmoor und Moormarsch an unterschiedlichen phonologischen Wiesenausprägungen durchgeführt. Das schlechte Wetter im Spätsommer 2010 ließ einen zweiten Schnitt auf den ganz nassen Standorten nicht zu. Aus diesem Grund musste das Projekt von ursprünglich 28 Februar 2011 bis zum 30 September 2011 verlängert werden, um die Konservierung der fehlenden zweiten Schnitte und die Biogasausbeute dieser Substrate zu untersuchen.

Die Ernte wurde von einem Vegetationskundlern in Hinsicht auf Qualitätsstandards des Aufwuchses und von Zoologen zur Untersuchung der Schäden an der Heuschreckenfauna begleitet.

In den Herbst- und Wintermonaten 2009, in dem Jahr 2010 und in dem ersten Halbjahr 2011 wurden die unterschiedlichen Ernten auf Qualität überprüft und in der Biogas Trockenfermentationsanlage auf Gasertrag und Qualität getestet (60 Gärversuche a 21 Tage). Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in den Wintermonaten 2009/2010 für den Zwischenbericht und im August/September 2011 für die geplante Broschüre die inzwischen veröffentlicht wurde (www.wendbuedel.de).

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik vor Beginn des Vorhabens

Das Potential von Landschaftspflegematerial in der Biogas-Fermentation wurde in der Arbeit Bioenergie und Naturschutz (PETERS und THOSS 2007, WIEGMANN et al. 2007) ausführlich behandelt. Die Autoren wiesen daraufhin, das Landschaftspflegematerial in Nassfermentationen aufgrund des hohen Rohfaseranteils weniger geeignet ist, da alle drehenden Maschinen in der Anlage, wie Pumpen, Rührwerke und Förderschnecken durch das Substrat zum Stillstand kommen können. Die Trockenfermentationsanlage war hingegen gerade aufgrund der einfachen Beschickung durch den Radlader und dadurch, dass das Substrat während der Fermentation keinerlei mechanischer Bewegung ausgesetzt war, gut für die Verwendung von Landschaftspflegematerial geeignet. Bei der Potentialabschätzung wurde auch darauf hingewiesen, dass der Gasertrag bei Trockenfermentationen geringer als bei der

Nassfermentation ist, der Methangehalt des Biogases jedoch bei der Trockenfermentation in der Regel höher ausfällt als bei der Nassfermentation und damit das Potential beider Verfahren als gleich anzusehen ist. Auch die Arbeiten von SEIDENBERGER & THOSS (2007) sowie KRAUSE & BOBACK (2007) beschäftigten sich eher mit dem Potential von Landschaftspflegematerial für Biogasanlagen. Die Untersuchung der praktischen Umsetzung dieser Arbeiten fehlte jedoch noch. Zur energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial äußerten sich auch GRASS et al. (2007). Behandeln hier aber überwiegend die Thermische Verwertung von Landschaftspflegematerial.

Zu Bewirtschaftungsverfahren auf Naturschutzflächen zur Effizienzsteigerung dieser Ernte konnten keine Angaben festgestellt werden, da die Landwirtschaft und das BML ihre Schwerpunkte im Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“ auf Arbeitsverfahren konventionell genutzter Grünland-Flächen gelegt haben und die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren aufgrund der hohen Gewichte und Größen neuester Maschinen auf Naturschutzflächen mit geringer Befahrbarkeit und Kleinräumigkeit nicht anwendbar.

In der „guten landwirtschaftlichen Praxis“ gibt es zahlreiche Vorschriften zur Silierung von Intensivgrasschnitt in Rundballen (RAMHARTER et al. 1994). Für die Konservierung von Grünschnitt-Landschaftspflegematerial als Silage in Rundballen gibt es keine Handreichungen und keine aktuellen Forschungen, da Landschaftspflegematerial von Naturschutz-Grünland im Grunde genommen nicht alle Bedingungen zur guten Silierung erfüllt (ADD-CON 2009).

Rösch et al. (2007) beschäftigten sich mit der Treibhausgas-Minderung (THG-Minderung) in CO₂ – Äquivalenten für Heu von extensivem Grünland, dass in einer Biogasanlage fermentiert wurde.

OPPERMANN et CLAASEN (1999) behandelten die Letalverluste der Kleintierfauna unterschiedlicher Mahdtechniken auf Naturschutzflächen. Dabei wurde festgestellt dass Kreisel- und Scheibenmäher wie sie in dem vorliegenden Vorhaben zum Einsatz kamen die höchste Mortalitätsrate unter den Mähwerken haben (CLAASEN et al 1993; BfN, 2006). VOGTMANN (2006) merkte innerhalb eines Workshops des BfN an, dass Mähwerke mit Aufbereiter eher naturschutzfeindlich sind. Bei allen Untersuchungen in diesem Bereich wurden die Artengruppen Kleinsäuger, Amphibien und Heuschrecken untersucht. Die Kleinsäuger zeigten bei allen Mahdtechniken die geringsten Verluste.

Mit der Schädigung der Kleintierfauna durch Mulcher hatte sich bisher niemand befasst, da davon ausgegangen wurde, dass diese Geräte nur nach der Vegetationsperiode eingesetzt werden und hier durch die geringen Populationen auf der Fläche eine Schädigung kaum zu verzeichnen ist. Die zu erwartende hohe Schädigung der Kleintierfauna durch den Mulcher während der Vegetationsperiode hat im Naturschutz dazu geführt, dass diese Technik bei der Wiesenbewirtschaftung von Naturschutzflächen geradezu verpönt war.

2 Durchführung des Vorhabens August 2009 - September 2011

2.1 Untersuchungsgebiete

Alle drei Untersuchungsgebiete befinden sich westlich der Hansestadt Bremen im niedersächsischen Landkreis Oldenburg. Die Untersuchungsflächen im mittleren Delmetal bei Prinzhöfte waren bereits Bestandteil der Untersuchungen des vom Bundesamt für Naturschutz geförderten F&E-Projektes „Grünlandmanagement und Biogaserzeugung am Beispiel Mittleres Delmetal“ (siehe Abschlussberichte Carius et al. 2008 u. Hellberg 2008). Die Untersuchungsflächen befinden sich innerhalb der Überschwemmungszone der schmal eingeschnittenen Talniederung der Delme. Die anstehenden Sandböden sind humos, teils stark humos, örtlich auch anmoorig.

Das Untersuchungsgebiet „Bornhorster Huntewiesen“ ist Teil der Moormarschen im Huntetal unterhalb der Stadt Oldenburg. Beim ca. 2 km nordöstlich der Bornhorster Huntewiesen gelegenen Untersuchungsgebiet „Moorplacken“ handelt es sich um Grünland auf ehemaligem Hochmoor (Ipweger Moor). Die Untersuchungsflächen weisen unterschiedliche Abtorfungsniveaus auf.



Abbildung 1 : Untersuchungsgebiete

2.2 Ernte

2.2.1 Material und Methoden

2.2.1.1 Mahdtermine

Es wurde unterschieden zwischen einschüriger Mahd und zweischüriger Mahd. Die einschürige Mahd wurde Mitte Juli durchgeführt. Der erste Schnitt der zweischürigen Mahd wurde Anfang Juni und der zweite Schnitt Ende August durchgeführt.

2.2.1.2 Mahdtechnik

2.2.1.2.1 Klassische Mahd

Die klassische Mahd wurde mit einem Front-Trommelmäher der Marke VICON mit 2,70 m Schnittbreite durchgeführt. Die Schnitthöhe betrug bei allen Einsätzen 7 cm.

2.2.1.2.2 Mähen - Aufbereiten

Das Aufbereiten von Mahdgut unmittelbar nach der Mahd wurde mit einer Kombimaschine der Marke Niemeyer mit 270 cm Schnittbreite durchgeführt. Die Kombimaschine besteht aus einem Tellermäher mit 6 Messerkreisen und einem Aufbereiter mit Kunststoffzinken auf einer quer liegenden Transportachse. Die Schnitthöhe war hier nicht einstellbar und betrug permanent 4 cm. Das Mahdgut wird beim Aufbereiter geknickt und vorhandene Wachsschichten der Gräser werden teilweise mechanisch entfernt.

2.2.1.2.3 Mähen - Mulchen

Um eine größere Zerkleinerung des Mahdgutes zu erzielen wurde ein handelsüblicher Mulcher mit Hammerwerk verwendet.

Die Mahd wurde mit dem Fronttrommelmäherwerk bei 7cm Schnitthöhe durchgeführt. Das Mahdgut lief dann unter dem Traktor in den Heckmulcher, der auf die nicht übliche Arbeitshöhe von 10 cm (üblich sind 4 cm) eingestellt wurde (Abbildung 2). Das Mahdgut wurde geknickt und teilweise zerteilt, die vorhandenen Wachsschichten entfernt und die Halme durch Quetschung in der Länge aufgespleißt (Abbildung 3).



Abbildung 2 : Maschinenkombination Frontmäher und Heckmulcher – Mähmulchen



Abbildung 3 : Vergleich von Mahdtechnik bei der Ernte von Rohrglanzgras
Links: Mähmulch / rechts: einfache Mahd

2.2.1.3 Konservierung von Grasschnitt auf Naturschutzflächen

Zwei Wege der Konservierung von Grasschnitt -Heuwerbung und Silagewerbung- sind bei der Grünlandbewirtschaftung üblich. Bei der Heugewinnung wird die Konservierung durch Trocknung erzielt. Bei der Silagegewinnung wird unter Luftabschluss eine Gärung durch Milchsäurebakterien provoziert, die den PH-Wert auf den Säuregrad 5-4 hebt und dadurch alle anderen Mikroben (Bakterien, Pilze) daran hindert, das Material anzugreifen. (Pahlow, 2008).

In der Biogastechnologie wird der Silage der Vorzug gegeben, da sie wetterunabhängig gelagert werden kann und sich die Vorfermentation durch die Milchsäurebakterien positiv auf den Methanisierungsvorgang in der Biogasanlage auswirkt. Heu dagegen benötigt einen großen Aufwand von Wetterschutz bei der Lagerung und ist in der Biogasfermentation schwer zu befeuchten (von 80% auf ca. 20 % Trockensubstanz), da die eingetrockneten Zellen anfangs stark hydrophob sind. Die Heuwerbung ist trotzdem ein Teil des Vorhabens, da auf Naturschutzflächen mit so genannter später Mahd (ab 1. Juli) aufgrund der Grundtrockenheit des Aufwuchses trotz aller Anstrengungen keine Silierung mehr möglich ist (Erfahrung - Projekt 2006 – 2008).

2.2.1.3.1 Heugewinnung

Die klassische Heuwerbung mit Mähen, vier- bis fünfmal Wenden, Schwadern und Pressen dauerte auf den Naturschutzflächen 4-5 Tage. Die Heuwerbung mittels Aufbereiter dauerte mit dreimal Wenden, Schwadern und Pressen 3 Tage und die Heuwerbung mittels Mähmulcher dauerte mit ein- bis zweimal Wenden, Schwadern und Pressen 2 Tage.

2.2.1.3.2 Silagegewinnung

Bei der Silageherstellung gibt es zwei hauptsächlich in der Praxis erprobte Verfahren. Bei der Fahrsilage wird das Grüngut mittels großer Ladewagen (20 t), die wegen Vermeidung von Fehlgärung in zeitlich kurzen Abständen anliefern müssen, geborgen und auf einen befahrbaren Haufen in Schichten ausgebracht. Das Grüngut wird dann Schicht für Schicht mit schweren Maschinen verdichtet und luftdicht mit Siloplanen abgedeckt. Um größte Sicherheit bei der Milchsäuregärung zu erhalten, werden dem Substrat unterschiedliche Gärungshilfen zugesetzt.

Bei der Rundballensilage wird das Grüngut auf der Fläche stark gepresst und dann mit spezieller Wickelfolie luftdicht abgeschlossen. Ein Zusatz von Silierhilfen ist hier nicht möglich. Beide Verfahren werden von AMMANN & FRICK (2005) behandelt, betreffen aber vor allem Intensivgrünland.

Auf Naturschutzflächen mag im Einzelfall eine Fahrsilage möglich sein. In der Regel jedoch sind die Flächen für die schweren Ladewagen (über 20 t Gesamtgewicht) nicht befahrbar oder die Flächen liegen nicht in der unmittelbaren Nähe des Biogasanlagenstandortes oder soweit auseinander, dass eine zeitlich kurze Anlieferung nicht möglich ist.

Aus diesem Grund wird in der Folge nur die Rundballensilage Gegenstand der Ausführungen sein.

Folgende Bedingungen (THAYSEN 2006) sind bei der Silagegewinnung notwendig und sind auf Naturschutzflächen nur schwer zu erreichen:

- Schnittzeitpunkt kurz vor der Blüte – Das setzt voraus, dass der überwiegende Teil des Aufwuchses zur gleichen Zeit blüht, was bei Naturschutzaufwuchs nie gegeben ist.
- Rohfaseranteil niedrig - Auch dies ist auf Naturschutzflächen aufgrund der Pflanzenzusammensetzung oft nicht möglich.
- Feuchtegrad bei der Verdichtung gleichmäßig verteilt zwischen 35 und 55 % Trockensubstanz – Speziell die Binsen und Seggen auf Naturschutzflächen trocknen sehr unterschiedlich, geben oft keine Feuchtigkeit ab und nehmen keine auf, so dass bei der Silierung heterogene Feuchtegrade entstehen, die entweder zu Nestern der Fäulnis (Substrat über 55 % Trockensubstanz) oder der vorzeitigen Methanbildung (Substrat unter 35 % Trockensubstanz) führen.

Die für Biogasanlagen optimale Silage wird kostengünstig als Fahrsilo angelegt. Für Naturschutzflächen ist dies oft nicht möglich, da ein Fahrsilo hofnahe Flächen benötigt, um Fehlgärung während des Transportes mit Ladewagen zu vermeiden. Außerdem muss die Silagemasse kurzfristig in großen Mengen aufgeschüttet werden. Dieses bedingt große Ladewagen über 20 t Gesamtgewicht, die auf Naturschutzflächen aufgrund der geringen Befahrbarkeit kaum eingesetzt werden können. Aus diesem Grund wurde die Rundballensilage mittels einer Festkammerballenpresse (1,20 m Ballendurchmesser) der Marke Deutz und eines gezogenen Ballenwicklers der Marke Deutz bevorzugt.

Beim ausschließlichen Mähen wurde das Mahdgut einen Tag liegen gelassen um eine optimale Anwelksilage mit 35 – 55 % Trockensubstanz zu erhalten.

Beim Mähmulchen wurde aufgrund der schnellen Trocknung während des Mahdvorganges unmittelbar nach dem Mähen die Silage gepresst.

Beim Mähen mit Aufbereiter wurde je nach Aufwuchs und Wetter nach etwa 5 Stunden gepresst. Bei sehr trockenem Wetter konnte die Presse direkt am Traktor laufen. (siehe Abbildung 7). Die Qualität der Silage konnte frühestens nach 4 Wochen überprüft werden. Hier wurde eine Geruchsprobe durchgeführt um eine Fehlgärung zur Buttersäure bei extrem feuchten Zustand (25 -35 % Trockensubstanz) zu überprüfen. Eine Sichtprobe diente der Überprüfung der Fehlgärung durch Schimmelpilze im Trockensubstanzbereich von 55- 80 %



Abbildung 4 : Silagegewinnung durch Maschinenkombination Frontmäherwerk mit Aufbereiter und Ballenpresse

2.2.1.3.3 Frischschnitt

Zu Referenzzwecken wurde in den Sommermonaten Frischschnitt von einigen Flächen direkt in die Biogasanlage eingefahren. Dies erfolgte über die Maschinenkombination Frontmäherwerk und einen „kleinen“ Ladewagen mit 7,5 Tonnen Gesamtgewicht der Firma Mengele.



Abbildung 5 : Maschinenkombination Frontmäherwerk und Ladewagen

2.2.2 Ergebnisse- Ernte

2.2.2.1 Unmittelbare Wirkung von Aufbereiter und Mulcher auf die Ernte.

Der Aufbereiter knickt das Mahdgut unmittelbar beim Mähen und entfernt die Wachsschicht. Dies führte im Vorhaben zu einer Verkürzung der Arbeitszeit bei der Heuwerbung um einen Tag und bei der Silagegewinnung zu einer besseren Fermentation als beim Arbeitsverfahren nur Ernte.

Das Mähmulchen mit seiner verstärkten Zerkleinerung hatte mehrere unmittelbare Einflüsse auf die Ernte.

- a) Die Wachsschicht der Sauergräser wird entfernt
- b) Gräser werden nicht vollständig zerkleinert, sondern eher aufgespleißt (Abbildung3)
- c) Kräuter werden stark zerkleinert
- d) Die Trockensubstanz der Ernte wird durch Herausschlagen der Feuchtigkeit sofort von ca. 25 % auf 45-55 % erhöht.

Die Starke Zerkleinerung von Kräutern führte auf Hochmoorflächen, die aufgrund mehrmaliger Ernte (Nährstoffentzug) hohe Kräuteranteile aufwiesen zu starken Bröckelverlusten. Die Kräuter waren nach der Bearbeitung nicht mehr durch die Pick-Up der Presse aufnehmbar und fehlten in der Erntemasse.

Die Starke Trocknung bei der Grasernte durch das Mähmulchen führte sofort zu einer optimalen Trockensubstanz (35-55 %) bei der Silagegewinnung.

Die angestrebte homogene Durchfeuchtung der Rundballen wurde erreicht und damit die gleichmäßige Fermentation durch die Milchsäurebakterien gestartet.

Die schnelle Abgabe der Feuchtigkeit und der gute folgende Ausgleich der Feuchtigkeit mit der Umgebungsfeuchtigkeit bei der Silagegewinnung waren bei der Heuwerbung durch das Mähmulchen im Spätsommer und Herbst ein Nachteil. Die kälteren Nächte mit hohem Tauvorkommen sorgten für die immer gleiche Feuchte am nächsten Morgen. Hier ist auch mit täglichen Wenden kaum eine Trockensubstanz von 80 %, die für Qualitätsheu unerlässlich ist, zu erreichen.

2.2.2.2 Erntequalität-Konservierung

2.2.2.2.1 Heu

Die Konservierung von Heu auf Naturschutzflächen warf bei allen Maschinenkonstellationen keine Probleme auf, wenn die Trockensubstanz von 80 % (Hay-Moisture Tester, Pfeuffer) erreicht wurde oder die alte landwirtschaftliche Praxis angewandt wurde, die besagt, „wenn die Halme brechen ist das Heu trocken“. Bei der Heuwerbung der klassischen Mahd mit

anschließenden Wenden des Mahdgutes spielt die Zeit (4 Tage) und damit das Wetter eine größere Rolle als bei der Heuwerbung mit der Maschinenkombination Mähmulchen. Hier wurde nur eine Zeitspanne von 2 Tagen benötigt und damit war eine größere Unabhängigkeit vom Wetter gegeben.

2.2.2.2 Silage

Die Konservierung des Substrates in Form von Rundballensilage zeigte je nach Mahdtermin und Technikeinsatz unterschiedliche Ergebnisse (Tabelle 1). Die Silage der einschürigen Mahd konnte zum größten Teil als misslungen bezeichnet werden. Das liegt an dem hohen Anteil von verblühten und verholzten Gräsern beim Mahdtermin 1.Juli. Aber auch die Einschürigkeit mit dem hohen Anteil von aufgewachsenen Gräsern des Spätsommers vom Vorjahre spielt hier eine große Rolle. Lediglich die Silage der einschürigen Mahd mittels Mähmulchen konnte hier zumindest als zufrieden stellend bezeichnet werden. Auf dem Bodentyp Niedermoor mit seinem fast immergrünen Aufwuchs und dem besseren Futterwert (Siehe Vegetationskundliche Begleitung Kapitel 2.4) konnten die besten Ergebnisse erzielt werden.

Tabelle 1 : Ergebnisse der Silagekonservierung auf unterschiedlichen Böden mit unterschiedlichen Ernteverfahren. X = schlechte Silierung – 21-50 % Ausfall, XX = suboptimale Silierung – 11-20 % Ausfall, XXX = optimale Silierung – 0-10 % Ausfall

Bodentyp	Mahdintervall	mähen	Mähen + Aufbereiter	Mähen + Mulcher
Hochmoor	1.Schnitt	X	XX	XXX
	2.Schnitt	XX	XXX	XXX
	einschürig	X	X	XX
Niedermoor	1.Schnitt	XX	XXX	XXX
	2.Schnitt	XX	XXX	XXX
	einschürig	X	X	XX
Moormarsch	1. Schnitt	X	XX	XXX
	2.Schnitt	XX	XXX	XXX
	einschürig	X	X	XX

2.2.2.3 Ernteerträge

Die Ernteerträge der einzelnen Bodentypen und Mahdintervalle sind in Abbildung 6 dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Feuchte auf den einzelnen Bodentypen und der verschiedenen Mahdintervalle werden zur Vergleichbarkeit die Ernteerträge in Tonnen (t) Trockensubstanz angegeben. 1t Trockensubstanz entspricht in etwa 5 t Frischmasse beim 1. Schnitt auf Niedermoor. Die Ernteerträge sind Durchschnittswerte und wurden auf Flächen erhoben, auf denen das angegebene Mahdregime mindestens 3 Jahre durchgeführt wurde. Das heißt, die anfänglichen Verbrachungszustände der Flächen mit teilweise sehr hohen Massenerträgen (Niedermoor) wurden vor allem durch die zweimalige Mahd verändert.

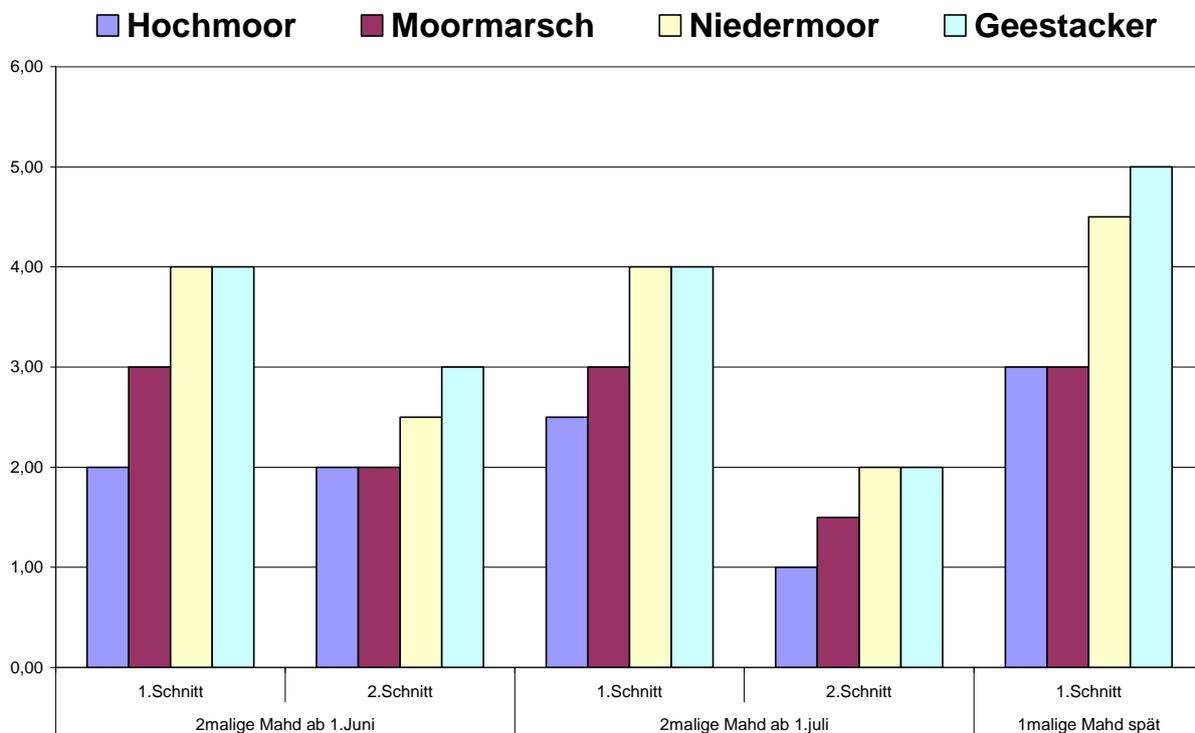


Abbildung 6 : Darstellung der mittleren Ernterträge der einzelnen Mahdintervalle und Bodentypen in t Trockensubstanz

Wie nicht anders zu erwarten, konnte die eingesäte Kleegraswiese auf dem Geestacker des Hofes die höchsten Erträge erzielen. Hier konnte trotz geringer Bodenpunkte (27) durch die Düngung mit Output der Biogasanlage der Ertrag gesteigert werden.

Die Erträge auf dem nährstoffarmen Hochmoorgrünland sind die geringsten, und es ist zu erwarten, dass hier ohne Düngung die Erträge weiter sinken, da nach erfolgreicher Bekämpfung der Flatterbinse durch zweimalige Mahd eher niedrigwüchsige Kräuter mit wenig Erntemasse gefördert wurden.

2.3 Schädigung der Heuschreckenfauna durch Maschineneinsatz

2.3.1 Aufgabenstellung

In den Jahren 2006 bis 2008 wurde in der Delme-Aue bei Harpstedt ein Mahdregime eingeführt, das sich an traditionellen Nutzungsformen orientiert. Im Rahmen des Projektes „Grünlandmanagement und Biogaserzeugung am Beispiel Mittleres Delmetal“ wurden die Auswirkungen dieser geänderten Nutzung auf die lokale Heuschreckenfauna Projekt begleitend untersucht, wobei insbesondere die Reaktionen und mittelfristigen Veränderungen der Populationen bzw. Artengemeinschaft von Interesse waren (CARIUS et al. 2008, FRÄMBS et al. 2008).

In anschließenden Untersuchungen in den Jahren 2009 und 2010 lag der Fokus auf den Heuschrecken-Individuen und der Frage inwieweit diese durch unterschiedliche Mähgeräte (Trommelmäher, Scheibenmäher, Mulcher, Aufbereiter) und Mahdtechnik (Schnitthöhe, Abtransport des Grasschnittes) physische Schäden erleiden und wie sich diese Schädigungen auf die Populationsdynamik nach der Mahd auswirken. Daran schloss sich die Frage an, welches Mahdverfahren für die Artengemeinschaft der Heuschrecken die wenigsten Beeinträchtigungen mit sich bringt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in dem hier vorliegenden Bericht zusammengefasst.

Vergleichbare Fragestellungen wurden auch in den Jahren 1999 und 2000 im Rahmen einer Voruntersuchung für das E & E – Vorhaben „Naturverträgliche Mähtechnik für das Feuchtgrünland“ vom Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz Singen bearbeitet (OPPERMANN et al. 1999-2000).

2.3.2 Material und Methode

2.3.2.1 Mähgeräte und Mahdtechnik

Die Versuche mit Maschineneinsatz zur Auswirkung von Mähgeräten und Mahdtechnik auf Heuschrecken wurden im Delmetal auf fünf aneinander grenzenden Parzellen der BUND-Wiese am 1. und 2. September 2009 sowie vom 19. bis 22. August 2010 durchgeführt (Tabelle 1). Dabei kamen folgende Geräte bzw. Gerätekombinationen zum Einsatz:

Trommelmäher solo (Tm), 270 cm Schnittbreite, 7 cm Schnitthöhe, 1.800 Umdrehungen pro Minute (Parzelle I);

- Trommelmäher mit Mulcher (Tm+Mu), Trommelmäher: 270 cm Schnittbreite, 7 cm Schnitthöhe, 1.800 Umdrehungen pro Minute; Mulcher: 10 cm Schlaghöhe, 580 Umdrehungen pro Minute (Parzelle V).
- Mulcher solo (Mu), 4 cm Schlaghöhe, 580 Umdrehungen pro Minute (Parzelle II)
- Scheibenmäher solo (Sm), 270 cm Schnittbreite, 4 cm Schnitthöhe, 1.300 Umdrehungen pro Minute (Parzelle IV)
- Scheibenmäher mit Aufbereiter (Sm+Au), Scheibenmäher: 270 cm Schnittbreite, 4 cm Schnitthöhe, 1.300 Umdrehungen pro Minute; Aufbereiter: 1.000 Umdrehungen pro Minute (Parzelle III);

Ein weiterer Maschinenversuch galt dem Einfluss unterschiedlicher Schnitthöhen für die Schädigung von Heuschrecken-Individuen. Hierzu wurden am 22. August 2010 im Delmetal zwei Teilflächen der Buckelwiese in sieben und vier Zentimeter Schnitthöhe gemäht. Hierbei kam ein Scheibenmäher (1.300 Umdrehungen pro Minute) mit Aufbereiter (1.000 Umdrehungen pro Minute) zum Einsatz. Auf diesen Versuch wird im Ergebnisteil nicht eingegangen, weil er wegen zu geringer Fangmengen, zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen führte.

Der Abtransport des Grasschnittes erfolgte entweder unmittelbar nach dem Schnitt mit einem Mengele-Ladewagen (Gewinnung von Frischschnitt) oder mit verschiedenen Zeitabständen nach dem Schnitt mittels einer Deutz-Festkammerballenpresse (Gewinnung von Silage oder Heu) (Carius 2011).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Mahd- und Heuschrecken-Erfassungstermine in den Untersuchungsjahren 2009 und 2010.

Tabelle 2 : Mahd- und Datenerhebungstermine in den Untersuchungsjahren 2009 und 2010.

	2009			2010							
	31. Aug.	1. Sep.	2. Sep.	9. Aug.	12. Aug.	13. Aug.	14. Aug.	19. Aug.	20. Aug.	21. Aug.	22. Aug.
Mahdtechnik											
Mahd											
Delmetal	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	x
Ippweger Moor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abfuhr des Grasschnittes											
Delmetal	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
Ippweger Moor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heuschrecken-Erfassungen											
Fangschleuse											
Delmetal	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Ippweger Moor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isolationsrechtecke											
Delmetal	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	x
Ippweger Moor	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-
Streifnetz- / Hand-Sichtfang											
Delmetal	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Ippweger Moor	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Heuballen-Analyse											
Delmetal	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Ippweger Moor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.3.2.2 Heuschrecken-Erfassungen

2.3.2.2.1 Fangschleuse

Die Fangschleuse wurde primär zur Ermittlung von Schädlingsraten und zur Feststellung von Besiedlungsdichten unmittelbar nach dem Mähvorgang eingesetzt. Die resultierenden Besiedlungsdichten haben einen scharfen Flächenbezug und sind somit prinzipiell als „absolute“ Dichten interpretierbar. Die kleinräumige Dichte-Variabilität der Arten hat bei dieser relativ großflächigen Erfassungsmethode einen geringeren Einfluss auf die Ergebnisse, als bei den kleineren Isolationsrechtecken. Im Nebeneffekt gibt die Methode auch Aufschluss über das vorhandene Artenspektrum (Erfassung der Arten). Der Versuchsaufbau orientiert sich an der von Oppermann et al. (1999-2000) beschriebenen Fangschleusen-Erfassung.

Die Fangschleuse besteht in der Grundaufstellung aus zwei 15 m langen und 80 cm hohen, festen Kunststofffolien, die parallel in 3,5 m Entfernung zueinander – entsprechend der Schnittbreite des Mähgerätes – auf der Probefläche aufgestellt werden. Am vorderen und hinteren Ende sind gleich hohe Folien zum Verschließen der Schleuse vorbereitet. Die von der Versuchsanordnung umschlossene Fläche beträgt 52,5 m².

Die Schleuse wird am Tag vor der Mahd bzw. der Probenahme errichtet, um den Tieren genügend Zeit zu geben, sich nach dieser Störung wieder zu beruhigen und gleichmäßig auf der Fläche zu verteilen. Der Schlepper mit dem Mähgerät durchfährt die Schleuse und mäht sie vollständig aus. Unmittelbar nach der Durchfahrt des Mähgerätes wird die Schleuse an beiden Stirnseiten verschlossen. Danach werden sofort sämtliche lebende Heuschrecken abgesammelt und der Boden gründlich nach verletzten und toten Individuen abgesucht.



Abbildung 7 : Aufsammeln von Heuschrecken in der Fangschleuse

Dieser Versuch wurde in zwei Varianten durchgeführt. Beim Einsatz des Mulchers oder des Aufbereiters (erste Variante) wurde an diesen Geräten hinter dem Traktor eine 3,0 Meter (Mulcher) bzw. 1,4 Meter (Aufbereiter) breite, aufgerollte Folien in der Weise montiert, dass sie sich während des Mähvorganges selbsttätig abrollen konnte (Abbildung 8). So war gewährleistet, dass das Mahdgut auf der Folie landete, was nicht nur den Vorteil mit sich brachte, dass nicht mehr bewegungsfähige Tiere auf dem hellen und glatten Untergrund der Plastikfolie leichter und vollständiger gefunden werden konnten, sondern auch eine zusätzliche Beurteilung des Fluchtverhaltens der Heuschrecken erlaubte: Auf der Folie gesammelte Tiere müssen entweder durch Sprung oder Flug vor dem herannahenden Mähgerät geflüchtet sein oder sie sind vom Bearbeitungsgerät erfasst und nach hinten herausgeschleudert worden. Unter der Folie gefundene Tiere müssen sich hingegen durch Fallenlassen auf die Bodenoberfläche in Sicherheit gebracht haben.



Abbildung 8 : Im Vorhaben entwickelter Anbau-Folienabwickler



#

Abbildung 9 : Traktor mit Frontmäher und Mulcher, sowie der Folienabrollvorrichtung beim Einfahren in die Fangschleuse.

Bei der zweiten Variante, die bei der Mahd nur mit dem Trommel- oder Scheibenmäher – also ohne Zusatzgerät – zum Tragen kam, musste auf die Verwendung der Bodenfolie verzichtet werden, weil es konstruktionsbedingt nicht möglich war, eine Rolle direkt am Schlepper anzubringen. Hierbei entfällt somit die oben erläuterte zusätzliche Differenzierung bei der Interpretation des Fluchtverhaltens.

Eine Einschätzung des Fluchtverhaltens durch Abflug oder Wegspringen vor dem herannahenden Schlepper ist bei keiner der beiden Versuchsvarianten möglich, kann jedoch durch Vergleich mit den Ergebnissen aus zeitlich vorgeschalteten Isolationsrechteck-Fängen gegeben werden.

Erfassungstermine Fangschleuse – Delmetal: 01.09.2009, 19.08.2010, 20.08.2010; Bornhorster Wiesen: keine Erfassung.

2.3.2.2.2 Isolationsrechtecke

Isolationsrechtecke dienen zur flächenscharfen Ermittlung von Besiedlungsdichten in allen Stadien der Flächenbehandlung (vor/nach dem Mähvorgang, vor/nach dem Abtransport des Mahdgutes). Unter Berücksichtigung der kleinräumigen Dichte-Variabilität resultieren aus dieser Methode - wie bei der Fangschleuse – prinzipiell „absolute“ Dichten. Daneben liefern Isolationsrechtecke auch Daten zum Artenspektrum und – mit Einschränkungen – zu Schädigungsraten.

Die eingesetzten Isolationsrechtecke entsprechen in Größe und Machart denen von Oppermann et al. (1999-2000) beschriebenen. Sie bestehen aus feiner Gaze (Gardinenstoff), an denen vier stabile, unten angespitzte Holzlatten befestigt sind. Der Fangzaun ist 90 cm hoch und umfasste eine Fangfläche von 6 m² (3 x 2 m). Durch rasches Einschlagen der Latten in den Boden wird eine Probefläche „hermetisch“ umschlossen, so dass die eingefangenen (lebenden, verletzten oder toten) Tiere quantitativ abgesammelt werden können (Leerfang). Bei jeder Probenahme wurden drei Isolationsrechtecke räumlich und zeitlich parallel eingesetzt, so dass eine grobe Einschätzung der räumlichen Variabilität der Daten möglich ist.

Erfassungstermine Isolationsrechtecke – Delmetal: 09.08.2010, 13.8.2010, 14.08.2010, 21.8.2010, 22.08.2010; Bornhorster Wiesen: 09.08.2010, 12.8.2010.

2.3.2.2.3 Streifnetz- und Hand-Sichtfang

Beim Streifnetz- bzw. Hand-Sichtfang wurde eine 50 m² große Probefläche von 25 m Länge und 2 m Breite von zwei langsam nebeneinanderher gehenden Personen abgeschritten. Alle gesichteten und erreichbaren Tiere wurden mit dem Streifnetz oder mit der Hand eingefangen.

Der Sichtfang dient zur Erfassung der Arten und der Feststellung von Besiedlungsdichten insbesondere in hoher Vegetation vor dem Grasschnitt. Mit der Handaufsammlung werden unauffällige, am Boden lebende Arten wie Dornschröcken und solche Tiere erfasst, die bei Annäherung nicht wegspringen oder -fliegen, sondern sich in die unteren Vegetationsschichten zurückziehen.

Wegen des unscharfen Flächenbezugs sind die Ergebnisse dieser Erfassungsmethode nur

als „relative“ Besiedlungsdichten zum Vergleich von Flächen sinnvoll interpretierbar. In dieser Untersuchung wurde sie mit der Intention des Methodenvergleichs eingesetzt. Außerdem sollten Referenzdaten zu den methodisch entsprechenden Erfassungen der vorangegangenen Untersuchungen aus den Jahren 2006 – 2008 erhoben werden.

Erfassungstermine Streifnetz- und Hand-Sichtfang – Delmetal: 31.08.2009, 13.08.2010; Bornhorster Wiesen: 12.08.2010.

2.3.2.2.4 Heuballen-Analyse

Die Heuballen-Analyse hatte zum Ziel, den Einfluss des Mahdgut-Abtransportes auf die Population und die Schädigung von Individuen abzuschätzen. Dazu wurde eine Heupressballen (von 1,2 m Breite) wieder entrollt und auf einer Mattenlänge von einem Meter (entsprechend 72 m Ballenaufnahmestrecke bzw. 86 m² Ballenaufnahmefläche) auf Tiere durchsucht.

Probenahme Heuballen-Analyse – Delmetal: 02.09. 2009; Bornhorster Wiesen: keine Erfassung.

2.3.2.2.5 Determination der Arten und Bearbeitung der Individuen

Alle gefangenen Tiere wurden in Plastiktüten gesammelt und bis zur Lebenddetermination vor Ort in einer Kühlbox verwahrt. Soweit sie die Mahd überlebt hatten, wurden die Tiere nach der Determination und Bearbeitung am Fangort wieder freigelassen. Bei der Determination wurden die Körpergröße und eine eventuelle Schädigung von Individuen festgehalten, jeweils getrennt nach Männchen und Weibchen ausgewachsener Tieren sowie Larven. Die Messungen bzw. Zuordnung zu Größen- und Schädigungsklassen erfolgten in enger Anlehnung an Oppermann et al. (1999-2000).

Bei den Körpergrößen beziehen sich die Längenangaben auf die Distanz zwischen Kopfspitze und dem Hinterleibsende einschließlich etwaiger überstehender Körperteile (Cerci, Legebohrer, Flügelspitzen). Da bei den Langfühlerschrecken (Ensifera) die Fühler die Körperlänge oft um das Mehrfache überschreiten, wurden die Arten dieser Gruppe grundsätzlich eine Größenklasse höher eingestuft als die der gemessenen Körperlänge entsprechende Klasse.

Die Klassifizierung erfolgte in vier Kategorien:

Größenklasse I	< 10 mm
Größenklasse II	11 – 20 mm
Größenklasse III	21 – 30 mm
Größenklasse IV	> 30 mm

Bei der Zuordnung der Schädigung wurde zwischen den Kategorien „unverletzt“, „leicht verletzt“, „schwer verletzt“ und „tot“ unterschieden. Als leicht verletzt galten Individuen mit angerissenen Flügeln, verkürzten Antennen oder einzelnen abgetrennten Vorder- oder Mittelbeinen. Diese Tiere werden als noch reproduktionsfähig eingeschätzt. Als schwere Verletzung

gen wurden abgerissene Flügel oder Hinterbeine sowie Risse und Quetschungen des Körpers gewertet (Abbildung 10). Tiere mit derartigen Verletzungen sind in der Regel nicht mehr reproduktionsfähig.



Abbildung 10: Abgerissenen Beine und Quetschungen des Hinterleibs sind zwei typische Beispiele für die Schädigung von Heuschrecken durch Mähgeräte.

2.3.2.3 Aufbereitung und Analyse der Daten

2.3.2.3.1 Geschlecht der Arten

Für diesen Bericht wurden die Geschlechter der Arten jeweils zusammenfassend ausgewertet und dargestellt, d. h. es wird nicht zwischen Männchen und Weibchen unterschieden.

2.3.2.3.2 Schädigung

Entsprechend ihrer Bedeutung für den potenziellen Erhalt der Population werden die Schädigungsklassen „unverletzt“ und „leicht verletzt“ (reproduktionsfähige Tiere) sowie „schwer verletzt“ und „tot“ (nicht reproduktionsfähige Tiere) jeweils zusammengefasst ausgewertet.

2.3.2.3.3 Populationsdichten

Für die vergleichende Auswertung werden die Fangmengen der verschiedenen Erfassungsmethoden jeweils auf eine Bezugsfläche von 100 m² hochgerechnet (standardisiert). Die Fangmengen aus den (jeweils drei) Parallelproben der Isolationsrechtecke werden zusammengefasst behandelt.

	Bezugsfläche	Umrechnungsfaktor
(100 m ²)		
Fangschleuse:	52,5 m ² (15 x 3,5 m)	1,905
Isolationsrechtecke	18,0 m ² [3x (3 x 2 m)]	5,556
Streifnetz- / Hand-Sichtfang:	50,0 m ² (25 x 2 m)	2,0

2.3.3 Ergebnisse Maschineneinsatz -Schädigung der Heuschreckenfauna

Generell sei vorweggeschickt, dass sich die ermittelten Unterschiede in Fangmengen bzw. Dichten bei den Versuchen, die sich über mehrere Tage erstreckten, nicht durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse an den verschiedenen Fangtagen erklären lassen. Die Wetterbedingungen waren an allen Untersuchungstagen ähnlich und sehr günstig für die Erfassung von Heuschrecken (d. h. 22-25°C, schwach bedeckt bis sonnig, kaum Wind).

2.3.3.1 Schädigung von Heuschrecken-Individuen durch Mähgeräte und Mahdtechnik

Für die Untersuchung der individuellen Schädigung von Heuschrecken wurde am 1. September 2009 eine Voruntersuchung zur Erprobung der Erfassungsmethodik (Fangschleuse)

im Delmetal durchgeführt (eine Streifnetz-Referenzprobe vor der Mahd, eine Fangschleusenprobe nach der Mahd auf derselben Grünlandparzelle). Die Hauptuntersuchung mit der Fangschleuse erfolgte am 19. und 20. August 2010 auf fünf Mahdvarianten im Delmetal (Tabelle 1). Da der Versuch aus dem Jahr 2009 auswertungsmethodisch von dem des Folgejahres abweicht, sind dessen Ergebnisse nur mit Einschränkungen mit denen aus dem Jahr 2010 vergleichbar; sie werden deshalb im Folgenden nicht näher erörtert.

Insgesamt wurden im Verlauf dieser Versuchsserie 1.424 Individuen von adulten Tieren und Larven in sechs Arten gefangen (Chorthippus albomarginatus, Chorthippus dorsatus, Chorthippus montanus, Conocephalus dorsalis, Metrioptera roeselii, Stethophyma grossum). Davon wurden – undifferenziert nach der Mahdmethode – 363 Individuen (25,5%) durch die Mahd geschädigt (Kategorien „schwer verletzt“ oder „tot“). Tabelle 3 zeigt die Aufschlüsselung der Schädigungsraten aller Heuschrecken-Arten nach Mahdvarianten.

Tabelle 3: Schädigungsraten (prozentualer Anteil schwer verletzter und toter Tiere am jeweiligen Fang) aller Heuschrecken-Arten auf fünf Mahdvarianten.

Versuchsreihe im Delmetal am 19. u. 20.8.2010.

	Folie*	Parzelle	Prozent Individuen		Summe Individuen [N]
			unverletzt oder leicht verletzt	schwer verletzt oder tot	
A Trommelmäher (7cm)	nein	I	80,2	19,8	486
B Trommelmäher (7 cm) mit Mulcher (10 cm)	ja	V	78,0	22,0	218
C Mulcher (4cm)	ja	II	77,3	22,7	291
D Scheibenmäher (4cm)	nein	IV	67,3	32,7	226
E Scheibenmäher (4 cm) mit Aufbereiter	ja	III	61,1	38,9	203
A-E Alle Mahdvarianten	-	-	74,5	25,5	1.424

Es wird deutlich, dass der Einsatz des Trommelmähers, des Mulchers sowie die Kombination dieser beiden Geräte zu den niedrigsten Schädigungsraten der Artengemeinschaft führen. Sie liegen in einer ähnlichen Größenordnung zwischen 19,8% und 22,7%. Deutlich höhere Schädigungsraten bewirken die Mahd mit dem Scheibenmäher (32,7%) und die höchsten (38,9%) der Scheibenmäher in Kombination mit dem Aufbereiter.

Die unterschiedlichen Schnitt- bzw. Einstellhöhen der Geräte sind bei dieser Versuchsanordnung nicht zu bewerten, da sie nicht systematisch variiert wurden.

Auf Artebene werden größere, eher in den höheren Straten der Grasvegetation auftretende Arten stärker durch die Mahd geschädigt als kleinere Arten (Tabelle 4).

Tabelle 4 : Schädigungsraten (prozentualer Anteil schwer verletzter und toter Tiere am jeweiligen Fang) der vorkommenden Heuschrecken-Arten auf fünf Mahdvarianten. Versuchsreihe im Delmetal am 19. u. 20.8.2010.

	<i>Conocephalus dorsalis</i>	<i>Metrioptera roeselii</i>	<i>Stethophyma grossum</i>	<i>Chorthippus montanus</i>	<i>Chorthippus dorsatus</i>	<i>Chorthippus albomarginatus</i>	Larven
A Trommelmäher (7cm)	50,0	33,3	20,0	17,7	18,2	20,0	12,5
B Trommelmäher (7 cm) mit Mulcher (10 cm)	-	30,0	34,3	25,0	20,7	8,3	-
C Mulcher (4cm)	44,4	-	27,0	25,7	17,1	20,0	-
D Scheibenmäher (4cm)	40,0	33,3	36,2	40,5	32,9	16,7	-
E Scheibenmäher (4 cm) mit Aufbereiter	-	66,7	60,0	36,7	26,4	33,3	-
A-E Alle Varianten	46,7	36,8	35,0	27,4	21,3	16,7	5,6
Summe Individuen [N]	30	38	277	292	625	144	18

Ohne Berücksichtigung der Mahdmethode waren bei *Con. dorsalis* (46,7%), *M. roeselii* (36,8%) und *S. grossum* (35,0%) die höchsten Schädigungsraten zu verzeichnen (Kategorien „schwer verletzt“ oder „tot“). Die vergleichsweise hohe Rate bei *Con. dorsalis* hängt vermutlich mit der relativ trägen Bewegungsweise, in Verbindung mit den bevorzugten Aufenthaltsorten in höheren Abschnitten der Stängel von Gräsern zusammen. Die kleineren *Chorthippus*-Arten *C. montanus* (27,4%), *C. dorsatus* (21,3%) und *C. albomarginatus* (16,7%) wurden in geringerem Ausmaß durch die Mahd geschädigt. Die geringsten Schädigungsraten zeigten die Larven der Heuschrecken (5,6%).

Von der Art *Con. dorsalis* wurden insgesamt 30 Individuen gefangen, davon waren 14 Tiere (46,7%) geschädigt. Bei den Mahdvarianten „Trommelmäher“ (A), „Mulcher“ (C) und „Scheibenmäher“ (D) lagen die Schädigungsraten zwischen 40,0% und 50,0% auf ähnlichem Niveau. Diese Werte sind jedoch wegen der geringen Fangmenge von insgesamt nur 30 Individuen kaum aussagekräftig. Auf den anderen beiden Varianten (B, E) wurde die Art nicht gefangen.

Von *M. roeselii* wurden insgesamt 38 Individuen gefangen, davon waren 14 Tiere (36,8%) geschädigt. Bei der Variante „Scheibenmäher mit Aufbereiter“ (E) war die Schädigungsrate mit 66,7% am höchsten. Bei den Varianten „Trommelmäher“ (A), „Trommelmäher mit Mulcher“ (B) und „Scheibenmäher“ (D) war die Schädigung der Individuen mit 30,0% bis 33,3% deutlich geringer. Wie bei *Con. dorsalis* ist eine sichere Differenzierung der Schädigung hinsichtlich der Mahdvarianten wegen der geringen Fangmengen (insgesamt 38 Tiere) auch hier nicht möglich. Auf der Variante „Mulcher“ (C) wurde die Art nicht gefangen.

Von *S. grossum* wurden insgesamt 277 Individuen gefangen, davon 97 (35,0%) geschädigt. Die Gerätekombination „Scheibenmäher mit Aufbereiter“ (E) rief bei dieser Art zu den meisten Schädigungen hervor (60,0% der Individuen). Der alleinige Einsatz des Scheibenmähers

(D) führte zu einem deutlich geringeren Anteil geschädigter Individuen (36,2%), ähnlich hoch (34,3%) wie der Trommelmäher in Kombination mit dem Mulcher (B). Der Mulcher (C) bewirkte mit 27,0% eine geringere Schädigungsrate, am geringsten (20,0%) war sie beim Einsatz des Trommelmähers (A).

Von *C. montanus* wurden insgesamt 292 Individuen gefangen, davon waren 80 Tiere (27,4%) geschädigt. Diese Art wurde am stärksten durch den Scheibenmäher (D) geschädigt (40,5%), geringer (36,7%) durch den Scheibenmäher mit Aufbereiter (E). Bei den Varianten „Mulcher“ (C) und „Trommelmäher mit Mulcher“ (B) lagen die Schädigungsraten mit 25,7% bzw. 25,0% niedriger; die Variante „Trommelmäher“ (A) erzeugte die geringste Schädigungsrate (17,7%).

Von *C. dorsatus* wurden insgesamt 625 Individuen gefangen, davon 133 (21,3%) geschädigt. Ähnlich wie *C. montanus* wurde diese Art am stärksten (32,9% geschädigte Individuen) durch den Scheibenmäher (D) und in geringerem Ausmaß (26,4%) durch den Scheibenmäher mit Aufbereiter (E) in Mitleidenschaft gezogen. Bei allen anderen Mahdvarianten (A, B, C) lag die Schädigungsrate mit 17,1% bis 20,7% deutlich niedriger.

Von *C. albomarginatus* wurden insgesamt 144 Individuen gefangen, davon waren 24 Tiere (16,7%) geschädigt. Bei der Variante „Scheibenmäher mit Aufbereiter“ (E) wurde anscheinend der höchste Anteil an Individuen geschädigt (33,3%), jedoch ist dieser Wert nicht aussagekräftig, da er sich auf insgesamt nur drei gefangene Individuen bezieht. Die geringste Schädigungsrate (8,3%) wurde in der Variante „Trommelmäher mit Mulcher“ (B) festgestellt. Bei den übrigen Varianten lag die Schädigungsrate auf relativ einheitlichem Niveau zwischen 16,7% und 20%.

Von den Heuschrecken-Larven wurden insgesamt 18 Individuen gefangen, von denen nur ein Tier auf der Variante „Trommelmäher“ (A) geschädigt war (5,6%). Aufgrund dieser geringen Fangmengen ist für die Larven keine Aussage hinsichtlich der Schädigung möglich.

Bei der Differenzierung der Schädigungsraten nach den Mahdmethoden wird deutlich, dass diese in unterschiedlicher Weise mit der Mahd in Verbindung stehen, ohne dass dabei ein allgemeingültiges Muster erkennbar wird. Lediglich zwischen einzelnen Arten wie *M. roeselii* und *S. grossum* oder *C. montanus* und *C. dorsatus* zeigen sich gewisse Übereinstimmungen in der Beziehung zwischen Schädigungsrate und Mähgerät.

Populatikondynamik von Heuschrecken während der Mahd

Zur Einschätzung des Populationsgeschehens während der Mahd werden die Ergebnisse von Probenahmen während aufeinander folgender Arbeitsschritte der Mahd mit Isolationsrechtecken und Fangschleusenfängen sowie eine Heuballen-Analyse kombiniert betrachtet. Den Auswertungen liegen im Einzelnen folgende Erfassungen aus dem Delmetal zu Grunde:

- Populationsdichten vor der Mahd im ungestörten Zustand des Grünlandes. Fang mit Isolationsrechtecken im Jahr 2010 (je drei Parallelproben auf fünf Mahdvarianten, zusätz-

- lich eine Einzelprobe);
- Populationsdichten vor der Mahd sowie Schädigungsraten und Populationsdichten unmittelbar nach Mahd. Fang mit Fangschleusen im Jahr 2010 (je eine Probenahme auf fünf Mahdvarianten);
 - Populationsdichten nach der Mahd vor Abtransport des Grasschnittes. Fang mit Isolationsrechtecken im Jahr 2010 (je drei Parallelproben auf fünf Mahdvarianten im Mähgut (Schwad), drei Parallelproben auf einer Mahdvarianten in geräumtem Zwischenschwad-Streifen);
 - Populationsdichten nach der Mahd nach Abtransport des Grasschnittes. Fang mit Isolationsrechtecken; im Jahr 2010 (je drei Parallelproben auf fünf Mahdvarianten);
 - Heuballen-Analyse im Jahr 2009 (eine Probe).

Die Ergebnisse dieser Erfassungen sind in den Abbildungen 11 und 12 zusammenfassend dargestellt. Sie zeigen die stufenweisen Populationseinbußen vom ungestörten Ausgangszustand über die Mahd bis hin zum gemähten und abgeräumten Zustand in absoluten (Abbildung 11) und relativen Werten (Abbildung 12). Beide Grafiken beruhen auf denselben Daten. Während die absoluten Zahlen eine Vorstellung von der tatsächlichen Größenordnung des Populationsrückgangs während der Mahd vermitteln, wird in der relativen Betrachtungsweise insbesondere die Bedeutung der unterschiedlichen Mahdtechnik und der einzelnen Mahdschritte deutlich.

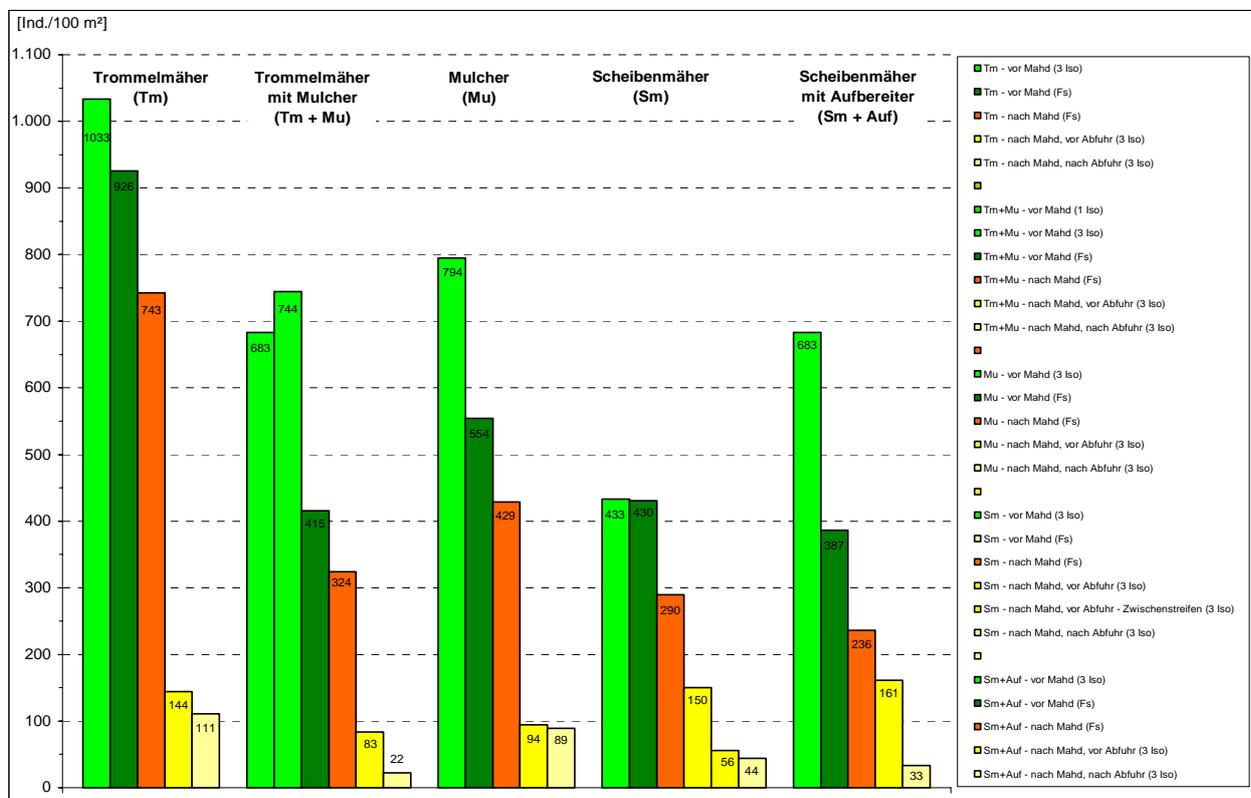


Abbildung 11 : Abnahme der Populationsdichte [Ind./100 m²] der Heuschrecken-Artengemeinschaft bei aufeinander folgenden Arbeitsschritten der Mahd. Iso = Isolationsrechteck, Fs = Fangschleuse.

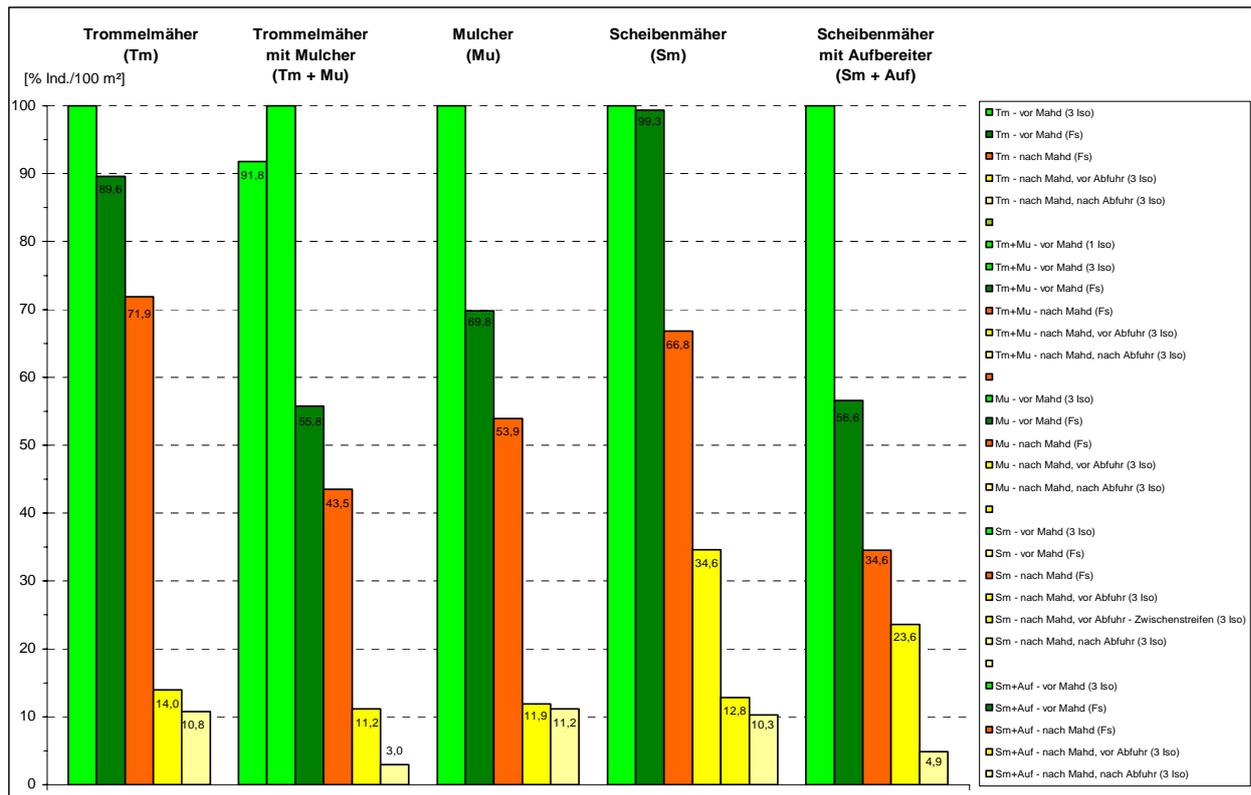


Abbildung 12: Prozentuale Abnahme der Populationsdichte [Ind./100 m²] der Heuschrecken-Artengemeinschaft bei aufeinander folgenden Arbeitsschritten der Mahd. 100% = ungestörte Ausgangssituation erfasst mit 3 Isolationsrechtecken. Iso = Isolationsrechteck, Fs = Fangschleuse.

Die Heuschrecken-Bestände erleiden durch die Mahd ausnahmslos hohe bis sehr hohe Verluste. Vor der Mahd waren die untersuchten Grünlandflächen im Delmetal mit Populationsdichten zwischen 433 und 1.033 Individuen pro 100 m² besiedelt, nach der Mahd und der Abfuhr des Grasschnittes lagen die Dichtewerte nur noch zwischen 22 und 111 Individuen pro 100 m² (Abbildung 3a).

Aus methodischer Sicht ist bemerkenswert, dass zwei Vergleichs-Probenahmen mit einem Isolationsrechteck [Tm+Mu vor Mahd (1 Iso)] gegenüber drei Isolationsrechtecken [Tm+Mu vor Mahd (3 Iso)] in der ungestörten Ausgangssituation des noch ungemähten Grünlandes sehr ähnliche Dichtewerte ergaben (hellgrüne Tm+Mu - Balken in Abbildung 11 und 12). Weitere Vergleichs-Erfassungen mit den Isolationsrechtecken, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, haben jedoch gezeigt, dass bei dieser relativ kleinflächigen Fangmethode das Ergebnis stark mit der Zahl der Stichproben schwankt. Bei nur einer Stichprobe sind die Fangmengen in sehr viel höherem Maße von der kleinräumigen Verteilungsvarianz der Arten beeinflusst als bei drei. Auch das Artenspektrum wird bei nur einer Stichprobe unvollständig erfasst als mit drei Stichproben.

Ein weiterer Vergleich bietet sich zwischen den systematisch durchgeführten Parallelfängen mit Isolationsrechtecken kurz vor der Mahd und Fangschleusen während der Mahd an (hell-

grüne versus dunkelgrüne Balken in Abbildung 11 und 12). Nur in einem Fall ergaben die beiden Erfassungsmethoden (nahezu) identische Ergebnisse, d. h. die Populationsdichte aus der Fangschleuse lag hierbei nur 0,7 Prozentpunkte unter der aus drei Isolationsrechtecken [Sm – vor der Mahd (3 Iso) versus Sm – vor der Mahd (Fs)]. In den übrigen Fällen lagen die Fangergebnisse aus den Fangschleusen leicht (10,4%) [Tm – vor der Mahd (3 Iso) versus Tm – vor der Mahd (Fs)] bis deutlich (zwischen 30,2% und 44,2%) [Tm+Mu – vor der Mahd (3 Iso) versus Tm+Mu – vor der Mahd (Fs) / Mu – vor der Mahd (3 Iso) versus Mu – vor der Mahd (Fs) / Sm+Auf – vor der Mahd (3 Iso) versus Sm+Auf – vor der Mahd (Fs)] unter denen der Isolationsrechtecke.

Die Differenz zwischen den beiden Fangmethoden ist insofern systematisch als die Fangschleusen nur ähnliche oder niedrigere, aber nie höhere Dichtewerte als die Isolationsrechtecke lieferten. Eine Erklärung hierfür ist das Fluchtverhalten der Heuschrecken bei der Mahd. Während beim Fang mit Isolationsrechtecken keine äußeren Störungen durch Maschineneinsatz auftreten, werden die Tiere beim Fang mit der Fangschleuse durch den heranannahenden Schlepper und die von ihm und dem Mähgerät ausgehenden Bodenvibrationen gewarnt und zur Flucht durch Wegspringen oder Auffliegen veranlasst. Dabei ist der Fluchteffekt beim Einsatz einfachen Mähgerätes, insbesondere beim Scheiben-, aber auch beim Trommelmäher, deutlich geringer als wenn weitere, die Bodenvibration verstärkende Gerätschaften (Mulcher, Aufbereiter) zum Einsatz kommen – sei es in Kombination mit dem Mähgerät oder alleine.

In der zeitlichen Abfolge der Mahd ist die Schädigung der Arten durch das Mähgerät der nächste populationsmindernde Faktor (orange Balken in Abbildung 3a und 3b). Wie in Abschnitt 4.1. beschrieben, führt im Hinblick auf das Mähgerät die Mahd mit dem Scheibenmäher - allein wie auch in Kombination mit dem Aufbereiter - zu den stärksten Einbußen der Artengemeinschaft. Im Gesamtkanon der Wirkungsfaktoren ist die physische Schädigung der Arten jedoch nur eine Größe unter anderen.

Ein bis zwei Tage nach der Mahd, bevor der Grasschnitt abtransportiert wird, fallen die Dichtewerte in allen Mahdvarianten auf Werte zwischen 11,2% und 34,4% der Ausgangsdichten in der ungestörten Situation ab (gelbe Balken in Abbildung 11 und 12). Dieser Effekt ist durch Abwanderung von Heuschrecken in die ungemähten Randstreifen der bearbeiteten Grünlandfläche zu erklären. Auffällig ist, dass der Abwanderungseffekt auf den mit dem Scheibenmäher bzw. dem Scheibenmäher mit Aufbereiter bearbeiteten Flächen - welche die höchsten individuellen Schädigungsraten aufweisen - viel geringer als auf den mit dem Trommelmäher bzw. dem Trommelmäher mit Mulcher oder dem Mulcher alleine gemähten Flächen ausfällt. Möglicherweise erzeugen die Scheibenmäher-Gerätschaften im Betrieb geringere Vibrationssignale, so dass weniger Tiere zur Flucht veranlasst werden. Denkbar wäre auch, dass der vom Scheibenmäher abgelegte Schwad eine Struktur besitzt, die attrak-

tivere Lebensbedingungen bietet als die vom Trommelmäher erzeugte. Insgesamt zeigen die Daten, dass die kleinräumige Migration eine erhebliche Rolle in der Populationsdynamik während der Mahd spielt.

Die Isolationsrechteck-Erfassungen ein bis zwei Tage nach der Mahd erfolgten im streifig abgelegten Mähgut (Schwad). Eine ergänzende Vergleichs-Probenahme in einem nicht mit Schwad bedecktem Zwischenstreifen [Sm – nach Mahd, vor Abfuhr (3 Iso) versus Sm – nach Mahd, vor Abfuhr – Zwischenstreifen (3 Iso)] zeigt, dass dieser Teilbereich weniger dicht besiedelt war, als der mit Schwad bedeckte [56 Ind./100 m² versus 150 Ind./100 m²]. Nach der Mahd verbliebene oder bereits zurück gewanderte Heuschrecken verteilen sich demnach ungleichmäßig, entsprechend der Anordnung des Schwads, auf der Grünlandfläche. Offensichtlich sind die Kleinstandorte auf dem bzw. im Schwad sowohl strukturell (erhöhte Aufenthaltsposition, Versteckmöglichkeiten) als mikroklimatisch attraktiver als die leer geräumten Zwischenbereiche.

Nach Abfuhr des Mähgutes ergibt sich hinsichtlich der Mahdvarianten kein einheitliches Bild (blassgelbe Balken in Abbildung 11 und 12). Auf drei Flächen [Tm – nach Mahd, nach Abfuhr (3 Iso) / Mu – nach Mahd, nach Abfuhr (3 Iso) / Sm – nach Mahd, nach Abfuhr (3 Iso)] war nur eine geringfügige Verminderung der Dichten festzustellen, d. h. es wurden hier weder Tiere in nennenswerter Anzahl ausgetragen noch wanderten weitere ab. Auf den beiden übrigen Flächen [Tm+Mu – nach Mahd, nach Abfuhr (3 Iso) / Sm+Auf – nach Mahd, nach Abfuhr (3 Iso)] war hingegen nach der Abfuhr des Mähgutes eine deutliche weitere Verminderung der Individuendichten zu beobachten.

Der größte Anteil dieses Rückganges dürfte auf eine weitere aktive Abwanderung von Individuen zurückzuführen sein, da sich nach dem Abtransport des Grasschnittes die strukturellen und mikroklimatischen Lebensbedingungen für die Heuschrecken auf ganzer Fläche noch einmal drastisch verschlechtern. Bestärkt wird diese Annahme durch die im Jahr 2009 stichprobenartig durchgeführte Heuballenanalyse. Sie ergab, dass allenfalls eine verschwindend geringe Anzahl von Tieren in Pressballen abgefahren wird. So wurden beim Durchsuchen zunächst gepressten, dann wieder aufgerollten Ballenmaterials, das von einer ca. 86 m² großen Mähfläche eingefahren worden war, nur ein lebendes Tier einer Sumpfschrecke (*S. grossum*) und keine einzige tote Heuschrecke gefunden.

2.3.4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der Schädigungsversuche an Heuschrecken

- Abhängig vom Mähgerät führen die mahdbedingten Verletzungen und Tötungen von Heuschrecken-Individuen auf dem Niveau der Artengemeinschaft zu Schädigungsraten zwischen 19,8% und 38,9%. Die höchsten Schädigungsraten erzeugte der Scheibenmäher mit angekoppeltem Aufbereiter (38,9%) sowie der Scheibenmäher alleine (32,7%). Beim Trommelmäher, mit oder ohne angehängtem Mulcher, und beim Mulcher lagen die entsprechenden Schädigungsraten zwischen 19,8% und 22,7% und damit deutlich niedriger. Diese Ergebnisse stimmen sowohl hinsichtlich der Effekte der Mähgeräte, als auch in der Größenordnung gut mit denen von Oppermann et. al. (1999-2000) überein.
- Auf Artebene werden die größeren, eher in den höheren Straten der Grasvegetation auftretende Arten *Metrioptera roeselii* und *Stethophyma grossum* in der Regel stärker durch die Mahd geschädigt als kleinere Arten. Auch dieser Befund stimmt mit den Aussagen von Oppermann et. al. überein. Darüber hinaus ist kaum ein allgemeingültiges Muster erkennbar. Lediglich zwischen einzelnen Artenpaaren wie *M. roeselii* und *S. grossum* oder *C. montanus* und *C. dorsatus* zeigen sich gewisse Übereinstimmungen in der Beziehung zwischen Schädigungsrate und Mähgerät.
- Die Heuschrecken-Bestände erleiden durch die Mahd ausnahmslos hohe bis sehr hohe Verluste. Vor der Mahd waren die untersuchten Grünlandflächen im Delmetal mit Populationsdichten zwischen 433 und 1.033 Individuen pro 100 m² besiedelt, nach der Mahd und der Abfuhr des Grasschnittes lagen die Dichtewerte nur noch zwischen 22 und 111 Individuen pro 100 m². Dabei ist die physische Schädigung nur eine Größere unter mehreren anderen im Populationsgeschehen. Insbesondere kommt dem Fluchverhalten der Tiere vor dem herannahenden Schlepper sowie der aktiven Abwanderung sowohl nach dem Mahdvorgang, als auch nach dem Abtransport des Mähgutes große Bedeutung für Populationseinbußen während und nach der Mahd zu. Die Abfuhr des Mähgutes und ein damit verbundener Abtransport von Tieren scheinen dagegen von untergeordneter Bedeutung zu sein. In diesem Punkt widersprechen die vorliegenden Ergebnisse den Aussagen von Oppermann et. al., die dem Abtransport eine bedeutendere Rolle beimessen als den Abwanderungsbewegungen der Arten.
- Übereinstimmend mit den Ergebnissen von Oppermann et. al. war wiederum das in dieser Untersuchung festgestellte kleinräumige Aufenthaltsverhalten der Heuschrecken nach der Mahd. Bevor das Mähgut abtransportiert wird, konzentrieren sich die Tiere auf bzw. im streifenförmig abgelegten Schwad. Für die Bevorzugung dieser Kleinstandorte sind vermutlich strukturelle und mikroklimatische Gründe entscheidend.

2.4 Begleitende Vegetationsuntersuchungen

2.4.1 Material und Methode

Die Geländeuntersuchungen erfolgten jeweils unmittelbar vor den durch die Projektleitung festgesetzten Ernteterminen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Beim Gebiet Bornhorster Huntewiesen verzögerte sich der Mahdtermin aufgrund technischer Probleme jedoch gegenüber der Planung um ca. zwei Wochen bis Anfang Juli. Aus diesem Grunde wurde für wichtige Arten dieser Grünlandbestände zusätzlich eine selektive phänologische Referenzaufnahme zum tatsächlichen Erntetermin durchgeführt. Im Untersuchungsgebiet Moorplacken wurde wegen des sehr spät liegenden Erntetermins (September) auf eine phänologische Erfassung verzichtet, weil zu diesem Zeitpunkt die Mehrzahl der Grünlandarten ihren reproduktiven Entwicklungszyklus bereits weitgehend abgeschlossen hat (zum geringen Teil noch Nachblüte).

Tabelle 5: Termine zur Erfassung der Bestandeszusammensetzung und des phänologischen Zustandes in den Untersuchungsgebieten

Gebiet	Untersuchungstermin
Mittleres Delmetal	8. Juni 2010
Bornhorster Huntewiesen	16. + 17. Juni 2010
Moorplacken	6. September 2010

Die phänologischen Erfassungen erfolgten nach der Aufnahmeskala von Dierschke (1989) für generative Merkmalsstufen (Phänostufen). Dabei wurde in jeder Untersuchungsfläche (Grünlandparzelle bzw. Nutzungseinheit) für ausgewählte Arten der mittlere phänologische Zustand notiert (selektive Aufnahme), bei Arten mit breiterer Streuung der Entwicklungsstadien ggf. die Spanne der phänologischen Stufen. Durch synoptische Zusammenführung der Daten für die Einzelarten in Phänospektren ergibt sich eine anschauliche Darstellung der zum Untersuchungszeitpunkt erreichten Phänophase der Vegetationsbestände (vgl. Dierschke 1995). Anhand der für die jeweiligen Phänophasen kennzeichnenden Phänostufen bestimmter Schlüsselarten kann der phänologische Erntezeitpunkt definiert werden.

Zur Kennzeichnung der Bestandeszusammensetzung wurden die vorrangig bestandsbildenden (dominanten) Arten und eine Auswahl weiterer häufig auftretender Arten mit ihren Mengenanteilen erfasst (selektive Aufnahme). Die Mengenanteile je Bestand (Parzelle bzw. Nutzungseinheit) wurden als Deckungsgrade entsprechend der LONDO-Skala in Prozentstufen

geschätzt. Zusätzlich wurden für die Artengruppen der Gräser (Poaceae), Kräuter sowie der Seggen (Cyperaceae) und Binsen summarische Mengenanteile erfasst.

Auf der Basis der selektiven Vegetationsaufnahmen wurde unter Verwendung der artspezifischen Futterwertzahlen nach Dierschke & Briemle (2002) der futterwirtschaftliche Wert der beernteten Bestände berechnet (gewichtete Futterwerte unter Berücksichtigung der Deckungsanteile dominanter und häufiger Arten).

2.4.2 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung

2.4.2.1 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Delmetal

2.4.2.1.1 Bestandeszusammensetzung

Die bereits seit mehreren Jahren zweischürig genutzten Grünlandbestände von BUND-Wiese, Buckelwiese, Wildschweinwiese und Hammerwiese sind insgesamt durch sehr hohe Mengenanteile des Wolligen Honiggrases geprägt (Typus Honiggras-Grünland; siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** u.). Innerhalb und zwischen den einzelnen Parzellen besteht jedoch eine zum Teil große Heterogenität. BUND-Wiese und Wildschweinwiese weisen ausgesprochen hohe Krautanteile bei allerdings sehr unterschiedlichen Artenzahlen von Kräutern auf. Hierbei sind die Bestände der BUND-Wiese sehr artenreich mit hohen Anteilen des Spitz-Wegerichs, während der hohe Krautanteil der Wildschweinwiese weitgehend auf dem partiell dominanten Auftreten des Kriechenden Hahnenfußes beruht.

Auch die Anteile von Seggen bzw. Sauergräsern und Binsen variieren innerhalb der Parzellen kleinräumig, so dass innerhalb aller Parzellen sowohl seggen- bzw. binsenarme mit seggen- bzw. binsenreicheren Partien (v.a. Geländerücken) abwechseln. Die Mengenanteile liegen bezogen auf die Einzelparzellen (Nutzungseinheiten) im unteren bis mittleren Bereich. Die höchsten Gesamtanteile weist hierbei die Buckelwiese auf, die partiell durch dichte Bestände von Kamm-Segge, Flatter-Binse und Spitzblütiger Binse geprägt ist.

Bei insgesamt großer Heterogenität hinsichtlich der Dominanzstruktur sind die vormals (bis 2008) nur einschürig genutzten Bestände von Brennesselwiese, Neuer Wiese und Dorfweise vor allem durch großflächiges Vorherrschen von Seggen- und Binsen-Beständen gekennzeichnet (vgl. Hellberg 2008). Die Brennesselwiese ist mit einem bracheähnlich strukturierten Hochgras- und Stauden-Bestand die am wenigsten grünlandtypische Parzelle des Untersuchungsgebietes. Im Unterwuchs von Rohrglanzgras-Beständen (Rohrglanzgras-Fazies) sind teils hohe Anteile von Mädesüß, partiell aber auch von Brennessel vorhanden, wodurch der hohe Krautanteil der Bestände bedingt ist (siehe 6). In Teilen der Brennesselwiese dominieren Schlankseggen-Bestände.

Die Dorfweise ist durch ein wechselvolles Mosaik von Dominanzbeständen aus Schlank- und

Kamm-Segge, Flatter-Binse und Spitzblütiger Binse, Rohglanzgras-Beständen sowie schlankseggenreichen und seggenarmen Flutrasen-Ausprägungen geprägt. Im Gegensatz zur Neuen Wiese ist der Krautanteil hier überwiegend gering, und zwar insbesondere in den Rohglanzgras- und Schlankseggen-reichen Partien. Die Neue Wiese weist in Hanglage Übergänge zum mesophilen Grünland und daher geringere Gesamtanteile von Seggen- und Binsen auf als die Dorfwiese, ist aber u.a. aufgrund des zahlreicheren Vorkommens mesophiler Grünlandarten krautreicher (u.a. Wiesen-Schaumkraut, Wiesen-Sauerampfer).

Die Futterwerte der als typisches Extensivgrünland zu bezeichnenden Bestände im mittleren Delmetal liegen im unteren bis mittleren Bereich. Die geringsten Wertigkeiten haben die seggen- und binsenreichsten Bestände der Dorfwiese und der Neuen Wiese. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der Einzelparzellen ergibt sich für die Untersuchungsflächen insgesamt ein mittlerer Futterwert im Grenzbereich von geringer und mittlerer Wertigkeit (FWZ 4,4).

Tabelle 6 : Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände im mittleren Delmetal

Angaben in Prozent

Parzelle	Summe Gräser	Summe Kräuter	Summe Sauergräser u. Binsen	Wolliges Honiggras	Kamm- / Schlank-Segge	Flatter- / Spitzblüt. Binse	Rohrglanzgras	Mädesüß	Kriechender Hahnenfuß	Gem. Ruchgras	Spitz-Wegerich
BUND-Wiese	90	63	26	70	23	10			18	23	25
Buckelwiese	85	25	35	70	20	15			15	5	
Wildschweiwiese	100	45	15	85	12				35	10	
Hammerwiese	95	29	25	76	17	11				18	11
Brennesselwiese	85	50	45		40		80	40			
Neue Wiese	65	35	50	5	35	25		10			
Dorfwiese	59	24	75	7	67	21	13		3	4	

Tabelle 7 : Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände im mittleren Delmetal

*: sehr krautreicher Bestand

Parzelle	Honiggras-Grünland	Rohrglanzgras-Fazies	Seggen- / Binsen-Fazies	Futterwertzahl	Futterwert
BUND-Wiese*	x			4,6	mittel
Buckelwiese	x		(x)	4,5	gering - mittel
Wildschweiwiese*	x			4,6	mittel
Hammerwiese	x			4,8	mittel
Brennesselwiese*		x	(x)	4,7	mittel
Neue Wiese			x	4,0	gering - mittel
Dorfwiese			x	4,1	gering - mittel

2.4.2.1.2 Phänologie

Der phänologische Zustand der Grünlandbestände im Delmetal unmittelbar vor dem ersten Mahdtermin ist in Tabelle 8 zusammenfassend als Phänogramm dargestellt. Das erreichte Entwicklungsstadium entspricht nach dem phänologischen Kalender der weiter fortgeschrittenen Phänophase 5 (Vollfrühling; vgl. Rosenthal 1992) und ist gekennzeichnet durch überlagernde Haupt-Blühphasen von Scharfem und Kriechendem Hahnenfuß, Kriechendem Günsel und Kuckucks-Lichtnelke sowie durch die beginnenden bzw. unmittelbar bevorstehenden Blühphasen der Rispengräser (*Poa pratensis*, *Poa trivialis*). Das in vielen Beständen dominante Wollige Honiggras hat zu diesem Zeitpunkt das Stadium der Blütenstandsentfaltung erreicht. Zu beachten ist, dass teilweise bestehende, standörtlich bedingte Differenzen im Entwicklungszustand verschiedener Teilflächen in den dargestellten Spannbreiten der Phänostufen im Phänogramm nur bedingt zum Ausdruck kommen.

Tabelle 8 : : Synoptisches Phänogramm der Vegetationsbestände im mittleren Delmetal zum ersten Mahdtermin

	ohne Blütenstand / Blütenknospen	Blütenstand / Knospen erkennbar	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet / Knospen stark angeschwollen	Blütenstand entfaltet / kurz vor der Blüte	erste Blüten stäubend / Blühbeginn	bis 25% erblüht	bis 50% erblüht	Vollblüte	abblühend	völlig verblüht	fruchtend / Samenreife	Ausstreuen der Samen (Ausbreitung)	Phänostufe	Bedeutung
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Mittel	
<i>Agrostis stolonifera</i>	■												0	ohne erkennbaren Blütenstand bzw. keine fertilen Pflanzen
<i>Agrostis tenuis</i>	■												0	ohne erkennbaren Blütenstand bzw. keine fertilen Pflanzen
<i>Urtica dioica</i>	■												0	ohne erkennbaren Blütenstand bzw. keine fertilen Pflanzen
<i>Filipendula ulmaria</i>	■	■											0-1	teilweise beginnende Blütenstandsentwicklung
<i>Senecio aquaticus</i>	■	■											0-1	teilweise beginnende Blütenstandsentwicklung
<i>Juncus</i> spp.		■	■										1	Blütenstand (ein-) geschlossen, aber erkennbar
<i>Phalaris arundinacea</i>		■	■	■									1 (-2)	Blütenstand erkennbar, teils sichtbar
<i>Calamagrostis canescens</i>			■	■									2	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet
<i>Festuca rubra</i>			■	■	■								2-3	beginnende Blütenstandsentfaltung
<i>Holcus lanatus</i>			■	■	■								2-3	beginnende Blütenstandsentfaltung
<i>Poa trivialis</i>			■	■	■	■							(2-) 3	Blütenstandsentfaltung
<i>Poa pratensis</i>					■	■	■	■					4-5	Blühbeginn
<i>Ranunculus repens</i>						■	■	■	■				6-7	Vollblüte (Beginn)
<i>Scirpus sylvaticus</i>								■	■				7	Vollblüte
<i>Lychnis flos-cuculi</i>								■	■				7+	Vollblüte (fortgeschritten)
<i>Ajuga reptans</i>								■	■				7+	Vollblüte (fortgeschritten)
<i>Ranunculus acris</i>								■	■				7+	Vollblüte (fortgeschritten)
<i>Cardamine pratensis</i>									■	■			8	abblühend
<i>Anthoxanthum odoratum</i>								■	■	■			8 (-9)	abblühend bis abgeblüht
<i>Rumex acetosa</i>									■	■			8-9	abblühend bis abgeblüht
<i>Alopecurus pratensis</i>									■	■			(8-) 9	weitgehend verblüht
<i>Carex nigra</i> / <i>C. hirta</i>									■	■	■		8-10	abblühend bis fruchtend
<i>Carex disticha</i>									■	■	■		9-10	verblüht bis fruchtend
<i>Carex gracilis</i>										■	■		10	fruchtend
<i>Taraxacum officinale</i>												■	11	Ausbreitungsstadium
<i>Plantago lanceolata</i>				■	■	■	■	■	■	■			3-8	uneinheitliche Entwicklung (Blühbeginn bis abblühend)

2.4.2.2 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Bornhorster Huntewiesen

2.4.2.2.1 Bestandeszusammensetzung

Die Grünlandbestände der Bornhorster Huntewiesen sind überwiegend durch sehr hohe Mengenanteile von Nässezeigern geprägt, unter denen insbesondere die Schlank-Segge vielfach faziesbildend mit Deckungsanteilen von über 50% hervortritt (siehe Tabelle 9). Vegetationskundlich stehen diese schlankseggendominierten Ausprägungen zum Teil den Flutrasen-Gesellschaften nahe, zum Teil handelt es sich um Faziesbildungen innerhalb ärmerer Feuchtwiesen-Gesellschaften (Hundsstraußgras-Ges., siehe 9). Ebenfalls faziesbildend kommt in einigen Flutrasen-Beständen das Rohrglanzgras vor, das bezogen auf die Gesamtfläche der Einzelparzellen aber höchstens mittlere Deckungsanteile aufweist.

Tabelle 9 : Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände in den Bornhorster Huntewiesen

Angaben in Prozent

Flurstück- / Parzelle-Nr.	Summe Gräser	Summe Kräuter	Summe Sauer- gräser u. Binsen	Schlank- Segge	Hunds- Strauß- gras	Rohr- glanzgras	Flecht- Strauß- gras	Wiesen- Fuchs- schwanz	Rasen- schmiele	Wiesen- Sauer- ampfer
147, 148	60	15	90	90	10	20	30	0,1	5	1
149	70	7	75	70	20	20	20	0,5	30	2
150	90	10	40	40	15	3	30	2	35	
151	30	10	95	93	20	0,1	2		15	2
154	100	20	30	20	95			0,5	1	0,1
155	90	25	35	30	90				2	2
188	99	23	25	25	0,5	3	1	0,5	85	20
194	70	30	70	15	10	15		8	35	7
195	85	30	60	50	15	20		30	20	10
196	90	20	50	40	10	35	20	40	20	5
202/1	80	20	80	80	60	10	2	2	15	2
220/2	75	12	85	85	60	15	2	10	15	2
463/160	80	15	65	50	10		15	5	40	5
464/158	60	35	60	60	15			0,5	30	10
465/156	40	15	75	75		10	1	1	25	5
467/145	70	10	90	90	15	25	35	0,5	10	1
468/197	70	15	70	70	15	30	20	10	30	3
469/199	60	15	70	70	5	20	30	2	20	2
477/173	94	16	11	10		4	10	0,5	81	14

Zum Teil erreichen in weniger nassen Geländelagen (Geländerücken) die Rasenschmiele und seltener der Wiesen-Fuchsschwanz höhere Deckungsanteile. Einzelne insgesamt trockenere Parzellen sind großflächig von Dominanzbeständen der Rasenschmiele geprägt, zum Teil in Verbindung mit auffallend hohen Anteilen von Wiesen-Sauerampfer.

Tabelle 10 : Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände der Bornhorster Huntewiesen

Fl.-stück-Nr.	Fuchsschwanz-Grünland	Rasenschmielen-Grünland	Hundst raufgras-Ges.	Rohrglanzgras-Flutrasen-Fazies	Seggen-Fazies	Futterwertzahl	Futterwert
147, 148				x	x	3,1	gering - mittel
149				x	x	3,1	gering - mittel
150		x				3,0	sehr gering - gering
151			x		x	2,3	sehr gering - gering
154			x			3,4	gering - mittel
155			x		x	3,4	gering - mittel
188		x				2,9	sehr gering - gering
194*		x				3,4	gering - mittel
195*	x				x	4,0	gering - mittel
196	x				x	4,7	mittel
202/1			x		x	2,9	sehr gering - gering
220/2			x		x	3,2	gering - mittel
463/160		x			x	2,8	sehr gering - gering
464/158*		x			x	2,8	sehr gering - gering
465/156					x	2,7	sehr gering - gering
467/145				x	x	3,2	gering - mittel
468/197				x	x	3,5	gering - mittel
469/199				x	x	2,9	sehr gering - gering
477/173		x				3,1	gering - mittel

*: krautreicher Bestand

Die Krautanteile liegen überwiegend im unteren, nur selten im mittleren Bereich. Neben dem bereits genannten Wiesen-Sauerampfer sind das häufige Sumpf-Labkraut sowie partiell Mädesüß und Sumpfdotterblume die am zahlreichsten vorkommenden krautigen Pflanzen.

Die Futterwerte der Grünlandbestände liegen aufgrund des hohen Mengenanteils von Nässezeigern (insbesondere Seggen) und anderen geringwertigen (teils giftigen) Futterpflanzen zu etwa gleichen Teilen im sehr niedrigen bis niedrigen und im niedrigen bis mittleren Bereich, nur ein Bestand (Wiesenfuchsschwanz-Grünland, Flurstück 196) erreicht eine mittlere Wertigkeit (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 10). Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der Einzelparzellen ergibt sich für die Untersuchungsflächen insgesamt ein Futterwert im geringen bis mittleren Bereich (FWZ 3,1).

2.4.2.2.2 Phänologie

Das phänologische Entwicklungsstadium der Grünlandbestände unmittelbar vor dem geplanten ersten Mahdtermin ist nach dem phänologischen Kalender (vgl. Rosenthal 1992) der frühsommerlichen Phänophase 6 zuzuordnen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Blühhöhepunkte von Kuckucks-Lichtnelke, Scharfem und Kriechendem Hahnenfuß sind bereits überschritten und die Blüte des Wasser-Greiskrautes hat begonnen. Die Blüte des Gemeinen Rispengrases hat bereits begonnen, beim Honiggras werden die Blütenrispen entfaltet.

Der um ca. zwei Wochen aufgeschobene tatsächliche Mahdtermin liegt phänologisch bereits in der hochsommerlichen Phänophase 7-8, in der viele Arten des Wirtschaftsgrünlandes ihren generativen Zyklus bereits weitgehend durchlaufen haben. Das zwei Wochen zuvor noch nicht aufgeblühte Honiggras zu diesem Zeitpunkt bereits völlig abgeblüht. Zur phänologischen Kennzeichnung dieses Termins kann die Vollblüte von Rasenschmiele (beginnend) und Rohrglanzgras (Höhepunkt bereits überschritten) herangezogen werden.

Tabelle 11 : Synoptisches Phänogramm der Vegetationsbestände in den Bornhorster Huntewiesen

X: zum tatsächlichen Mahdtermin ermittelter Referenzzustand (Ref)

	ohne Blütenstand / Blütenknospen	Blütenstand / Knospen erkennbar	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet / Knospen stark angeschwollen	Blütenstand entfaltet / kurz vor der Blüte	erste Blüten stäubend / Blühbeginn	bis 25%erblüht	bis 50%erblüht	Vollblüte	abblühend	völlig verblüht	fruchtend / Samenreife	Ausstreuen der Samen (Ausbreitung)	Phänostufe	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Mittel	Bedeutung (Referenzzustand am Mahdtermin 29.6.-2.7.2010)
<i>Caltha palustris</i>	■												0	ohne erkennbaren Blütenstand bzw. keine fertilen Pflanzen
<i>Lysimachia vulgaris</i>		■											1	Blütenknospen erkennbar
<i>Filipendula ulmaria</i>		■	■										1 (-2)	Blütenknospen erkennbar, teil Knospen angeschwollen
<i>Agrostis stolonifera</i>		■	■										1-2	Blütenstand sichtbar, teils entfaltet
<i>Juncus effusus</i>		■	■										1-2	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet
<i>Agrostis canina</i>		■	■						X	X			2	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet (Ref: 8-9 / abblühend bis abgeblüht)
<i>Poa palustris</i>		■	■										2	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet
<i>Deschampsia cespitosa</i>							X	X					2 (-3)	beginnende Blütenstandsentsfaltung (Ref: 6-7 / Vollblüte, Beginn)
<i>Calamagrostis canescens</i>										X	X		2-3	Blütenstandsentsfaltung (Ref: 9-10 / verblüht bis fruchtend)
<i>Holcus lanatus</i>										X			2-3	Blütenstandsentsfaltung (Ref: 9 / völlig verblüht)
<i>Phalaris arundinacea</i>								X					2-3(4)	beginnende Blütenstandsentsfaltung, vereinzelt Blühbeginn (Ref: 7+ / Vollblüte, fortgeschr.)
<i>Festuca rubra</i>													3	Blütenstand entfaltet
<i>Galium palustre</i>									X				3-5	unmittelbar bevorstehende bis begonnene Blüte (Ref: 8 / abblühend)
<i>Glyceria fluitans</i>													3-5	Blütenstand entfaltet bis begonnene Blüte
<i>Poa trivialis</i>													3-5 (6)	uneinheitliche Entwicklung (Blütenstandsentsfaltung bis Blüte begonnen)
<i>Festuca pratensis</i>													3-7	uneinheitliche Entwicklung (Blütenstandsentsfaltung bis Vollblüte)
Senecio aquaticus													5-7	Blühbeginn bis Vollblüte
Eleocharis palustris													7	Vollblüte
Lychnis flos-cuculi													7+	Vollblüte (fortgeschritten)
Ranunculus acris													7+	Vollblüte (fortgeschritten)
Ranunculus repens													7+	Vollblüte (fortgeschritten)
<i>Rumex acetosa</i>											X	X	9	völlig verblüht (Ref: 10-11 / fruchtend bis ausstreudend)
<i>Alopecurus pratensis</i>													9 (-10)	verblüht, teils fruchtend
<i>Anthoxanthum odoratum</i>													9-10	verblüht bis fruchtend
<i>Carex disticha</i>													9-10	verblüht bis fruchtend
<i>Carex gracilis</i> / <i>C. vesicaria</i>													10	fruchtend
<i>Carex nigra</i>													10	fruchtend

2.4.2.3 Ergebnisse Vegetationsuntersuchung Moorplacken

2.4.2.3.1 Bestandeszusammensetzung

Das Hochmoorgrünland in den Moorplacken ist geprägt durch Dominanz typische Gräser nährstoffärmerer und wechselfeuchter Grünlandausprägungen. Am stärksten tritt hierbei die Rasenschmiele hervor. Hohe Mengenanteile erreichen zum Teil auch Wolliges Honiggras, Rot-Schwingel und Rotes Straußgras, die aufgrund des wechselhaften Bodenreliefs (Torfbänke) vielfach Vegetationsmosaik mit den Rasenschmielen-Beständen bilden.

Der Deckungsanteil von Sauergräsern und Binsen ist mit Ausnahme einzelner Parzellen relativ gering. Flurstück 906 ist innerhalb tiefer abgetorfte staunasser Bereiche durch Dominanzbestände der Flatter-Binse geprägt. Einzige Fläche mit einem mittleren Gesamtanteil von Seggen (hier: Schlank-Segge) ist Flurstück 907.

Die Deckungsanteile von Kräutern differieren zwischen den einzelnen Flurstücken recht stark. Am häufigsten kommt der Wiesen-Sauerampfer mit höheren Anteilen vor, weniger häufig der Kriechende Hahnenfuß. In Flurstück 907 ist der sehr hohe Anteil von Spitz-Wegerich auffallend (50%). Partiiell treten auch Kräuter ruderaler Standorte wie Gundermann und Brennnessel vermehrt in Erscheinung (Parzellen 904 u. 906).

Die Futterwerte der Grünlandbestände bewegen sich im niedrigen bis mittleren Bereich, nur jeweils einzelne Flurstücke liegen im sehr niedrigen bis niedrigen Bereich (Flurst. 901) oder an der unteren Schwelle des mittleren Bereichs (Flurst. 907). Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der untersuchten Flurstücke liegt der mittlere Futterwert im Untersuchungsgebiet auf geringem bis mittlerem Niveau (FWZ 3,9).

Tabelle 12 : Deckungsanteile bestandsbildender und häufiger Arten der Grünlandbestände in den Moorplacken

Angaben in Prozent

Flurstück- / Parzelle-Nr.	Summe Gräser	Summe Kräuter	Summe Sauergräser u. Binsen	Rasen- schmiele	Wolliges Honiggras	Rot- Schwingel	Rotes Strauß- gras	Flatter- Binse	Schlank- Segge	Wiesen- Sauer- ampfer	Kriechen- der Hah- nenfuß	Spitz- Wegerich
901	95	12	15	80	2	15	2	0,5	3	12		
902/912	99	12	20	65	15	45	20	3	5	10		
903	90	30	20	70	50	15	35	20	2	30	0,5	
904	85	70	0,5	15	60	0,5	15	0,5	0,5	20	30	
905	98	10	15	65	15	15	35	15	0,5	7	0,5	0,5
906	95	45	65	10	40	30	40	60		25	15	
907	90	50	30	60	1	50	0,5	0,5	30	0,5	1	50

Tabelle 13 : Typisierung und Futterwert der Grünlandbestände in den Moorplacken

*: sehr hoher Krautanteil

Fl.-stück-Nr.	Rotschwügel-Rotstraußgras-Grünland	Rotschwügel-Rasenschnielen-Grünland	Rotstraußgras-Rasenschnielen-Grünland	Rasenschnielen-Grünland	Honiggras-Grünland	Futterwertzahl	Futterwert
901				x		3,0	sehr gering - gering
902/912		x				4,1	gering - mittel
903			x			4,0	gering - mittel
904*					x	4,2	gering - mittel
905			x			3,7	gering - mittel
906*	x					4,1	gering - mittel
907*		x				4,6	mittel

2.5 Biogasertrag

2.5.1 Biogasanlage

Die Biogasausbeuten wurden mit einer Bioferm - Trockenfermentationsanlage von 50 KW elektrischer Leistung ermittelt. Es handelt sich um eine 2 Fermenteranlage. Ein Fermenter hat ein Volumen von $17 \times 4 \times 6 \text{ m} = 408 \text{ m}^3$.



Abbildung 13 : Trockenfermentationsanlage auf dem BUND-Hof Wendbüdel

Die Verweildauer des Substrates betrug 60 Tage, da der Fermenter alle 3 Wochen gewechselt wurde, die Neufracht in etwa einem Drittel des Gesamtsubstrates entsprach und ca. 2/3 des Altmaterials wieder dem Fermenter zugeführt wurde. Die Tage des Fermenterwechsels (3) werden wegen offenem Fermenter und anschließender geringer Gasausbeute bei der Verweilzeit in Abzug gebracht ($21 \times 3 = 63 - 3 = 60$ Tage).

Die gesamte eingebrachte Substratmenge pro Fermenterwechsel beträgt 36 t oTS. Um die

Höchstleistung der Anlage zu erreichen, sind in etwa 12 t (1/3 der Gesamtfüllmenge) organische Trockensubstanz als Neuzusatz nötig. Es wurden bei dem untersuchten sperrigen Naturschutzsubstrat ca. 60 Rundballen von 1,20 m Durchmesser (durchschnittlich 200 kg oTs) pro Charge aufgelöst und eingebracht. Da das Material besonders voluminös ist, konnte die von Bioferm vorgeschriebene Einfüllhöhe von maximal 3 m nicht eingehalten werden, da es unmöglich war 12 t oTS Neusubstrat pro Charge unterzubringen ohne das System der Drittelung aufzugeben. Die Einfüllhöhe betrug mindestens 3,5 m (bei 4 m Raumhöhe), was beim Einfüllen und beim Perkolieren (Feuchte und Wärmezufuhr) zu höheren Anstrengungen führte. Der pH-Wert des Perkolates betrug im Mittel 7,6

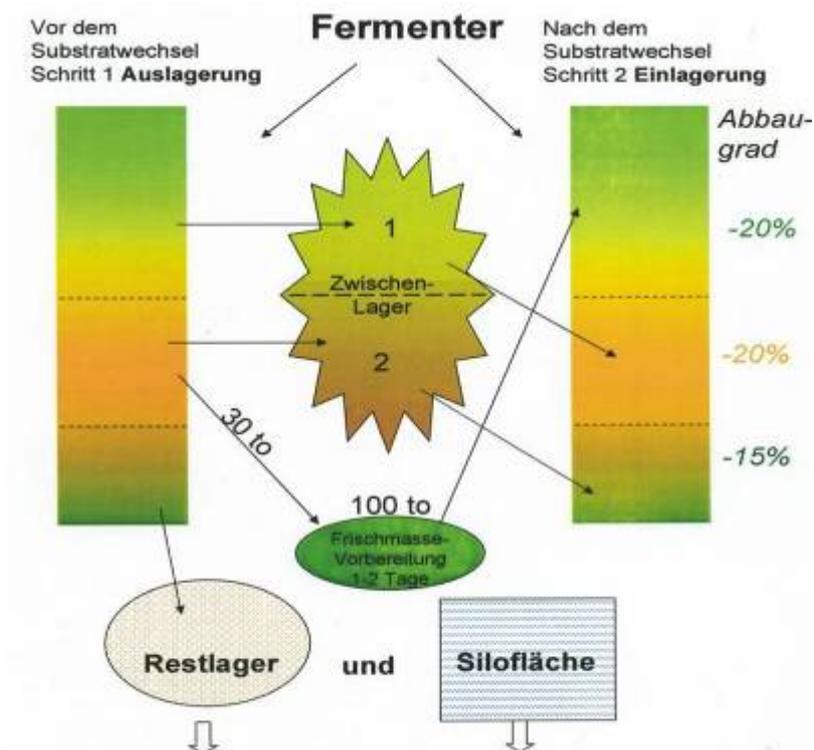


Abbildung 14 : Beschickungsverfahren einer Bioferm- Trockenfermentationsanlage (Bioferm 2004)

2.5.2 Ermittlung der organischen Trockensubstanz / Charge

Die neu einzubringende Charge wurde mittels einer hofeeigenen Fahrzeugwaage bzw. einer Wiegeeinrichtung am Radlader (INS Gabelstaplerwaage TC 2000 - Toleranzbereich +/- 2,5 kg bei 1000kg Leistung) gewogen.

Von der zu untersuchenden Charge wurde eine repräsentative Probe gezogen, d.h. vom vorbereiteten Substrat-Haufen, bzw. aus mehreren Ballen an mehreren Stellen Anteile entnommen.

Aus dieser Mischprobe wurde mindestens dreimal eine Einzelbestimmung durchgeführt, d.h. wieder repräsentative Anteile entnommen.

Entsprechend der Anzahl der Proben wurden dauerhaft beschriftete, ausgeglühte und getrocknete Porzellanschälchen aus einem Exsikkator (NOVUS 200 mm) entnommen und leer gewogen (Sartorius Präzisionswaage, Modell VI-3MG).

Genügend Probe wurde in die Schälchen gegeben (mit Hilfe einer Schere "schälchengerecht" klein geschnitten) und Schale + Probe noch einmal gewogen.

Die Trocknung erfolgt bei 105°C im Trockenschrank (Memmert UNB 200) bis zur Gewichtskonstanz (erfahrungsgemäß mind. 7 Stunden).

Nach Abkühlung im Exsikkator wurde das Schälchen inkl. der Trockensubstanz (TS) ausgewogen.

Der absolute TS-Wert pro Probe in g wurde berechnet und daraus die Trockensubstanz in Prozent (TS%) bestimmt, Die Proben wurden gemittelt und über die TS% wurde die Trockensubstanz der Charge hochgerechnet. (siehe Tabelle 14)

Im nächsten Schritt erfolgte die Bestimmung der organischen Trockensubstanz (oTS) über die Veraschung der Probe im Muffelofen.

Das Schälchen mit der TS (bereits ausgewogen) wird in einen Muffelofen (Nabertherm L5/11/P320) gestellt, in ca. 1/2 Stunde auf 550°C aufgeheizt und mind. 1 Stunde bei 550°C belassen.

Die gesamte organische Substanz der Probe verbrannte vollständig, zurück blieb der mineralische Anteil (Asche) der Probe.

Nach Abkühlung im Exsikkator wurden die Schälchen inkl. der Asche ausgewogen. (Die Differenz von Asche zur TS ist die oTS)

Der absolute Asche-Wert in g wurde pro Probe berechnet und daraus oTS% bestimmt, des weiteren wurden aus dem Mittelwert der einzelnen Proben die oTS in t der Charge berechnet.

Tabelle 14 : Tabellarische Auflistung der Bestimmung der organischen Trockensubstanz (oTS)

einer Charge

Schale	Schale	Schale u.	(feuchte)	Schale	TS	TS	Schale	Asche	oTS
Nr.	leer	Einwaage	Einwaage	u. TS			u. Asche	(anorg.)	
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]	[%]
13	36,874	38,077	1,203	37,687	0,813	67,58	36,931	0,057	92,99
14	36,610	37,976	1,366	37,547	0,937	68,59	36,669	0,059	93,70
15	37,265	38,413	1,148	38,045	0,780	67,94	37,324	0,059	92,44

Probe-Datum	Herkunft	[TS in %]		TS in t	[oTS in %]		oTS in t
		Einzelw.	ø		Einzelw.	ø	
07.12.2009	Input F1 09.12.09	67,58			92,99		
	18,5 t (60B) Silage 2.						
	Schnitt	68,59			93,70		
	Moorplacken	67,94	68,0	12,58	92,44	93,0	11,70

Um die Feuchte (TS) und die Temperatur von Rundballen direkt nach der Ernte zu messen, stand ein Getreide-Temperaturmessstab (Pfeuffer GT 1) zur Verfügung. Der Vergleich der im Labor ermittelten Trockensubstanz (TS) mit den durch diesen Messstab ermittelten Werten (Mittelwert von 5 Messungen / Ballen bei 60 Ballen) führte zu annähernd gleichen Ergebnissen.

2.5.3 Ermittlung der Gasausbeute pro Charge

In einem System, in dem beim Fermenterwechsel nur 1/3 neues zu untersuchendes Material, 1/3 älteres Material (20 Tage ausgegoren) und altes Material (40 Tage ausgegoren) zugeführt wird, ist es schwierig die Gasausbeute des neuen Materials zu bestimmen, da die Gasausbeute des älteren Materials noch eine Rolle spielt. Wenn bei einer 60 tägigen Verweilzeit ausschließlich Gras von Naturschutzflächen als Substrat verwendet wird, ist eine Bestimmung der Gasausbeute unterschiedlicher Grassubstrate möglich. Abbildung 15 zeigt die täglichen Gasausbeuten unterschiedlicher Substrate nach Fermenterwechsel, Deutlich ist der unterschiedliche Gasertrag der ersten 10 Tage, danach fällt der Gasertrag auf einen gleich bleibenden Wert ab. Das heißt, die Unterschiede des Gasertrages der einzelnen Neuchargen werden nur bei den leicht vergärbaren Substanzen zum Anfang des Prozesses erzielt. Die schwerer vergärbaren Substanzen weisen bei der Monofermentation von Gras in etwa

gleiche Tageswerte auf und können damit für alle untersuchten Substrate in der 2. und 3. Vergärungsperiode gleich gesetzt werden.

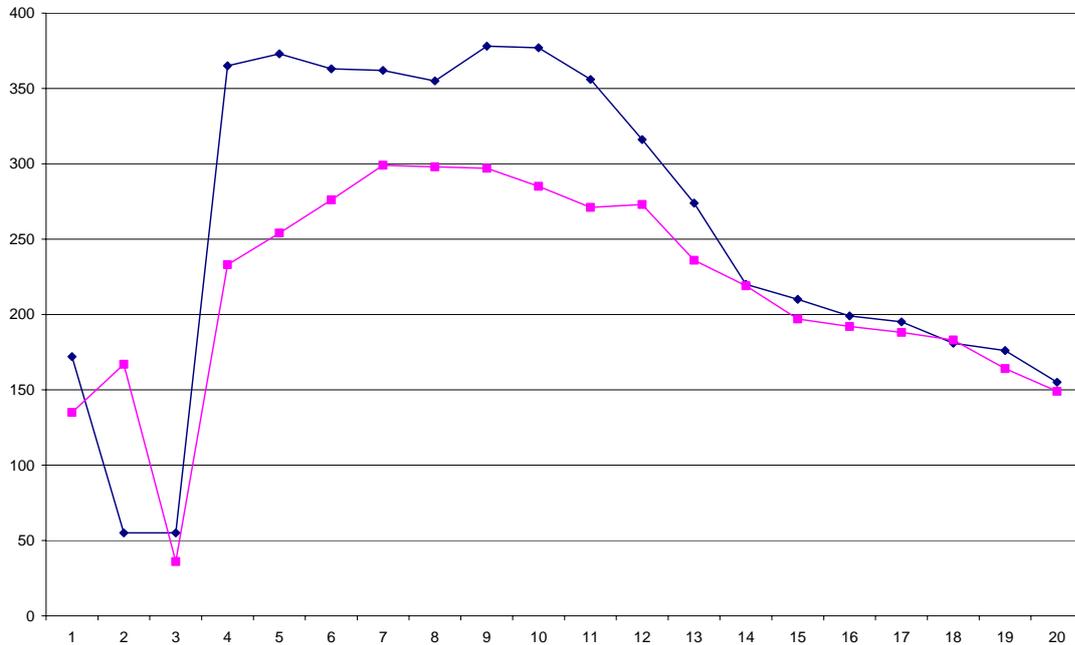


Abbildung 15 : Tägliche Gaserträge zweier unterschiedlicher Grassubstrate nach Fermenterwechsel in m³

Die Volumenbestimmung des erzeugten Gases erfolgte über eine Blendenmessung (Siemens, Sitrans b) in der Gasleitung zum Gasverdichter und wurde kontinuierlich durchgeführt und die stündliche sowie die Tages – Gasproduktion durch ein Accesdatenbankprogramm (ALBRECHT 2006) aufgezeichnet.

Die Gasausbeute/Substrat wurde wegen der Vergleichbarkeit mit anderen Biogasanlagen mit einem Umrechnungsprogramm der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (<http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03039/>), 2009 in Normvolumen (V_n) umgerechnet. Als Normvolumen bezeichnet man das Volumen eines Gases im Normzustand.

„Nach DIN 1343 befindet sich ein Gas bei einer Normtemperatur von $T_n = 273,15$ K (oder $t_n = 0^\circ\text{C}$) und einem Normdruck von $P_n = 101325$ Pa (= 1,01325 bar = 1013,25 mbar) im Normzustand“.

Biogas weist in Abhängigkeit vom Messort immer einen mehr oder weniger großen, von Anlage zu Anlage schwankenden Feuchtigkeitsgehalt auf. Mit zunehmendem Feuchtegehalt im Biogas sinkt der Heizwert (H_u). Aus Gründen der Vergleichbarkeit empfiehlt es sich deshalb das Normvolumen auf wasserfreies Gas (relative Gasfeuchte 0 %) zu beziehen. „Zur Umrechnung auf Normvolumen (wasserfreies Gas) müssen folgende Parameter bekannt sein: Gasvolumen, Gastemperatur, Gasfeuchte und Luftdruck, wenn unterstellt wird, dass Biogas druckfrei in der Leitung transportiert wird“.

Die Werte des Biogases, das in der BUND-Forschungsanlage gewonnen wurde, werden wie folgt verwendet:

Gastemperatur 30° Celsius für Versuche im Sommer und 25° C für Versuche im Herbst und Frühjahr.

Mittlerer Luftdruck von 1013 mbar

Gasfeuchte von 100 %

Bei der Ermittlung der Gasausbeute wurde dem tatsächlich gemessenen Wert einer Charge 120 m³ Biogas hinzugerechnet. Das ist in etwa das Gasvolumen, das beim Fermenterwechsel über den Biofilter abgeführt wird.

Die Gesamtmenge Biogas pro Charge wurde auf die Gesamtmenge Methan umgerechnet um Vergleichbarkeit mit Literaturangaben zu erreichen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010). Die BUND-Anlage erzeugt im Mittel 55 % Methan und 45 % Kohlendioxid.

Tabelle 15 : Beispiel einer Gasausbeuteberechnung

Datum	Input t	org. Trockens. Gesamtmenge t	Gasmenge (m ³) + 120m ³ Verlust Biofilter	Gasmenge l/kg org. Trockens.	Abgleich Nullliter NI/kg oTS	Methanvolumen bei 55 % Methangehalt NI/kg oTS
15.07.2009	21,8	9,57	5650	590	509	279

2.5.4 Ergebnisse Biogasausbeute

Die Biogasausbeute von Substraten ist, wie schon vermutet, sehr abhängig von den Mahdregimen „einschürig“ oder „zweischürig“. Der Unterschied in der Biogasausbeute zwischen den einzelnen Bodentypen ist wie erwartet abhängig vom Futterwert der Vegetation (Tabelle 16). Der Einsatz der Technik zeigt jedoch die größten Unterschiede bei der Biogasausbeute (Tabelle 16). Die Konservierung weist bei der Biogasausbeute geringe Unterschiede zwischen Heu und Silage auf. Zu erklären ist, dass der tiefste Wert der Heuwerbung gewonnen durch das einfach Mähen höher liegt als die Gasausbeute gleicher Technik von Silage von gleicher Fläche, mit der besseren Konservierung des Heus. Im nachfolgenden

werden die Unterschiede der einzelnen Parameter an Silage abgehandelt, da diese die übliche Konservierung von Gras für Biogasanlagen ist.

Tabelle 16 : Biogasausbeuten der untersuchten Substrate in Norm l /kg Trockensubstanz - der einzelnen Konservierungen, Mahdtechniken und Bodentypen

		Hoch- moor	Nieder- moor	Moor- marsch	Ackergras
	Ø Futterwert	3,9	4,6	3,3	5,1
Konservierung	Mahdtechnik				
Frischschnitt	Mähschnitt einschürig	205,15	265,65	202,40	
Frischschnitt	Mähschnitt 1.Schnitt	273,90	292,05	267,30	305,80
Frischschnitt	Mähschnitt 2.Schnitt	273,90	290,40	281,60	310,75
Heu	Mähschnitt einschürig	193,05	262,90	232,65	
Heu	Aufbereiter einschürig	232,65	243,65	239,25	
Heu	MähMulch einschürig	250,80	261,80	242,55	
Silage	Mähschnitt einschürig	133,65	159,50	163,90	
Silage	Mähschnitt 1.Schnitt	210,65	245,30	200,75	
Silage	Mähschnitt 2.Schnitt	232,10	262,90	255,75	
Silage	Aufbereiter einschürig	207,90	264,00	262,90	
Silage	Aufbereiter 1.Schnitt	281,60	282,15	273,90	
Silage	Aufbereiter 2.Schnitt	287,65	286,00	268,95	
Silage	MähMulch einschürig	282,15	273,90	266,75	
Silage	MähMulch 1.Schnitt	287,65	298,65	282,15	
Silage	MähMulch 2.Schnitt	292,05	294,25	290,40	

2.5.4.1 Vergleich einschüriges – zweischüriges Mahdregime

Das Substrat, gewonnen durch das Einschürige Mahdregime, weist vor allem bei der Einfachen Mähtechnik die geringste Biogasausbeute auf. Dieser Biogasertrag entspricht den in der Literatur spärlichen Angaben von 150 – 200 NI/kg oTS Biogas für Naturschutzgras (PETERS und THOSS 2007, WIEGMANN et al. 2007). Den tiefsten Wert, der noch unter dem in der Literatur beschriebenen Wert liegt, weist die Silage der einschürigen Mahd, geerntet mit dem einfachen Mähverfahren, auf. Dies liegt sicherlich daran, dass in der einschürigen Mahdzeit Mitte Juli mit dem einfachen Mähverfahren keine Silage herstellbar ist. Das heißt, hier ist der größte Schimmelbefall zu verzeichnen und damit fällt die ohnehin geringe Gasausbeute der einschürigen Mahd noch geringer aus.

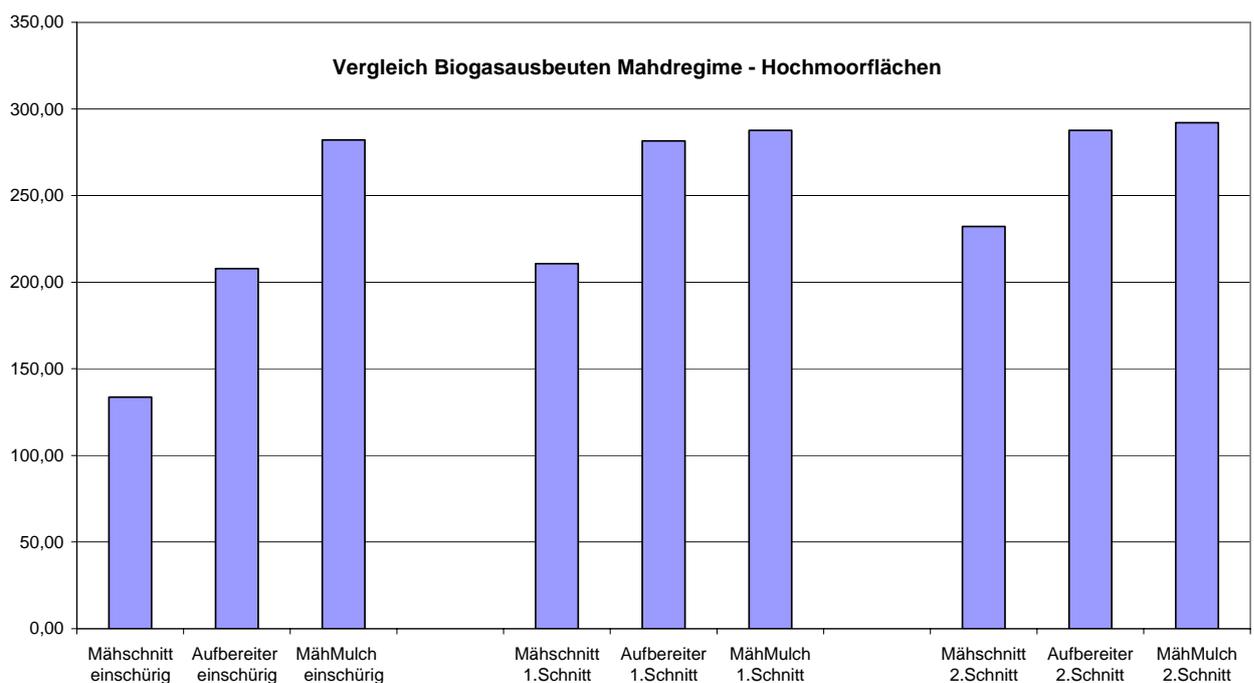


Abbildung 16 : Darstellung der Biogasausbeuten von Silage unterschiedlicher Mahdtermine auf Hochmoorflächen

Die höchsten Gasausbeuten, die im Projekt auf Naturschutzflächen erzielt wurden, gelten vor allem für das zweischürige Mahdregime und hier für die neu eingeführte Mahdtechnik Mähmulchen. Der Vergleich der höchsten Werte der Biogasausbeute von Naturschutzsubstraten mit den Werten für Ackergrassilage aus der Literatur (FNR 2010) zeigt starke Annäherung. (siehe prozentualer Vergleich in Abbildung 17). Die Gasausbeuten die im Vorhaben als Referenz

renz auf den ökologischen Ackergrasflächen mit schlechten Bodenverhältnissen (Sand - 27 Bodenpunkte von möglichen 100) bei der Ernte von Frischschnitt erzielt wurden, liegen in dem Bereich, der in der Literatur beschriebenen Grassilage für Intensivgras. Hier kommt die jahrelange Düngung der Ackergrasflächen durch den humusreichen wertvollen Output der Biogasanlage zum Tragen.

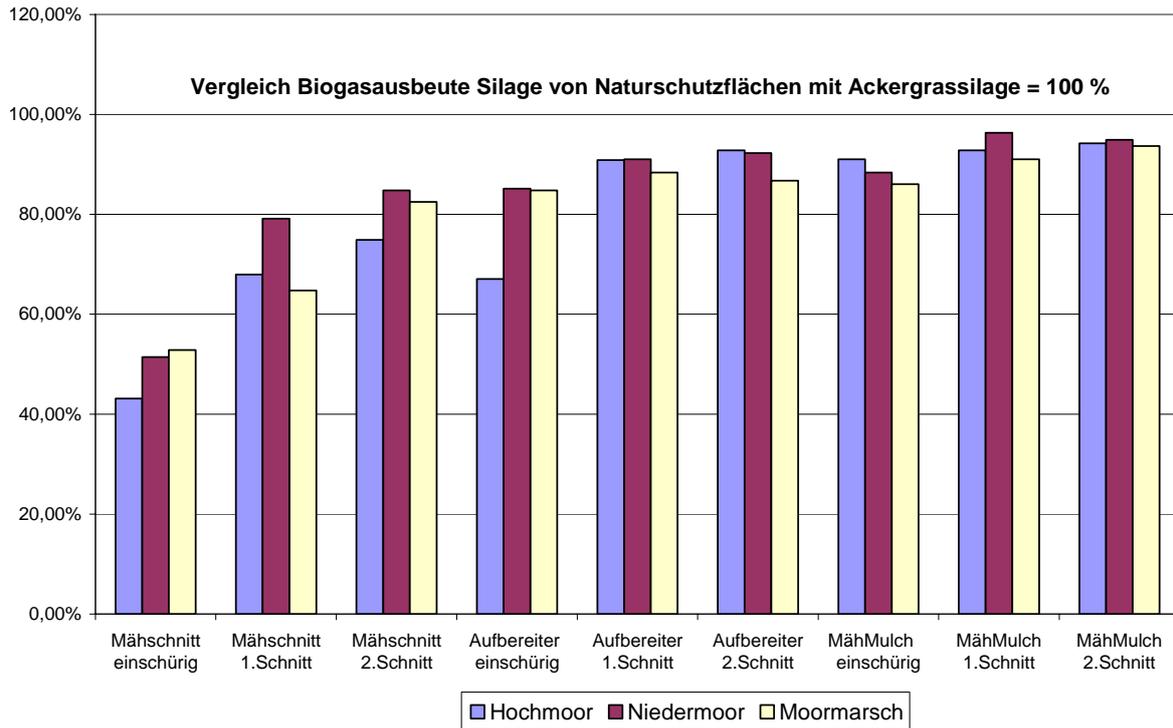


Abbildung 17 : Vergleich der im Projekt erzielten Biogasausbeuten von Grassilage gewonnen auf Naturschutzflächen mit Grassilage von intensiv bewirtschafteten Acker - Angabe aus der Literatur (FNR 2010) = 310 NI / kg oTS.

Abbildung 18 :

2.5.4.2 Vergleich der Biogausausbeute der 3 Ernteverfahren

Die schon in Vorversuchen schlechte Biogausausbeute von Silage gewonnen mit dem einfachen Mähverfahren auf Naturschutzflächen wurde wieder bestätigt. Die beiden Verfahren Aufbereiter und Mähmulchen sind hier bei der Konservierung stark überlegen. Auffällig ist, dass das Mähmulchen selbst bei der einschürigen Mahd noch gute Biogausausbeuten erzielt. Die starke mechanische Zerkleinerung beim Mähmulchen führt zu einer besseren Silierung und bietet den Methanbakterien eine bessere Angriffsfläche.

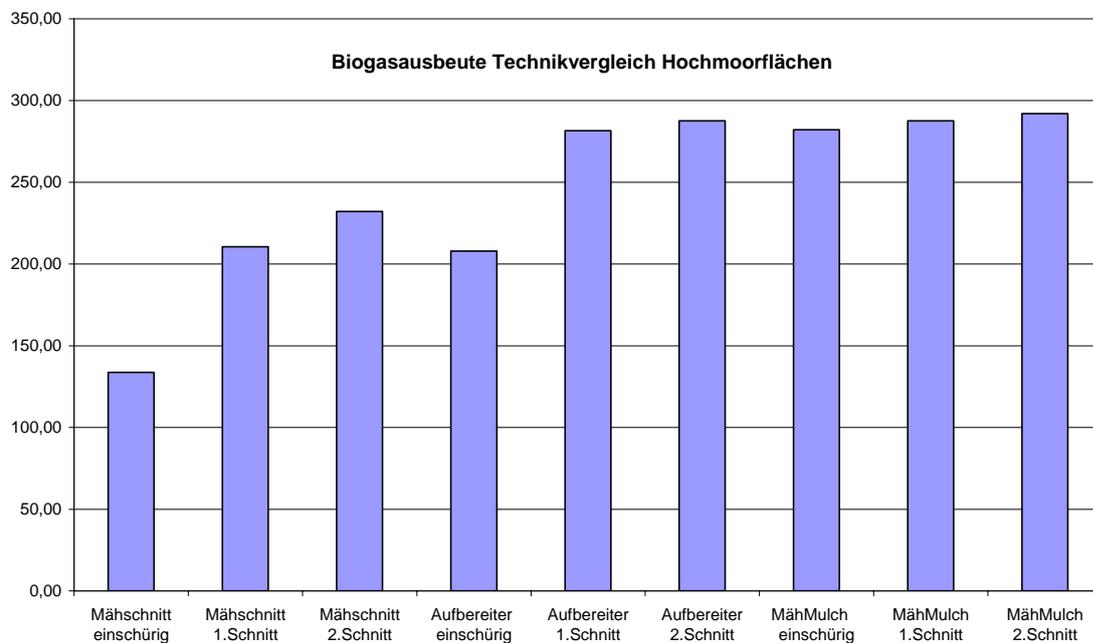


Abbildung 19 : Vergleich Biogausausbeuten der Ernteverfahren Mähschnitt, Aufbereiter und Mähmulchen – Grassilage von Hochmoorflächen

2.6 Energiebilanz

2.6.1 Verbrauch fossiler Energieträger bei der Ernte auf Feuchtgrünland-Naturschutzflächen

Die Ernte von Landschaftspflegematerial kann mit einem hohen Verbrauch von fossilen Brennstoffen verbunden sein, dies vor allem bei großen Entfernungen der einzelnen Flächen. Im Feuchtgrünlandbereich kann durch die hohen Aufwüchse bei der Ernte selbst beim Mähen (starker Rohfaseranteil) und beim Trocknen von Heu (mehr Maschineneinsatz) der Verbrauch von fossilen Brennstoffen recht hoch sein.

Der Energiegewinn bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Biogasherstellung wird immer im Vergleich zur Erdgasnutzung gesehen.

Bei der Ermittlung des Treibstoffverbrauches bei der Ernte von Nachwachsenden Rohstoffen werden auch die Verbräuche von fossilen Energieträgern bei der Dünger- und Spritzmittelherstellung mit einberechnet. Da auf Naturschutzflächen weder Dünger noch Spritzmittel eingesetzt werden können diese Energieverbräuche im Folgenden vernachlässigt werden.

Der Verbrauch von fossilen Kraftstoffen bei der Herstellung der Ernte-Maschinen wird bei der Energieermittlung im Vergleich mit z. B. Erdgas bei der Ernte nicht berücksichtigt, da auch bei der Ergasförderung und –transport eine Technik eingesetzt wird deren Energieverbräuche bei der Herstellung gleich gesetzt wird mit den Erntemaschinen. Eine exakte Feststellung des Treibstoffverbrauches in der Praxis wäre nur mit einem immensen Mess-Aufwand zu bewerkstelligen. Der Verbrauch ist abhängig vom Fahrzeugführer und seiner Fahrweise. Aus vorgenannten Gründen und der Tatsache, dass Naturschutzflächen eine sehr heterogene Vegetation und Struktur aufweisen, wurde für jedes Verfahren ein Kraftstoffverbrauch fünfmal pro Hektar ermittelt und dann der Durchschnittswert errechnet. Diese durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche der einzelnen Arbeitsverfahren wurden in ein Bewertungssystem eingebracht (Tabelle 17). Der Kraftstoffverbrauch des Transportes richtet sich nach dem durchschnittlichen Gewicht der gewonnenen Rundballen – Heu 200 kg, Silage- Mähmulch 400 kg, Silage - Aufbereiter 600 kg. Der Ballen-Transportanhänger des BUND-Hofes kann mit jeweils 30 Ballen beladen werden. Diese Ballenzahl entspricht einer durchschnittlich gewonnenen Ballenzahl eines Hektars bei zweimaliger Mahd. Da der Kraftstoffverbrauch bei der Ernte nur für eine Mahd/ha berechnet wurde, wird der tatsächliche Wert des Ballentransportes gehälftet.

Die in Abbildung 17 errechneten Energieverbrauch-Summen zeigen, dass auf Feuchtgrünland - Naturschutzflächen die konventionelle Heuwerbung am meisten Energie- (202 l Diesel) und Zeiteinsatz erfordert. Am günstigen ist die Silagewerbung „Mähen mit Aufbereiter“

(154 l Diesel).

Der Energieverbrauch von Heuwerbung mittels Mähmulchen ist vergleichsweise hoch (168 l), es wird jedoch weniger Zeit gebraucht. Die Silagegewinnung mittels Mähmulchen erscheint am sinnvollsten, da der Energieverbrauch im Mittel liegt (181 l Diesel), der Zeiteinsatz jedoch am geringsten ist. Im Vorfeld des Vorhabens wurde vermutet, dass das Mähmulchen einen ungleich höheren Energieeinsatz erfordert. Vergleicht man jedoch die Silagegewinnung – Mähmulchen mit der Silagegewinnung durch einfaches Mähen so ist dies nicht der Fall. Der Energieeinsatz für das Arbeitsverfahren Mähen ist, wenn auch nur gering, höher als für das Arbeitsverfahren Mähmulchen. Dies liegt an dem zusätzlichen Einsatz von Wender und Schwader für das „Mähen“. Bei der Heuwerbung durch das Arbeitsverfahren Mähmulchen ist tatsächlich der höchste Energieverbrauch zu verzeichnen, da hier im Gegensatz zur Silagegewinnung zum hohen Verbrauch beim Mähmulchen noch zusätzlich Wenden und Schwadern (Zusammenfahren) kommt.

Tabelle 17 : Darstellung – durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch / ha in Liter Diesel - Ernteverfahren auf Naturschutzflächen.

Arbeitsverfahren	Mähen Silage	Mähen Heu	Aufbereiter Silage	Aufbereiter Heu	Mähmulch Silage	Mähmulch Heu
Mähen 1. Tag	45 l	45 l	62 l	62 l	81 l	81 l
Wenden 1.Tag	19 l	19 l		19 l		19 l
Pressen 1.Tag					41 l	
Wickeln 1.Tag					21 l	
Wenden 2. Tag		19 l		19 l		
Schwadern 2. Tag	20 l					20 l
Pressen 2. Tag	41 l		41 l			41 l
Wickeln 2.Tag	21 l		21 l			
Wenden 3. Tag		19 l				
Schwadern 3.Tag				20 l		
Pressen 3.Tag				41 l		
Wenden 4. Tag		19 l				
Schwadern 4 Tag		20 l				
Pressen 4.Tag		41 l				
Transport	30 l	20 l	30 l	20 l	25 l	20 l
Summe	176 l	202 l	154 l	181 l	168 l	181 l

2.6.2 Energiegewinn durch Mähverfahren und Konservierungen

In Tabelle 18 ist exemplarisch der Verbrauch von fossilen Brennstoffen bei der Ernte und Entsorgung einer Charge Silage von den Flächen, die von der Biogasanlage am weitesten (42 km) entfernt liegen, dargestellt. In der Tabelle wird der Gewinn der Wärmeenergie nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis mechanischer Energiegewinnung zu Abwärme/Wärme bei den Maschinen und dem BHKW in etwa gleich ist. Mit einem vorliegenden Wärmekonzept der Biogasanlage mit vernünftiger Nutzung der Abwärme müsste noch die Ersetzung von fossilen Energieträgern durch die Biogasnutzung berücksichtigt werden.

Der Energiegewinn für eine gute Silage mit dem Mähmulchverfahren (8405 KW/h) ist der Tabelle 18 zu entnehmen. Der Energiegewinn für eine schlechte Silage mit dem einfachen Mahdverfahren ist der Tabelle 19 zu entnehmen. Wie schon bei der Auswertung des Energieverbrauchs der einzelnen Mahdverfahren festgestellt, zeigt das Mähmulch- Silageverfahren wider erwarten einen geringeren Energieverbrauch als das Mahd- Silageverfahren. Da der Energiegewinn durch das Mahd-Silageverfahren weitaus geringer (6650 KWh zu 3011 KWh) ist, wird wiederum die hohe Effizienzsteigerung durch das Mähmulchverfahren unterstrichen.

Tabelle 18 : Energiegewinn von „guter“ Silage, gewonnen durch das Mähmulchverfahren

	Kraftstoff- verbrauch Diesel	Traktor 30 l / 74 KWh	Radlader 15l / 40 KWh	Energie- verbrauch KW/h	Biogas- ertrag 60 Silageballen m3	BHKW 25m3 / 45 KW/h KW/h	Energiege- winn Biogas / Ernte KW/h
Einheit	Liter	KW/h	KW/h	KW/h	m3	KW/h	KW/h
Mähen Mulchen	324,00	799,20			6000,00	10800,00	
Pressen und Wickeln	176,00	434,13					
Transport	120,00	296,00					
Befüllen	80,00	197,33	213,33				
Entsorgen	70,00	172,67					
Summen	375,00	1899,33	450,00	2349,33	5000,00	10800,00	8405,67

Tabelle 19 : Energiegewinn von schlechter Silage gewonnen mit einfachen Mähverfahren der BUND-Biogasanlage

	Kraftstoff- verbrauch	Radla- der		Energie- verbrauc h	Biogaser- trag	BHKW	Energiege- winn
	Diesel	30 l / 74 KWh	15l / 40 KWh		60 - Sila- geballen	25m3/45 KW/h	Biogas/Ernte
Einheit	Liter	KW/h	KW/h	KW/h	m3	KW/h	KW/h
Mä- hen/Wenden/Sch wadern	340,00	838,67			3000,00	5400,00	
Pressen und Wickeln	176,00	434,13					
Transport	120,00	296,00					
Befüllen	80,00	197,33	213,33				
Entsorgen	70,00	172,67					
Summen	375,00	1938,80	450,00	2388,80	3000,00	5400,00	3011,20

In Tabelle 20 wird der Energiegewinn für alle untersuchten Silage-Substrate aufgelistet. Dabei ist auffällig das der Gasertrag der Erntesubstrate einen weitaus höheren Einfluss auf den Energiegewinn hat als die Bodentypen und die Mahdtechnik. Hier wird wieder klar, dass das Mahdregime -einschürig oder zweisechürig den größten Anteil an dem Energiegewinn hat. Ausschlaggebend für das schlechte Abschneiden des einschürigen Verfahrens ist der Mahdtermin am 1. Juli. Dabei ist nicht so sehr der Aufwuchs vom gleichen Jahr, der auf Feuchtwiesen auch im Juli noch grün sein kann, sondern der über den Winter zusammengebrochene, verfilzte Aufwuchs des Spätsommers des Vorjahres ausschlaggebend.

Das Mähmulch-Arbeitsverfahren hat gegenüber dem Aufbereiter einen wenn auch geringen Mehrgewinn an Energie obwohl der Energieeinsatz der Maschinen höher zu bewerten ist. Dies liegt an der höheren Gasausbeute für das Substrat gewonnen durch das Mähmulchverfahren.

Tabelle 20 : Energiegewinn Silage – Bodentypen – Mahdtechniken . Grundlage: durchschnittliche Biogasausbeuten Tabelle 14

	Einheit	Mähschnitt einschürig	Mähschnitt 1.Schnitt	Mähschnitt 2.Schnitt	Aufbereiter einschürig	Aufbereiter 1.Schnitt	Aufbereiter 2.Schnitt	MähMulch einschürig	MähMulch 1.Schnitt	MähMulch 2.Schnitt
Energieeinsatz- Ernte - Befüllung- Entsorgung	KW/h	2389	2389	2389	2162	2162	2162	2349	2349	2349
Hochmoor										
Biogasausbeute/Charge	m3	2916	4596	5064	4536	6144	6276	6156	6276	6372
Energiegewinn/Charge	KW/h	5249	8273	9115	8165	11059	11297	11081	11297	11470
Hochmoor Energiegewinn gesamt	KW/h	2860	5884	6726	6003	8897	9135	8731	8947	9120
Niedermoor										
Biogasausbeute/Charge	KW/h	3480	5352	5736	5760	6156	6240	5976	6516	6420
Energiegewinn / Charge	KW/h	6264	9634	10325	10368	11081	11232	10757	11729	11556
Niedermoor Energiegewinn gesamt	KW/h	3875	7245	7936	8206	8919	9070	8407	9379	9207
Moormarsch										
Biogasausbeute/Charge	m3	3576	4380	5580	5736	5976	5868	5820	6156	6336
Energiegewinn / Charge	KW/h	6437	7884	10044	10325	10757	10562	10476	11081	11405
Moormarsch Energiegewinn gesamt	KW/h	4048	5495	7655	8163	8595	8401	8127	8731	9055

2.7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Wertungen des Forschungsvorhabens

2.7.1 Einsatz der Maschinen

Die Heuente konnte problemlos mit allen Mahdverfahren durchgeführt werden. Bei der Silagegewinnung konnte vor allem die Konservierung durch das Mähmulchen überzeugen. Die Silagekonservierung mit dem einfachen Mahdverfahren war aufgrund der heterogenen Feuchte nicht annehmbar. Die Silagekonservierung mit dem Aufbereiter-Verfahren kann als gut bezeichnet werden, fällt jedoch, was Qualität und Zeitanatz anbetrifft, gegenüber dem Mähmulchverfahren zurück.

Die Schädigung der Heuschreckenfauna durch die zusätzliche Zerkleinerung des Mahdgutes durch Aufbereiter und Mulcher ist nicht der größte Faktor (Tabelle 21) der Verletzungen sondern das Mähen mit Tellermäher und Trommelmäher ruft die größte Schädigung hervor. Wobei der Tellermäher gegenüber dem Trommelmäher mit 1300 zu 1800 Umdrehungen/Minute eine weitaus geringere Geschwindigkeit der Messer aufweist. Ausschlaggebend für das schlechte Abschneiden des Scheibenmähers ist die feste Schnitthöhe von 4 cm gegenüber der variierbaren Schnitthöhe des Trommelmähers von 7 cm.

Tabelle 21 : Zusammenfassung der Schädigung der Heuschreckenfauna durch die einzelnen Mahdverfahren.

Bearbeitungsvariante	Prozent Individuen				keine	[N]
	un- verletzt	leicht verletzt	schwer verletzt	tot	Repro- duktion	
keine Mahd (Referenz)	100,0	-	-	-	-	85
Trommelmäher (7cm)	72,4	7,8	17,7	2,1	19,1	486
Trommelmäher (7 cm) mit Mulcher (10 cm)	71,6	6,4	11,9	10,1	21,1	218
Mulcher (4cm)	76,3	1,0	16,2	6,5	22,7	291
Scheibenmäher (4cm)	54,0	13,3	31,9	0,9	32,8	226
Scheibenmäher (4 cm) mit Aufbereiter	55,7	5,4	20,2	18,7	38,9	203

Aufgrund von zeitlichen und wirtschaftlichen (Maschinenreparaturen) Aspekten können die Naturschutzflächen nur mit Tellermäher oder Trommelmäher gemäht werden. Die Schädigung der Heuschrecken bei einer Schnitthöhe von 7 cm muss in diesem Fall akzeptiert werden. Die geringe Schädigung durch zusätzlichen Aufbereiter und Mulcher kann ebenfalls

angenommen werden, da beide zu einer Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung führen. Mit der Effizienzsteigerung steigen der Biogasertrag und damit die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage. Der zusätzliche Energieeinsatz bei den Zerkleinerungsverfahren ist gering und trägt kaum zur Minderung der Wirtschaftlichkeit bei. Beide Zerkleinerungsverfahren sind in der Zukunft mit geringen Abstrichen für die auch für den Naturschutz notwendige Flächenpflege einzusetzen um den Naturschutz bezahlbar und damit volkswirtschaftlich wertvoll zu gestalten.

2.8 Klimarelevanz des Vorhabens

2.8.1 Substrat

Die Berechnung der Treibhausgas (THG) - Minderung in CO₂ - Äquivalenten /ha ist im Nachwachsenden Rohstoff-Bereich abhängig von der Energiegewinnungsmethode, der Energieausbeute sowie der Masse, die auf der Fläche gewonnen wird.

Rösch et al. (2007) legen die Minderung der Freisetzung an CO₂ - Äquivalenten für Heu von extensivem Grünland, das in einer Biogas -Trockenfermentationsanlage fermentiert wurde und neben der Stromerzeugung auch der Wärmergewinnung dient, mit 1,948 t /ha/a fest. Diese Angabe bezieht sich jedoch auf Grünland, das eine Ernte mit 2 t Trockensubstanz pro/ha aufweist. Auf dem in diesem Vorhaben untersuchten Feuchtgrünland und auf weiteren 500.000 ha in Deutschland können jedoch im Durchschnitt 5 t Trockensubstanz geerntet werden. Eine Minderung der CO₂ - Äquivalente von 4,87 t/ha/a ist für diese Flächen ist anzunehmen. Als Ergebnis des Vorhabens konnte eine Effizienzsteigerung im Durchschnitt von 50 % erzielt werden das entspricht einer weiteren Minderung von 2,435 t /ha/a. Insgesamt kann also über die Biogasfermentation für Substrate von Feuchtgrünland eine Minderung von Treibhausgasen von 7, 305 t/ha erzielt werden Die Forschungsanlage des Vorhabens benötigt ca. 80 ha/a, das entspricht einer Minderung von 584,4t CO₂ äquiv für die Bewirtschafteten Flächen pro Jahr.

2.8.2 Biogasanlage

Alle Biogasanlagen und Trockenfermentationsanlagen im Besonderen weisen eine bestimmte Emission an Treibhausgasen auf. Wobei die Emission von Methan ein dreiundzwanzigmal (23) höheres Treibhauspotential aufweist als Kohlendioxid. Die Emission von CO₂ wird für Biogasanlagen mit einem Treibhauspotential von Null (0) angesetzt, da es sich hier um Emissionen nachwachsender Rohstoffe handelt. Das Treibhauspotential für fossile Brennstoffe wird dagegen mit einem (1) kg CO₂ Äquivalent pro kg Stoff angesetzt.

Die Ergebnisse des Vorhabens lassen im Grunde nur die Technik einer Trockenfermentationsanlage zur Fermentation von Naturschutzgras zu Biogas zu. Aus diesem Grund wird hier nur Klimarelevanz für die BUND-Trockenfermentationsanlage beispielhaft behandelt.

Nürrenbach(2008) hat im Auftrag der Firma Bioferm eine Abschätzung der Klimarelevanz eines Betriebes einer Trockenfermentations- Biogasanlage gegenüber einem Erdgas-BHKWs durchgeführt. Die untersuchte Anlage von Nürrenbach hat eine Kapazität von 500 KW/h elektrische Leistung. Die BUND-Forschungsanlage hat eine Kapazität von 50 KW/h elektrische Leistung

Die Werte von Nürrenbach können, da es sich um den gleichen Hersteller und gleiche Anlagentechnik handelt, im Verhältnis 1/10 übernommen werden.

Für den Betrieb der BUND-Biogasanlage werden folgende klimarelevante Emissionen pro Jahr festgelegt:

Tabelle 22 : CO₂ -Äquivalente aus dem Betrieb der Biogasanlage

Quelle	Stoff	Emission kg/a	Äquivalenz- faktor	CO ₂ - Äquivalent Kg/a
Sicherheitsventil	CH ₄	236	23	5.428
Leckagen	CH ₄	641	23	14.743
Absaugung Biofilter	CH ₄	1401	23	32.223
BHKW	CH ₄	982	23	22.5.86
Radlader	CH ₄	0,04	23	1
	CO ₂	769	1	769
				75.750

Für die Treibhausemissionen eines vergleichbaren BHKWs von 50 KW elektrische Leistung und der gleichen Laufzeit von 6500 Stunden/a werden nach Nürrenbach 183.322 K CO₂-Äquivalente festgelegt (Tabelle 21). Gegenüber dem Betrieb der Biogasanlage mit 75.750 kg CO₂ - äquivalent ist dies mehr als das doppelte an klimarelevanten Emissionen durch den Verbrauch von fossilen Brennstoffen in einem Erdgas-BHKW.

Tabelle 23 : CO₂ – Äquivalente aus dem Betrieb eines Erdgas-BHKW

Quelle	Stoff	Emission kg/a	Äquivalenz- faktor	CO ₂ - Äquivalent Kg
BHKW	CH ₄	914	23	21.220
	CO ₂	162300	1	162.300
				183.322

2.9 Notwendigkeit der Förderung des Vorhabens

Der BUND-Hof Wendbüdel stellte mit seinen Maschinen und der Biogasanlage den technischen Hintergrund für das Forschungsprojekt. Bis zum Beginn des Vorhabens konnte die Biogasanlage noch nicht wirtschaftlich arbeiten, da die Biogasausbeuten der einfachen Mahdverfahren und der zusätzliche Landschaftspflegebonus nicht ausreichten, wenigstens die Kosten zu decken. Auch während des Vorhabens konnte die Wirtschaftlichkeit nicht immer erreicht werden. Die Fermentationsversuche mit Substraten, deren Biogasausbeute durch spezielle Zerkleinerung gesteigert werden konnte, reichten nicht aus, die Referenzversuche mit den einfachen Mahdverfahren wirtschaftlich zu kompensieren.

Ohne eine Förderung des Vorhabens mit seinen 60 Versuchen wäre der BUND-Landesverband Niedersachsen mit seinem Institut nicht in der Lage gewesen das Forschungsvorhaben durchzuführen.

Die Beantragung des Vorhabens beim BMU im nationalen Forschungsprogramm „Vorhaben zur Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ schien notwendig, da auf nationaler Ebene keine anderen Förderkulissen für dieses Projekt gefunden werden konnten. EU-Forschungsprogramme wie zum Beispiel Intelligente Energie – Europa II (IEE) sowie ERANet etc. wurden nicht in Betracht gezogen, da die beiden Schwerpunkte des Forschungsvorhabens „Landschaftspflegebonus (EEG)“ und „Naturschutzauflagen“ nationalen Charakter aufweisen.

2.10 Verwertungsplan

Das Zerkleinerungsverfahren bei der Ernte auf den Naturschutzflächen und die daraus resultierende bessere Konservierung führten nicht zu folgenschweren Schäden in der Kleintierfauna. Dies ist ein großer Beitrag zur Nutzung von Landschaftspflegematerial. Dies und die Entwicklung der effizienteren Arbeitsverfahren haben die Wirtschaftlichkeit von kleineren Biogasanlagen, die über 51 % Landschaftspflegematerial verwerten, erhöht. Es sind bis zu 50 % höhere Gasausbeuten des Substrates gegenüber konventioneller Ernteverfahren bei der Fermentation nachgewiesen worden.

Die Ergebnisse sind ein wichtiger Meilenstein in der Verwertung von Landschaftspflegematerial in einer Biogasanlage. Am Ende des Projektes im September 2011 wurde eine Broschüre mit dem Titel „Naturschutzgras und Biogas“ herausgegeben, die sich an den Praktiker in der Landschaftspflege wendet. Die Broschüre hat 32 Seiten und stellt die wichtigsten Erkenntnisse des Forschungsvorhabens dar, sie wird kostenlos an interessierte Anwendergruppen abgegeben werden. Eine PDF-Datei der Broschüre ist unter www.wendbuedel.de herunterladbar.

Die profitierenden Anwendergruppen der Vorhabensergebnisse sind:

- Landschaftspflegeverbände, die das bisher ungeliebte Substrat (muss aktuell oft kostenintensiv kompostiert werden) wirtschaftlich verwenden können.
- Garten und Landschaftsbau (Galabau)-Verbände, die bisher oft nur saisonal Landschaftspflegegut verarbeiten konnten.
- Naturschutzbehörden und –verbände, die Biogasanlagenbetreibern das aus Naturschutzgründen geerntete Substrat nicht als „Abfall“ sondern als kostbares Erntegut anbieten können.
- Hersteller von Trockenfermentations-Biogasanlagen, die bei Kunden mit diesem Substrat werben könnten.
- Betreiber und künftige Betreiber von Trockenfermentationsanlagen, die in typischen Grünlandregionen (z.B. Nordwestdeutschland) auf Alternativen zum Maisanbau angewiesen sind.

2.11 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Die genutzten landwirtschaftlichen Maschinen sind von Ihrer Technik bekannt. Die unterschiedlichen Kombinationen dieser Maschinen auf Naturschutzflächen und vor allem die erfolgreiche Kombination Mähmulchen war neu und in dieser Form noch nicht durchgeführt worden.

Das Potenzial für die Breitenwirkung ist mit den großen nicht genutzten Feuchtgrünlandnaturschutzflächen in der norddeutschen Tiefebene sowie in den Flusstälern in Gesamtdeutschland gegeben.

Das Substrat von Naturschutzflächen wurde in der Vergangenheit als wenig geeignet für die Energieerzeugung angesehen. Der im neuen EEG verankerte Landschaftspflegebonus sollte diesen Energiepfad beleben. Bei Substraten für Biogasanlagen aus Naturschutz-Grünland konnte das Projekt mit seiner erreichten Effizienzsteigerung dazu beitragen, dass der Teilbereich Grünlandaufwuchs aus der Landschaftspflege als eine weitere Ressource für die Energiegewinnung angesehen werden kann.

3 Literatur

- AMMANN, H., FRICK, R. (2005): Silierverfahren im Vergleich. FAT-Bericht Nr. 627, 2005.
- ADDCON, (2009): Tipps zur Erzeugung hochwertiger Ballensilagen. <http://www.addcon.net>, Zugriff Juli 2009.
- BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2009: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03039/>
- BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2006): Naturverträgliche Bewirtschaftung schützt Amphibien, Heuschrecken und Kleinsäuger. Workshop diskutierte Forschungsergebnisse. <http://www.innovations-report.de>, Zugriff Juli 2009.
- CLASSEN, A., KAPFER, A. LUICK, R. (1993): Einfluss der Mahd mit Kreisel- und Balkenmäher auf die Fauna von Feuchtgrünland. In Naturschutz und Landschaftsplanung 25, (6), 1993.
- FNR- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (2006): Trockenfermentation - Stand der Entwicklungen und weiterer F+E-Bedarf. In Gülzower Fachgespräche, Band 24, 2006.
- FNR- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2010): Leitfaden Biogas, Von der Gewinnung zur Nutzung , Gülzow, www.fnr.de .
- GRAß, R., REULEIN, J., SCHEFFER, K., WACHTENDORF, M. (2007): Innovatives Nutzungsverfahren zur energetischen Verwertung von Biomassen aus naturschutzfachlich bedeutsamen Landschaften. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Archiviert unter <http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007>
- GREIN, G. (2005): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Heuschrecken mit Gesamtartenverzeichnis. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 25 (1): 1-20.
- INGRISCH, S. & KÖHLER, G. (1998): Rote Liste der Geradflügler (Orthoptera s. l.). – In: Binot, M., Bless, R., Boye, P., Gruttke, H. & Pretscher, P. (Bearb.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55: 252-254.
- JÄNICKE, J. (2006): Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Gärqualität. In Praxishandbuch Futterkonservierung, 7.Auflage, 2006.
- KAISER, E. (2006): Beurteilung der Gärqualität. In Praxishandbuch Futterkonservierung, 7.Auflage, 2006.

- KRAUSE, J.-P., BOBACK, R. (2005): Machbarkeitsstudie zur Verwertung von betrieblicher Biomasse insbesondere aus dem Vertragsnaturschutz in einer Biogasanlage. Teilprojekt II aus dem Verbundprojekt: Regionale energetische Nutzung von Biomasse aus dem Drömling. Abschlussbericht, 2005.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER/WESER EMS (2008): Optimierter Maisanbau zur energetischen Nutzung Sortenwahl, Aussaat- und Erntezeitpunkt etc.
- LUFA-NORDWEST (2008): Untersuchung der Theoretischen Gasausbeute von Energiemais im Auftrag der Firma Bioferm.
- MAAS, S., DETZEL, P. & STAUDT, A. (2002): Gefährdungsanalyse der Heuschrecken Deutschlands. Verbreitungsatlas, Gefährdungseinstufung und Schutzkonzepte. Ergebnisse aus dem F&E-Vorhaben 89886015 des Bundesamtes für Naturschutz – Münster: Landwirtschaftsverlag. 402 S.
- NÜRRENBACH, T. (2008): Trockenfermentation von NawaRo, CO₂ Bilanz für den Anlagenbetrieb. Bericht Nr. M73 978/1, Müller-BBM, im Auftrag der Firma Bioferm
- OPPERMANN, R. (1987): Tierökologische Untersuchungen zum Biotopmanagement in Feuchtwiesen. (Ergebnisse einer Feldstudie an Schmetterlingen und Heuschrecken im württembergischen Alpenvorland). – Natur und Landschaft 62: 235-241.
- OPPERMANN, R., CLASSEN, A. (1998): Naturverträgliche Mähtechnik- moderne Mähgeräte im Vergleich. – Naturschutzbund NABU, Landesverband Baden-Württemberg (Hrsg.), 48 S.
- PAHLOW, G. (2006): Gärungsbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In Praxishandbuch Futterkonservierung, 7.Auflage, 2006.
- RAMHARTER, R., AMON, T., BOXBERGER, J. (1994): Rundballenwickel-Silage. ERNTE, Zeitschrift für Ökologie und Landwirtschaft, 1994.
- RÖSCH, C., RAAB, K., SKARKA, J., STELZER, V. (2007) Energie aus dem Grünland- eine nachhaltige Entwicklung. Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, Forschungszentrum Karlsruhe.
- SEIDENBERGER, T., THOSS, C. (2007): Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich?. Endbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, <http://www.oeko.de>, Zugriff Juli 2010
- THAYSEN, J. (2006): Allgemeine Grundsätze der Silierung. In Praxishandbuch Futterkonservierung, 7.Auflage, 2006.