



Das Lebensministerium



Nutzungsalternativen für Grünland

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 2/2007

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen –
Ein Beitrag zur Erhaltung der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums**

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

Projektbearbeitung

Sophia Kiesevalter

Themenverantwortliche

Kompostierung und Kompostverwertung

Dr. habil. Erhard Albert

Energetische Nutzung

Dr. habil. Christian Röhrich

Grünlandwirtschaft

Dr. sc. agr. Gerhard Riehl

Projektleitung

Dr. sc. agr. Gerhard Riehl

Inhaltsverzeichnis

1	Problematik der aktuellen Grünlandnutzung und Projektziel.....	1
2	Beschreibung der ausgewählten Grünlandfläche	2
2.1	Standortkundliche und pflanzensoziologische Kartierung	3
2.1.1	Standorteigenschaften und Naturraum.....	3
2.1.2	Biotop- und Vegetationstypen im Kartierungsgebiet	6
2.2	Witterung.....	11
2.3	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Bodennährstoffgehalte der Grünlandfläche.....	12
2.4	Erträge und wichtige Inhaltsstoffe der Grünlandaufwüchse	15
3	Untersuchungen zur Kompostierung von Grünlandaufwüchsen unter Verwendung verschiedener Zuschläge und Mietenabdeckungen.....	17
3.1	Ziel	17
3.2	Material und Methoden.....	19
3.2.1	Aufsetzen der Mieten	21
3.2.2	Maßnahmen zur Kompostierung	23
3.2.3	Laboruntersuchungen	24
3.2.4	Ergebnisse der Untersuchungen zur Kompostierung von Grünschnitt.....	24
3.2.5	Einfluss verschiedener Zuschläge bei der Kompostierung auf die Mientemperatur ..	28
3.2.6	Einfluss der Vliesabdeckung	31
3.2.7	Einfluss der Folienabdeckung	32
3.2.8	Einfluss der Aufbereitungsart des Grünschnittes auf die Kompostierbarkeit.....	34
3.2.9	Wasseraufnahmevermögen	35
3.2.10	Nährstoffgehalte der Sickerwässer	37
3.3	Schlussfolgerungen.....	39
4	Untersuchungen zur energetischen Nutzung von Heupellets mit verschiedenen Zuschlagstoffen in zwei unterschiedlichen Feuerungsanlagen.....	41
4.1	Ziel	41
4.2	Material und Methoden.....	42
4.2.1	Ausgangsmaterial und Versuchsvarianten	42
4.2.2	Pelletiervfahren	44
4.2.3	Methodik der physikalischen und chemischen Untersuchungen	46
4.2.4	Anlagenbeschreibung und Methodik der Verbrennungsversuche	48
4.3	Ergebnisse	50
4.3.1	Chemische Parameter der Ausgangsstoffe.....	51
4.3.2	Chemische Parameter und Ascheschmelzverhalten der Heupelletvarianten	52
4.3.3	Physikalische Qualitätsparameter der Heupellets	55
4.3.4	Abbrand- und Emissionsverhalten.....	56
4.3.5	Charakterisierung der Verbrennungaschen.....	61

4.4	Schlussfolgerungen.....	66
5	Orientierende Untersuchungen zum Einsatz von Heu-, Mais- und Rapsstrohhallen im HERLT-Ganzballenvergaser HSV 145 in der Wiesenburger Land eG.	67
5.1	Einleitung/Ziel.....	67
5.2	Methodik.....	68
5.3	Funktionsweise des Ganzballenvergasers HSV 145.....	69
5.4	Ergebnisse	71
5.4.1	Abbrand der Heuballen	72
5.4.2	Abbrand der Maisstrohhallen	74
5.4.3	Abbrand des Rapsballens	75
5.4.4	Verbrennungsgaschen	77
5.5	Schlussfolgerungen.....	78
6	Untersuchungen zur Vergärung verschiedener Grünlandaufwüchse im labortechnischen Maßstab	79
6.1	Material und Methodik.....	79
6.1.1	Durchführung der kontinuierlichen Vergärungsversuche.....	81
6.1.2	Durchführung der Batch-Versuche	83
6.2	Ergebnisse der Untersuchungen zur Vergärung verschiedener Kosubstrate.....	84
6.3	Schlussfolgerungen.....	90
7	Ökonomische Bewertung	90
7.1	Kosten der Bewirtschaftung des Grünlandes und verschiedener Ernte- und Aufbereitungsverfahren.....	91
7.2	Kosten der Kompostierung mit landwirtschaftlichen Maschinen.....	94
7.3	Kosten der Brennstoffpelletbereitstellung.....	96
7.4	Zusammenfassung.....	96
8	Ausblick.....	97
9	Literatur	99
Anhang		103

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kartierte Biotop- und Vegetationstypen auf der Grünlandfläche	6
Tab. 2:	Ergebnis der Vegetationsaufnahmen auf der Grünlandfläche	7
Tab. 3:	Witterungsdaten der Wetterstation Kreischa von 2001-2004 (*nur bis 26. Okt. 2004 (Projektende) erfasst)	11
Tab. 4:	Stickstoffgehalte (Nmin) im Boden der Grünlandfläche im November 2003	14
Tab. 5:	pH-Wert, Humusgehalt und Nährstoffgehalte im Boden der Grünlandfläche im Jahr 1994 sowie im November 2003	14
Tab. 6:	Frisch- und Trockenmasseertrag der Grünlandfläche in den Jahren 2003 und 2004	15
Tab. 7:	Wertgebende Inhaltsstoffe der Grünlandaufwüchse in den Jahren 2003 und 2004 (Mittelwerte aus drei Pflanzenproben je Jahr)	16
Tab. 8:	Inhaltsstoffparameter der verschiedenen Grünschnitte	17
Tab. 9:	Varianten der Kompostmieten	19
Tab. 10:	Analytik der Ausgangsstoffe Grasschnitt, Holzhäcksel, Rindergülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter (i. d. TS)	20
Tab. 11:	Rottegrad der Komposte und Temperaturparameter der Kompostierungsversuche 2003	27
Tab. 12:	Chemische Parameter der Komposte (Versuchsjahr 2003)	28
Tab. 13:	Trockenmassegehalt, Wassergehalt in der Originalsubstanz und aufgenommene Wassermenge nach verschiedenen Eintauchzeiten	36
Tab. 14:	Sickerwasser und in der Sickerwassermenge enthaltenen Nährstoffe bei der Kompostierung von Heu mit/ ohne Gülle sowie mit/ ohne Vliesabdeckung am Feldrand	38
Tab. 15:	Sickerwasser und darin enthaltenen Schwermetalle bei der Kompostierung von Heu mit/ ohne Gülle sowie mit/ ohne Vliesabdeckung am Feldrand	38
Tab. 16:	Varianten für die Heupelletherstellung	42
Tab. 17:	Elementargehalte (i. d. TS) und Trockensubstanzen der Ausgangsmaterialien für die Pelletierung	51
Tab. 18:	Aschegehalte, Heizwerte und Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Ausgangsmaterialien für die Pelletierung	51
Tab. 19:	Gehalte (i. d. TS) an feuerungstechnisch- und emissionsrelevanten Inhaltsstoffen der Heupelletvarianten sowie von Weizenstroh- und Holzpellets	53
Tab. 20:	Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Heupelletvarianten sowie von Weizenstroh- und Holzpellets	54
Tab. 21:	Ascheschmelzverhalten verschiedener Heupelletvarianten, Stroh- und Holzpellets	55
Tab. 22:	Schütt, Asche- und Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Heupelletvarianten sowie von Stroh- und Holzpellets	56

Tab. 23:	Durchschnittswerte und Standardabweichungen der Emissionen beim Abbrand von Heupellets in den zwei Kleinf Feuerungsanlagen im Vergleich zu Strohpellets	58
Tab. 24:	Kesselwirkungsgrade der Feuerungsanlagen beim Abbrand von Heu- und Strohpellets	60
Tab. 25:	Glühverluste der Verbrennungsaschen aus dem Abbrand verschiedener Heupellets	61
Tab. 26:	Charakterisierung der Verbrennungsaschen	62
Tab. 27:	Durchschnittlicher Anteil an pflanzenverfügbaren Phosphor, Kalium und Magnesium in den Aschen und Schlacken bezogen auf 1 kg Gesamtasche	64
Tab. 28:	Schwermetallgehalte der Verbrennungsaschen (Grobaschen) in mg/kg TM	65
Tab. 29:	Durchschnittliche Feuchtegehalte der Heu-, Maisstroh- und des Rapsballen	71
Tab. 30:	Elementar- und Aschegehalte (i. d. TS) und Heizwert der Brennstoffe Heu, Maisstroh und Rapsstroh	72
Tab. 31:	Schwermetallgehalt der Brennstoffe Heu, Maisstroh und Raps	72
Tab. 32:	Emissionen und Grenzwerte (TA-Luft) beim Abbrand der Heuballen	73
Tab. 33:	Emissionen und Grenzwerte (TA-Luft) beim Abbrand der Maisstrohballen	75
Tab. 34:	Analyse der Maisstrohasche	78
Tab. 35:	Versuchsvarianten der kontinuierlichen Vergärungsversuche	80
Tab. 36:	Versuchsvarianten der Batch-Versuche	80
Tab. 37:	Charakterisierung der Gärsubstrate	81
Tab. 38:	Versuchsparameter, Gasbildung und Gasqualität der geprüften Substratvarianten	85
Tab. 39:	Versuchsparameter, Gasbildung und Gasqualität der geprüften Substratvarianten	88
Tab. 40:	Kosten der verschiedenen Arbeitsverfahren zur Ernte und Bergung von Grünlandaufwüchsen	92
Tab. 41:	Gesamtkosten der verschiedenen Ernte- und Aufbereitungsverfahren	94
Tab. 42:	Kosten der Kompostierung	95
Tab. 43:	Kosten der Pelletierung (Hektarertrag: 4,5 Tonnen/ha (85 % TS))	96

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen mit Blick auf Freital	3
Abb. 2:	Lage der Grünlandfläche im Gebiet und Kartierungspunkte.....	4
Abb. 3:	Vegetationskarte der Grünlandfläche.....	10
Abb. 4:	Witterungsverlauf des Jahres 2003 (Wetterstation Kreischa).....	12
Abb. 5:	Witterungsverlauf des Jahres 2004 (Wetterstation Kreischa).....	12
Abb. 6:	Entnahmebereiche für die Bodenprobenentnahme im November 2003.....	13
Abb. 7:	Abladen des Grünschnitts auf der Kompostierfläche mittels Ladewagen.....	22
Abb. 8:	Bewässerung der Mieten.....	22
Abb. 9:	Aufladen des Kompostmaterials auf den Miststreuer	23
Abb. 10:	Umsetzen der Miete mit dem Miststreuer.....	23
Abb. 11:	Kompostmieten am Feldrand (2003).....	25
Abb. 12:	Kompostmieten auf dem Lagerplatz (noch unabgedeckt) (2003).....	25
Abb. 13:	Ausgereifte Kompostmieten am Feldrand (April 2004).....	26
Abb. 14:	Mietentemperaturen der Kompostmieten ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter im Jahr 2003.....	30
Abb. 15:	Mietentemperaturen der Kompostmieten mit Holzhäckseln ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter (2003)	30
Abb. 16:	Mietentemperaturen der Kompostmieten ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter im Jahr 2004.....	30
Abb. 17:	Einfluss der Vliesabdeckung auf die Mietentemperatur.....	31
Abb. 18:	Mietentemperaturen der Kompostvarianten mit und ohne Vliesabdeckung im Jahr 2004	32
Abb. 19:	Mietentemperaturen der Kompostmieten mit und ohne Folienabdeckung (2004).....	33
Abb. 20:	Kompost der Mieten mit und ohne Folienabdeckung im Oktober 2004 vor dem Umsetzen (Folie abgedeckt)	33
Abb. 21:	Mietentemperaturen der Kompostmieten aus geschnittenem (gemulcht) und gehäckselterm Grünschnitt.....	34
Abb. 22:	Wassergehalt in verschiedenen Materialien in der Originalsubstanz und in Abhängigkeit von der Eintauchzeit	37
Abb. 23:	Theoretischer Stickstoffeintrag in den Boden.....	39
Abb. 24:	Doppelschneckenextruder der Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH in Jocketa.....	43
Abb. 25:	Verfahrensschema der Pelletierung von halmgutartiger Biomasse.....	45
Abb. 26:	Kollergang-Pressen (rechts) mit Elektromotor (Mitte) und Schaltzentrale (Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs GmbH Grimma)	45
Abb. 27:	Schema des Testkessels CO 16...49 der Fa. ÖkoTherm (ILK).....	49
Abb. 28:	Kesselprüfstand des Instituts für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden (ILK)	49
Abb. 29:	Pelletkessel Biomat FB 23L Fa. Ferro und Funktionsschema (Fa. Passat)	50
Abb. 30:	Heupellets ohne Beimischungen.....	52

Abb. 31:	Kohlenmonoxidemissionen beim Abbrand von Heu- und Strohpellets in zwei verschiedenen Kleinfeuerungsanlagen	57
Abb. 32:	Staub-Emissionen beim Abbrand verschiedener Heupellets in zwei Kleinfeuerungsanlagen im Vergleich zu Strohpellets	60
Abb. 33:	Heupelletaschen (1.Variante ohne Zuschlagstoffe) aus den zwei Kleinfeuerungsanlagen; oben: aus dem Biomassekompaktkessel, unten: aus dem Pelletkessel	63
Abb. 34:	Schlackenanteile (> 5 mm) in den verschiedenen Heupelletaschen	63
Abb. 35:	Durchschnittlicher Anteil an Nährstoffe in den Aschen und Schlacken	64
Abb. 36:	Strohballenvergaser HSV 145 und Vergaserraum mit Wärmetauschern in der Wiesenburger Land e.G in Wildenfels	70
Abb. 37:	Auflegen des Strohballens auf das Glutbett aus verbranntem Scheitholz	70
Abb. 38:	Heuballen bzw. Heu aus extensiver Bewirtschaftung (Hergert 2003)	73
Abb. 39:	Maisstrohhallen bzw. Maisstroh (Hergert 2003)	74
Abb. 40:	Rapsstrohhallen bzw. Rapsstroh (Hergert 2003)	76
Abb. 41:	Rapsstrohhallen nach Abbrand von 2,5 h (Hergert 2003)	77

Abkürzungen

AAS	Atomabsorptions-Spektralphotometer
ADF	Säure-Detergentien-Faser (Acid detergent fibre)
ADL	Säure-Detergentien-Lignin (Acid detergent lignin)
CAL	Kalziumazetatlaktat
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
EuLOS	Enzymunlösliche organische Substanz
FM	Frischmasse, Originalsubstanz
Hu	unterer Heizwert
hwI	heißwasserlöslich
ICP	inductively coupled plasma
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma („Plasmamassenspektrometrie“)
ICP-OES	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma („Plasmaemissionsspektrometrie“)
KULAP	Extensive Grünlandwirtschaft, Teilprogramm B des UL
kwI	königswasserlöslich
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LU	Landwirtschaftliches Untersuchungswesen
MB	Methodenbuch
MJ	Megajoule
NAK	Naturschutz und Erhalt der Kulturlandschaft, Teilprogramm E des UL
NEL	Netto-Energie-Laktation
NIR	Nahinfrarot
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
OS	Organische Substanz
PAW	Prüfanweisung
RA	Rohasche
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
RL	Richtlinie
RP	Rohprotein
STUFA	Staatliches Umweltfachamt
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UL	Programm zur Förderung einer umweltgerechten Landwirtschaft im Freistaat Sachsen
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
wf	wasserfrei

1 Problematik der aktuellen Grünlandnutzung und Projektziel

Der Anteil des Dauergrünlandes an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (ca. 922.000 ha, 2001) beträgt im Freistaat Sachsen ca. 20 % (ca. 188.000 ha) [LfL 2002]. In den Vorgebirgsregionen liegt der Grünlandanteil über 30 %, weil in den Hang- oder Steilhanglagen Ackerbau nur begrenzt möglich ist. In den letzten Jahren haben die Wiederkäuerbestände stark abgenommen, viele landwirtschaftliche Betriebe arbeiten nur noch im Marktfruchtbereich. Das hat zur Folge, dass weniger Grünland als Futtergrundlage benötigt wird.

Mit dem Ziel der Extensivierung der Grünlandnutzung bzw. der Beibehaltung bereits bestehender extensiver Bewirtschaftungsweisen, der Marktentlastung und den Forderungen zum Schutz der Umwelt, der genetischen Ressourcen, des natürlichen Lebensraums und der Landschaft, wurde das sächsische Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) 1992 eingeführt. Der Anteil der KULAP-Flächen an der Gesamtgrünlandfläche betrug im Jahr 2000 ca. 67 % (RIEHL 2001). Diese Grünlandflächen sind unter anderem gekennzeichnet durch einen reduzierten Mitteleinsatz (Düngung, Pflanzenschutzmittel), geringere Besatzstärken bei der Beweidung, später Schnittnutzung oder ökologischer Bewirtschaftung. In den Vorgebirgsregionen ist die Bewirtschaftung des Grünlands in Folge starker Hangneigung oft schwierig. Eine Beweidung durch Wiederkäuer ist hier auf Grund fehlender Tierbestände auf vielen Flächen nicht möglich. Diese Standorte sind auch schwer mechanisierbar, so dass eine reduzierte Nutzungshäufigkeit sinnvoll ist. Solche extensiven Bewirtschaftungsweisen, vor allem eine späte einmalige Schnittnutzung, beeinträchtigen die Futterqualität, so dass in diesen Regionen jährlich erhebliche Mengen an Grünlandaufwüchsen anfallen, für die es derzeit keine Verwertungsmöglichkeiten gibt.

Die Erschließung neuer Verwendungsmöglichkeiten für landwirtschaftliche Rohstoffe ist ein wichtiges Anliegen der Agrarpolitik geworden und kann zur Stabilisierung vieler Agrarbetriebe beitragen. Die Biomasseproduktion und Verwertung von Grünland für den Non-Food-Bereich kann künftig eine herausragende Rolle für die Grünlandwirtschaft spielen. Im Interesse des Klima- und Umweltschutzes haben sich die Europäische Union und die Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12 % zu verdoppeln. Im Rahmen des Ausbaus der erneuerbaren Energien wird die Biomasse dabei zur wichtigsten Säule. Die Vorteile der Biomassenutzung liegen zum einen in der Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und der Entlastung fossiler Rohstoffvorkommen sowie auch in der Schaffung oder zumindest der Sicherung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum, der Schaffung regionaler Wertschöpfung und dem Abbau der Überproduktion von Nahrungsmitteln.

In Sachsen werden ca. 22 % des Grünlandes nicht zur Ernährung der bestehenden Wiederkäuerbestände benötigt (WACHS 2002). RÖHRICHT und GROß-OPHOFF (2003) gehen von 40 % der gesamten Grünlandaufwüchse aus, welche energetisch bzw. stofflich genutzt werden könnten. Das entspricht ca. 460.000 t Heu/a und einem energetischen Potenzial von ca. 6,9 PJ/a.

Ziel des Projektes war es, im Zeitraum 5/2003 bis 10/2004 verschiedene stoffliche und energetische Verwertungsmöglichkeiten von Grünlandaufwüchsen hinsichtlich ihrer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit praxisnah zu prüfen. Dabei erfolgten mit Aufwüchsen einer extensiv bewirtschafteten Grünlandfläche in den sächsischen Vorgebirgslagen Untersuchungen zur Kompostierung und energetischen Nutzung. Bei den Untersuchungen zur energetischen Nutzung wurde zum einen frischer Grünschnitt als Koferment in Biogasanlagen eingespeist und zum anderen der Einsatz von Heu in Verbrennungs- und Vergasungsanlagen als Brennstoff untersucht. Die Ergebnisse der Arbeit sollen den Landwirten im Freistaat Sachsen Alternativen zur Nutzung des Grünlandes in sächsischen Vorgebirgslagen geben und auf andere ähnliche Gebiete übertragbar sein. Mit diesem Projekt wird ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Grünlandbestände und damit zum Erhalt der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums geleistet.

2 Beschreibung der ausgewählten Grünlandfläche

Zur Untersuchung und Charakterisierung verschiedener Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen wurde exemplarisch eine Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen im Kreis Freital ausgewählt (Abbildung 1). Die Fläche umfasst ca. 11 ha und weist die typischen Merkmale der Vorgebirgslagen auf. An einigen Stellen beträgt die Hangneigung ca. 45 %, was die Durchführung mechanischer Pflege- und Bewirtschaftungsmaßnahmen stark erschwert.

Die Nutzung der Fläche erfolgt durch die Naturland-Landschaftspflege GmbH in Hänichen. Dabei wird der größte Teil der Fläche im Rahmen des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft (UL, RL-Nr. 73/2000), Teil B (Extensive Grünlandwirtschaft, KULAP), bewirtschaftet (siehe 2.3 Bewirtschaftungsmaßnahmen).



Abb. 1: Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen mit Blick auf Freital

2.1 Standortkundliche und pflanzensoziologische Kartierung

Die Kartierung der Grünlandfläche wurde 2003 und 2004 durch ein privates Ingenieurbüro durchgeführt.

2.1.1 Standorteigenschaften und Naturraum

Bei den Schweinsdorfer Alpen handelt es sich um ein Gebiet mit welliger, reliefierter Nordhanglage in der Nähe des Ortes Schweinsdorf im Kreis Freital. Sie befinden sich an der Grenze der Makrochoren Mulde-Lößhügelland und Osterzgebirge (MANNSFELD & RICHTER 1995), eingebettet zwischen den Landschaftseinheiten Unteres Osterzgebirge und Osterzgebirgsflanke. Die Schweinsdorfer Alpen liegen zwischen zwei Naturschutzgebieten (NSG). Nördlich schließt sich das NSG Windberg an und südwestlich das NSG Weißeritztalhänge. Ihren Namen verdanken die Schweinsdorfer Alpen der unruhigen Oberflächengestaltung vor allem östlich des Peißenoberlaufes mit einem Nebeneinander von kurzen Talkerben und steilhängigen Buckeln.

Abbildung 2 zeigt die Lage der Grünlandfläche im Gebiet sowie die Kartierungspunkte.

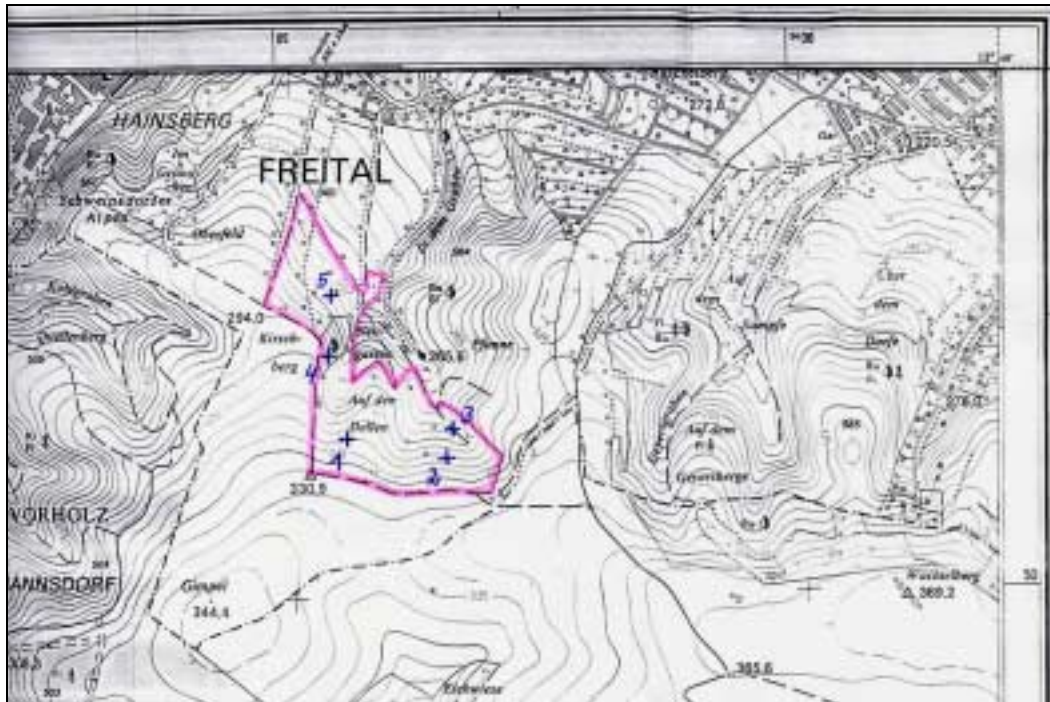


Abb. 2: Lage der Grünlandfläche im Gebiet und Kartierungspunkte

Geologie und Böden

Auf dem Untergrund von bunten Schieferletten, Schiefertönen und Mergel nebst Sandsteinen und Tonsteinen folgt eine Schicht aus vorwiegend Breccientuffen mit Konglomeraten, Sandsteinen, sandigen Schiefertönen und Tonsteinen. Darauf liegt eine Schicht aus Gneis-Porphyrkonglomerat mit zwischengeschaltetem roten Sandstein und sandigen Schiefertönen. Der kleinere nördlichere Teil der Schweinsdorfer Alpen befindet sich auf Gneis-Porphyrkonglomerat mit Geröllen von Fluidalporphyr und Porphyrit. Im Bereich der Schweinsdorfer Alpen finden sich Hanglehm und Hangschlufflehm. Im Folgenden werden wichtige Parameter der bodenkundlichen Untersuchungen für die fünf Kartierungspunkte aufgeführt:

Kartierungspunkt 1

Bodenart:	schluffiger Lehm (Lu), lehmiger Sand (Sl)
Substrattyp:	schuttführender Lehm
Bodentyp:	Ranker-Braunerde
Horizonte:	Ah- Ah+Bv-ilC
Geländeneigung:	12°
Exposition:	Nord/Nordost

Kartierungspunkt 2

Bodenart:	lehmiger Sand (Sl(gSms), Sl)
Substrattyp:	schuttführender Lehm
Bodentyp:	Ranker-Braunerde
Horizonte:	Ah-Ah+Bv-ilC
Geländeneigung:	20°
Exposition:	Nord/Nordwest

Kartierungspunkt 3

Bodenart:	schluffiger Sand (Su(gSms)), sandiger Lehm (Sl(gSms), Sl)
Substrattyp:	Lehmschutt
Bodentyp:	Braunerde-Ranker
Horizonte:	Ah-Bv/ilC-ilC
Geländeneigung:	20°
Exposition:	West/Südwest

Kartierungspunkt 4

Bodenart:	schluffiger Lehm (Lu), lehmiger Sand (Sl)
Substrattyp:	schuttführender Lehm
Bodentyp:	(Norm-) Braunerde
Horizonte:	Ah-Bv-Cv
Geländeneigung:	10°
Exposition:	Nord/Nordost

Kartierungspunkt 5

Bodenart:	schwach schluffiger Sand (Su2(gSms), Su2)
Substrattyp:	schuttführender Lehm
Bodentyp:	Ranker-Braunerde
Horizonte:	Ah-Ah+Bv-ilC
Geländeneigung:	10°
Exposition:	Nord/Nordost

Im Anhang 1 sind die detaillierten Daten der standortkundlichen Kartierung für die untersuchten Punkte aufgeführt.

Klima

Bestimmend für das Regionalklima sind gelegentlich auftretender Föhn und eine Dunsthaube im Kessel von Freital. Der nach Norden ausgerichtete Hang ist etwas kühler und feuchter als die südlichen und westlichen Hänge mit überdurchschnittlicher Sonneneinstrahlung (HEMPEL & SCHMIEMENZ 1986).

Hydrologie

Stand- und Fließgewässer kommen im Untersuchungsgebiet nicht vor. Der Bodenwasserhaushalt ist frisch. Es besteht eine schwache Tendenz zur Trockenheit in dem oberen Teil der Hänge und zu Bodenfeuchte in den Runsen.

2.1.2 Biotop- und Vegetationstypen im Kartierungsgebiet

Das Grünland im Kartierungsgebiet kann den Biotoptypen „Extensiv genutzte Frischwiese“ bzw. „Magere Frischwiese“ zugeordnet werden (Tabelle 1).

Tab. 1: Kartierte Biotop- und Vegetationstypen auf der Grünlandfläche

Kartierungspunkt	Biotoptyp	Vegetationstyp	Aufnahmetermin
1	Magere Frischwiese	Glatthafer-Frischwiese	08.06.2004
2			
3		Rotschwingel-Rotstraußgras-Frischwiese	
4	Extensiv genutzte Frischwiese	Wiesenfuchsschwanz-Frischwiese	
5			
6			

Extensiv genutzte Frischwiesen (GMY)

Beschreibung: Mäßig artenreiche, mehr oder weniger extensiv genutzte Frischwiesen, die häufig noch ehemalige Intensivierungseinflüsse aufweisen. Dazu gehören vor allem Gesellschaften der Glatthaferwiesen ohne Magerkeitszeiger.

Bewertung: Dieser Biotoptyp ist in Sachsen noch relativ häufig, wird jedoch in der Roten Liste der Biotoptypen als gefährdet eingestuft.

Magere Frischwiesen (GMM)

Beschreibung: Artenreiche, extensiv genutzte, magere Frischwiesen und Magerweiden. Kennzeichnend ist das Vorkommen von Magerkeitszeigern, die an eine lockere Vegetationsstruktur gebunden sind.

Bewertung: Gut ausgebildete Bestände dieses Biotoptyps sind in Sachsen sehr selten. Magere Frischwiesen werden in der Roten Liste der Gefährdungskategorie 1 (...von vollständiger Vernichtung bedroht...) zugeordnet.

In Tabelle 2 sind die Vegetationsaufnahmen an den sechs verschiedenen Punkten im Kartierungsgebiet zusammengestellt.

Im Anhang 2 befindet sich die Gesamtartenliste.

Tab. 2: Ergebnis der Vegetationsaufnahmen auf der Grünlandfläche

Kartierungspunkt	1	2	3	4	5	6
Aufnahmefläche in m²	20	25	25	25	25	25
Nummer der Boden- untersuchung	3	1	2	-	4	5
Biotoptyp	GMM	GMM	GMM	GMV	GMV	GMV
Deckung K in %	70	90	100	90	100	95
Deckung M in %	25	1	1	1	0	1
Arrhenatherion						
Achillea millefolium	1b	+	+			
Arrhenatherum elatius	+	3	4	1a	3	3
Galium album			+			
Poygono-Trisetion						
Hypericum maculatum	+					
Phyteumo-Trisetenion						
Campanula rotundifolia	1a					
Hieracium pilosella	2b					
Cynosurion						
Phleum pratense		1a				+
Arrhenatheretalia						
Agrostis capillaris	3					
Anthriscus sylvestris		1b	2a	+	1b	1a
Campanula patula			+			
Dactylis glomerata		1a	1a		2a	
Heracleum sphondylium					+	
Knautia arvensis						+
Trisetum flavescens			+			
Veronica chamaedrys		1b	1a			1a
Molinio-Arrhenatheretea						
Alopecurus pratensis		1b	2a		2b	1a
Anthoxanthum odoratum	1a	+				
Festuca rubra	1a	1b		+	+	
Holcus lanatus		+	1a			
Poa pratensis		1b	1a			2a
Poa trivialis					1b	
Ranunculus acris			+			
Ranunculus repens		+	+		1a	+
Rumex acetosa		1a	1a	+		+
Stellaria graminea	+	+	+	1a	+	+
Molinietalia						
Chaerophyllum aromaticum			1a		1b	1b
Geum rivale					+	
Nardo-Callunetea						
Luzula campestris	1b					
Begleiter						
Carex hirta	1a					
Carex muricata	+					
Carpinus betulus juv.	+					
Convolvulus arvensis						1a
Elymus repens		2a	1a			2b
Festuca brevipila	+					
Galeopsis tetrahit				+	+	
Galium aparine		+	1a	2a	1b	1b
Hieracium lachenalii	+					
Holcus mollis	+					
Myosotis stricta	+					

Quercus spec. juv.	1a					
Rumex acetosella	1b					
Rumex obtusifolius		+	+		+	
Saxifraga granulata		+	+			
Sedum maximum	+					
Silene viscaria	1a					
Stellaria media		+				
Tanacetum vulgare		1a				
Urtica dioica		r	+		2a	1b
Veronica hederifolia	+					
Vicia tetrasperma			+			
Moose						
Brachythecium albicans	2a	1a	1a	1a		1a
Eurhynchium swartzii		+				
Pohlia nutans	2a					

Legende:	
Spalte 1:	<i>Festuca rubra-Agrostis capillaris-Arrhenatheretalia-Gesellschaft</i>
Spalte 2-3:	<i>Arrhenatheretum elatioris Br.-Bl. 1915</i>
Spalte 4-6:	<i>Alopecurus pratensis-Arrhenatheretalia-Gesellschaft</i>

Auf der untersuchten Grünlandfläche wurden in guter Ausbildung die *Festuca rubra-Agrostis capillaris-Arrhenatheretalia-Gesellschaft* und in stark intensivierter Form das *Arrhenatheretum elatioris* erfasst. Beide Gesellschaften sind dem Biotoptyp magere Frischwiesen zuzuordnen. Stärker intensivierte Bestände gehören der *Alopecurus pratensis-Arrhenatheretalia-Gesellschaft* an und werden den sonstigen extensiv genutzten Frischwiesen zugeordnet.

Rotschwingel-Rotstraußgras-Frischwiese – *Festuca rubra-Agrostis capillaris-Arrhenatheretalia-Gesellschaft*

Am Nordostrand des Gebietes kommt auf mageren Standorten in südwestexponierter Lage die *Festuca rubra-Agrostis capillaris-Arrhenatheretalia-Gesellschaft* vor. Wegen der lockeren Vegetationsstruktur ist die Gesellschaft relativ artenreich. Besonders häufig treten Magerkeitszeiger wie die Rundblättrige Glockenblume (*Campanula rotundifolia*), Kleines Habichtskraut (*Hieracium pilosella*), Ruchgras (*Anthoxanthum odoratum*), Rotschwingel (*Festuca rubra*), Feld-Hainsimse (*Luzula campestris*) und Sand-Vergissmeinnicht (*Myosotis stricta*) auf.

Glatthafer-Frischwiese – *Arrhenatheretum elatioris Br.-Bl. 1915*

Den größten Flächenanteil nehmen ziemlich stark intensivierte Glatthafer-Frischwiesen ein, die pflanzensoziologisch nur in fragmentarischer Ausbildung vorliegen. Ihre Zuordnung zum Biotoptyp magere Frischwiesen ist nur sehr locker. In den Beständen dominieren Obergräser wie Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Wiesen-Fuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), Wiesen-Knäuelgras (*Dactylis glomerata*), Kriech-Quecke (*Elymus repens*). Magerkeitszeiger sind nur gering vertreten, z. B. Wiesen-Schafgarbe (*Achillea millefolium*), Wiesen-Glockenblume (*Campanula patula*) und Körnchen-Steinbrech (*Saxifraga granulata*).

Wiesenfuchsschwanz-Frischwiese – *Alopecurus pratensis*- *Arrhenatheretalia*-Gesellschaft

Auf ca. 1/5 der Fläche sind die Bestände noch stärker intensiviert, was auf Einflüsse aus der Vergangenheit zurückzuführen ist. Magerkeitszeiger wurden durch Obergräser und konkurrenzstarke Kräutern wie Wiesen-Kerbel (*Anthriscus sylvestris*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Große Brennessel (*Urtica dioica*) und Gewürz-Kälberkropf (*Chaerophyllum aromaticum*) verdrängt. Diese Bestände werden der Wiesenfuchsschwanz-Frischwiese zugeordnet und gehören zum Biotoptyp GMY.

Die räumliche Verteilung der Vegetationstypen ist in Abbildung 3 dargestellt.

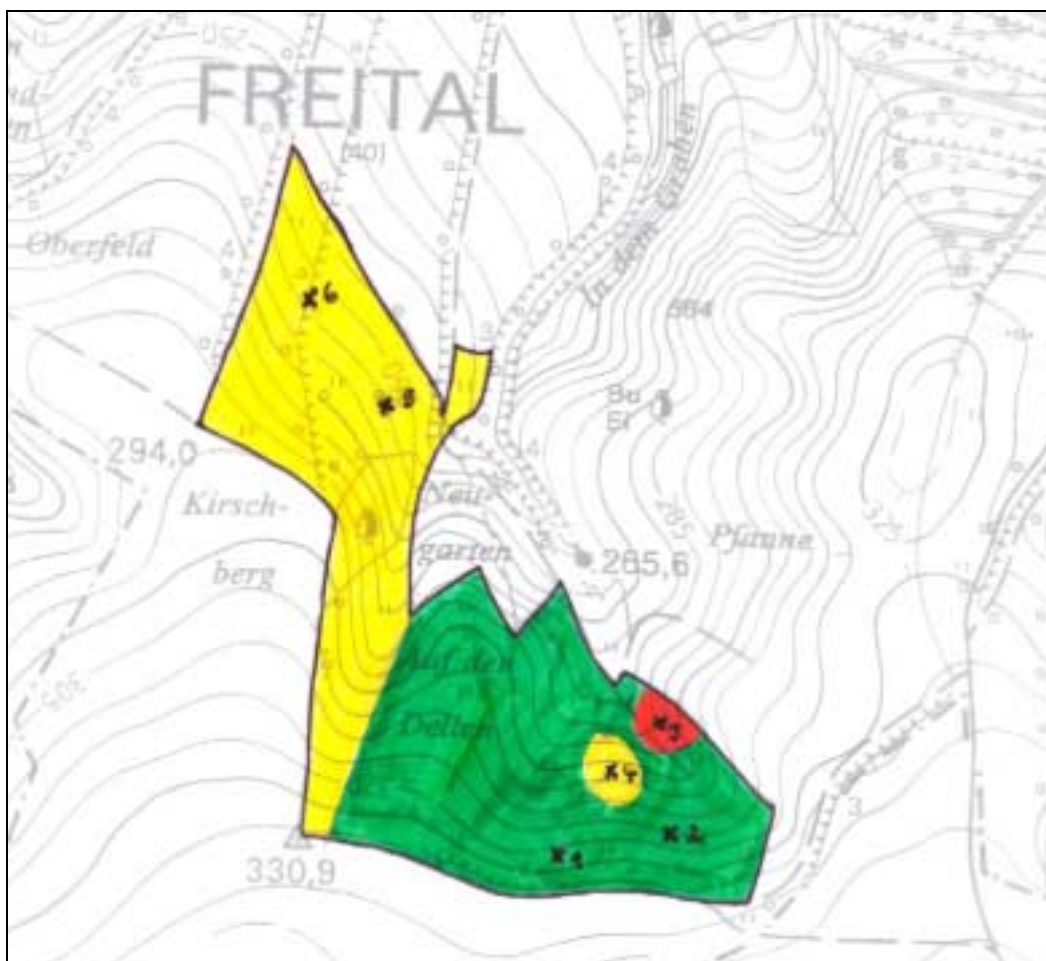


Abb. 3: Vegetationskarte der Grünlandfläche



Lage der Vegetationsaufnahme/Kartierungspunkte



18.2.0.1 Festuca rubra-Agrostis capillaris-Arrhenatheretalia-Gesellschaft GMM



18.2.1.1 Arrhenatheretum elatioris Br.-Bl. 1915, stark intensiviert (fragmentarische Ausbildung) GMM



18.2.0.6 Alopecurus pratensis- Arrhenatheretalia-Gesellschaft GMY

2.2 Witterung

Um die Witterung im Versuchsgebiet (Grünlandfläche, Kompostierungsstandorte) zu kennzeichnen, wurden die Wetterdaten der nächstgelegenen Wetterstation in Kreischa übernommen. Diese Daten entsprechen zwar nicht genau denen an den Versuchsstandorten (Hänichen), geben aber einen Einblick in den Temperatur- und Niederschlagsverlauf der Region. In Tabelle 3 sind die Witterungsdaten der Jahre 2001 bis 2004 der Wetterstation Kreischa zusammengestellt.

Tab. 3: Witterungsdaten der Wetterstation Kreischa von 2001 - 2004 (*nur bis 26. Okt. 2004 [Projektende] erfasst)

Jahr	Lufttemperatur		Niederschlag	
	Jahresdurchschnitt [°C]	Ø Vegetationszeit Mai - Okt. [°C]	Jahressumme [mm]	Σ Vegetationszeit Mai - Okt. [mm]
2001	9,5	16,3	717	396
2002	10,1	17,5	904	557
2003	10,4	19,0	299	165
2004 *	11,3 *	16,7 *	422 *	313 *

Während im Jahr 2002 starke Niederschläge fielen, was in vielen Gebieten zu heftigen Überschwemmungen führte, zeichnete sich das Jahr 2003 durch eine anhaltende Sommertrockenheit aus. Im Jahr 2003 wurden in der Vegetationszeit von Mai bis Oktober im Mittel Temperaturen von 19 °C ermittelt, die Niederschlagssumme in diesen fünf Monaten lag bei nur 165 mm. Das Jahr 2004 war durch höhere Niederschlagssummen als das Vorjahr gekennzeichnet. In den Abbildungen 4 und 5 sind die Temperaturverläufe und die Niederschläge der Versuchsjahre 2003 und 2004 grafisch dargestellt. Hier wird noch einmal deutlich, dass im Jahr 2003 in der Vegetationszeit nur ca. 16 bis 30 mm, im Juli 75 mm Niederschlag im Monat fielen.

Im Jahr 2004 fiel mehr Niederschlag als im Vorjahr. Vor allem die Monate Mai und Juli waren niederschlagsreich mit Niederschlagssummen von fast 90 mm, während in den heißen Sommermonaten August und September die Niederschlagssumme bei ca. 40 mm/Monat lag.

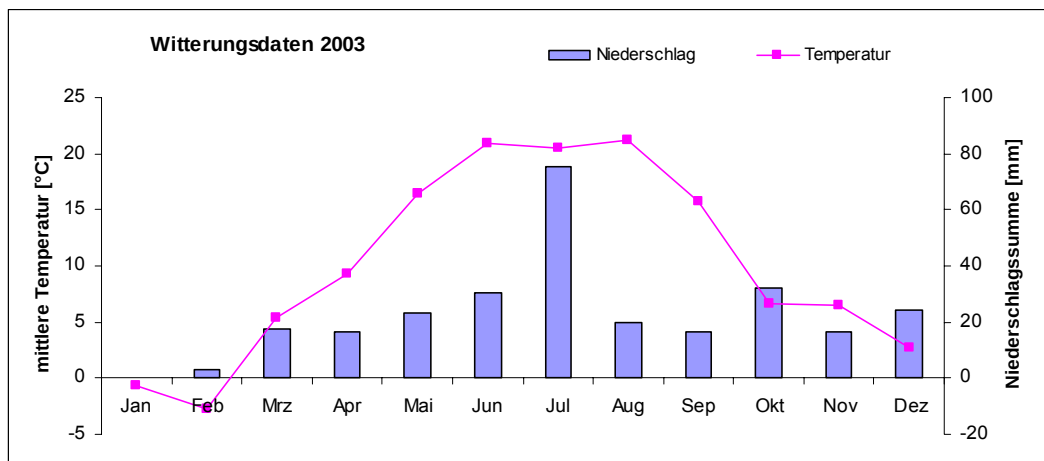


Abb. 4: Witterungsverlauf des Jahres 2003 (Wetterstation Kreischa)

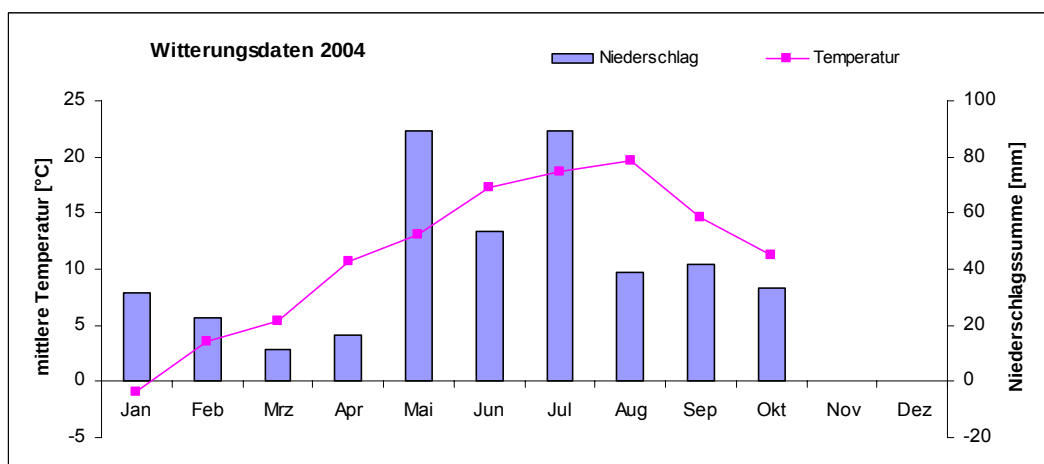


Abb. 5: Witterungsverlauf des Jahres 2004 (Wetterstation Kreischa)

2.3 Bewirtschaftungsmaßnahmen und Bodennährstoffgehalte der Grünlandfläche

Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung der Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen erfolgt seit 1994 zum größten Teil im Rahmen des KULAP als extensive Wiese. Die erste Schnittnutzung erfolgt hier erst ab dem 15. Juni. Der andere Teil der Fläche ist auf Grund extremer Hanglagen nur sehr schwer mechanisierbar und wird deshalb nur einmal jährlich gemulcht. Die gesamte Fläche wurde seit 1994 nicht mehr gedüngt. In Jahr 2003 erfolgte die Mahd der Grünlandfläche auf Grund des verzögerten Projektbeginns sehr spät (18. - 20. August). Der Bestand befand sich zu diesem Zeitraum in einem stark fortgeschrittenen Reifestadium. Alle Gräser waren bereits verblüht und abgereift. Im darauf folgenden Jahr wurde das Grünland am 16. Juni geschnitten.

Am 24.11.2003 erfolgte die Entnahme der Bodenproben für die Analyse der Nährstoffgehalte an neun unterschiedlichen Entnahmestellen der Grünlandfläche (Abbildung 6). Die Entnahme der Bodenproben für die Analyse des N_{min} -Gehaltes erfolgte in den Tiefen 0 - 15 cm, 15 - 30 cm und 30 - 60 cm und für die Untersuchung der Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium, Bor, Schwermetallen sowie dem pH-Wert und Humusgehalt in der Entnahmetiefe 0 – 10 cm. Je Entnahmebereich wurden ca. 10 Einstiche vorgenommen. Die verwendeten Methoden der chemischen Bodenanalysen sind im Anhang 3 aufgeführt.

Am 24.11.2003 erfolgte die Entnahme der Bodenproben für die Analyse der Nährstoffgehalte an neun unterschiedlichen Entnahmestellen der Grünlandfläche (Abbildung 6). Die Entnahme der Bodenproben für die Analyse des N_{min} -Gehaltes erfolgte in den Tiefen 0 - 15 cm, 15 - 30 cm und 30 - 60 cm und für die Untersuchung der Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium, Bor, Schwermetallen sowie dem pH-Wert und Humusgehalt in der Entnahmetiefe 0 – 10 cm. Je Entnahmebereich wurden ca. 10 Einstiche vorgenommen. Die verwendeten Methoden der chemischen Bodenanalysen sind im Anhang 3 aufgeführt.

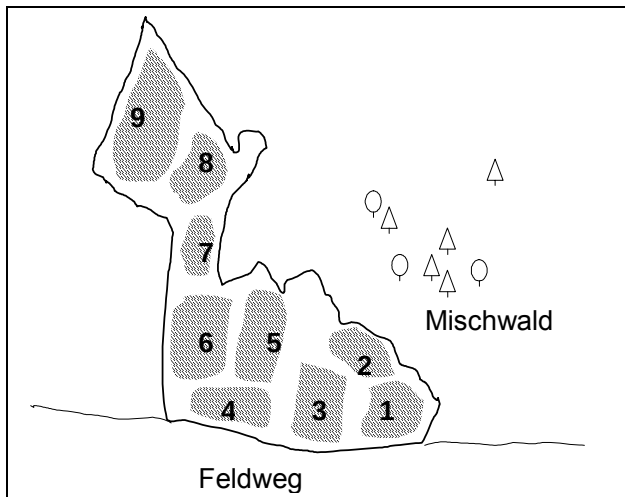


Abb. 6: Entnahmebereiche für die Bodenprobenentnahme im November 2003

In Tabelle 4 sind die Stickstoffgehalte ($N_{\min}$) für die unterschiedlichen Tiefen zusammengestellt. Die $N_{\min}$ -Gehalte sind mit 14 kg/ha*30 cm niedrig. Seit 1994 erfolgte keine Stickstoffdüngung des Schläges. Im Mittel beträgt der $N_{\min}$ -Gehalt in der Bodenschicht bis 15 cm Tiefe 9 kg N/ha und in der Bodenschicht von 15 bis 30 cm Tiefe nur 5 kg N/ha. Der Wassergehalt im Boden betrug im Herbst 2003 im Durchschnitt nur ca. 11 %. An den Entnahmestellen 1 und 2 (am Waldrand) und den Entnahmestellen 3, 4 und 6 (Hang) sind die Gehalte an $N_{\min}$ höher als im Tal (Entnahmestellen 8, 9).

Tab. 4: Stickstoffgehalte (N_{min}) im Boden der Grünlandfläche im November 2003

Entnahme - bereich	Schicht cm	Wassergehalt %	NO ₃ -N kg/ha	NH ₄ -N kg/ha	Summe N _{min} kg/ha
1	0-15	15,7	3,8	8,6	12
	15-30	15,1	2,6	5,8	8
2	0-15	8,0	6,2	8,1	14
	15-30	8,4	4,6	6,1	11
3	0-15	12,3	5,6	3,5	9
	15-30	12,1	1,4	3,3	5
4	0-15	7,5	4,6	5,9	11
	15-30	7,3	3,5	2,4	6
5	0-15	14,7	4,4	3,8	8
	15-30	13,7	2,3	2,5	5
6	0-15	10,6	1,2	4,6	6
	15-30	10,2	0,9	1,8	3
7	0-15	10,2	3,5	4,8	8
	15-30	9,8	1,6	2,2	4
8	0-15	10,8	1,4	2,9	4
	15-30	10,4	1,1	2,1	3
9	0-15	12,9	2,2	2,6	5
	15-30	11,9	1,9	2,6	4
Mittel der Gesamtfläche	0-15	11,4	3,7	5,0	9
	15-30	11,0	2,2	3,2	5
	0-30	11,2	5,9	8,2	14

In Tabelle 5 sind der pH-Wert und die Gehalte an Humus, Gesamtstickstoff, Kohlenstoff sowie an pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden zu Beginn der Einführung des KULAP auf der Grünlandfläche sowie im Jahr 2003 an den neun verschiedenen Entnahmestellen zusammengestellt.

Tab. 5: pH-Wert, Humusgehalt und Nährstoffgehalte im Boden der Grünlandfläche im Jahr 1994 sowie im November 2003

Jahr bzw. Entnahme- bereich	pH-Wert	Humus %	N %	C %	P mg/100g	K mg/100g	Mg mg/100g
1994	4,7				4,6	8,9	8,0
2003							
1	4,5	4,1	0,2	2,4	6,4	9,5	6,3
2	3,9	5,1	0,3	2,9	2,6	8,2	6,1
3	4,0	4,2	0,3	2,5	6,6	6,4	4,9
4	4,2	2,7	0,2	1,6	12,3	11,2	5,2
5	3,8	4,3	0,2	2,5	17,7	12,3	5,0
6	4,3	3,3	0,2	1,9	8,5	12,4	7,9
7	4,0	3,5	0,2	2,1	3,4	12,3	5,3
8	4,1	3,1	0,2	1,8	10,5	16,7	9,8
9	4,3	3,0	0,2	1,8	7,0	9,0	6,7
Mittel 2003	4,1	3,7	0,2	2,2	8,3	10,9	6,4

Die mittleren Gehalte an Makronährstoffen (P, K, Mg) im Boden zeigen, dass der Boden trotz unterlassener Düngung gut mit diesen Nährstoffen versorgt ist. Die mittleren Gehalte können den Ver-

sorgungsklassen C bis D zugeordnet werden. Die Schwankungen zwischen den einzelnen Entnahmestellen sind jedoch drastisch. Ein Vergleich der 2003 ermittelten Gehalte mit denen von 1994 ist aber nicht sinnvoll, weil nicht nachvollzogen werden kann, wo die Proben damals entnommen wurden. Der mittlere pH-Wert im Boden der Grünlandfläche ist sehr niedrig (pH-Klasse A). Hier ist deutlich erkennbar, dass der pH-Wert seit 1994 abgenommen hat. Es sollte dringend eine Kalkung der Fläche erfolgen. Um die optimale pH-Klasse C zu erreichen, ist eine Kalkung von ca. 40 dt CaO/ha (in zwei Gaben) notwendig.

Neben den oben aufgeführten Nährstoffgehalten wurde auch die Gehalte an Natrium, Chlor, Bor und Schwermetallen im Boden des Grünlandes bestimmt:

Na:	0,5	mg/100g
Cl:	< 0,1	mg/100g
B:	0,6	mg/kg
Cu:	30,8	mg/kg
Zn:	164,0	mg/kg
Cd:	0,4	mg/kg
Cr:	25,9	mg/kg
Hg:	0,1	mg/kg
Ni:	19,0	mg/kg
Pb:	41,2	mg/kg

Der ermittelte Zinkgehalt des Bodens ist in Anbetracht des sehr niedrigen pH-Wertes und der damit steigenden Zn-Löslichkeit und -Verfügbarkeit kritisch zu bewerten.

2.4 Erträge und wichtige Inhaltsstoffe der Grünlandaufwüchse

Die Bestimmung der Aufwuchsmengen sowie die Entnahme von Pflanzenproben für die Inhaltsstoffbestimmungen erfolgten an drei verschiedenen Stellen der Fläche, die sich vom Feldrand in Richtung Tal im Abstand von ca. 20 m befinden. In Tabelle 6 sind die Erträge der Versuchsjahre 2003 und 2004 aufgezeigt.

Tab. 6: Frisch- und Trockenmasseertrag der Grünlandfläche in den Jahren 2003 und 2004

Jahr	Schnitt-termin	Frischmasseertrag [dt/ha]	Trockensubstanz-gehalt [%]	Trockenmasse-ertrag [dt/ha]
2003	18. August	59	59	34
2004	16. Juni	148	29	42

Auf Grund der trockenen Witterung im Jahr 2003 sowie des späten Schnitttermins war der Trockensubstanzgehalt zur Mahd mit 59 % sehr hoch. Im Jahr 2004 erfolgte die Ernte nach den Anfor-

derungen des KULAP zum erstmöglichen Schnitttermin ab dem 15. Juni. Der Trockensubstanzgehalt war mit 29 % nur noch halb so hoch wie im Vorjahr.

In Tabelle 7 sind die wertgebenden Inhaltsstoffe der Aufwüchse zusammengestellt, die den Futterwert beschreiben. Die bei der chemischen Analyse der Inhaltsstoffe verwendeten Methoden sind in Anhang 3 zusammengestellt.

Tab. 7: Wertgebende Inhaltsstoffe der Grünlandaufwüchse in den Jahren 2003 und 2004 (Mittelwerte aus drei Pflanzenproben je Jahr)

Jahr	Schnitt-termin	Roh- asche	Roh- faser	Roh- fett	Roh- protein	ADF	ADL	ELOS	EULOS
(% in TS)									
2003	18. August	3,8	35,5	2,9	8,0	41,2	8,4	42,8	53,5
2004	16. Juni	4,8	37,2	2,2	8,1	39,5	6,1	46,8	48,4

Die Pflanzenbestandszusammensetzung, das Reifestadium der Pflanzen zur Ernte, die Düngung und die Nutzungshäufigkeit sind neben der Witterung die qualitätsbestimmenden Faktoren des Grünlands (MEAK 2002). Auf Grund der trockenen Witterung im Jahr 2003, der fortgeschrittenen Reife des Pflanzenbestandes zur Ernte (Bestandsbildner waren verblüht und vertrocknet) sowie der Extensivierung des Grünlandes war mit einer schlechten Futterqualität zu rechnen. Die hohen Gehalte an Rohfaser, ADF und ADL sowie die niedrigen Gehalte an Rohprotein und ELOS bei den Aufwüchsen aus spätem 1. Schnitt beschreiben deutlich die schlechte Verdaulichkeit und Futterqualität. Die Gehalte an Trockenmasse liegen stets über 40 %, der Rohfasergehalt über 30 und der Proteingehalt unter 13 % in der TS. Die Herstellung einer qualitativ hochwertigen Silage wäre somit nicht möglich gewesen.

Die Schätzung der umsetzbaren Energie (ME) in den spät geschnittenen Aufwüchsen erfolgte nach WEIßBACH et al. (1998):

$$ME \text{ [MJ/kg TM]} = 13,98 - 0,0147 \text{ RA} - 0,0102 \text{ EULOS} - 0,00000254 \text{ EULOS}^2 + 0,00234 \text{ RP}$$

RA, RP, EULOS in g/kg TS

Anschließend erfolgte die Berechnung der Netto-Energie-Laktation (NEL):

$$NEL \text{ [MJ/kg TM]} = ME (0,48 + 10,37 \text{ ME} / (1000 - \text{RA}))$$

Mit den o. g. Schätzgleichungen konnten folgende Energiegehalte berechnet werden:

Erntetermin	ME [MJ/kg TM]	NEL [MJ/kg TM]
2003 (18. August):	7,4	4,2
2004 (16. Juni):	7,9	4,5

Die errechneten Energiegehalte zeigen, dass die Grünlandaufwüchse aus spätem 1. Schnitt nur begrenzt als Futter einsetzbar wären. Der im August 2003 geschnittene Aufwuchs wäre höchstens als Futter bei älteren Jungrindern, nichtträchtigen Schafen, Damwild und Robustpferden geeignet

gewesen. Der Energiegehalt des Grünlandaufwuchses im Jahr 2004, welcher im Juni geschnitten wurde, liegt nur geringfügig höher als der des Vorjahres und kann somit ebenfalls nur für die oben genannten Produktionsformen der Tierhaltung sowie bei Aufzucht- und Mastrindern (> 200 kg), Mutterkühen und Ziegen mit genutzt werden (RIEHL 2003; NITSCHKE U. NITSCHKE 1994). In Tabelle 8 sind die Elementgehalte sowie der Heizwert der beiden untersuchten Aufwüchse aufgeführt. Der im Juni 2004 geschnittene Aufwuchs weist höhere Gehalte an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Natrium und Chlor auf als der erst im August geschnittene Aufwuchs des Jahres 2003. Jedoch liegt der Schwermetallgehalt insbesondere von Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Quecksilber und Blei 2004 niedriger als im Vorjahr.

Tab. 8: Inhaltsstoffparameter der verschiedenen Grünschnitte

Elemente	Dimension	2003 (18. August)	2004 (16. Juni)
N	% in TS	1,27	1,29
P	% in TS	0,16	0,22
K	% in TS	1,12	2,08
Mg	% in TS	0,09	0,09
Ca	% in TS	0,33	0,25
S	% in TS	0,14	0,12
Cl	% in TS	0,17	0,24
Na	% in TS	0,02	0,03
C	% in TS	47,92	48,16
Cr	mg/kg TS	2,10	1,81
Ni	mg/kg TS	1,53	0,83
Cu	mg/kg TS	6,43	4,90
Zn	mg/kg TS	25,55	23,14
Cd	mg/kg TS	0,06	0,12
Hg	mg/kg TS	0,02	0,01
Pb	mg/kg TS	0,78	0,32
Hu (wf)	MJ/kg TS	18,43	18,01

Im Hinblick einer energetischen Nutzung in Feuerungsanlagen sind die hohen Gehalte an Stickstoff, Kalium und Chlor im Grünschnitt/Heu als problematisch zu bewerten, weil diese beim Abbrand zu hohen Emissionen, Korrosion und Verschlackungen führen können. An den Analyseergebnissen wird deutlich, dass trotz Extensivierungsmaßnahmen (seit 1994) und vor allem des späten Schnitttermins noch erhebliche Gehalte an Stickstoff im Grünschnitt enthalten sind, welche im Hinblick einer energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen die Gefahr erhöhter Stickoxidemissionen mit sich bringen.

3 Untersuchungen zur Kompostierung von Grünlandaufwüchsen unter Verwendung verschiedener Zuschläge und Mietenabdeckungen

3.1 Ziel

Mit der Kompostierung bietet sich eine Möglichkeit der alternativen Nutzung von extensivem Grünschnitt. Ziel ist, den erzeugten Kompost im landwirtschaftlichen Wirtschaftskreislauf auf den Ackerflächen einzusetzen. Im Hinblick auf den Klimawandel und der daraus resultierenden Trockenheit

könnte damit auch ein Beitrag zur Verbesserung der Böden, speziell des Wasserhaltevermögens, geleistet werden. Denkbar ist auch, dass der produzierte Kompost an andere Betriebe und private Haushalte vermarktet wird und somit eine Einkommensalternative für den landwirtschaftlichen Betrieb darstellt.

Die Kompostierungsversuche erfolgen mit dem Ziel, unter praxisnahen Bedingungen in einem landwirtschaftlichen Unternehmen aus Grünschnitt einen hochwertigen Kompost herzustellen. Aus den Ergebnissen sollen konkrete Aussagen zu den qualitätsbeeinflussenden Maßnahmen getroffen werden, wie

- Aufbereitung des Grünschnitts (geschnitten oder gehäckselt),
- Aufbau der Kompostmieten (Größe und Form),
- Zusatz von Kompostierhilfsmitteln (Gülle, Harnstoff, Bioalgen®-Schnellkomposter),
- Abdeckung der Kompostmieten (Vlies oder Folie),
- Anzahl der Umsetzungen,
- Arbeitszeitbedarf (siehe Kapitel 7).

Bei den Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass die Kompostierung eine Nebenaufgabe des Betriebes darstellt und somit die im landwirtschaftlichen Betrieb vorhandene Technik zur Kompostierung genutzt werden muss. Kostenintensive Investitionen für die Kompostierfläche sowie -geräte (Kompostumsetzer) kamen nicht in Betracht, vielmehr sollten „Einfachlösungen“ gesucht werden. Zum einen erfolgte die Kompostierung feldnah (Feldrand) und zum anderen auf einem Lagerplatz des Betriebes.

Für die Untersuchungen zur Kompostierung von Grünschnitt wurde die in Abschnitt 2.1 beschriebene Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen in sächsischer Vorgebirgslage ausgewählt. Auf Grund des hohen Anteils an Streuobstwiesen in der Region erfolgten auch Untersuchungen zur Kompostierbarkeit bzw. zum Einfluss der Zumischung von Holzhäcksel zum Grasschnitt. Die Versuche zur Kompostierung erfolgten in den Jahren 2003 und 2004. Weil der Rotteprozess mehrere Monate dauert, ist es nicht möglich, mehrere Kompostierungen pro Jahr durchzuführen. Nach abgeschlossener Reife der Komposte wurden diese hinsichtlich ihrer Ertrags- und Nährstoffwirkung in Gefäßversuchen getestet.

3.2 Material und Methoden

In den Untersuchungen erfolgte die Prüfung der Kompostierung von Grünschnitt ohne und mit verschiedenen Zuschlägen sowie mit und ohne Abdeckung. Im Versuchsjahr 2004 wurden zudem zwei verschiedene Aufbereitungsformen des Grasschnittes bei der Kompostierung getestet (geschnitten, gehäckselt). Das Heu stammt von der in Abschnitt 2 beschriebenen Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen. Die Bewirtschaftung des Grünlands erfolgt seit 1994 extensiv mit später Schnittnutzung nach dem Kulturlandschaftsprogramm (KULAP). In den vorangegangenen Jahren verblieb ein großer Teil des gemulchten Grünschnitts auf der Fläche. Im Versuchszeitraum wurde der Grasschnitt, soweit es die starke Hangneigung erlaubte, von der Grünlandfläche abgefahren und für die Untersuchungen zur Kompostierung genutzt.

Im Versuchsjahr 2003 wurde das Grünland erst Mitte August mittels Schlegelmulchgerätes geschnitten (1. Schnitt). Als Beimischungen bei der Kompostierung wurden Gülle, Holzhackschnitzel und Bioalgeen®-Schnellkomposter getestet. Bei den sieben verschiedenen Kompostvarianten wurden sechs Mieten mit Kompostvlies abgedeckt, eine Miete wurde zum Vergleich nicht abgedeckt. Im Versuchsjahr 2004 konnte pünktlich am 16. Juni geschnitten werden. Zum einen erfolgten Kompostierungsversuche mit geschnittenem Grünschnitt und zum anderen mit Häckselgrünschnitt. Auch in diesem Jahr wurden verschiedene Beimischungen (Gülle, Harnstoff, Bioalgeen®-Schnellkomposter) hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Kompostierbarkeit geprüft. Zudem erfolgten Untersuchungen zur Mietenabdeckungen mit Kompostvlies und Silierschlauchfolie. In Tabelle 9 sind die geprüften Kompostvarianten der Versuchsjahre 2003 und 2004 zusammengestellt.

Tab. 9: Varianten der Kompostmieten

Variante	Grünschnitt/ Aufbereitung	Zuschläge	Abdeckung
Kompostvarianten 2003			
1	geschnitten	Rindergülle	-
2	geschnitten	Rindergülle	Vlies
3	geschnitten	ohne	Vlies
4	geschnitten	Bioalgeen®-Schnellkomposter	Vlies
5	geschnitten	Holzhäcksel + Rindergülle	-
6	geschnitten	Holzhäcksel + Bioalgeen®-Schnellkomposter	-
7	geschnitten	Holzhäcksel	-
Kompostvarianten 2004			
1	geschnitten	Rindergülle	-
2	geschnitten	Rindergülle	Vlies
3	geschnitten	ohne	Vlies
4	geschnitten	Bioalgeen®-Schnellkomposter	-
5	geschnitten	Harnstoff	Vlies
6	geschnitten	ohne	-/Folie *
7	gehäckselt	ohne	-
8	gehäckselt	ohne	Folie

* Folienabdeckung erfolgte erst zwei Monate nach dem Mietenaufsetzen

Gülle wurde mit dem Ziel eingesetzt, das C/N-Verhältnis zu verringern, den Kompostiervorgang zu verkürzen sowie den Nährstoffgehalt (vor allem Stickstoff) im Kompost zu steigern. Bei der in den Versuchen eingesetzten Gülle handelt es sich um Rindergülle. Durch den Einsatz von Bioalgeen®-Schnellkomposter sollte die Kompostierung beschleunigt werden. Bioalgeen®-Schnellkomposter ist ein Braunalgenpräparat der Firma Schulze & Hermsen GmbH. Nach Angaben des Herstellers erfolgt die Kompostierung in nur 6 bis 8 Wochen ohne Umsetzen.

Auf Grund des hohen Anfalls an Holzschnitt aus der Pflege von Feldrandgehölzen und Streuobstwiesen in der Region sollte auch dieses Material im Einsatz bei der Kompostierung getestet werden. Es handelt sich um Astmaterial sowie Stämme. Das Holz wird mittels Häcksler zerkleinert. Der Einsatz von Harnstoff mit 46 % Stickstoff (Amid) erfolgte mit dem gleichen Ziel wie die Güllebeimischung. Das C/N-Verhältnis und somit die Kompostierbarkeit sollte verbessert werden. Durch die Abdeckung der Miete mit einem wasserabweisenden und atmungsaktiven Kompostvlies (TopTex®) sollen laut Hersteller die Mieten vor Witterungseinflüssen wie Sonne und Regen geschützt werden und eine Reduzierung der Sickerwässer erfolgen.

Obwohl die Kompostierung ein aerober Prozess ist, erfolgte die Testung der Folienabdeckung (Silierschlauchfolie), welche relativ luftdicht die Miete abdeckt. Hiermit wurde das Ziel verfolgt, die im Versuchsjahr 2003 auffallend hohen Wasser- bzw. Feuchteverluste des Kompostmaterials einzuschränken. Die Ausgangsmaterialien Grasschnitt, Holzhäcksel, Rindergülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter wurden hinsichtlich chemischer Stoffparameter untersucht (Tabelle 10). Die bei den chemischen Analysen angewandte Methodik ist im Anhang 3 zusammengestellt.

Tab. 10: Analytik der Ausgangsstoffe Grasschnitt, Holzhäcksel, Rindergülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter (i. d. TS)

Ausgangsmaterial	Grünschnitt 2003	Grünschnitt 2004	Holzhäcksel	Rindergülle	Bioalgeen®-Schnellkomposter
TS % in TS	58,8	28,9	80,9	3,8	9,8
pH-Wert	-	-	-	7,4	8,1
N % in TS	1,3	1,3	0,3	5,6	1,0
P % in TS	0,2	0,2	<0,1	1,3	0,1
K % in TS	1,1	2,1	0,3	3,5	2,5
Mg % in TS	0,1	0,1	0,1	0,9	0,8
Ca % in TS	0,3	0,3	0,7	-	-
S % in TS	0,1	0,1	<0,1	0,5	2,3
C % in TS	47,9	48,2	48,9	43,6	34,9
C/N-Verhältnis	37:1	37:1	163:1	8:1	34:1
Cr mg/kg	2,1	1,8	1,1	3,9	0,2
Cu mg/kg	6,4	4,9	8,2	4,8	3,6
Ni mg/kg	1,5	0,8	1,4	6,7	0,7
Zn mg/kg	25,6	23,1	27,9	-	-
Cd mg/kg	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5
Hg mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Pb mg/kg	0,8	0,3	1,5	1,7	0,5

Zum einen fand die Kompostierung feldnah (Feldrand) statt, um Transportwege zu sparen, zum anderen auf einem vorhandenen befestigten betrieblichen Platz. Die benötigte Fläche zur Kompostierung am Rande des Grünlandes (Schweinsdorfer Alpen) wurde mit undurchlässigen Bergbaumatten befestigt, um ein Eindringen von Sickerwasser in den Boden zu vermeiden. Das Auffangen der entstehenden Sickerwässer zur Erfassung der Nährstoffkonzentrationen erfolgte über Ablaufrinnen und in das Erdreich eingelassene Regenfässer (500 Liter). Die befestigte Fläche war ca. 35 m lang und 6 m breit. Als zweite Fläche zur Kompostierung wurde ein durch Betonplatten befestigter Lagerplatz des Betriebes in Hänichen genutzt. Hier werden auch die aus der Landschaftspflege anfallenden Holzabfälle gelagert und aufbereitet.

3.2.1 Aufsetzen der Mieten

Nach dem Bergen und Abladen des Grünschnittes mit dem hangtauglichen Ladewagen auf den Kompostierplätzen erfolgte das Aufsetzen der Mieten mittels Traktor und angebauten Greifer (Kran). Pro Kompostvariante wurde eine Miete mit einer Größe von ca. 42 m³ (7 m lang, 3 m breit und 2 m hoch) aufgesetzt. Bei den Mieten mit Holzhäckseln wurden die Hackschnitzel beim Aufsetzen in zwei Schichten zwischen das Heu aufgebracht. Nach vier Tagen wurden die Mieten dann mit dem Kran umgesetzt und gemischt.

Das Aufbringen der Gülle auf die Mieten erfolgte mit dem Güllewagen. Das Güllerohr musste dafür baulich verändert werden. Somit kam der Ausbringstrahl höher und es wurde nicht nur der Mietenrand befeuchtet, sondern die Gülle von oben auf die Miete gerieselt. Pro Kompostmiete wurden ca. 2 x 3000 l Rindergülle ausgebracht. Am Feldrand lief ein großer Teil dieser Menge von der Miete in die Auffangfässer und musste mittels Pumpe wieder erneut aufgebracht werden. Nach diesen Beobachtungen wurde die Ausbringung der Gülle im Jahr 2004 optimiert. Hier wurde vorher eine Kuhle in die Miete gebracht, so dass die Gülle in die Mietenvertiefung läuft und somit nur ein geringer Teil der Gülle aus der Miete austrat.

Der Bioalgeen®-Schnellkomposter wurde, wie vom Hersteller empfohlen, mit Wasser im Verhältnis 1: 100 verdünnt und 1000 l dieser Lösung auf die Mieten mittels Kompressorankwagen mit einem Schlauch aufgebracht. Die Behandlung mit Bioalgeen®-Schnellkomposter wurde nach ca. sechs Wochen wiederholt. Auf Grund des sehr trockenen Ausgangsmaterials wurden die Mieten ohne den Beimischungen Gülle oder Bioalgeen®-Lösung nach dem Aufsetzen bewässert.

Die Beimischung des Harnstoffs bei einer Miete im Versuchsjahr 2004 erfolgte manuell. Dabei wurden 5 kg Harnstoff in Wasser aufgelöst und auf die Miete ausgebracht. Nach dem Bergen und Abladen des Grünschnittes mit dem hangtauglichen Ladewagen auf den Kompostierplätzen erfolgte das Aufsetzen der Mieten mittels Traktor und angebauten Greifer (Kran). Pro Kompostvariante wurde eine Miete mit einer Größe von ca. 42 m³ (7 m lang, 3 m breit und 2 m hoch) aufgesetzt.

In den Abbildungen 7 bis 10 sind die Arbeitsschritte bei der Kompostierung dargestellt.



Abb. 7: Abladen des Grünschnitts auf der Kompostierfläche mittels Ladewagen



Abb. 8: Bewässerung der Mieten



Abb. 9: Aufladen des Kompostmaterials auf den Miststreuer



Abb. 10: Umsetzen der Miete mit dem Miststreuer

3.2.2 Maßnahmen zur Kompostierung

Um den Kompostierungsvorgang zu beobachten und zu kontrollieren, erfolgte regelmäßig die Messung der Temperatur im Kern der Miete an je vier verschiedenen Einstichstellen pro Variante mit einem Mietenthermometer. Die Erfassung der Mietentemperatur sowie der gefallenen Niederschlagsmenge geschah dreimal wöchentlich, im Winter einmal pro Woche. Fielen die Temperaturen in den Mieten ab, wurden die Kompostmieten mittels Miststreuer umgesetzt und somit wieder mit Sauerstoff versorgt.

An Hand des Feuchtegehaltes wurden Zeitpunkt und Menge der Bewässerung festgelegt. Die Bewässerung erfolgte mit einem Güllewagen. Dabei wurde das Wasser von dem seitwärts fahrenden Güllewagen mit 10.000 oder 3.000 l Fassungsvermögen auf die Mieten aufgebracht. Ein großer Teil des Wassers (ca. 2/3) lief jedoch dabei durch bzw. an der Außenfläche der Mieten ab, ohne vom Kompostmaterial aufgenommen zu werden. In den Sickerwasserfässern konnte das Wasser aufgefangen und dann nochmalig auf die Mieten aufgebracht werden, jedoch die Verluste dadurch nur minimal reduziert werden, weil das Wasser auch bei zwei- oder dreimaliger Aufbringung kaum aufgenommen wurde.

Auf Grund der hohen Wasserverluste bei der Bewässerung erfolgte daher die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit von Grasschnitt, Stroh, Holz und Miscanthus in verschiedenen Aufbereitungsformen (z. B. geschnitten, gehäckselt, zerfasert) mittels einfacher Labormethodik. Die betreffenden Proben wurden in Wasser (16 - 18 °C) eingetaucht. Nach einer Eintauchzeit von 5 min, 1 h und 24 h und je einstündiger Abtropfzeit erfolgte die Rückwaage der Proben und die Berechnung der aufgenommenen Wassermenge bzw. des Feuchtegehaltes. Von den geprüften Materialien wurde vorher der Wassergehalt in der Originalsubstanz (OS) bestimmt.

3.2.3 Laboruntersuchungen

In unterschiedlichen Zeitabständen wurden Proben des Kompostmaterials und des Sickerwassers zur Analyse der Inhaltstoffe genommen. Die Analytik führte die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen, durch.

3.2.4 Ergebnisse der Untersuchungen zur Kompostierung von Grünschnitt

Die verschiedenen Kompostmieten (Tabelle 9) wurden im September 2003 bzw. Juli 2004 aufgesetzt, gemischt und einige abgedeckt, so dass die Kompostierung beginnen konnte. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die aufgesetzten Kompostmieten im Jahr 2003 an den zwei verschiedenen Standorten.



Abb. 11: Kompostmieten am Feldrand (2003)



Abb. 12: Kompostmieten auf dem Lagerplatz (noch unabgedeckt) (2003)

Das Jahr 2003 war durch eine extreme Sommertrockenheit gekennzeichnet, was sich auch in dem hohen Trockensubstanzgehalt des Grasschnitts mit 59 % zeigte. Dies machte es schwierig, die Kompostierung in Gang zu bringen, weil die Zersetzung der organischen Substanz zu Kompost maßgeblich vom Gehalt an Sauerstoff und Wasser beeinflusst wird.

Soll der Rotteprozess zügig ablaufen, müssen optimale Lebensbedingungen für die am Abbau beteiligten Mikroorganismen vorliegen. Günstige Milieubedingungen für den mikrobiellen Abbau lassen sich anhand eines charakteristischen Temperaturverlaufes im Rottegut erkennen. Durch die intensive Abbautätigkeit der Mikroorganismen wird schon kurze Zeit nach dem Aufsetzen der Kompostmieten eine Erhöhung der Mietenkerntemperatur auf über 60 °C erreicht (Heißrotte oder thermophile Phase). Dieses Temperaturniveau wird weitgehend unabhängig von der Witterung in der Regel für 8 - 12 Wochen gehalten. Im weiteren Verlauf der Rotte sinken die Temperaturen auf 30 - 40 °C ab (Nachrotte oder mesophile Phase) (GRABBE & SCHUCHART 1993). Eine Selbsterhitzung des Rottegutes auf > 60 °C muss sichergestellt sein, weil bei diesen Temperaturen im Ausgangsmaterial enthaltene Unkrautsamen und Keime (Erreger von Pflanzenkrankheiten) abgetötet werden (BECKMANN 1997).

Die Mientemperatur wurde dreimal wöchentlich an vier verschiedenen Einstichstellen je Variante im Mietenkern erfasst. Fielen die Temperaturen im Mietenkern deutlich ab, wurden die Mieten umgesetzt, um die Durchlüftung zu verbessern und somit den Umsetzungsprozess wieder zu beleben. Die Rottedauer betrug bei den Kompostmieten des Jahres 2003 ca. sieben Monate von September 2003 bis April 2004. Die Mieten mussten auf Grund der Trockenheit des spät geschnittenen Grünschnitts fünfmal umgesetzt und bewässert werden. Abbildung 13 zeigt die fertig gereiften Kompostvarianten am Feldrand.



Abb. 13: Ausgereifte Kompostmieten am Feldrand (April 2004)

In Tabelle 11 werden die Kompostvarianten des Jahres 2003 hinsichtlich der erreichten Mientemperaturen und des Rottegrades charakterisiert.

Die Kompostmieten des Versuchsjahres 2004 sind derzeit noch nicht ausgereift. Somit können zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussagen zum Temperaturverlauf und der Qualität getroffen werden.

Da die Temperaturmessung nicht täglich stattfand, wurde für die fehlenden Messdaten der Mittelwert aus dem vorherigen und dem folgenden Messergebnis angenommen. Daher handelt es sich bei den angegebenen Tagen der Mietenerwärmung auf $> 55\text{ °C}$ und $> 65\text{ °C}$ (nach BioAbfV) zum Teil um errechnete und nicht gemessene Daten. Die angegebenen Werte stellen jedoch ein hilfreiches Maß zum Vergleich der Kompostvarianten dar.

Tab. 11: Rottegrad der Komposte und Temperaturparameter der Kompostierungsversuche 2003

Varianten:	1	2	3	4	5	6	7
Zuschläge:	Gülle	Gülle	-	Bio-algeen	Holzhäcksel +		
					Gülle	Bio-algeen	-
Abdeckung:	ohne	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies
Rottegrad	V	V	V	IV	IV	V	IV
Mietentemp.-maximum [°C]	62	70	67	51	57	47	43
Ø Mietentemp.*							
≥ 55 °C [d]	18	28	13	0	2	0	0
≥ 65 °C [d]	0	9	2	0	0	0	0

* BioAbfV: $\geq 55\text{ °C}$ mind. 14 Tage oder $\geq 65\text{ °C}$ mind. 7 Tage, um Hygienisierung zu gewährleisten

Im April 2004 waren alle Mieten des Versuchsjahres 2003 zu Fertigkomposten mit Rottegrad IV und V gereift.

Nach Biomasseabfallverordnung muss während der Kompostierung eine Erwärmung des Kompostmaterials auf mind. 55 °C für einen zusammenhängenden Zeitraum von 14 Tagen oder auf mind. 65 °C für 7 Tage erreicht werden, um eine ausreichende Hygienisierung zu gewährleisten. Dies gilt nur für Komposte, die in Verkehr gebracht werden sollen. Jedoch sollte auch bei Komposten, die im eigenen Betrieb hergestellt und ausgebracht werden, darauf geachtet werden, dass diese frei von Unkrautsamen und Erregern von Pflanzenkrankheiten sind. Eine hohe Erhitzung der Kompostmieten und damit auch Hygienisierung des Rottematerials konnte an Hand der Mientemperaturen nur bei den Varianten mit Güllebeimischung (1. und 2.Variante) nachgewiesen werden. Alle anderen Varianten, besonders die Komposte mit Holzhäcksel wiesen keine ausreichende Erhitzung der Mieten auf. In Tabelle 12 sind die chemischen Parameter der Komposte (Versuchsjahr 2003) zusammengestellt.

Tab. 12: Chemische Parameter der Komposte (Versuchsjahr 2003)

Varianten:	1	2	3	4	5	6	7
Zuschläge:	Gülle	Gülle	-	Bio-algeen	Holzhäcksel +		
					Gülle	Bio-algeen	-
Abdeckung:	ohne	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies	Vlies
pH-Wert	7,4	7,2	6,9	7,3	7,8	7,7	7,3
TS %	38,5	41,0	38,5	43,5	41,4	38,6	50,3
N [% i. d. TM]	3,6	3,1	2,7	2,2	2,0	1,6	1,6
P [% i. d. TM]	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
K [% i. d. TM]	2,0	1,9	1,6	1,8	1,4	1,0	0,6
Mg [% i. d. TM]	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
S [% i. d. TM]	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
Ca [% i. d. TM]	1,0	1,0	0,9	0,9	1,4	1,0	1,0
C [% i. d. TM]	48,2	46,1	46,0	48,8	46,7	52,2	53,1
GV [% i. d. TM]	83,1	79,4	79,3	84,2	80,5	90,1	91,6
Asche [% i. d. TM]	16,9	20,6	20,7	15,8	19,6	10,0	8,5
C/N-Verhältnis	13:1	15:1	17:1	22:1	23:1	33:1	33:1
Cd mg/kg TM	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2
Pb mg/kg TM	7,5	8,5	10,5	6,7	9,1	4,7	4,6
Cu mg/kg TM	22,7	21,6	9,9	7,8	28,0	8,5	8,1
Cr mg/kg TM	6,9	7,6	7,8	5,1	6,2	3,6	2,4
Ni mg/kg TM	5,8	7,2	6,9	5,0	6,1	3,9	2,8
Hg mg/kg TM	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03
Zn mg/kg TM	99,8	95,4	89,1	70,0	99,0	47,9	42,5

Die Kompostvarianten mit Güllebeimischungen erreichten einen höheren Stickstoffgehalt und damit auch ein ausgeglichenes C/N-Verhältnis. Der Kalium- und Magnesiumgehalt im Kompost wurde ebenfalls gesteigert. Durch die Zumischung von Holzhäckseln und des damit einhergehenden Anstiegs des Kohlenstoffgehaltes erweiterte sich das C/N-Verhältnis stark. Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff des zu kompostierenden Materials bestimmt wesentlich den Rotteverlauf. Somit sollte bei stickstoffarmen Ausgangsmaterial stickstoffreiches zugemischt werden, um die Kompostierbarkeit zu verbessern. Die Beimischung von Holzhäckseln zu kohlenstoffreichem Grünschnitt ist nicht sinnvoll. Das fertige Kompostsubstrat sollte ein C/N-Verhältnis von 10-20:1 aufweisen (BECKMANN 1997), weil sonst bei Ausbringung des Kompostes auf dem Boden die Mikroorganismen dem Boden Stickstoff entziehen bzw. festlegen, um organische Substanz (Kohlenstoff) zu verwerten. Die Gehalte an Schwermetallen lagen bei allen Kompostvarianten unter den zulässigen Grenzwerten der Biomasseabfallverordnung (BioAbfV). Mit der Zumischung der Gülle erfolgte eine unwesentliche Erhöhung des Kupfer- und Zinkgehaltes.

3.2.5 Einfluss verschiedener Zuschläge bei der Kompostierung auf die Miettemperatur

Bei den Untersuchungen zur Kompostierung von spätgeschnittenem Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung war die Erwärmung der Mieten auf Grund des geringen Feuchtegehaltes des

Grasschnittes sowie der im Jahr 2003 in einigen Mieten beigemischten trockenen Holzhäcksel weniger intensiv. Die thermophile Phase der Rotte (Mietentemperaturen $> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) wurde in den Kompostierungsversuchen 2003 und 2004 erst nach ca. einem Monat erreicht.

Die ständige Überwachung der Mietentemperatur ermöglicht es, etwaige Störungen des Kompostierungsprozesses schnell zu erkennen. Dies sind im Allgemeinen hauptsächlich Nährstoffmangel, Sauerstoffmangel (anaerobe Zonen) und zu große Trockenheit der Mieten (in den Sommermonaten). In den Abbildungen 14, 15 und 16 sind die durchschnittlichen Mietenkerntemperaturen (mit gleitendem Durchschnitt) der Kompostvarianten mit unterschiedlichen Zuschlägen der Jahre 2003 und 2004 dargestellt.

Die Pieks in den Diagrammen zeigen die starke Erwärmung der Mieten kurz nach dem Umsetzen und Bewässern an und sind ein Indiz für den intensiven mikrobiellen Abbau organischer Substanz. In beiden Versuchsjahren konnten bei den Varianten mit Beimischungen von Gülle ein höheres Temperaturniveau in den Mieten im Vergleich zu den anderen Varianten ohne Zumischungen mit Harnstoff oder mit Bioalgeen®-Lösung festgestellt werden. Die Mietentemperatur konnte durch den Einsatz von Rindergülle und der damit verbundenen Optimierung des C/N-Verhältnisses um 10 - 15 % gesteigert werden. Die Kompostvarianten mit Beimischung von Holzhäckseln erreichten nur Mietentemperaturen $< 60^{\circ}\text{C}$, die Varianten mit Holzhäcksel ohne weitere Zuschläge und die Variante mit Holzhäckseln und Bioalgeen®-Schnellkomposter nur $< 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durch die Beimischung von Holzhäcksel kommt es zu einer Erweiterung des C/N-Verhältnisses der Rotte, welche die Kompostierbarkeit verschlechtert.

Im Jahr 2004 erfolgte durch die Beimischung von Bioalgeen®-Schnellkomposter eine stärkere Erwärmung der Mieten als im Vorjahr, was sowohl auf die fehlende Mietenabdeckung als auch auf die günstigeren Witterungsverhältnisse des Jahres zurückzuführen ist. Laut Hersteller wird durch Austrocknung der Mieten und eventuell auch durch Abdeckung die Wirkung des Schnellkomposters eingeschränkt.

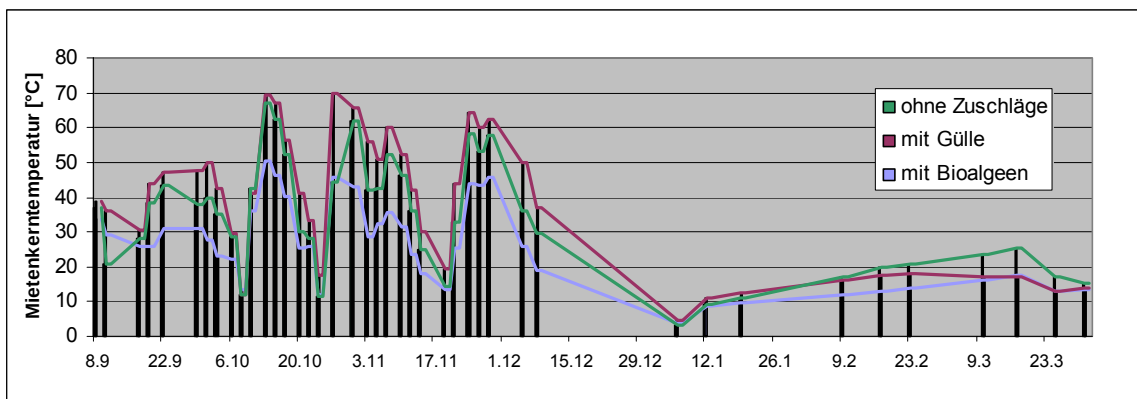


Abb. 14: Mietentemperaturen der Kompostmieten ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter im Jahr 2003

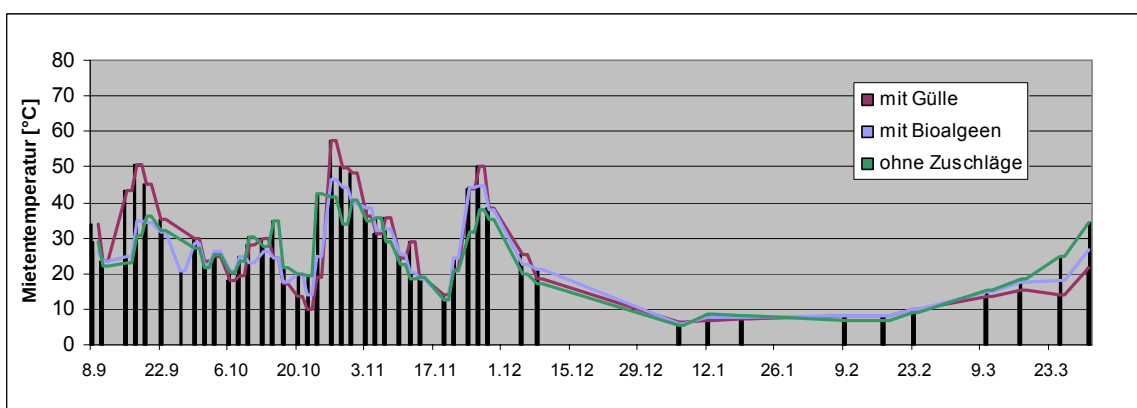


Abb. 15: Mietentemperaturen der Kompostmieten mit Holzhäckseln ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter (2003)

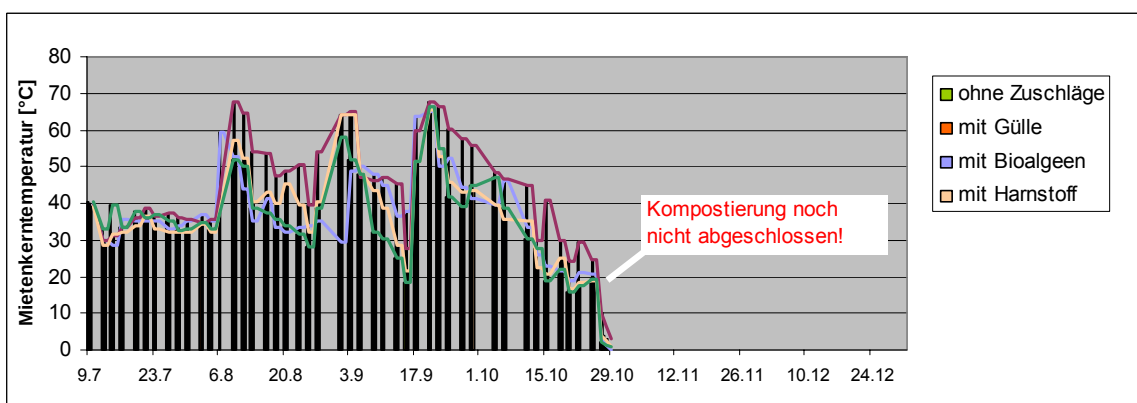


Abb. 16: Mietentemperaturen der Kompostmieten ohne Zuschläge und mit den Beimischungen Gülle und Bioalgeen®-Schnellkomposter im Jahr 2004

Bei der Temperaturmessung konnte beobachtet werden, dass die Temperaturen in der Miete stark von der Windrichtung abhängig waren. Die Mietenseiten, die stark durch Wind beeinflusst wurden, wiesen eine geringere Mietentemperatur als die windgeschützten Seiten auf. Dies konnte vor allem bei den Kompostmieten am Feldrand beobachtet werden, die meist quer zu Windrichtung lagen.

Nach verschiedenen Literaturangaben verläuft die Kompostierung wetterunabhängig (BECKMANN 1997, KLEINKE 1997), d. h., auch bei kalter Umgebungstemperatur wird der Rotte- und Reifeprozess durch die Mikroorganismen im Mietenkern in Gang gehalten. In den Kompostierungsversuchen wurde jedoch ein Abfall der Mietentemperatur über die Wintermonate beobachtet. Dies kann darin begründet werden, dass der Mietendurchmesser relativ klein war und somit Kälte und Frost bis in den Mietenkern vordringen konnten.

3.2.6 Einfluss der Vliesabdeckung

In Abbildung 17 ist die Temperaturveränderung durch die Vliesabdeckung der Kompostversuche 2003 dargestellt. Es handelt sich dabei um die 1. und 2. Variante (Grünschnitt mit Güllebeimischung), die mit und ohne Vliesabdeckung getestet wurden. Es zeigt sich, dass die Mietentemperatur durch die Abdeckung um ca. 6 - 12 % gesteigert wird. Es konnte eine durchschnittliche Temperaturerhöhung um 3 - 5 °C erfasst werden.

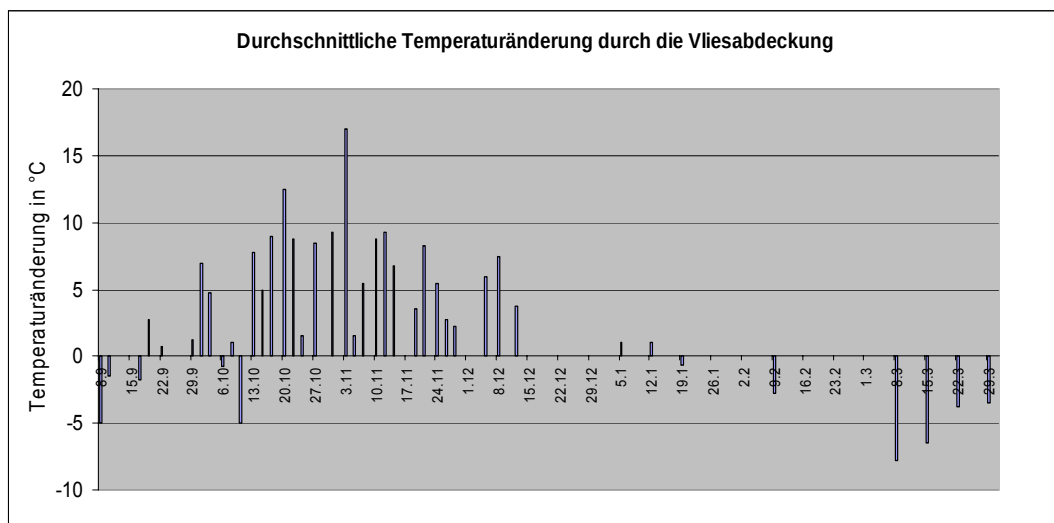


Abb. 17: Einfluss der Vliesabdeckung auf die Mietentemperatur

Ähnlich stellte sich der Einfluss der Vliesabdeckung auf die Mietentemperatur im Jahr 2004 dar (Abbildung 18). Auch hier zeigt sich, dass die Mietentemperatur durch die Vliesabdeckung erhöht werden kann. Die Temperaturerhöhung durch die Mietenabdeckung lag im Zeitraum Juli bis Ende Oktober 2004 bei durchschnittlich 6 °C.

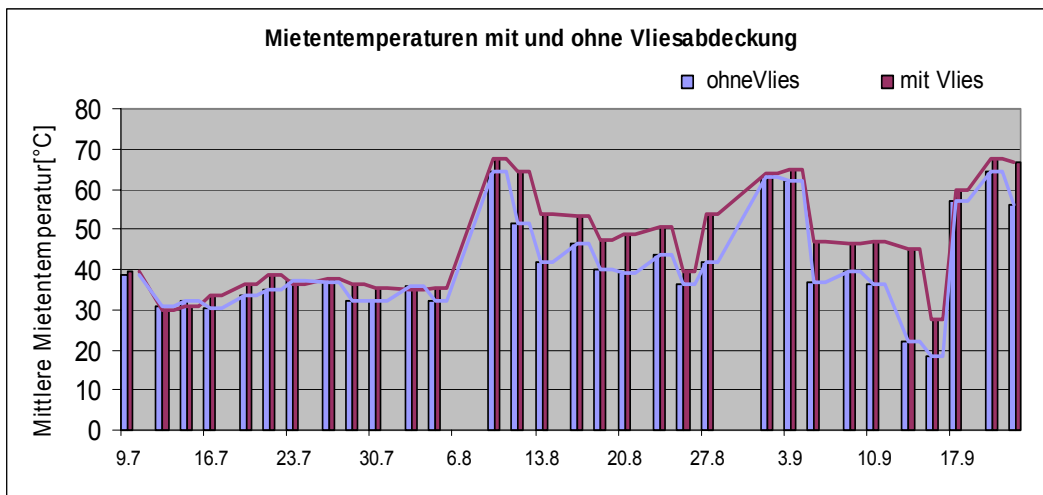


Abb. 18: Mietentemperaturen der Kompostvarianten mit und ohne Vliesabdeckung im Jahr 2004

Neben dem positiven Einfluss auf die Miettemperatur und somit der Kompostierung des Grünschnittes soll an dieser Stelle auch auf den optischen und ästhetischen Effekt der Vliesabdeckung hingewiesen werden. Durch die Vliesabdeckung von Kompostmieten am Feldrand kann durchaus die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöht werden. Es wird deutlich, dass es sich nicht um abgeladenen landwirtschaftlichen Abfall handelt, sondern um einen erzeugten Rohstoff.

3.2.7 Einfluss der Folienabdeckung

Auf Grund der großen Feuchtigkeitsverluste durch die trockene und warme Witterung im Versuchszeitraum 2003 sowie auch der geringen Feuchte des spät geschnittenen Grases erfolgte im Jahr 2004 bei der 8. Kompostvariante (gehäckselter Grünschnitt + Folie) sofort nach dem Aufsetzen der Miete eine Abdeckung mit Silierschlauchfolie. Dabei wurde die Miete nicht hermetisch abgedichtet, sondern lag an den Seiten locker auf, so dass eine geringe Luftzufuhr noch möglich war. Kurze Zeit nach dem Aufsetzen zeigte sich die positive Wirkung der Folienabdeckung in überdurchschnittlich hohen Mietentemperaturen und einem intensiven Rotteverlauf.

Derzeit kann angenommen werden, dass die Kompostierung bzw. Reife im November 2004 abgeschlossen ist. Das heißt, dass die Rottedauer des Grünschnittmaterials durch eine Folienabdeckung drastisch verkürzt werden kann. In Abbildung 19 sind die Mietentemperaturen der 7. Variante (gehäckselter Grünschnitt ohne Abdeckung) und der 8. Variante (gehäckselter Grünschnitt mit Folienabdeckung) des Versuchsjahres 2004 dargestellt.

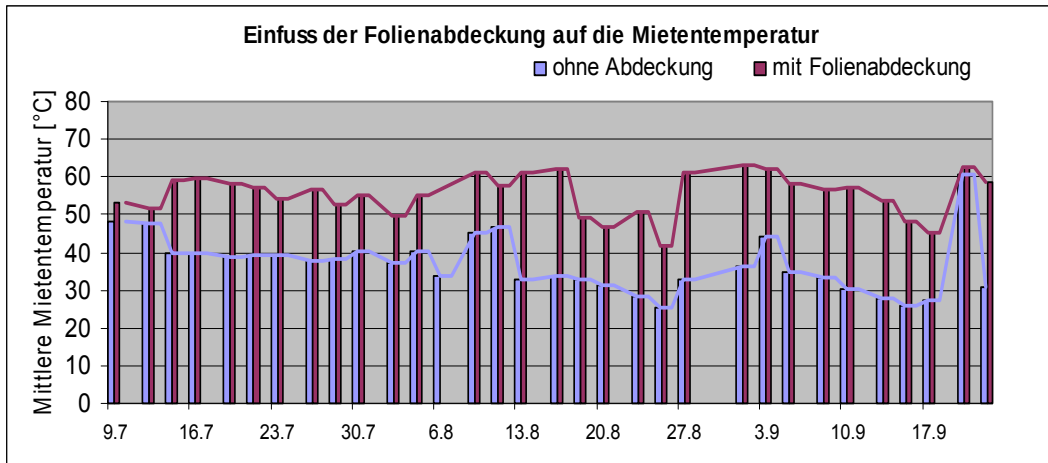


Abb. 19: Miettemperaturen der Kompostmieten mit und ohne Folienabdeckung (2004)

Der Temperaturerhöhung durch die Folienabdeckung betrug im Durchschnitt 16 °C.

Abbildung 20 zeigt deutlich das fortgeschrittene Reifestadium (typisch dunkelbraune Farbe) der Kompostvariante mit Folienabdeckung (Folie beim Umsetzen abgedeckt).



Abb. 20: Kompost der Mieten mit und ohne Folienabdeckung im Oktober 2004 vor dem Umsetzen (Folie abgedeckt)

Die Kompostierung ist ein aerober Prozess, d. h., die Mikroorganismen benötigen Sauerstoff für Zersetzung organischer Substanz. Trotz dieses Sachverhaltes zeigten sich bei der Kompostierung des Grünschnittmaterials keine negativen Auswirkungen der Folienabdeckung. Eine Schimmelbil-

dung war bei dieser Kompostvariante nicht auffällig. Außerdem konnte das Bewässern der Miete eingespart werden, weil die Feuchtigkeitsverluste durch die Folienabdeckung deutlich reduziert werden. Daher ist anzunehmen, dass die Folienabdeckung bei strukturreichem Material, wie dem spät geschnittenen Grünschnitt, durchaus sinnvoll ist und dadurch die Kompostierung intensiviert werden kann. Bei der Abdeckung von Kompostmieten mit Folie ist eine ständige Überwachung des Rotteverlaufs nötig, um bei Anzeichen von Sauerstoffmangel (z. B. Temperaturabfall, Schimmel- und Moderbildung) schnell eingreifen zu können.

Eine Bestimmung und Kennzeichnung der Mikroorganismen in den Komposten konnte bei den Untersuchungen leider nicht durchgeführt werden. Die Bestimmung der in den Mieten vorhandenen Bakterien- und Pilzstämme würde sicherlich einen nützlichen Einblick in die Milieubedingungen und wichtige Informationen für eine Optimierung des Kompostierungsprozesses geben.

3.2.8 Einfluss der Aufbereitungsart des Grünschnittes auf die Kompostierbarkeit

Die Untersuchungen mit unterschiedlich aufbereitetem Grünschnitt (gemulcht, gehäckselt) erfolgten im Jahr 2004 und sind somit noch nicht abgeschlossen. Abbildung 21 zeigt den Temperaturverlauf bei der Kompostierung der Mieten der 6. Variante (geschnitten + Folienabdeckung nach dem 2. Monat) und der 7. Variante (gehäckselt ohne Abdeckung). Eine Erhöhung der Mietentemperaturen kann nicht deutlich beobachtet werden, zumal die 6. Variante nach zwei Monaten Rottedauer mit einer Folie abgedeckt wurde und somit die Varianten nicht mehr vergleichbar sind.

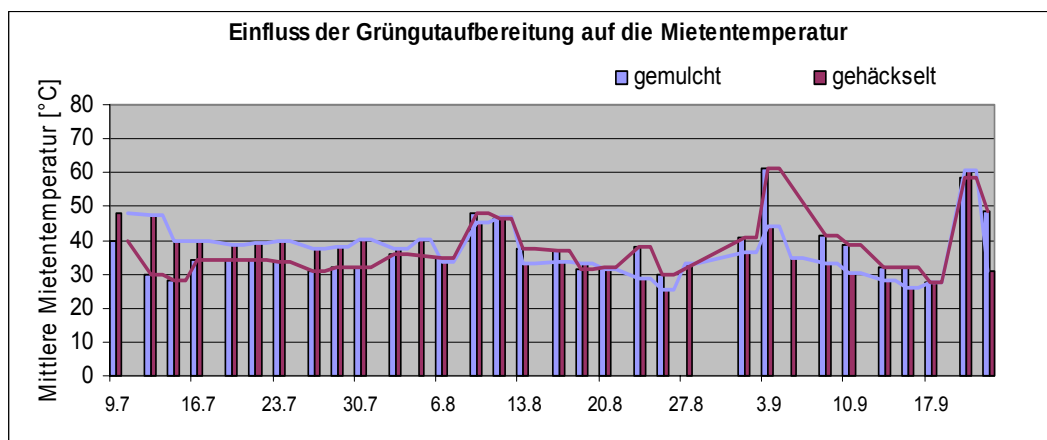


Abb. 21: Mietentemperaturen der Kompostmieten aus geschnittenem (gemulcht) und gehäckseltem Grünschnitt

Durch das Schneiden mit einem Schlegelmulchgerät wird das Schnittgut zerrissen und zerkleinert, während andere Mähwerke das Gut nur schneiden. Dieses Verfahren führt auf Grund der Oberflächenvergrößerung des Schnittguts zu einer schnelleren Trocknung des Gutes, was vor allem bei der Heubereitung erwünscht ist. Im Falle der späteren Kompostierung des Grünschnitts stellt der Feuchtigkeitsverlust bei diesem Ernteverfahren ein Problem dar, weil dieser bei der Kompostierung

durch aufwendige Bewässerungsmaßnahmen wieder ausgeglichen werden muss. Aus diesem Grund sollte auch auf eine weitere Aufbereitung mittels Wendemaschinen (Konditionierer) verzichtet werden.

Beim Häckseln des Grünschnittes bleibt die Feuchtigkeit im Erntegut erhalten, weil die Schnittflächen verschlossen werden. Die Grünlandmahd mittels Schlegelmulchgerät stellt gerade in den Vorgebirgslagen (Hanglagen) eine bevorzugte Technik dar. Das Schlegelmulchgerät kann an einen hangtauglichen Traktor angehängt werden und ist somit auch an Hängen- und Steilhängen einsetzbar, während ein selbstfahrender Häcksler nur bis zu einer Hangneigung von ca. 20 % genutzt werden kann.

Bei der Kompostierung von Grünschnitt ist es erforderlich, das Erntegut so nass wie aus arbeits-technischer Sicht möglich zu schneiden und sofort nach dem Schnitt zu bergen und zu Mieten aufzusetzen, um Feuchtigkeitsverluste weitgehend zu minimieren und damit aufwendige und kostenintensive Bewässerungsmaßnahmen zu sparen.

3.2.9 Wasseraufnahmevermögen

Trotz angestrebter Bewässerungsmaßnahmen nahm der Feuchtegehalt des Kompostierungsmaterials nur langsam zu. Ein großer Teil des auf die Kompostmieten aufgebrauchten Wassers floss durch die Mieten durch und wurde somit vom Kompostierungsmaterial nicht aufgenommen. Die Verluste betrugen ca. zwei Drittel der Wassermenge. Das schlechte Wasseraufnahmevermögen zeigte sich auch in den Ergebnissen der dazu durchgeführten einfachen Untersuchungen. Um das Wasseraufnahmevermögen zu prüfen, wurden verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Aufbereitung und Zerkleinerungsgrad getestet.

Das Heu wurde unzerkleinert, geschnitten in 5 cm lange Stücke sowie als Faserstoff geprüft. Das Stroh wurde grob (1 cm) gemahlen. Das verwendete Stroh und Heu wies eine Trockenmasse von ca. 93 - 94 % auf. Bei Miscanthushäckseln betrug der Trockenmassegehalt 88 % und bei dem Holz-faserstoff nur 51 %. In Tabelle 13 ist das Wasseraufnahmevermögen von extensivem Grasschnitt, Stroh, Holz und Miscanthus in Abhängigkeit von der Eintauchdauer und der Aufbereitung des Materials zusammengestellt.

Tab. 13: Trockenmassegehalt, Wassergehalt in der Originalsubstanz und aufgenommene Wassermenge nach verschiedenen Eintauchzeiten

Material	TM (60 °C) [%]	H ₂ O-Gehalt in FM ¹⁾ [kg/kg OS]	Aufgenommenes Wasser in Ab- hängigkeit von der Eintauchzeit [kg H ₂ O/kg FM]		
			5 min	1 h	24 h
Heu lang	93,9	0,07	2,2	2,4	3,1
Heu geschnitten	93,9	0,07	1,7	2,1	2,6
Heufaserstoff	93,4	0,07	3,9	4,1	4,0
Strohhäcksel	92,7	0,08	4,1	4,1	4,8
Miscanthushäcksel	88,4	0,13	0,3	2,1	2,5
Holzfaserstoff	51,3	0,95	0,7	0,7	0,7

1) FM: Frischmasse, Originalsubstanz

Stroh und Heu zeigten das größte Wasseraufnahmevermögen im Versuch. Bei den geprüften Heumaterialien zeigte sich, dass durch eine spezielle Aufbereitung und der dadurch erzielten Oberflächenvergrößerung das Wasseraufnahmevermögen deutlich erhöht werden kann. Umso feiner der Zerkleinerungs- bzw. Zerfaserungsgrad, umso höher ist die Aufnahmefähigkeit von Wasser bzw. Gülle. Durch die Aufbereitung und der daraus resultierenden Oberflächenvergrößerung wird außerdem die Aufnahmezeit verkürzt. Daraus folgt, dass bei einem kurzen starken Regen oder kurzer intensiver Bewässerung weniger Wasser von geschnittenem Heu aufgenommen wird. Somit lassen sich auch die hohen Wasserverluste bei der Bewässerung der Kompostmieten erklären.

Holzfaserstoff weist einen hohen Feuchtegehalt der Originalsubstanz und ein geringes Wasseraufnahmevermögen auf. Es wird angenommen, dass bei Holzhäcksel (wie zur Kompostierung in den Untersuchungen verwendet) das Wasseraufnahmevermögen noch kleiner ist. Durch den Hackprozess und der dabei entstehenden Wärme werden die Poren verschlossen und das im Holz enthaltene Lignin bildet außen eine wasserabweisende Schicht. Diese Annahme muss jedoch in speziellen Untersuchungen noch bewiesen werden. Miscanthushäcksel zeigten im Versuch ein gutes Wasseraufnahmevermögen, jedoch erst nach einstündiger Eintauchzeit.

In Abbildung 22 ist das Wasseraufnahmevermögen in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dargestellt.

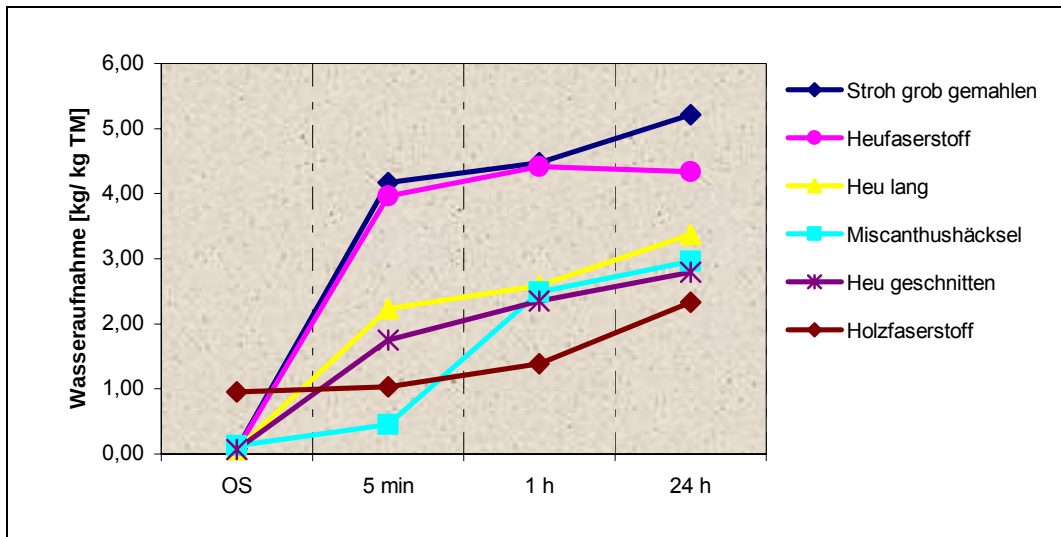


Abb. 22: Wassergehalt in verschiedenen Materialien in der Originalsubstanz und in Abhängigkeit von der Eintauchzeit

3.2.10 Nährstoffgehalte der Sickerwässer

Die Nährstoff- und Schwermetallgehalte im Sickerwasser sollten zum einen Auskunft geben, ob eine Kompostierung am Feldrand ohne kostenintensive Untergrundbefestigung vertretbar ist und zum anderen, ob durch eine Vliesabdeckung die Sickerwässer bzw. die Konzentration an Nährstoffen und Schwermetallen reduziert wird. Die Menge an Sickerwasser pro Kompostmiete (21 m²) und die darin enthaltenen Nährstoffe und Schwermetalle des Versuchsjahres 2003 zeigen die Tabellen 14 und 15.

Bei der 1. Variante ohne Vliesabdeckung fiel am wenigsten Sickerwasser an. Daraus lässt sich schließen, dass gefallene Niederschläge von dem Kompostiermaterial aufgenommen wurden, während bei den Varianten mit Vliesabdeckung die Niederschläge außen am Vlies ablaufen. Bei allen drei Mieten erfolgten in unterschiedlichen Zeitabständen intensive Bewässerungen mittels Güllewagen. Dabei wird ein großer Teil der Nährstoffe und Schwermetalle ausgespült. Dies zeigt sich deutlich in der Menge sowie den Gehalten an Sickerwasser am 1.09.03 der 3. Variante. Kurz vor diesem Termin fand die erste Bewässerung des Heus statt. Somit stellt die Menge an Sickerwasser zu diesem Zeitpunkt die nach Entleerung des Auffangfasses noch durchgelaufene Wassermenge dar. Hier wurde die höchste Menge an Nährstoffen und Schwermetallen aus dem Kompostmaterial ausgewaschen.

Tab. 14: Sickerwasser und in der Sickerwassermenge enthaltenen Nährstoffe bei der Kompostierung von Heu mit/ ohne Gülle sowie mit/ ohne Vliesabdeckung am Feldrand

Variante	Termin	Sicker- wasser l	Nt g	NH ₄ g	P g	K g	Mg g	S mg
1. Variante (Heu mit Gülle ohne Vlies)	15.09.03	30	3,0	2,7	2,0	15,6	0,8	0,1
	29.09.03	100	40,0	10,0	5,2	112,4	2,7	0,6
	13.10.03	150	30,0	15,0	4,0	104,4	2,7	0,5
	Summe	280	73,0	27,7	11,2	232,4	6,2	1,2
2. Variante (Heu mit Gülle mit Vlies)	15.09.03	175	35,0	17,5	4,9	98,0	5,0	0,6
	29.09.03	400	80,0	36,0	11,4	198,6	6,0	1,1
	14.10.03	350	35,0	31,5	5,5	105,0	3,1	0,6
	Summe	925	150,0	85,0	21,9	401,6	14,1	2,4
3. Variante (Heu ohne Zuschläge mit Vlies)	1.09.03 ¹⁾	670	268,0	134,0	40,2	466,9	17,1	1,8
	15.09.03	180	18,0	16,2	3,7	51,2	2,5	0,4
	29.09.03	400	40,0	36,0	6,8	104,4	4,4	0,6
	15.10.03	350	31,5	31,5	4,0	73,0	1,5	0,4
	Summe	1600	357,5	217,7	54,8	695,5	25,6	3,2

1) nach intensiver 1. Bewässerung (Variante 1 und 2 wurden nicht bewässert)

Tab. 15: Sickerwasser und darin enthaltenen Schwermetalle bei der Kompostierung von Heu mit/ ohne Gülle sowie mit/ ohne Vliesabdeckung am Feldrand

Variante	Termin	Sicker- wasser l	Cd mg	Pb mg	Cu mg	Cr mg	Ni mg	Hg mg
1. Variante (Heu mit Gülle ohne Vlies)	15.09.03	30	0,1	1,4	11,9	0,5	0,9	0,0
	29.09.03	100	0,4	3,9	33,3	1,6	5,3	0,0
	13.10.03	150	0,4	3,5	27,9	1,1	3,8	0,0
	Summe	280	0,9	8,8	73,0	3,1	10,0	0,1
2. Variante (Heu mit Gülle mit Vlies)	15.09.03	175	0,4	7,3	73,6	1,0	3,6	0,0
	29.09.03	400	0,7	7,9	52,0	3,5	7,7	0,1
	14.10.03	350	0,5	4,6	27,3	1,5	2,3	0,1
	Summe	925	1,6	19,8	152,8	6,0	13,6	0,2
3. Variante (Heu ohne Zuschläge mit Vlies)	1.09.03 ¹⁾	670	1,2	12,3	63,8	2,1	20,8	0,1
	15.09.03	180	0,2	2,2	16,8	0,3	1,4	0,0
	29.09.03	400	0,3	3,8	16,5	1,9	3,4	0,1
	15.10.03	350	0,3	65,6	9,0	1,1	1,5	0,0
	Summe	1600	2,1	84,0	106,1	5,4	27,1	0,2

1) nach intensiver 1. Bewässerung (Variante 1 und 2 wurden nicht bewässert)

Der Nährstoffaustrag aus den Kompostmieten konnte durch die Vliesabdeckung nicht verhindert werden.

In Abbildung 23 ist der zu erwartende (theoretische) Stickstoffeintrag (Nt, NH₄) in den Boden unter den Kompostmieten der Varianten (1, 2) mit und ohne Vliesabdeckung dargestellt.

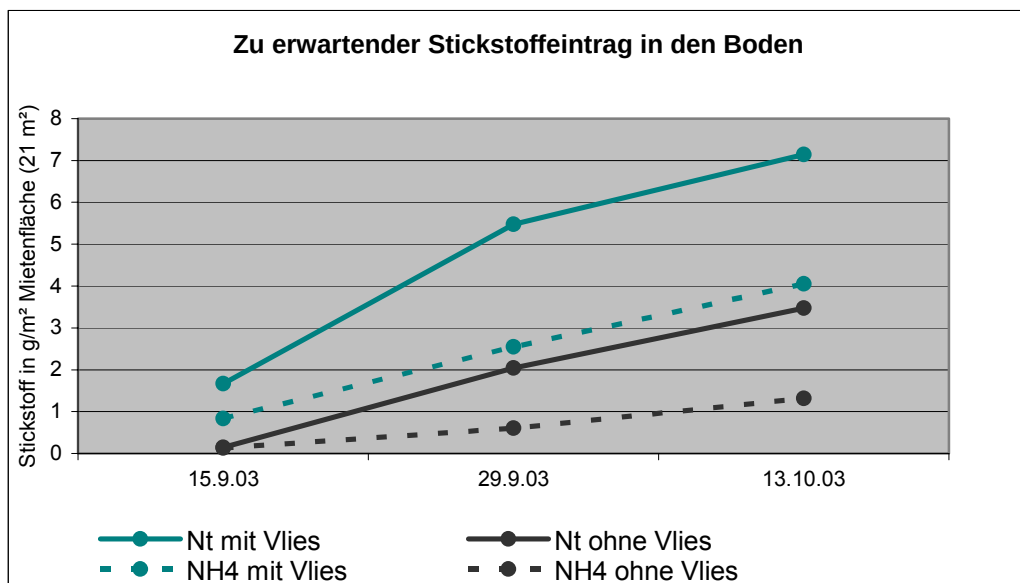


Abb. 23: Theoretischer Stickstoffeintrag in den Boden

Der zu erwartende Stickstoffeintrag im Mietenuntergrund (Boden) im Jahr 2003 beträgt bei der Miete mit Vliesabdeckung ca. 7 g Nt /m² und bei der Miete ohne Vlies ca. 4 g Nt./m². Dies lässt sich bisher nicht erklären. KLEINKE 1997 stellte in Versuchen zur Kompostierung von Grünschnitt in Dreiecksmieten ebenfalls fest, dass der Stickstoffeintrag in den Boden bei den Mieten mit Vliesabdeckung höher lag als ohne Vliesabdeckung. Ein Erklärungsansatz dieser Beobachtungen könnte in dem höheren Anteil an Niederschlagswasser in den Sickerwasserbehältern der Kompostvarianten mit Vliesabdeckung gesehen werden. Bei der Miete ohne Abdeckung wird das Niederschlagswasser zu einem sehr großen Teil vom Kompostgut aufgenommen und tritt nicht als Sickerwasser aus.

Der Eintrag über die jährliche Niederschlagsmenge beträgt im Durchschnitt von neun repräsentativen Standorten Sachsens ca. 16 kg Stickstoff /ha bzw. 1,6 g Stickstoff /m² (LIPPOLD 2004). Der Stickstoffeintrag kann aber in einigen Regionen durchaus viel höher liegen (> 3 g N/m²).

3.3 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projektes erfolgten Untersuchungen zur Kompostierung von Grünschnitt (später 1. Schnitt) aus extensiver Bewirtschaftung. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlicher Grünschnittaufbereitungsformen (geschnitten, gehäckselt), verschiedener Zuschläge (Gülle, Harnstoff, Bioalgeen®-Schnellkomposter, Holzschnitt) und Mietenabdeckungen auf die Kompostierbarkeit und den Rotteprozess geprüft.

Auf Grund des späten Projektbeginns sowie der extremen Sommertrockenheit kam es zu Verzögerungen der Kompostierarbeiten und des Rotteprozesses im Jahr 2003. Die Kompostierung der Mieten des Versuchsjahres 2004 ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Für die Kompostierarbeiten (Umsetzen, Bewässern) wurde die im landwirtschaftlichen Betrieb vorhandene Technik (Güllewa-

gen, Miststreuer) verwendet. Durch Einsatz des Miststreuers erfolgte eine gleichmäßige Durchmischung und Belüftung der Mieten. Damit konnte auf eine Investition in einen kostenintensiven Kompostumsetzer verzichtet werden.

Bei den zwei geprüften Aufbereitungsverfahren (Mahd mittels Schlegelmulchgerät; Häcksellinie) des Grünschnitts (geschnitten, gehäckselt) zeigten sich bei der Kompostierung keine Unterschiede im Rotteverlauf. Um optimale Voraussetzungen für einen zügigen Beginn der mikrobiellen Umsetzung zu schaffen, müssen Feuchtigkeitsverluste des Grünschnitts minimiert werden. Daher sollte das Grünschnittmaterial nach der Ernte ohne Feldliegezeit sofort geborgen und zu Mieten aufgesetzt werden. Auf den Einsatz von Konditionierern bei der Ernte ist zu verzichten. Durch die Güllebeimengung wird das C/N-Verhältnis des Kompostmaterials verbessert und somit der Rotteprozess beschleunigt. Das zeigte sich vor allem in der raschen Erhitzung der Mieten sowie hohen Kerntemperaturen.

Von einer Beimischung von Holzhäckseln bei der Kompostierung von struktur- und ligninreichem Grünschnitt ist abzuraten. Dadurch wird der Rottevorgang negativ beeinflusst. Zum einen führt die Beimischung von Holzhäckseln zu einer drastischen Erhöhung des C/N-Verhältnisses und zum anderen zu einer verschlechterten Feuchtigkeitsaufnahme. Die Zugabe von Bioalgeen®-Schnellkomposter zeigte bisher keine positive Wirkung. Durch Einsatz von Bioalgeen®-Lösung soll laut Hersteller selbst ohne Umsetzen der Miete der Rotteprozess drastisch verkürzt werden (6 - 8 Wochen). Im Versuch zeigte sich jedoch, dass das Umsetzen der Miete erforderlich ist. Eine Beschleunigung des Rotteprozesses konnte nicht beobachtet werden. Die Vliesabdeckung der Miete schützt vor Witterungseinflüssen und trägt zu einer Erhöhung der Mientemperatur und einer gleichmäßigen Rotte des gesamten Kompostmaterials bei. Eine Reduzierung der Sickerwässer konnte nicht beobachtet werden.

Durch die Abdeckung einer Miete mit Folie konnten im Jahr 2004 eine intensive und beschleunigte Rotte des Grünschnittmaterials erreicht werden. Es erfolgte eine Reduzierung der Rottedauer von sieben Monaten (Versuch 2003) auf ca. vier Monate. Feuchtigkeitsverluste wurden durch die Folienabdeckung minimiert, so dass das Bewässern der Miete nicht erforderlich war. Weil die Kompostierung ein aerober Prozess ist und Sauerstoffmangel vermieden werden muss, sollte die Folienabdeckung nur bei strukturreichem Material eingesetzt werden. Aus den bisherigen Untersuchungen zur Kompostierung von spät geschnittenem Grünschnitt können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Grünlandaufwüchse sofort nach der Mahd zu Mieten aufzusetzen.
- Durch Abdecken der Mieten mit Folie können Wasserverluste reduziert und die Intensität der Rotte erhöht werden.
- Eine Abdeckung der Miete mit einem luftdurchlässigen Vlies schützt vor Witterungseinflüssen und kann die Kompostierung beschleunigen.
- Die Mieten sollten im Rotteverlauf Temperaturen von 55 °C (mind. 14 Tage) oder 65 °C (mind. 7 Tage) erreichen, um eine ausreichende Hygienisierung zu sichern.
- Die Rottedauer ist von der Art des Ausgangsmaterials, dem Feuchtegehalt und den Umsetzintervallen abhängig.
- Eine ständige Überwachung des Rotteverlaufs ermöglicht es, etwaige Störungen der Kompostierung schnell zu erkennen und zu beheben.

4 Untersuchungen zur energetischen Nutzung von Heupellets mit verschiedenen Zuschlagstoffen in zwei unterschiedlichen Feuerungsanlagen

4.1 Ziel

Grasschnitt/ Heu bilden auf Grund ihres hohen Aufkommens ein bedeutendes Potenzial für den Biobrennstoffmarkt. In Sachsen stehen jährlich ca. 570.000 t Heu für eine energetische bzw. stoffliche Nutzung zur Verfügung (RÖHRICHT, GROß-OPHOFF 2003). Das entspricht bei einem mittleren unteren Heizwert von 14,5 MJ/kg einem Äquivalent von ca. 230 Mio. Liter Heizöl pro Jahr. Derzeit werden diese Biomassen nicht energetisch genutzt.

Zur Erschließung dieses Potenzials sind verschiedene Probleme zu lösen, weil Heu und andere halmgutartige Biomassen (z. B. Getreide- u. Rapsstroh) andere, zum Teil sehr ungünstige Brennstoffeigenschaften aufweisen als Holz. Die im Erntegut von halmgutartigen Biomassen enthaltenen hohen Chlor- und Kaliumgehalte bedingen die Bildung hoher Salzsäurekonzentrationen im Rauchgas bzw. tragen zur unerwünschten Senkung der Ascheschmelztemperatur (Verschlackung) bei. Heu weist zudem im Vergleich zu Getreidestroh meist noch einen hohen Stickstoffgehalt auf, welcher zu erhöhten Stickoxidemissionen führen kann. Als sehr problematisch ist der hohe Anteil an Feinpartikeln in der Asche der halmgutartigen Biomassen zu beurteilen. Daraus resultieren die in verschiedenen Abbrandversuchen erfassten sehr hohen Emissionen an Staub bei der Verbrennung (HARTMANN 2000, OBERNBERGER 1997).

Diese typischen Brennstoffeigenschaften machen es schwierig, die in Deutschland gültigen strengen Emissionsgrenzwerte des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) und der zugehörigen Verordnungen mit den derzeit auf dem Markt befindlichen Heizanlagen einzuhalten. Vor allem bei Kleinanlagen kommen die nachteiligen Brennstoffeigenschaften zum tragen, weil hier aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf aufwendige Rauchgasreinigungsanlagen bzw. Filter verzichtet werden muss. Derzeit wird von den biogenen Brennstoffen zumeist Holz zur Herstellung von Brennstoffpellets genutzt. Die Pelletierung von Heu und anderen halmgutartigen Biomassen ist möglich, wird

jedoch derzeit meist nur in Futtermittelproduktion eingesetzt. Die Nutzung von Heu als Brennstoff steht, wie schon erwähnt, erst am Anfang.

Technologisch ist zu beachten, dass halmgutartige Biomassen (Heu, Stroh, usw.) in herkömmlichen Quader- oder Rundballen auf Grund des hohen Platzbedarfs, der Verfügbarkeit sowie des schwierigen Handlings nur in landwirtschaftlichen Betrieben bzw. in zentralen Großanlagen als Brennstoffe einsetzbar sind. Hier bietet die im Punkt 6 beschriebene Heizanlage ein Einsatzfeld. Durch das Pelletieren von Biomasse können die physikalischen Brennstoffeigenschaften verbessert werden. Pellets weisen eine hohe Energiedichte sowie eine gute Dosier- und Rieselfähigkeit auf. Damit sind sie auch in vollautomatischen Heizanlagen einsetzbar. Diese Heizanlagen bieten von der Lieferung in Tankwagen sowie der automatischen Brennstoffzufuhr in die Heizanlagen bis zum Ascheaustragssystem dem Betreiber denselben Komfort wie Ölfeuerungsanlagen.

Die Untersuchungen zur Pelletierung von Heu erfolgten mit dem Ziel, durch den Einsatz verschiedener Zuschlagstoffe bzw. Aufbereitungsformen die physikalischen und chemischen Brennstoffeigenschaften zu optimieren und damit einen hochwertig qualitativen Brennstoff aus Heu herzustellen. Dabei sollten durch Beimischung von Holzspänen bei der Pelletierung die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen gesenkt sowie die Abbrandeigenschaften verbessert werden. Außerdem wurde der Einsatz von Melasse und Heufaserstoff bei der Pelletierung auf die Brennstoffqualität von Heupellets untersucht.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Ausgangsmaterial und Versuchsvarianten

Das im Versuch verwendete Heu stammt von der in Abschnitt 2 beschriebenen Grünlandfläche sowie einer weiteren extensiv bewirtschafteten Grünlandfläche aus der Region Hänichen. Das Heu wurde in Rundballen angeliefert. Für die Durchführung der Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Zuschläge sowie Aufbereitungsformen auf die Heupelletqualität erfolgte die Herstellung fünf verschiedener Varianten (Tabelle 16). Bei der Herstellung der Brennstoffpellets kamen neben geschnittenem Heu Melasse, Holzspäne sowie Heufaserstoff zum Einsatz.

Tab. 16: Varianten für die Heupelletherstellung

Variante	Beschreibung
1	Heu ohne Bindemittel und Zuschlagstoffe
2	Heu + 3 % Melasse
3	Heu + 25 % Holzspäne
4	Heu + 50 % Holzspäne
5	Heufaserstoff ohne Bindemittel und Zuschlagstoffe

Der Einsatz von Melasse erfolgte mit dem Ziel, eine hohe Festigkeit der Pellets zu erreichen. Melasse ist ein viel verwendetes Binde- und Futtermittel, wird zur Herstellung von Futterpellets benutzt und ist somit in den Futtermittel- und Trockenwerken leicht verfügbar.

Um die chemischen Brennstoffeigenschaften zu verbessern, erfolgte in zwei Varianten die Zumischung von Holzspänen (Hobelspänen) in den Masseanteilen 25 % und 50 % beim Pelletieren. Der Einfluss der Aufbereitung zu Faserstoff vor dem Pelletieren auf die Pelletqualität wurde bereits mit Stroh in dem FuE-Projekt „Entwicklung einer wirtschaftlichen Prozesskette zur energetischen Nutzung von halmgut- und holzartiger Biomasse im Freistaat Sachsen“ getestet (KIESEWALTER & RÖHRICHT 2002). Hier zeigte sich, dass diese Aufbereitung die Festigkeit der Pellets deutlich erhöht. Außerdem konnten bei Abbrandversuchen geringere Staubemissionen gemessen werden. Um die Aussagen zum Einfluss der Zerkleinerung abzusichern, wurde bei den Versuchen eine Pelletvariante aus Heufaserstoff hergestellt.

Die Zerkleinerung des Heus erfolgte in einem speziell für die Herstellung von Faserstoffen (aus Holz, Hanf, Zylit, Stroh) entwickelten Verfahren von der Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH (Abbildung 24). Dabei wird das Heu über ein Förderband senkrecht in einen Doppelschneckenextruder gegeben. Bei Temperaturen zwischen 95 °C und 115°C sowie der Zugabe von Wasser in den Extruder entsteht durch die Dampfexplosion ein Faserstoff mit einer Faserlänge bis 2 cm. Die Anlage wird mit einem Dieselmotor (20 l Diesel/h) bei einer Leistung von 180 kW betrieben. In einer Stunde konnten 4 m³ Heu- bzw. Strohfasersstoff hergestellt werden. Die Anlieferung des Strohfasersstoffs erfolgte in Big Packs.



Abb. 24: Doppelschneckenextruder der Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH in Jocketa

4.2.2 Pelletierverfahren

In der Landwirtschaftlichen Trocknungs- und Dienstleistungs-GmbH in Grimma erfolgte unter Praxisbedingungen die Herstellung der verschiedenen Pelletvarianten aus Heu. Es handelte sich dabei um eine Kollergang-Flachmatrizenpresse TL 700 tschechischen Fabrikats, mit starrem Kollergang und angetriebener Matrize. Derzeit werden mit dieser Anlage jährlich ca. 4.000 t Grüngutpellets für die Futtermittelverwendung hergestellt, mit einem Durchsatz von ca. 1,5 Tonne/ Stunde. Für die Brennstoffpelletproduktion kam eine Matrize mit 8 mm Bohrungen zum Einsatz. Pellets mit einem Durchmesser von 8 mm und einer Länge bis zu 40 mm sind geeignet für die automatische Beschickung mittels herkömmlicher Dosiereinrichtungen (Schneckenförderer) und den Einsatz in den derzeit auf dem Markt angebotenen Pelletöfen. Der Durchsatz beim Pelletieren des Heus lag bei ca. 1,4 t/h.

Das Verfahren zur Pelletierung von halmgutartiger Biomasse wird in Abbildung 25 schematisch dargestellt. Die Ausgangsmaterialien (Heu, Stroh, usw.) werden meist in Form von Quader- oder Rundballen bereitgestellt. Im Versuch mussten das Auflösen der Ballen sowie die Aufgabe des Gutes zum Häcksler von Hand erfolgen. Die Anschaffung eines Ballenauflösers und einer automatischen Beschickung des Häckslers ist geplant. Die Holzspäne wurden ebenfalls per Hand zugegeben. Die Mischverhältnisse 3 : 1 (25 %) und 1 : 1 (50 %) konnten dabei nicht genau erreicht werden.

Vor der Pelletierung erfolgt die Zerkleinerung des Materials mit Häcksler und Hammermühle. Die verschiedenen Zuschläge werden über die Dosiereinrichtung und einen Mischer zugegeben. Danach wird das zerkleinerte und gemischte Gut in der Presse (Abbildung 26) durch die angetriebene Matrize und die sich dadurch drehenden Kollerrollen durch die Bohrungen der Matrize gepresst. Die hergestellten Pellets werden schließlich, über ein Förderband laufend, gekühlt, gesiebt und eventuell abgesackt.

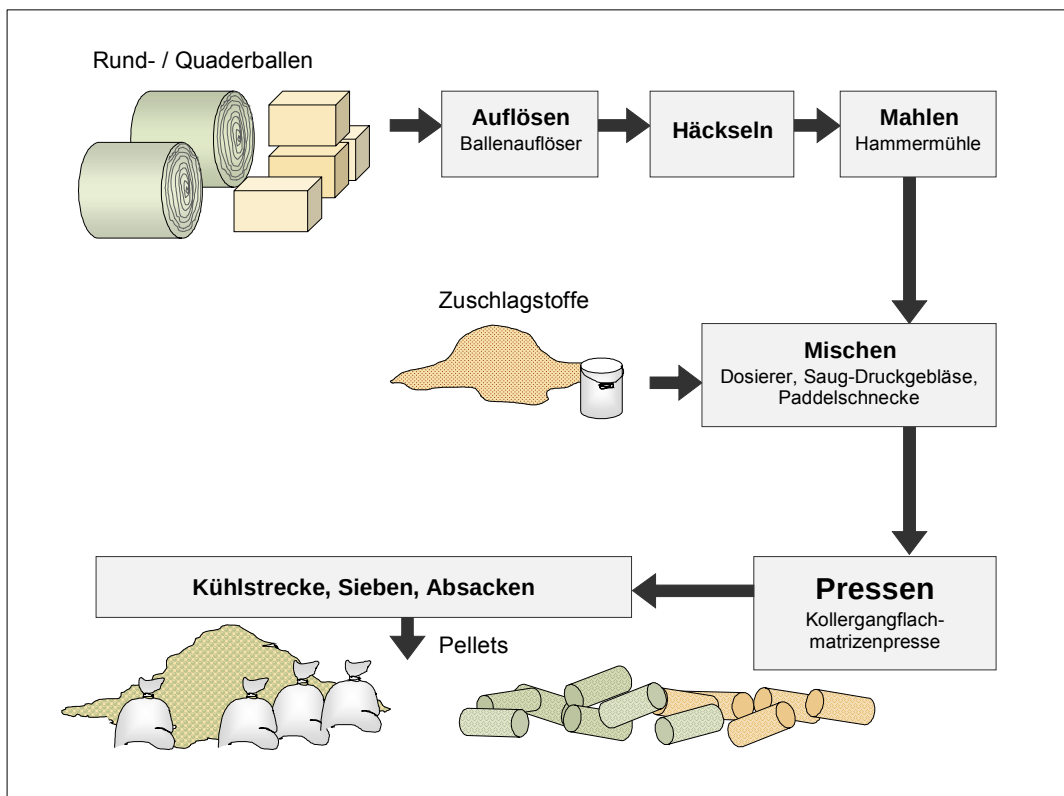


Abb. 25: Verfahrensschema der Pelletierung von halmgutartiger Biomasse



Abb. 26: Kollergang-Pressen (rechts) mit Elektromotor (Mitte) und Schaltzentrale (Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs-GmbH Grimma)

4.2.3 Methodik der physikalischen und chemischen Untersuchungen

Für die Charakterisierung der hergestellten Heupellets erfolgt die Untersuchung der Qualitätsparameter:

- Feinanteil
- Druckfestigkeit
- Abriebfestigkeit
- Schüttdichte
- Gehalt an verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Inhaltstoffen (N, S, K, Cl)
- Asche- und Energiegehalt
- Ascheschmelz- und Abbrandverhalten
- Emissionen (CO, NO_x, SO_x, ges. C, HCl, Staub).

Feinanteil und Schüttgewicht

Für die Bestimmung des Feinanteils in den Pelletvarianten nach der Pelletierung wurden die Pellets mittels Sieb (Maschenweite 5 mm) gesiebt. Der Anteil der Pellets < 5 mm im Verhältnis zum Gesamtgewicht ergab den Feinanteil, angegeben in %. Das Schüttgewicht bestimmte man in Anlehnung an die DIN 53466. Es wurde ein Messgefäß mit einem Volumen von 1 l eingesetzt. Das Messgefäß wird gleichmäßig mit Pellets gefüllt und die Oberfläche mit einem Schieber abgestrichen. Danach ermittelte man das Gewicht/Messgefäß und rechnet das Ergebnis auf das Schüttgewicht kg/m³ um. Die Messung erfolgte als Doppelbestimmung.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit der Pellets bestimmte man mit Hilfe der Universalfestigkeitsprüfmaschine TIRA-test 24250. Folgende Daten kennzeichnen die Prüfpresse:

- Hersteller: TIRA Maschinenbau GmbH
- Max. Prüfkraft: 250 kN
- Prüfgeschwindigkeit: 0,004 bis 200 mm/min
- Fehler: < 1% vom Wert

Bei der Druckfestigkeitsprüfung wurden die Pellets mit einer Prüfgeschwindigkeit von 2 mm/min bis zum Bruch belastet. Um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, stellte man vor der Prüfung einheitliche Probekörper (Pellets) mit einer Länge von 13 mm aus den Heupellets her. Die Prüfung erfolgte bei horizontaler Belastung der zylindrischen Proben. Zur Errechnung der Druckfestigkeit in N/mm² diente der errechnete Pelletquerschnitt von 216 mm (Pelletlänge = 27 mm, Durchmesser = 8 mm).

Abriebfestigkeit

Die Bestimmung der Abriebfestigkeit erfolgte in Anlehnung an die DIN 51 717 (Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung der Trommelfestigkeit und des Abriebs von Steinkohlenkoks) in einer Prüftrommel (Technikumseigenbau) mit einer Prüfgeschwindigkeit von 60 Umdrehungen/min. Es wurden jeweils 500 g Pellets mit einer Korngröße > 8 mm eingewogen und in der Prüftrommel bei 300 Umdrehungen beansprucht. Anschließend erfolgte das Absieben des entstandenen Feinkorns

< 8 mm. Als Maß für die Kornzerkleinerung durch Abrieb diente der %uale Anteil der unzerkleinerten Pellets. Die Untersuchungen erfolgten als Doppelbestimmungen.

Sturzfestigkeit

Zur Ermittlung der Sturzfestigkeit der Pellets wurden jeweils 1.000 g einer Probe, wieder nach vorherigem Absieben der Kornfraktion < 8 mm, eingewogen. Nach zweimaligem Sturz der Pellets aus 2 m Höhe erfolgte die Bestimmung der Feinfraktion < 8 mm. Als Ergebnis erhält man den %ualen Anteil an unzerkleinerten Pellets, der nach beschriebener Versuchsdurchführung erhalten bleibt.

Elementargehalte

Die Untersuchungen der Elementargehalte führte der Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen durch, akkreditiert als Prüflabor nach DIN EN 45001. Zum einen wurde die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe (Heu, Bindemittel, Holzspäne, Faserstoff) und zum anderen die der hergestellten Pellets analysiert. Im Anhang 3 sind die verwendeten Methoden aufgeführt.

Ascheschmelzverhalten

Die Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens erfolgte als Doppelbestimmung durch zwei unterschiedliche Prüfeinrichtungen. Zuerst erfolgte die Gewinnung des Glührückstandes nach DIN 51731, jedoch bei einer um 100 °C erhöhten Glühtemperatur. Von jeder Variante wurden je dreimal 15 g eingewogen, getrocknet und bei 650 °C im Muffelofen bis zur Gewichtskonstante geglüht. Nach Abkühlung erfolgt eine Messung des Aschegehaltes der Proben. Von den Aschen stellte man Probekörper mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Höhe von 1,25 mm mittels Micro-Pellet-Pressstempel her. Mit Hilfe eines Erhitzungsmikroskops ermittelte man visuell den Sinter-, Erweichungs-, Schmelz- und Fließpunkt der Probekörper. Die für das Ascheschmelzverhalten charakteristischen Punkte sind nach DIN 51730 folgendermaßen definiert:

Sinterpunkt:	Temperatur, bei welcher ein Zusammenkleben der Aschpartikel an ihren Grenzflächen auftritt
Erweichungspunkt:	Temperatur, bei der erste Anzeichen des Erweichens der Asche vorliegen, z. B. Rundwerden der Kanten, Beginn des Blähens des Probekörpers
Halbkugelpunkt:	(entspricht Schmelzpunkt) Temperatur, bei der der Probekörper annähernd die Form einer Halbkugel hat
Fließpunkt:	Temperatur, bei der der Probekörper auf ein Drittel seiner Größe beim Halbkugelpunkt auseinander geflossen ist.

4.2.4 Anlagenbeschreibung und Methodik der Verbrennungsversuche

Um das Emissionsverhalten zu testen, wurden die verschiedenen Heupelletvarianten in zwei verschiedenen Heizkesseln, Ökotherm Biomassecompactkessel C0 16...49 kW und Ferro Biomat FB 26 L, kontrolliert verbrannt. Das Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK) in Dresden führte die Untersuchungen zum Abbrandverhalten der Heupellets in dem Biomassekessel CO 16...49 kW der Firma Ökotherm durch. Der automatisch beschickte Kessel weist das Feuerungsprinzip einer Muldenfeuerung mit wassergekühlter Brennzone auf. Der Kessel arbeitet mit folgenden technischen Parametern:

- wassergekühlte Brennmulde
- Luftsplittung
- Ungekühlte Nachbrennkammer
- Lambda-Regelung
- Voll-Automatisierung

Der Kessel besitzt eine Bauartzulassung nach DIN 4702 für Holzhackschnitzel. In Abbildung 27 ist der Kesselaufbau dargestellt. Der Prüfstand im ILK ist nach DIN 4702 aufgebaut und zugelassen für den Versuchsbetrieb zur Kesselprüfung. Abbildung 28 zeigt die Ansicht des Prüfstandes, in der Anlage ist der Aufbau des Prüfstandes detailliert abgebildet.

Die Gesamtmessdauer für die kontinuierliche Erfassung der gasförmigen Schadstoffe wurde auf drei Stunden begrenzt. Eine Bewertung der Emissionen erfolgte nach 1. BImSchV als Viertelstundennittelwert mit 13 % Sauerstoff als Bezugswert. Eine Bestimmung des Gesamtstaubgehaltes im Rauchgas erfolgt durch drei Messungen im Rohgas. Die Gehalte an Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Stickoxiden wurden kontinuierlich im Rauchgas bestimmt.

Alle Verbrennungsversuche wurden bei maximaler Kesselleistung durchgeführt. Dabei war jeweils eine Einfahrzeit von drei Stunden notwendig, um stabile Verbrennungsbedingungen zu erreichen. Nach Einstellung von stabilen, kontinuierlichen Verbrennungsbedingungen wurde die Emissionsmessung gestartet. Zeitgleich erfolgten auch die Erfassung der Kessel-Leistung und der zugeführten Brennstoffmenge, um auch eine verbrennungstechnische Bewertung im Nachgang zu ermöglichen.

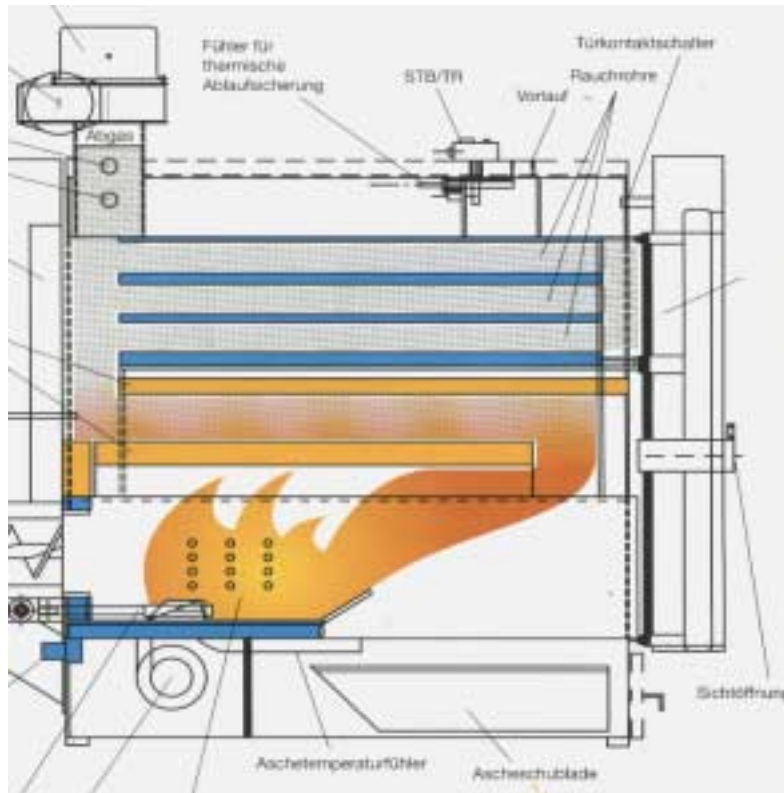


Abb. 27: Schema des Testkessels CO 16...49 der Fa. Ökotherm (ILK)



Abb. 28: Kesselprüfstand des Instituts für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden (ILK)

Die Abbrandversuche mit dem Pelletkessel Biomat FB 23L der Firma Ferro führte das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH in Leipzig durch. Dieser Kessel ist für Holzpellets zugelassen und weist ein für Pelletöfen typisches Funktionsprinzip auf (Abbildung 29). Der Kessel wurde von der Firma Passat entwickelt. Die Verbrennungsversuche, einschließlich Emissionsmessung, führte das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig durch. Die Erfassung der Emissionen erfolgte mittels Institutsmessstelle.

Die Erfassung der Emissionen erfolgte bei:

CO:	12 x 0,25 h
NOx:	12 x 0,25 h
Ges. C:	12 x 0,25 h
SOx (als SO ₂):	12 x 0,25 h
Gesamtstaub:	3 x 0,25 h
HCl:	1 x 1,0 h



Abb. 29: Pelletkessel Biomat FB 23L Fa. Ferro und Funktionsschema (Fa. Passat)

4.3 Ergebnisse

Die Pelletierung der Heupellets erfolgte im Oktober 2003 im der Landwirtschaftlichen Trocknungs- und Dienstleistungs-GmbH in Grimma. In diesem Zeitraum ist die Trocknung (Mais) und Futtermittelproduktion abgeschlossen und es bestehen freie Kapazitäten, um Brennstoffpellets herzustellen. Auf Grund der noch fehlenden Nachfrage nach Brennstoffpellets aus Heu bzw. Stroh erfolgt die Herstellung derzeit nur im Rahmen von Forschungsprojekten. Grundsätzlich stellt die Pelletierung von halmgutartiger Biomasse in den bestehenden Trocknungs- oder Futtermittelwerken kein Prob-

lem dar. So verlief auch die Pelletierung des Heus an der Kollergangpresse in Grimma reibungslos. Das Auflösen der Heuballen erfolgte per Hand. Ein Wasserdampferzeuger kam beim Pelletieren nicht zum Einsatz.

4.3.1 Chemische Parameter der Ausgangsstoffe

Die Ausgangsstoffe für die Pelletierung Heu, Heufaserstoff, Melasse und Hobelspäne wurden hinsichtlich ihrer Elementar-, Trockensubstanz-, Asche- und Schwermetallgehalte sowie des Heizwertes analysiert (Tabellen 17, 18).

Tab. 17: Elementargehalte (i. d. TS) und Trockensubstanzen der Ausgangsmaterialien für die Pelletierung

Material	TS %	N %	K %	P %	Mg %	Ca %	S %	Cl %	Na %	C %
Heu 1. Schlag	86,3	1,4	1,9	0,2	0,2	0,8	0,2	0,3	<0,1	44,4
Heu 2. Schlag	84,7	1,7	2,1	0,2	0,2	0,7	0,2	0,4	<0,1	45,3
Heufaserstoff	92,6	1,1	1,5	0,2	0,1	0,6	0,1	0,2	<0,1	45,2
Holzspäne	96,6	0,1	0,5	6,5	0,3	13,7	<0,1	0,1	0,8	51,2
Melasse	65,6	2,4	4,7	<0,1	<0,1	0,2	0,2	0,3	1,1	43,7

Tab. 18: Aschegehalte, Heizwerte und Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Ausgangsmaterialien für die Pelletierung

Material	Asche %	Hu(wf) MJ/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg
Heu 1. Schlag	6,9	17,4	4,7	3,7	3,3	1,9	28,7	0,2	0,02
Heu 2. Schlag	9,3	17,0	3,7	7,6	3,6	1,2	41,5	0,4	0,02
Heufaserstoff	6,3	17,2	13,9	4,5	4,8	3,2	34,7	0,2	0,03
Holzspäne	0,3	18,1	6,2	7,5	1,5	8,3	124,2	0,1	0,01
Melasse	31,1	13,6	0,3	10,9	2,3	0,3	45,6	<0,1	0,03

Das Heu des 2. Schlages weist deutlich höhere Gehalte an Stickstoff, Kalium und Asche auf als das Heu des 1. Schlages (Nähe Schweinsdorfer Alpen). Holzspäne weisen bessere Verbrennungseigenschaften auf als Heu. Die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen wie Stickstoff, Schwefel, Chlor sind niedriger. Holz ist ein viel genutzter Regelbrennstoff. Die energetische Nutzung in Form von Scheitholzstücken, Häcksel oder Pellets stellt im Gegensatz zu Heu und Stroh kein Problem dar. Dies zeigt sich auch in der großen Vielfalt der Anlagentechniken und -systemen, welche derzeit für die Nutzung von Holzbrennstoffen auf dem Markt zur Verfügung stehen (C.A.R.M.E.N 2004). Ziel der Herstellung von Mischpellets war es, die schlechteren Brennstoffeigenschaften des Heus durch die Zumischung von Holzspänen auszugleichen.

4.3.2 Chemische Parameter und Ascheschmelzverhalten der Heupelletvarianten

Auf Grund des relativ hohen Feuchtegehaltes des Heus (ca. 15 %) erfolgte beim Pelletieren keine Zumischung von Wasser. Die Beimischung von 3 % Melasse bei der 2. Variante war möglich. Ein höherer Anteil Melasse wäre auf Grund der dadurch eingebrachten Feuchte nicht empfehlenswert. Die optimale Gutfeuchte zum Pelletieren liegt zwischen 7 - 12 %. Bei einer höheren Feuchte des Gutes sollte vorgetrocknet werden, weil sonst die hergestellten Pellets auf Grund der inneren Feuchte beim Abkühlen aufquellen und auseinander fallen. Im Versuch erfolgte trotz des hohen Feuchtegehaltes des Heus keine Trocknung. Die Pellets aus Heufaserstoff ließen sich leichter pelletieren als die anderen Pelletvarianten. Faserstoff weist eine weichere Struktur auf als geschnittenes Heu. Dieser Vorteil zeigte sich auch bei der Pelletierung von Strohfaserstoff (KIESEWALTER, RÖHRICHT 2003). Die hergestellten Heupellets wiesen optisch und manuell eine sehr gute Qualität auf (Abbildung 30).



Abb. 30: Heupellets ohne Beimischungen

Für den Handel mit Holzpellets bestehen weltweit verschiedene Normen für die geforderten Qualitäten, wie z. B. die deutsche DIN 51731 und die österreichische ÖNORM M 7135. Mit dem Qualitätszeichen DINplus (DIN CERTCO) werden die Anforderungen dieser beiden anerkanntesten Prüfgrundlagen kombiniert. Nach dem Zertifizierungsprogramm DINplus werden die Größe, Rohdichte, Wassergehalt, Heizwert, Aschegehalt, Abrieb und der Gehalt an Stickstoff, Schwefel, Chlor sowie einiger Schwermetalle der Holzpellets geprüft. Für Pellets aus halmgutartiger Biomasse, wie z. B. Stroh, Heu und Miscanthus, gibt es derzeit keine Brennstoffnormung. Um eine Wertung der

erzielten Pelletqualität vornehmend zu können, werden in den folgenden Tabellen die hergestellten Heupellets mit den Anforderungen der DINplus für Holzpellets verglichen. In den Tabellen 19 und 20 sind die feuerungstechnisch- und emissionsrelevanten Gehalte an Inhaltsstoffen in den verschiedenen Heupelletvarianten sowie zum Vergleich von Weizenstrohpellets und Holzpellets (nach DINplus) zusammengestellt.

Tab. 19: Gehalte (i. d. TS) an feuerungstechnisch- und emissionsrelevanten Inhaltsstoffen der Heupelletvarianten sowie von Weizenstroh- und Holzpellets

Variante		TS %	N %	K %	Ca %	S %	Cl %	C %	Asche %	Hu (wf) MJ/kg
Heupellets aus Heu mit/ohne Zuschläge:										
1	ohne Zuschläge	89,8	1,59	2,06	1,04	0,18	0,41	49,2	7,5	17,5
2	+ 3 % Melasse	89,4	1,54	1,97	0,97	0,18	0,38	49,0	7,9	17,3
3	+ 25% Holzspäne	89,8	1,18	1,31	0,70	0,16	0,32	49,8	6,4	17,9
4	+ 50% Holzspäne	89,7	1,04	1,10	0,69	0,10	0,25	50,5	4,9	18,0
5	Heufaserstoff	91,5	1,16	1,48	0,60	0,14	0,20	50,1	5,6	17,9
Strohpellets ¹⁾		93,0	0,65	1,28	0,24	0,09	0,01	46,7	6,2	17,7
Holzpellets (DINplus)		>90,0	<0,3	-	-	<0,04	<0,02	-	<0,5	>18,0

1) Pellets aus Weizenstroh

* Extrem niedriger Chlorgehalt, üblicher Gehalt bei Getreidestroh ca. 0,2 % Cl

Tab. 20: Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Heupelletvarianten sowie von Weizenstroh- und Holzpellets

Variante		Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg
Heupellets aus Heu mit/ohne Zuschläge:								
1	ohne Zuschläge	3,1	3,8	1,9	1,3	25,4	0,3	0,03
2	+ 3 % Melasse	4,9	3,8	3,5	1,3	27,2	0,3	0,03
3	+ 25 % Holzspäne	3,8	3,8	1,9	1,7	24,6	0,3	0,03
4	+ 50 % Holzspäne	4,1	2,5	1,8	2,7	17,4	0,2	0,03
5	Heufaserstoff	4,4	3,3	2,5	0,6	31,3	0,2	0,03
Strohpellets ¹⁾		2,5	3,1	0,9	1,7	16,3	0,1	0,01
Holzpellets (DINplus)		<10,0	<5,0	-	<10,0	<100,0	<0,5	<0,05

1) Pellets aus Weizenstroh

An Hand der Inhaltsstoffgehalte zeigt sich, dass Heu bzw. Heupellets schlechtere Verbrennungseigenschaften aufweisen als Getreidestroh und Holz. Problematisch sind vor allem die sehr hohen Stickstoffgehalte, welche beim Abbrand der Pellets in Feuerungsanlagen zu hohen NO_x-Emissionen führen kann. Der Feuchtegehalt beträgt bei den Heupellets bis zu 11 %. Die Ergebnisse zeigen, dass beim Abbrand von Heu- sowie Strohpellets ein um ein Vielfaches höherer Ascheanteil anfällt. Daraus folgt, dass auch das Ascheaustragssystem der Feuerungsanlage an den spezifischen hohen Aschegehalt dieser Brennstoffe angepasst werden muss.

Die Zumischung von Holzspänen hat wie erwartet einen positiven Einfluss auf die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen. Mit Zugabe von 25 bzw. 50 % Holzspänen nehmen der Gehalt an Stickstoff, Kalium, Phosphor, Magnesium, Kalzium, Schwefel, Chlor sowie der Aschegehalt erkennbar ab. Der Kaliumgehalt eines Brennstoffs sollte gering sein, weil Kalium bei der Verbrennung zu einer Absenkung des Ascheschmelzpunktes führt und dadurch die Gefahr einer Versinterung und Verschlackung steigt. Bei Grünlandaufwüchsen bzw. Heu ist von vorn herein mit höheren Gehalten an Kalium zu rechnen als bei Stroh, jedoch zeigt dies kaum eine Wirkung auf den Ascheschmelzpunkt, weil auch der Gehalt an Kalzium höher ist und Kalzium die entgegengesetzte Wirkung auf den Ascheschmelzpunkt zeigt.

Der Gehalt an Magnesium soll ebenfalls Einfluss auf das Ascheschmelzverhalten haben. Nach OBERNBERGER (1997) wirkt Magnesium erhöhend auf den Ascheschmelzpunkt, während HARTMANN et.al. (2000) mit Hilfe einer Datenbank mit mehr als 50 Datensätzen verschiedener Holz- und Halmgutbrennstoffen in einer Regressionsanalyse eine vermindernde Wirkung auf die Schmelzpunkttemperatur nachwies. In Tabelle 21 ist das Ascheschmelzverhalten der Heupellets sowie von Stroh- und Holzpellets dargestellt. Der hohe Gehalt an Kalium in der beigefügten Melasse (2. Vari-

ante) zeigt auf Grund der geringen Zumischung von 3 % keinen negativen Einfluss auf die Gehalte an Kalium in den Heupellets.

Tab. 21: Ascheschmelzverhalten verschiedener Heupelletvarianten, Stroh- und Holzpellets

Variante		Sinterpunkt °C	Erweichungs- punkt °C	Schmelzpunkt °C	Fließpunkt °C
Heupellets aus Heu mit/ohne Zuschläge:					
1	ohne Zuschläge	760	1080	1112	1200
2	+ 3 % Melasse	860	1052	1086	1122
3	+ 25 % Holzspäne	900	960	1034	1050
4	+ 50 % Holzspäne	1020	1140	1007	1244
5	Heufaserstoff	850	923	1169	1123
Strohpellets ¹⁾		n. b.	902	1021	1042
Holzpellets		n. b.	1376	1407	1437

1) Pellets aus Weizenstroh

n.b.: im Versuch nicht bestimmbar

Das Ascheschmelzverhalten von Heu kann durch Beimischung von Holzspänen verbessert werden. Die Temperatur, bei der das Erweichen der Asche beginnt, wird durch Zumischung von ca. 50 % Holzspänen bei der Pelletierung im Vergleich zu den Pelletvarianten aus Heu/Heufaserstoff ohne Zuschläge um 60 – 217 °C erhöht und ein Erweichungspunkt von 1.140 °C erreicht. Jedoch liegt der Erweichungspunkt der Heupellets mit 50 % Holzspänen immer noch deutlich unter dem von Holzpellets von rund 1.380 °C. Die geprüften Weizenstrohpellets weisen ein ähnliches Ascheschmelzverhalten wie Heupellets auf.

4.3.3 Physikalische Qualitätsparameter der Heupellets

Eine gute Pelletqualität zeichnet sich unter anderem durch optimale Transport- und Lagereigenschaften aus. Brennstoffpellets sind gut dosier- und rieselfähig und weisen im Vergleich zu losem Material (Späne, Häcksel) eine hohe Schütt- und Energiedichte auf. Bei der Brennstoffbereitstellung werden die Pellets durch Auf-, Ab-, Umladen und Transportieren stark beansprucht. Ziel bei der Pelletproduktion muss es daher sein, Pellets mit einer sehr hohen Festigkeit herzustellen. In Tabelle 22 sind die Festigkeitsparameter sowie die Schütt- und Energiedichte der Heupelletvarianten im Vergleich zu Stroh- und Holzpellets zusammengestellt.

Tab. 22: Schütt-, Asche- und Schwermetallgehalte (i. d. TS) der Heupelletvarianten sowie von Stroh- und Holzpellets

Variante		Abrieb ²⁾ %	Feinanteil (<5mm) %	Schüttgewicht kg/m ³	Energiedichte kWh/m ³
Heupellets aus Heu mit/ohne Zuschläge:					
1	ohne Zuschläge	1,8	3,9	580	2692
2	+ 3 % Melasse	2,6	1,9	532	2436
3	+ 25 % Holzspäne	3,7	4,2	523	2485
4	+ 50 % Holzspäne	3,3	3,6	563	2684
5	Heufaserstoff	1,3	2,1	641	3044
Strohpellets ¹⁾		7,6	3,5	599	2731
Holzpellets ³⁾		<2,3	-	650	3241

1) Pellets aus Weizenstroh

2) Los-Angeles-Trommel, Norm ATSTM C131

3) Quelle: OBERNBERGER 1998; Anforderung an Holzpellets der DINplus

Der angegebene Feinanteil entspricht der Menge an „nicht gepresstem“ Ausgangsmaterial, welcher nach dem Absieben der Pellets im Produktionskreislauf der Pelletierung wieder zugeführt wird. Pellets aus Heufaserstoff (5. Variante) erzielten bei den Qualitätsprüfungen den geringsten Abrieb, das höchste Schüttgewicht und auch die höchste Energiedichte. Damit werden die Aussagen aus den Untersuchungen mit Pellets aus Strohfasersstoff, dass die vorherige Zerfaserung des Materials die Qualität der Pellets deutlich verbessert wird, bestätigt (KIESEWALTER & RÖHRICHT 2003). Neben der positiven Strukturveränderung des Ausgangsmaterials trägt auch die geringere Feuchte des Faserstoffs zur höheren Festigkeit der Faserstoffpellets bei.

Heupellets ohne Zuschläge (1. Variante) erzielten ebenfalls eine gute Festigkeit, während die Beimischung von 3 % Melasse (2. Variante) zur Senkung der Abriebfestigkeit und des Schüttgewichtes führte. Bei der hohen Feuchte des Heus von ca. 15 % ist die Beimischung von flüssigen Bindemitteln nicht zu empfehlen. An Hand der Abriebfestigkeit sowie der Schüttdichte der verschiedenen Heupelletvarianten wird deutlich, dass durch Zumischung von Holzspänen die Festigkeit der Pellets abnahm, obwohl Holzpellets im Allgemeinen eine sehr gute Festigkeit aufweisen. Dies kann zum einen darin liegen, dass die Bindefähigkeit, welche unter anderem von der Oberflächenbeschaffenheit des Materials abhängt, bei der Mischung von Heu- und Holzspänen abnimmt. Zum anderen ist es möglich, dass durch eine spezielle Veränderung wichtiger Parameter bei der Pelletierung, wie z. B. Häckselgröße und Gutfeuchte, die Festigkeit dieser Mischpellets optimiert werden könnte.

4.3.4 Abbrand- und Emissionsverhalten

Die hergestellten Heupellets wurden in den zwei verschiedenen Kleinfeuerungsanlagen, einem Biomassekompaktkessel ÖKOTHERM CO 16...49 und einem Pelletkessel FERRO BIOMAT FB

23L, kontrolliert verbrannt sowie das Abbrand- und Emissionsverhalten erfasst. Bei Kleinfeuerungsanlagen bis 100 kW Feuerungsleistung gelten hinsichtlich des Immissionsschutzes die Emissionsgrenzwerte der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1.BImSchV). Daher werden nach 1.BImSchV alle Emissionswerte auf 13 % Sauerstoff im Abgas bezogen. In dem genannten Leistungsbereich sind Grenzwerte für die Emissionen an Kohlenmonoxid von 4 g/Normkubikmeter (Nm^3) und an Staub von 150 mg/Nm^3 festgelegt.

Aus einer Vielzahl von Untersuchungen zum Emissionsverhalten von halmgutartigen Biomassen (Heu, Stroh) ist bekannt, dass diese Brennstoffe im Vergleich zu Holzbrennstoffen ein um ein Vielfaches höhere Staubemissionen beim Abbrand verursachen. Für die Emissionen an Stickoxid (NO_x), Schwefeloxid (SO_x), Salzsäure (HCl) und Kohlenstoff (ges. C) sind in der vorliegenden Leistungsklasse nach 1.BImSchV keine Grenzwerte festgelegt. In Abbildung 31 sind die CO -Emissionen beim Abbrand der verschiedenen Heupellets im Vergleich zu Strohpellets in den zwei Feuerungsanlagen dargestellt. In Tabelle 23 sind die Durchschnittswerte und die Standardabweichungen der erfassten Emissionen sowie die erreichten Kesselwirkungsgrade beim Abbrand der Heupellets in den zwei Feuerungsanlagen zusammengestellt. Die Standardabweichung gibt die Streuung der Viertelstundenmittelwerte vom Gesamtmittel des erfassten Parameters (Emission) an.

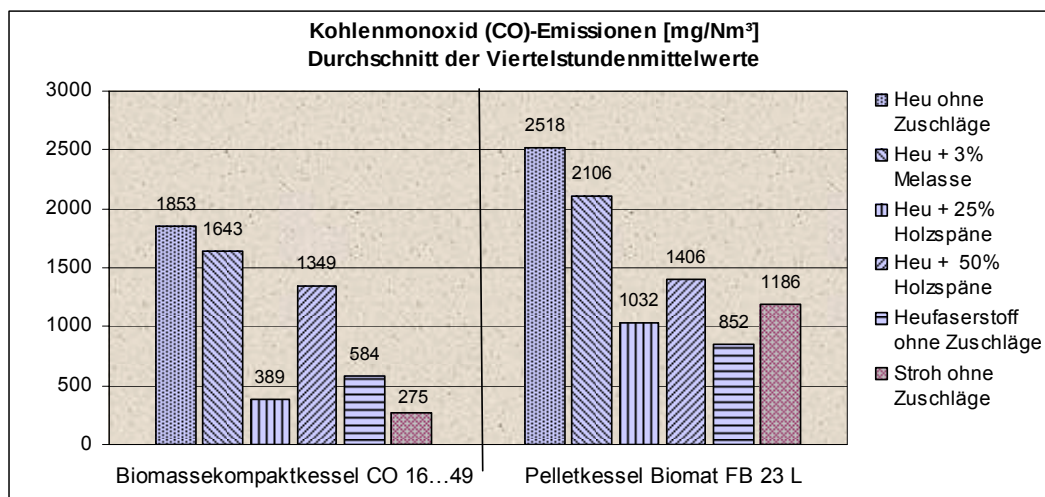


Abb. 31: Kohlenmonoxidemissionen beim Abbrand von Heu- und Strohpellets in zwei verschiedenen Kleinfeuerungsanlagen

Tab. 23: Durchschnittswerte und Standardabweichungen der Emissionen beim Abbrand von Heupellets in den zwei Kleinfeuerungsanlagen im Vergleich zu Strohpellets

Variante		CO [mg/Nm³]	NO ₂ [mg/Nm³]	SO ₂ [mg/Nm³]	HCl [mg/Nm³]	ges. C [mg/Nm³]	Staub [mg/Nm³]
Biomassekompaktkessel CO 16...49							
Heupellets		(N=14)	(N=14)	(N=14)	(N=14)	(N=14)	(N=3)
1	ohne Zuschläge STABW	1853 782	497 77	14 5	8 2	7 7	767 46
2	+ 3 % Melasse STABW	1643 1129	389 75	41 21	17 10	23 31	574 81
3	+ 25 % Holzspäne STABW	389 182	339 51	82 14	45 10	4 5	356 63
4	+ 50 % Holzspäne STABW	1349 915	272 35	38 12	26 5	6 11	366 78
5	Heufaserstoff STABW	584 763	333 39	68 20	24 4	23 68	365 90
Strohpellets ¹⁾		275	279	58	5	3	65
Pelletkessel Biomat FB 23L							
Heupellets		(N=4)	(N=4)	(N=4)	(N=1)	(N=4)	(N=2)
1	ohne Zuschläge STABW	2518 812	900 64	39 26	0,8 -	48 26	266 7
2	+ 3 % Melasse STABW	2106 871	1206 186	21 30	0,3 -	41 35	235 8
3	+ 25 % Holzspäne STABW	1032 432	992 90	56 47	0,5 -	17 8	180 18
4	+ 50 % Holzspäne STABW	1406 940	895 140	81 36	19 -	40 57	233 16
5	Heufaserstoff STABW	852 389	682 104	33 29	11 -	33 48	171 4
Strohpellets ¹⁾		1186	130	92	0,7	-	156

1) Pellets aus Weizenstroh ohne Zuschlagstoffe

N = Anzahl der Viertelstundenmittelwerte bzw. der Messungen (Staub, HCl)

Der Grenzwert der 1. BImSchV für Kohlenmonoxid von 4.000 mg CO/Nm³ wurde von keiner der Heupelletvarianten überschritten. Für eine finanzielle Förderung von automatisch beschickten Biomasseheizungen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) dürfen die Emissionen an Kohlenmonoxid 250 mg/Nm³ nicht überschreiten. Beim Abbrand der Heupellets lagen die CO-Emissionen weit über den Anforderungen bzw. Grenzwert der BAFA.

Die Standardabweichungen der Viertelstundenmittelwerte vom Gesamtmittel der jeweiligen Brennstoffvariante betrugen beim Abbrand im Biomassekompaktkessel 182 – 1129 mg CO/Nm³ und beim Abbrand im Pelletkessel 389 – 940 mg CO/Nm³. Die großen Schwankungen der CO-Emissionen spiegeln das sehr unregelmäßige Verbrennungsverhalten der Heupellets in beiden Feuerungsanlagen wider. Mit Zumischung von Holzspänen sowie durch Verwendung von Heufaserstoff konnten die CO-Emissionen drastisch gesenkt werden. Beim Abbrand von Heupellets (1.Variante) entstanden in den zwei Heizkesseln deutlich höhere CO-Emissionen als beim Abbrand von Strohpellets.

Die Stickoxidemissionen sind beim Abbrand der Heupellets deutlich höher als bei Strohpellets. Ursache dafür sind die im Heu enthaltenen hohen Stickstoffgehalte, diese wirken sich beim Abbrand maßgeblich auf die NO_x-Emissionen aus. Die NO_x-Emissionen betrugen beim Abbrand im Pelletkessel weit über 500 mg/Nm³, was für die Verbrennung in größeren Feuerungsanlagen über 100 kW (genehmigungsbedürftige Anlagen nach TA Luft, Grenzwert) von Belang ist. Beim Abbrand der verschiedenen Heupellets in den zwei Feuerungsanlagen lagen die Emissionen an Schwefeloxiden bei 14 bis 82 mg/Nm³ Abgas. Die SO_x-Emissionen stellen bei Biomassebrennstoffen im Allgemeinen kein Problem dar.

Die Emissionen an Chlor in Form von Salzsäure liegen beim Abbrand im Pelletkessel teilweise extrem niedrig. Für diese drastischen Emissionsunterschiede konnte keine logische Begründung gefunden werden. Bei Betrachtung der Emissionswerte an NO_x, SO_x sowie HCl ist kein Zusammenhang zwischen den ermittelten chemischen Gehalten der emissionsverursachenden Elementen und den erfassten Emissionen erkennbar. In Abbildung 32 sind die staubförmigen Emissionen beim Abbrand der Heupellets im Vergleich zu Strohpellets grafisch dargestellt.

Die Staub-Emissionen lagen bei allen Heupelletvarianten und beiden Feuerungsanlagen über dem Grenzwert der 1.BImSchV, wobei die Emissionen beim Biomassekompaktkessel deutlich höher lagen als beim Pelletkessel. Beim Abbrand im Biomassekompaktkessel ermittelte man 356 – 767 mg Staub/Nm³ Abgas, d. h., die Emissionswerte lagen um das Doppelte bis zu einem Vielfachen höher als der Grenzwert der 1.BImSchV (150 mg/Nm³). Eine Nutzung der hergestellten Heupellets ist somit aus Sicht des Immissionsschutzes in den beiden geprüften Kleinf Feuerungsanlagen nicht möglich.

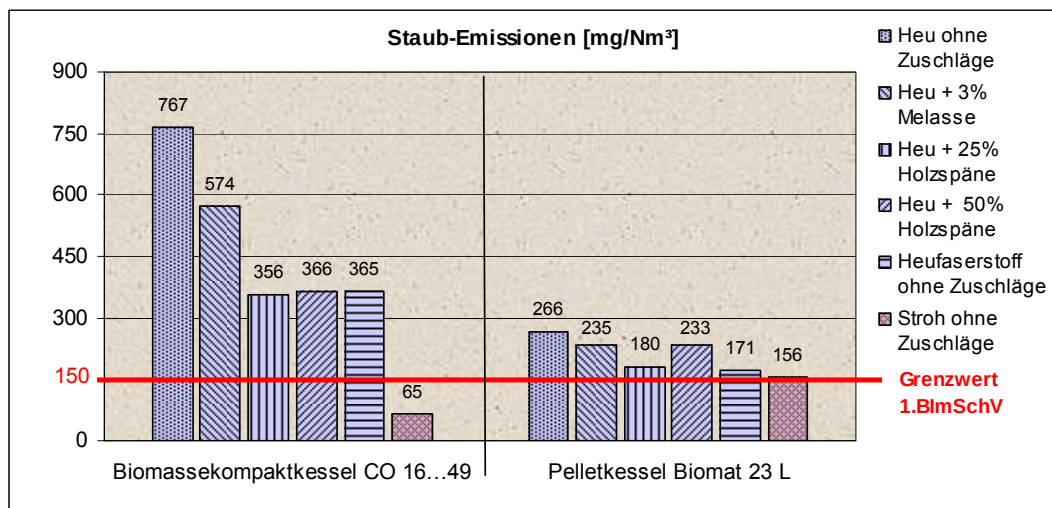


Abb. 32: Staubemissionen beim Abbrand verschiedener Heupellets in zwei Kleinfeuerungsanlagen im Vergleich zu Strohpellets

Die Höhe der Staubemissionen lässt sich kaum durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflussen. Es handelt sich hierbei um eine spezifische Eigenschaft der Aschen von halmgutartigen Brennstoffen wie Stroh und Heu, welche durch einen hohen Feinpartikelanteil gekennzeichnet sind. In Tabelle 24 sind die erzielten Kesselwirkungsgrade beim Abbrand der Heupellets in den zwei Feuerungsanlagen sowie auch die Wirkungsgrade beim Abbrand von Strohpellets dargestellt.

Tab. 24: Kesselwirkungsgrade der Feuerungsanlagen beim Abbrand von Heu- und Strohpellets

Variante		Biomassekompaktkessel CO 16...49	Pelletkessel BIOMAT FB 23L
Heupellets aus Heu mit/ohne Zuschläge:			
1	ohne Zuschläge	78,7	79,8
2	+ 3 % Melasse	79,4	81,5
3	+ 25 % Holzspäne	80,8	76,4
4	+ 50 % Holzspäne	83,2	76,2
5	Heufaserstoff	77,6	73,9
Strohpellets ¹⁾		72,4	90,8

1) Weizenstrohpellets ohne Zuschlagstoffe

Die erreichten Kesselwirkungsgrade waren bei den Abbranduntersuchungen mit den hergestellten Heupellets in den beiden Heizanlagen sehr niedrig. Für eine finanzielle Förderung der Anlage nach BAFA muss mindestens ein Kesselwirkungsgrad von 88 % erreicht werden. Beim Abbrand der Heupellets kam es in beiden Feuerungsanlagen zu starken Versinterungen und Verschlackung der

Aschen. Unterschiede zwischen den verschiedenen Pelletvarianten konnten nicht festgestellt werden.

4.3.5 Charakterisierung der Verbrennungsaschen

Um eine Einschätzung der Verbrennung in Bezug auf das Abbrandverhalten geben zu können, wurden während der Verbrennungsversuche Ascheproben entnommen und die Glühverluste bestimmt (Tabelle 25).

Tab. 25: Glühverluste der Verbrennungsaschen aus dem Abbrand verschiedener Heupellets

Aschen der Heupelletvarianten:		Biomassekompaktkessel CO 16...49		Pelletkessel BIOMAT FB 23L	
		Verbrennungsrückstand	Glühverlust	Verbrennungsrückstand	Glühverlust
		%	%	%	%
1	ohne Zuschläge	96,5	3,5	97,8	2,2
2	+ 3 % Melasse	99,4	0,6	96,4	3,6
3	+ 25 % Holzspäne	96,2	3,8	94,2	5,8
4	+ 50 % Holzspäne	81,5	18,5	94,6	5,4
5	Heufaserstoff	80,9	19,1	101,6	-1,6

Die Glühverluste lagen bei den Aschen aus dem Abbrand der Heupellets mit 50 % Holzspänen und den Heufaserstoffpellets im Biomassekompaktkessel etwas höher als bei den anderen Chargen. Insgesamt konnte ein recht guter Abbrand der Heupellets verzeichnet werden. Im Hinblick einer Nutzung der Aschen als Düngemittel und der gewünschten Einbringung in den Wirtschaftskreislauf sind vor allem die Gehalte an Pflanzennährstoffen und Schwermetallen in den Aschen interessant. In Tabelle 26 sind die pH-Werte, Gehalte an verschiedenen Pflanzennährstoffen sowie an Chlor in den Heupelletaschen zusammengestellt.

Tab. 26: Charakterisierung der Verbrennungsaschen

Heu- pellet- variante	pH- Wert	N %	P %	K %	Mg %	Ca %	Na %	S %	Cl %
Biomassekompaktkessel CO 16...49									
1	10,7	0,03	2,2	18,8	2,4	11,3	0,2	1,0	0,4
2	10,4	0,02	2,8	20,5	2,8	13,2	0,3	1,0	0,2
3	10,8	0,02	1,8	18,4	3,3	11,7	0,1	1,0	0,4
4	10,6	0,06	1,9	16,8	2,6	13,1	0,1	0,8	0,4
5	10,3	0,02	3,2	21,0	2,7	11,7	0,1	1,1	0,4
Pelletkessel BIOMAT FB 23L									
1	11,0	0,05	2,5	18,7	2,2	12,7	0,2	1,0	0,3
2	10,9	0,04	2,4	19,9	2,4	12,0	0,3	1,2	0,5
3	10,9	0,02	2,1	18,0	2,5	12,2	0,2	1,1	0,4
4	11,8	0,12	2,6	16,5	2,7	16,2	0,1	1,0	0,5
5	10,4	0,09	3,3	19,6	2,4	10,3	0,2	0,8	0,4

In den Analyseergebnissen zeigt sich, dass beachtliche Mengen an Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium und Schwefel in den Aschen vorhanden sind. Die Beimischung von 50 % Holzspänen zum Heu beim Pelletieren macht sich nur bei den Kalium- und Kalziumgehalten in den Aschen bemerkbar. Der Gehalt an Kalium in der Asche nahm leicht ab und der Kalziumgehalt lag erkennbar höher.

Ein Problem bei der Nutzung der Aschen stellt der große Anteil an Verschlackungen dar. Die Schlackestücken erreichten teilweise Größen von ca. 10 cm im Durchmesser. Die Schlackestücken aus der Heupelletverbrennung im Biomassekompaktkessel waren von enormer Festigkeit und ließen sich nur schwer zerbrechen, während die Schlacken aus dem Pelletkessel einen leichteren Verbund aufwiesen und bei manueller Beanspruchung zerbröselten (Abbildung 33).



Abb. 33: Heupelletaschen (1. Variante ohne Zuschlagstoffe) aus den zwei Kleinfeuerungsanlagen; oben: aus dem Biomassekompaktkessel, unten: aus dem Pelletkessel

In Abbildung 34 sind die Anteile an Schlacken (Körnung > 5mm) in den Heupelletaschen dargestellt. Der Schlackeanteil ist in den Aschen aus der Verbrennung im Biomassekompaktkessel deutlich höher als aus dem Pelletkessel.

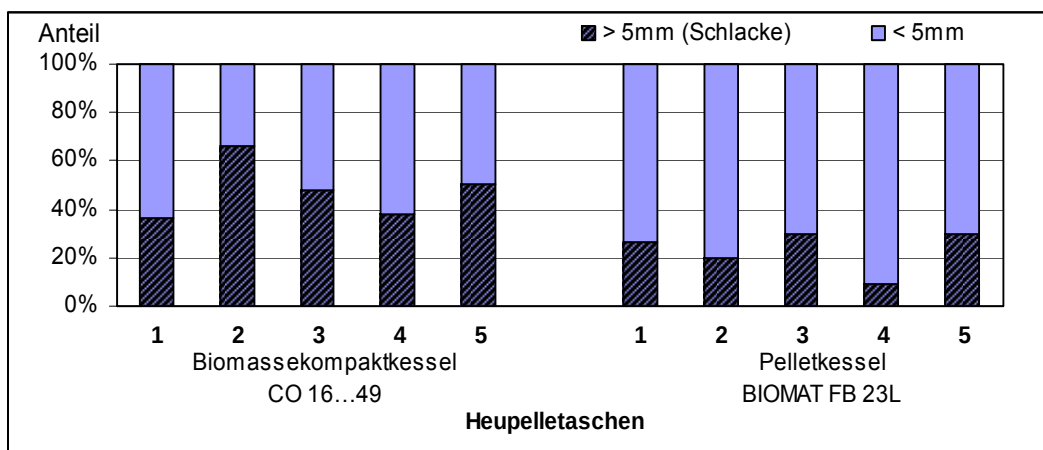


Abb. 34: Schlackenanteile (> 5 mm) in den verschiedenen Heupelletaschen

Auf Grund der hohen Festigkeit und der teilweise glasigen Beschaffenheit der Verschlackungen ist anzunehmen, dass die Nährstoffe in den Schlacken zu einem großen Teil nicht pflanzenverfügbar sind und daher ein Einsatz als Düngermittel nicht sinnvoll ist. Daher wurden die Aschen und Schlacken getrennt auf Pflanzennährstoffe sowie der Pflanzenverfügbarkeit untersucht (Abbildung 35 und Tabelle 27).

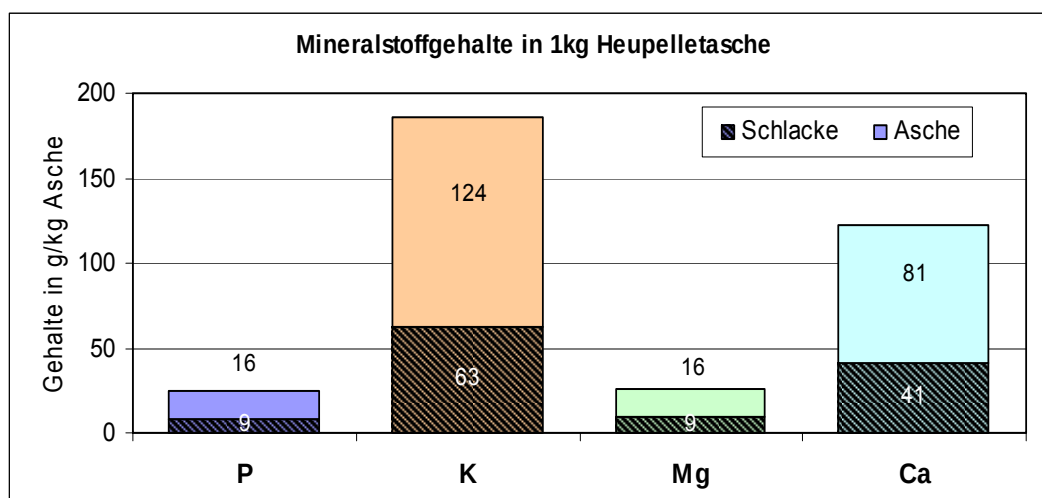


Abb. 35: Durchschnittlicher Anteil an Nährstoffen in den Aschen und Schlacken

Tab. 27: Durchschnittlicher Anteil an pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium in den Aschen und Schlacken bezogen auf 1 kg Gesamtasche

	Phosphor ¹⁾	Kalium ¹⁾	Magnesium ²⁾
Pflanzenverfügbare Anteil in der Asche (< 5mm)	4 g	76 g	0,008 g
relativ zum Gesamtgehalt (< 5 mm)	25 %	61 %	0,05 %
Pflanzenverfügbare Anteil in der Schlacke (> 5 mm)	5 g	25 g	0,011 g
relativ zum Gesamtgehalt (> 5 mm)	56 %	40 %	0,12 %
Gesamt (Asche + Schlacke)	9 g	101 g	0,019 g
relativ zum Gesamtgehalt	36 %	54 %	0,08 %

1) CAL-Extraktion nach VDLUFA-Methode

2) Aufschluss in CaCl₂-Lösung nach VDLUFA-Methode

In einem Kilogramm Verbrennungasche mit einem durchschnittlichen Schlackeanteil von 35 % sind 25 g Phosphor, 187 g Kalium, 25 g Magnesium und 122 g Kalzium enthalten. Im Schlackeanteil (> 5 mm) sind ca. 56 % des darin enthaltenen Phosphors pflanzenverfügbar, im Ascheanteil (< 5 mm) nur 25 % des in dieser Fraktion enthaltenen Phosphors. Das Kalium in den Schlacken liegt zu 40 % in pflanzenverfügbarer Form vor, während der Anteil in der Aschefraktion (< 5 mm) 60 % beträgt. Der Anteil an pflanzenverfügbarem Magnesium am Gesamtmagnesiumgehalt ist in den

Aschen sowie dem Schlackeanteil sehr gering. Bei Inverkehrbringung der Grobaschen nach der Düngemittelverordnung (DüMV) ist auf die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte bestimmter Schwermetallgehalte zu achten.

In Tabelle 28 sind die Gehalte an Schwermetallen in den Heupelletaschen zusammengestellt. Es handelt sich bei den analysierten Aschen nur um die Grobaschen, d. h., die Fein- bzw. Flugaschen wurden nicht erfasst. Der Grenzwert für Chrom (VI) in den Aschen (2 mg/kg TM) wurde bei den Aschen aus dem Abbrand der Heupellets im Pelletkessel von allen Varianten deutlich überschritten. Bei den Aschen aus der Verbrennung im Biomassekompaktkessel zeigte sich ein ähnliches Bild, auch hier lagen die Chrom(VI)- Gehalte der 2., 4. und 5. Variante über dem Grenzwert. Aus den Analyseergebnissen ist erkennbar, dass die Beimischung von 3 % Melasse sowie die Zumischung von 50 % Holzspänen und die Verwendung des Faserstoffs zu einer Erhöhung des Chrom (VI)- Gehaltes in den Verbrennungsaschen führt.

Tab. 28: Schwermetallgehalte der Verbrennungsaschen (Grobaschen) in mg/kg TM

Heupellet- variante	Cr	Cr(VI)	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Biomassekompaktkessel CO 16...49								
1	35,7	1,7	24,7	44,0	118,9	1,0	0,02	16,5
2	53,6	4,3	35,7	56,7	88,0	0,2	0,02	5,6
3	39,2	1,1	29,5	61,1	109,6	0,3	0,01	14,5
4	39,5	4,3	24,4	54,4	83,1	0,2	0,01	9,8
5	66,0	6,8	38,9	60,4	113,0	0,3	0,02	4,6
Pelletkessel BIOMAT FB 23L								
1	39,4	2,6	27,5	49,3	108,5	0,5	0,01	7,2
2	38,4	5,2	28,0	50,7	144,8	0,3	0,01	4,1
3	48,6	3,5	31,1	66,3	112,0	0,3	0,01	7,0
4	58,1	10,0	32,5	63,9	103,2	0,3	0,01	8,1
5	58,8	5,1	34,9	54,0	140,6	0,4	0,01	3,9
Grenzwert DüMV:	-	2,0	80	70	1000	-	1,0	150

Beim Abbrand der 4. Variante (mit 50 % Holzspänen) im Pelletkessel lag der Chrom(VI)-Gehalt fünfmal so hoch wie der Grenzwert. OBERNBERGER (1997) leitete aus seinen umfangreichen Untersuchungen ab, dass Aschen von holzartigen Brennstoffen deutlich höhere Schwermetallkonzentrationen aufweisen als Aschen von halmgutartigen Brennstoffen wie z. B. Heu und Stroh. Dies ist dadurch erklärbar, dass Holz eine wesentlich längere Umtriebszeit aufweist, wodurch Schadstoffakkumulationen verstärkt zum Tragen kommen, weil die Depositionsbelastung von Wäldern deut-

lich höher ist als jene von Ackerflächen. Zudem bedingt der niedrigere pH-Wert von Waldböden eine verstärkte Mobilität vieler Schwermetalle.

4.4 Schlussfolgerungen

Durch das Pelletieren kann aus Heu und anderen halmgutartigen Biomassen ein qualitativ hochwertiger Brennstoff hergestellt werden, welcher den wirtschaftlichen Transport, die Platz sparende Lagerung, eine gute Dosierfähigkeit und ein bequemes sauberes Handling ermöglicht sowie eine hohe Energiedichte aufweist. Damit ist auch eine energetische Nutzung außerhalb des landwirtschaftlichen Bereichs in Heizanlagen mit kleiner Leistung möglich.

Das Pelletieren der Biomassen kann in vorhandenen Futtermittel- und Trocknungswerken mit der dort verfügbaren Technik erfolgen, freie Kapazitäten sind vorhanden. Der Aufbau eines Logistikkonzeptes scheint auf Grund bereits bestehender Kooperationen zwischen Pelletproduzent und Landwirt unproblematisch. Dies bewirkt die Schaffung neuer Einkommensalternativen für diesen Bereich sowie die Landwirtschaft. In den durchgeführten Untersuchungen erfolgte die Pelletierung von Heu aus extensiver Grünlandbewirtschaftung und spätem Schnitzeitpunkt mit verschiedenen Zuschlägen (Melasse, Holzspäne) sowie von Heufaserstoff. Die hergestellten fünf verschiedenen Pelletvarianten wurden hinsichtlich chemischer und physikalischer Qualitätsparameter sowie im Abbrand- und Emissionsverhalten beim Abbrand in zwei unterschiedlichen Kofeuerungsanlagen (Biomassekompaktkessel, Pelletkessel) geprüft.

Ohne Beimischung von Bindemitteln und Zuschlagstoffe wurden eine gute Festigkeit und eine hohe Schüttdichte der Heupellets erreicht. Durch Beimischung von 3 % Melasse nahm die Festigkeit der Pellets ab, was auf den erhöhten Feuchtegehalt des Ausgangsmaterials (Heu) zurückzuführen ist. Der Zuschlag von 25 – 50 % Holzspänen zeigte keinen positiven Effekt auf die Festigkeitsparameter. Durch das vorherige Aufbereiten von Heu zu einem Heufaserstoff und den Einsatz dieses Faserstoffes zur Pelletherstellung konnte die Festigkeit sowie die Schüttdichte der Heupellets optimiert werden. Verglichen mit Holzpellets lag der ermittelte Abrieb von 1,3 % unter den Forderungen der DINplus (2,3 %). Diese Heupelletvariante überzeugte auch durch ein sehr hohes Schüttgewicht von 641 kg/m³.

Bei den Untersuchungen zum Abbrand der Heupellets in den zwei Kofeuerungsanlagen, einem Biomassekompaktkessel mit Muldenfeuerung und einem Pelletkessel, zeigte sich, dass diese Holzfeuerungsanlagen nicht für die Nutzung von Heupellets geeignet sind. Neben einem diskontinuierlichen Abbrand der Heupellets, welcher sich auch in hohen und stark schwankenden Kohlenmonoxidemissionen widerspiegelte, ist der Abbrand durch sehr hohe Staubemissionen gekennzeichnet. Der Grenzwert der 1. BImSchV (150 mg Staub/Nm³, bezogen auf 13 % O₂ im Abgas) wurde drastisch überschritten. Durch die Beimischung von 25 - 50 % Holzspänen beim Pelletieren des Heus sowie durch den Einsatz von Heufaserstoff konnte das Abbrand- und Emissionsverhalten nicht ausreichend verbessert werden.

Die erzielten Kesselwirkungsgrade von 74 bis 83 % sind ebenfalls unbefriedigend. Die hergestellten Heupellets sind aus verbrennungstechnischer und immissionsrechtlicher Sicht sowie im Hinblick einer finanziellen Anlagenförderung (BAFA) in den geprüften Kleinf Feuerungsanlagen nicht einsetzbar. Die Ergebnisse der Abbrandversuche mit Heupellets zeigten, dass die Emissionen an Kohlenmonoxid, Stickoxid und Staub deutlich über denen von Strohpellets liegen. Mit der Herstellung von Brennstoffpellets aus landwirtschaftlicher Biomasse und deren Nutzung in Klein- und Großfeuerungsanlagen steht man derzeit erst am Anfang. Die erzielten Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen dies.

Die bisherigen Ergebnisse der Abbrandversuche mit Heu- und Strohpellets haben gezeigt, dass die energetische Nutzung nur möglich ist, wenn man speziell für diese halmgutartigen Brennstoffe geeignete Feuerungsanlagen entwickelt, die den kontinuierlichen und emissionsarmen Abbrand ermöglichen. Erste viel versprechende Anlagensysteme für diese Brennstoffe stehen kurz vor der Markteinführung. Bei dem Pelletverfahren müssen Kenngrößen für die einzelnen Verfahrensschritte (Häckseln, Mahlen, Befeuchten, Pressen) entwickelt werden, welche eine hohe gleich bleibende Qualität der Pellets gewähren und somit eine Standardisierung von Halmgutpellets ermöglichen.

Die in den Abbrandversuchen angefallenen Grobaschen wiesen hohe Gehalte an Chrom (VI) auf. Von den zehn verschiedenen Heupelletaschen dürfen nach Düngermittelverordnung auf Grund der Grenzwertüberschreitung bei Chrom (VI) acht Aschevarianten nicht in Verkehr gebracht werden.

5 Orientierende Untersuchungen zum Einsatz von Heu-, Mais- und Rapsstrohhallen im HERLT-Ganzballenvergaser HSV 145 in der Wiesenburger Land eG.

5.1 Einleitung/Ziel

Im Rahmen des F/E-Projektes „Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen - Ein Beitrag zum Erhalt der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums“ werden verschiedene stoffliche und energetische Verwertungsmöglichkeiten von Grünlandaufwüchsen hinsichtlich ihrer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit praxisnah geprüft. Dabei erfolgen an Hand einer extensiv bewirtschafteten Grünlandfläche in den sächsischen Vorgebirgslagen Untersuchungen zur Kompostierung und energetischen Nutzung. Bei den Untersuchungen zur energetischen Nutzung soll zum einen frischer Grünschnitt als Co-Ferment in Biogasanlagen eingespeist werden und zum anderen prüft man den Einsatz von Heu in Verbrennungs- und Vergasungsanlagen als Brennstoff. Die Ergebnisse der Arbeit sollen den Landwirten im Freistaat Sachsen als Hilfestellung bei der Pflege und Nutzung des Grünlandes in sächsischen Vorgebirgslagen dienen und auf andere ähnliche Gebiete übertragbar sein. Mit diesem Projekt soll ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Grünlandbestände und damit zum Erhalt der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums geleistet werden.

In einem Pilotprojekt, gefördert durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, erfolgten umfangreiche Untersuchungen sowie technische Modifikationen zur emissions- und baurechtlichen Genehmigung des Strohballenvergasers der Fa. HERLT in Wiesenburg bei Zwickau. Nach 10-monatiger Testphase wurde der Kessel im Oktober 2003 von der Wiesenburger Land eG offiziell in Betrieb genommen. Die Zulassung des Kessels erfolgte für die Brennstoffe Holz (zum Anfeuern) und Getreidestroh. Auf Grund der enormen Potenziale an Heu sowie den landwirtschaftlichen Reststoffen Mais- und Rapsstroh und der häufigen Nachfrage der Landwirte nach einer sinnvollen Verwertung dieser wurden die Brennstoffe hinsichtlich ihres Abbrand- und Emissionsverhaltens im Ganzballenvergaser HSV 145 getestet. Es sollte geprüft werden, ob ein kontinuierlicher Abbrand stattfindet, die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden und somit diese Brennstoffe für diesen Kessel zugelassen werden könnten.

Es handelte sich bei den Untersuchungen vorerst um Tastversuche. Die Abbrandversuche mit Emissionsmessungen erfolgten durch die Staatlichen Umweltfachämter Plauen und Chemnitz.

5.2 Methodik

Die Versuche wurden in Absprache und guter Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Heizanlage Herrn Teufel (Wiesenburger Land eG), den Staatlichen Umweltfachämtern Plauen und Chemnitz sowie dem Hersteller des Ganzballenvergasers Herrn Herlt durchgeführt. Neben den Heuballen des im Rahmen des F/E-Projektes untersuchten extensiv bewirtschafteten Grünlandes sollten auch Maisstrohballen und im Auftrag der Fa. Herlt ein Rapsstrohballen im Abbrand im Kessel getestet werden. Die Heu- und Maisballen lieferte die Naturland-Landschaftspflege GmbH aus Hänichen. Die Firma Herlt stellte den Rapsstrohballen für die Untersuchungen zur Verfügung.

Weil die Versuchsbrennstoffe für diesen Kessel nicht zugelassen sind, musste vorab eine Genehmigung vom Betreiber für den Versuchsbetrieb eingeholt werden. Vom 25.11. - 27.11.2003 fanden die Tastversuche in der Wiesenburger Land eG in Wildenfels statt.

Vor dem Abbrand wurde von jedem Ballen der Durchmesser, die Länge und das Gewicht bestimmt. Mittels einem Digitalfeuchtemessgerät (GHH 91 KK Fa. Greisinger electronic GmbH) erfassten die Mitarbeiter der Staatlichen Umweltfachämter vor Ort die Feuchte der Ballen in den verschiedenen Ballenzonen (außen, mittig, innen). Ferner erfolgte eine Probenentnahme vom Außenbereich der Ballen zur Ermittlung der Trockenmasse und Trockensubstanz im Labor (bei 60°C und 105 °C) sowie zur Untersuchung der Inhaltsstoffe. Auf Grund der dichten Wicklung war es nicht möglich, Proben aus dem Innenbereich der Ballen zu nehmen. Die Inhaltsstoffanalysen der Proben führte der Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen durch. Die bei den chemischen Analysen angewandte Methodik ist im Anhang 3 zusammengestellt.

Den Heizwert bestimmte man mittels Bomben-Kalorimeter nach DIN 51 900. Die Abbrandversuche und Emissionsmessung erfolgten durch Mitarbeiter der Staatlichen Umweltfachämter Plauen bzw.

Chemnitz. Es wurden die Emissionen an CO, NO_x, SO₂, ges. C und Staub im Abgas nach 4. BImSchV gemessen. Folgende Messgeräte kamen zum Einsatz:

- Messcomputer rbr ecom-kd für die Ermittlung der gasförmigen Emissionen CO, NO_x, SO₂ sowie Ermittlung des Sauerstoffgehaltes im Abgas: Fabrikat Fa. Höntsch GmbH, Typ: Anemometer uP-TAD
- Partikelförmige Emissionen: Messverfahren nach VDI-Richtlinie 2066, Blatt 2
Abscheidemedium: Glasfaserfilter

Eingestellter Messbereich:

O₂: 0 - 21 %
CO: 0 - 4000 ppm
SO₂: 0 - 4000 ppm

Die Probenentnahmestelle wurde in die waagerechte Abgasleitung nach dem Wärmetauscher unter Beachtung der VDI 2066 Blatt 1 eingebracht. Der Durchmesser beträgt 350 mm. Es sind drei Probenentnahmestellen mit Messstutzen 3“, 2“ und 1“ vorhanden. Damit besteht die Möglichkeit, eine Staubmessung in direkter Verbindung mit der Gasmessung durchzuführen. Der Ganzballenvergaser HSV 145 wurde von der Firma HERLT SonnenEnergieSysteme in Vielitz entwickelt. Die Feuerungswärmeleistung beträgt 145 kW. Die Anlage wurde bei der Versuchsdurchführung im Automatikbetrieb gefahren, d. h. eingestellt auf den Brennstoff Getreidestroh. Eine auf die getesteten Brennstoffe angepasste Regelung der Luftzufuhr war nicht möglich.

5.3 Funktionsweise des Ganzballenvergasers HSV 145

Das Grundprinzip des Ganzballenvergasers HSV 145 (Abbildung 36) beruht auf dem Verfahren der Holzvergasung und den von der Firma HERLT bereits erzeugten Holzvergaserheizkessel. Der Vergaser besteht aus einem großen keramisch ausgekleideten Verbrennungs- bzw. Vergasungsraum. Um einen gleichmäßigen Abbrand der unzerkleinerten Rund- oder Quaderballen zu ermöglichen, wird das Heizgas durch eine aus feuerfestem Material gefertigte Ventilatoreinheit über Kanäle in den Ballen gedrückt. So setzt sich der Vergasungsvorgang im Balleninneren fort. Die Gase werden durch eine Schlitzdüse in eine keramische Wirbelbrennkammer gesaugt, mit der hinten zugefügten hoch vorgewärmten Sekundärluft vermischt, intensiv verwirbelt und verbrannt. Danach werden die Heizgase durch die ebenfalls hoch erhitze untere Nachbrennkammer geleitet und verbrannt (HERLT 2002).



Abb. 36: Strohballenvergaser HSV 145 und Vergaserraum mit Wärmetauschern in der Wiesenburger Land eG in Wildenfels



Abb. 37: Auflegen des Strohballens auf das Glutbett aus verbranntem Scheitholz

Gestartet wird der Strohballenvergaserkessel mit Scheitholz. Der Feuerraum sollte dabei ca. 45 min bis auf eine Vergaserraumtemperatur von 720 °C aufgeheizt werden. Erst dann kann der Strohballen auf das Glutbett eingelegt werden (Abbildung 37). Es ist der Einsatz von Ballen bis zu einem Durchmesser von 1,8 m möglich. Ein Strohballen brennt je nach Größe drei bis acht Stunden. Am Ende der Ausbrandzeit fällt die Feuerraumtemperatur auf ca. 600 °C ab. Jetzt wird automatisch ein Signal geschaltet, das den Betreiber darauf hinweist, dass ein neuer Ballen eingelegt werden kann.

An sehr kalten Wintertagen können bis zu vier Ballen hintereinander gefeuert werden. Danach muss bei Bedarf eines weiteren Ballens die Asche aus dem Feuerungsraum entfernt werden. Der Hersteller ist derzeit bei der Entwicklung eines einfachen automatischen Ascheaustragssystems.

5.4 Ergebnisse

Die Heu- und Maisstrohbälle stellte die Naturlandlandschaftspflege GmbH zur Verfügung. Die Bälle hatten einen Durchmesser von 1,2 m und waren 1,3 m lang. Das Gewicht betrug bei den dicht gewickelten Heubällen 180 kg und bei den lockerer gewickelten Maisbällen 160 kg. Die Firma HERLT stellte für die Untersuchungen einen Rapsstrohbälle bereit. Der Durchmesser und die Länge des Ballens betrugen 1,7 m. Der Ballen war sehr dicht gewickelt. Das Gewicht lag bei ca. 280 kg.

In Tabelle 29 sind die durchschnittlichen Feuchtegehalte der Bälle und im Anhang die Daten der Einzelmessungen in den verschiedenen Ballenzonen zusammengestellt. Zwischen den Daten der Feuchtemessungen mit dem Digitalfeuchtemessgerät und der Labormethode bestehen sehr große Differenzen. Hier muss berücksichtigt werden, dass die Laborproben nur von außen genommen werden konnten, daher sehr trocken waren und somit nicht repräsentativ für den Feuchtegehalt des gesamten Ballens sind.

Tab. 29: Durchschnittliche Feuchtegehalte der Heu-, Maisstroh- und des Rapsballens

Brennstoff	Feuchte ¹⁾ Gew. %	TS (Labor) %	Feuchte (Labor) %
Heu	26	85	15
Maisstroh	74	70	30
Rapsstroh	58	85	15

1) gemessen vor Ort mit Digitalfeuchtemessgerät durch StUFA Plauen

Von allen drei Brennstoffen wurden die Gehalte an emissions- und verbrennungstechnisch relevanten Inhaltsstoffen Asche, Heizwert sowie an Schwermetallen bestimmt (Tabellen 30, 31). Trotz extensiver Bewirtschaftung des Grünlandes liegt der Stickstoffgehalt des Heus am höchsten. Mais- und Rapsstroh sind aus konventionellem Anbau. Die bei Maisstroh ermittelten hohen Asche- und Schwermetallgehalte weisen auf eine starke Verschmutzung des Materials mit Bodenpartikeln hin.

Tab. 30: Elementar- und Aschegehalte (i. d. TS) und Heizwert der Brennstoffe Heu, Maisstroh und Rapsstroh

Brennstoff	N %	P %	K %	Mg %	Ca %	S %	Na %	C %	Asche %	Hu (wf) MJ/kg
Heu	1,12	0,19	1,44	0,12	0,63	<0,01	<0,01	56,4	2,8	17,46
Maisstroh	1,04	0,12	1,03	0,18	0,51	<0,01	<0,01	54,7	5,7	16,80
Rapsstroh	0,68	0,05	1,89	0,08	0,91	0,32	0,17	54,0	6,8	16,48

Tab. 31: Schwermetallgehalt der Brennstoffe Heu, Maisstroh und Raps

Brennstoff	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Cr mg/kg
Heu	8,5	4,3	4,7	0,5	29,5	0,08	0,04	8,5
Maisstroh	37,5	100,9	17,1	9,9	130,4	0,10	0,04	37,5
Rapsstroh	1,9	2,4	1,2	2,2	10,6	0,26	0,02	1,9

Im Rahmen der durchgeführten Tastversuche wurden je zwei Heu- und Maisstrohballen und ein Rapsstrohballen im Abbrand geprüft. Nach TA-Luft gelten die folgenden Emissionsgrenzwerte:

CO: 250 mg/Nm³

NOx: 500 mg/Nm³

Ges. C: 50 mg/Nm³

Staub: 50 mg/Nm³

Die Emissionsanforderungen beziehen sich auf trockenes Abgas bei Normbedingungen (1013 mbar, 0 °C) und einem Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 11 %.

5.4.1 Abbrand der Heuballen

Die Abbildung 38 zeigt die im Abbrand getesteten Heuballen bzw. das Heu aus extensiver Bewirtschaftung. Die Ballen waren dicht gewickelt.



Abb. 38: Heuballen bzw. Heu aus extensiver Bewirtschaftung (HERGERT 2003)

In Tabelle 32 sind die Halbstundenmittelwerte und das Gesamtmittel der Emissionen beim Abbrand der Heuballen zusammengestellt.

Tab. 32: Emissionen und Grenzwerte (TA-Luft) beim Abbrand der Heuballen

Uhrzeit	Brennraum- temperatur [°C]	CO [mg/Nm³]	NO _x [mg/Nm³]	Ges. C [mg/Nm³]	Staub [mg/Nm³]
Ballen 1					
9:37 – 10:07	710	63	419	12	63
10:15 – 10:45	708	45	423	10	121
11:05 – 11:35	648	76	444	6	
12:22 – 12:52	673	61	406	7	
Ballen 2					
13:24 – 13:54	702	5	780	10	
Gesamtmittel:	688	50	494	9	92
<i>Grenzwert:</i>		250	500	50	50

Beim Abbrand der Heuballen wurden die Grenzwerte für die CO- und ges. C-Emissionen deutlich unterschritten. Die Emissionen an NOx lagen im Mittel unter dem Grenzwert der TA-Luft. Allerdings wurde bei dem zweiten Ballen eine Überschreitung des Grenzwertes festgestellt. Der Grenzwert für die staubförmigen Emissionen wurde bei der Verbrennung der Heuballen überschritten. Der Energiegehalt des ersten Ballens betrug 530 kWh, der zweite Ballen wurde mit 590 kWh ermittelt.

5.4.2 Abbrand der Maisstrohballen

Die Abbildung 39 zeigt das in den Abbrandversuchen eingesetzte Maisstroh.



Abb. 39: Maisstrohballen bzw. Maisstroh (HERGERT 2003)

In Tabelle 33 sind die Halbstundenmittelwerte und das Gesamtmittel der Emissionen beim Abbrand der Maisstrohballen zusammengestellt. Trotz der relativ hohen Feuchte des Brennstoffes brannten die Maisballen schnell auf dem Holzglutbett an. Beim gesamten Abbrand konnten keine Gerüche oder sichtbare Rauchgasfahnen festgestellt werden. Das Abbrandverhalten und der Emissionsverlauf waren über den gesamten Messzeitraum konstant. Größere Messspitzen wurden nicht festgestellt.

Tab. 33: Emissionen und Grenzwerte (TA-Luft) beim Abbrand der Maisstrohballen

Uhrzeit	Brennraum- temperatur [°C]	CO [mg/Nm³]	NO_x [mg/Nm³]	Ges. C [mg/Nm³]	Staub [mg/Nm³]
Ballen 1					
10:10 – 10:40	722	10	731	12	
10:41 – 11:11	716	13	745	8	
11:12 – 11:42	696	19	762	6	
11:43 – 12:13	704	21	903	5	
12:14 – 12:40	618	365	955	15	
Ballen 2					
13:10 – 13:40	695	7	653	12	63
13:46 – 14:16	714	10	745	10	84
Gesamtmittel:	695	64	785	10	74
<i>Grenzwert:</i>		250	500	50	50

Die Grenzwerte der CO- und ges. C-Emissionen wurden beim Abbrand der Maisballen im Mittel deutlich unterschritten. Die NO_x-Emissionen lagen mit über 700 mg/Nm³ stark über dem vorgeschriebenen Grenzwert von 500 mg/Nm³ sowie über den NO_x-Emissionen beim Abbrand von Heu. Der Grenzwert für Staub wurde im Abbrand geringfügig überschritten. Der erfasste Energiegehalt des ersten Ballens betrug 470 kWh, der zweite Ballen wurde mit 482 kWh ermittelt.

5.4.3 Abbrand des Rapsballens

Abbildung 40 zeigt den getesteten sehr dicht gewickelten Rapsstrohballen.



Abb. 40: Rapsstrohhallen bzw. Rapsstroh (HERGERT 2003)

Nach Auflegen des Rapsstrohhallens konnte nur kurzzeitig ein normaler Emissionsverlauf festgestellt werden. Danach kam es erst zu Verpuffungen im Kessel, die Flamme im Vergaserraum pulsierte stark, dann zu mehreren Flammenabrissen. Es wurde ein stark pulsierender Emissionsverlauf bei Kohlenmonoxid im Bereich von 200 mg/m^3 bis über 10.000 mg/m^3 erfasst. Durch mehrmaliges Öffnen der Feuerraumtür konnte die Verbrennung zwar wieder in Gang gesetzt werden, jedoch blieb das Brennverhalten bzw. der Kesselbetrieb äußerst instabil. Nach ca. zwei Stunden wurden schließlich die Messungen abgebrochen. Abbildung 41 zeigt den Rapsstrohhallen im Abbrand im HERTL-Vergaser nach ca. 2,5 h. Durch das Auflockern des Ballens konnte das Feuer wieder entfacht werden.



Abb. 41: Rapsstrohballe nach Abbrand von 2,5 h (HERGERT 2003)

Für den Abbrandversuch stand nur ein Rapsstrohballe zur Verfügung. Es ist nicht auszuschließen, dass die dichte Wicklung, die Größe (1,7 m x 1,7 m) und das hohe Gewicht (280 kg) des Ballens die Ursachen für das instabile Abbrandverhalten des Rapsstrohs darstellen.

5.4.4 Verbrennungsaschen

Bei der Asche aus der Verbrennung der Maisstrohballe erfolgte die chemische Analyse der Inhaltsstoffgehalte (Tabelle 34). Die Aschen aus der Verbrennung des Heus sowie des Rapsstrohs wurden leider verworfen und konnten somit nicht analysiert werden. Seit 5.12.2003 ist die neue Düngemittelverordnung gültig. Die im Abbrandversuch angefallene Maisstrohasche darf auf Grund des hohen Kupfergehalts nicht in Verkehr gebracht werden. Die Ausbringung der Asche auf betriebseigenen Flächen ist grundsätzlich möglich.

Tab. 34: Analyse der Maisstrohasche

	Einheit	Maisstrohasche	Grenzwert Düngemittelverordnung mg/kg TM
TS	%	99,1	
Gesamtstickstoff	% in TS	<0,01	
Gesamtphosphat	% in TS	1,03	
P ₂ O ₅	% in TS	2,36	
Gesamtkalium	% in TS	17,60	
K ₂ O	% in TS	21,10	
Gesamtmagnesium	% in TS	2,10	
MgO	% in TS	3,49	
Natrium	% in TS	0,20	
Schwefel	% in TS	0,80	
Kalzium	% in TS	10,40	
Blei	mg/kg	21,10	150
Cadmium	mg/kg	0,58	1,5
Kupfer	mg/kg	96,20	70
Chrom	mg/kg	20,60	-
Nickel	mg/kg	20,30	80
Quecksilber	mg/kg	0,02	1,0
Zink	mg/kg	347	1000

5.5 Schlussfolgerungen

Der Einsatz von Ganzballen bzw. Rundballen in Feuerungsanlagen ist vor allem bei der energetischen Nutzung von Halmgütern in landwirtschaftlichen Betrieben von Bedeutung. Die Bergung der denkbar einsetzbaren Brennstoffe wie z. B. Stroh und Heu ist problemlos, die Maschinen sind im landwirtschaftlichen Betrieb vorhanden und das Verfahren bekannt. Der in den Versuchen verwendete Ganzballenvergaser der Firma HERLT wird an einigen Standorten in Deutschland erfolgreich für die energetische Nutzung von Getreidestrohballen im Dauerbetrieb genutzt.

Mit den durchgeführten Abbrandversuchen in diesem Kessel mit Rundballen aus Heu, Mais- und Rapsstroh sollte getestet werden, ob diese Brennstoffe aus verbrennungstechnischer und immissionsrechtlicher Sicht auch einsetzbar wären. Es handelte sich dabei um erste orientierende Untersuchungen. Die durchgeführten Tastversuche haben gezeigt, dass der Einsatz von Heu aus extensiver Bewirtschaftung als Brennstoff in der Strohvergasungsanlage HSV 145 durchaus möglich ist. Das Abbrandverhalten und der Kesselbetrieb waren stabil.

Seitens der Emissionsmessungen beim Abbrand von Heuballen kann gesagt werden, dass die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft als durchaus machbar eingeschätzt werden kann. Aus diesem Grund sollten unbedingt weitere Versuche zur Nutzung von Grünlandaufwüchsen in dieser Feuerungsanlage durchgeführt werden. Der Einsatz von Maisstroh als Brennstoff ist auf Grund der hohen Stickoxidemissionen beim Abbrand fraglich. Um diesen landwirtschaftlichen Reststoff in der Strohvergasungsanlage nutzen zu können, müssen technische Maßnahmen zur Reduzierung die-

ser Emissionen getroffen werden. Weil die Gehalte an Stickstoff im Maisstroh im Vergleich zu Heu relativ gering waren, sind die Ursachen für die hohen NO_x-Emissionen beim Abbrand nicht erkennbar.

Ein stabiler Abbrand des Rapsstrohballens war in der genutzten Feuerungsanlage nicht möglich. Unklar ist, ob Rapsstroh generell nicht geeignet ist oder ob die überdimensionale Größe des Ballens die Ursache für das schlechte Verbrennungs- und Emissionsverhalten darstellt. Aus diesem Grund sollten weitere Abbrandversuche mit kleineren Rapsstrohballen erfolgen. Es hat sich in dem kurzen Versuchszeitraum gezeigt, dass durch die Beschaffenheit der Ballen (Dichte, Feuchte, usw.) die Emissionen sowie das Verbrennungsverhalten stark beeinflusst werden. Jedoch können keine generellen Aussagen zur Eignung der getesteten Brennstoffe gemacht werden. Hierfür ist es notwendig, detaillierte Untersuchungen mit verschiedenen Ballen über einen längeren Zeitraum durchzuführen.

6 Untersuchungen zur Vergärung verschiedener Grünlandaufwüchse im labortechnischen Maßstab

Die Vergärung oder Methanisierung von Biomasse ist im Gegensatz zur Kompostierung ein anaerober Prozess, bei dem durch anaerobe Bakterien unter Luftabschluss Biogas entsteht. In den meisten Biogasanlagen in Deutschland wird Gülle zur Erzeugung von Biogas genutzt. Im Durchschnitt besteht das Biogas zu zwei Dritteln aus Methan und zu ca. einem Drittel aus Kohlendioxid sowie Wasserdampf und einigen Spurengasen. Aus einem Kubikmeter Biogas lassen sich ca. 5 bis 7 kWh Energie erzeugen.

Durch die Beimischung so genannter Kosubstrate (z. B. Maispflanzen, Gras und andere Futterpflanzen) zur Gülle lässt sich der Biogasertrag steigern (HEIERMANN, PLÖCHL 2004). Hierbei muss beachtet werden, dass nur leicht abbaubare organische Substrate eingesetzt werden. Im Rahmen des Projektes erfolgten Untersuchungen zum Einsatz von Grünlandaufwüchsen mit unterschiedlichen Schnitterminen sowie verschiedener Grünschnittsilage zur Biogasproduktion im labortechnischen Maßstab. Die eingesetzten Grünschnitte und -silagen stammen von der extensiv bewirtschafteten Grünlandfläche in der Nähe der Schweinsdorfer Alpen (siehe Kapitel 2). Die verschiedenen Kosubstrate wurden in einem kontinuierlichen Vergärungsverfahren sowie im Batch-Verfahren (diskontinuierlich) geprüft.

6.1 Material und Methodik

Neben Rindergülle und der in der Praxis oft genutzten Getreideganzpflanzensilage (Triticale) erfolgte der Einsatz von Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung verschiedener Schnitterpunkte. Für die Untersuchungen mit frischem Grünschnitt bzw. Grünschnittsilage wurde ein Teil des frisch geschnittenen Pflanzenmaterials zerkleinert und bei -20 °C für die späteren Vergärungsversuche eingefroren und der andere Teil angewelkt, gehäckselt und in 10-Liter-Siliereimern ohne Silierhilfsmittel zwei Monate siliert.

In Tabelle 35 sind die geprüften Varianten der Untersuchungen mit kontinuierlicher Substratzuführung zusammengestellt. Die Durchführung der kontinuierlichen Vergärungsversuche erfolgte an der TU Bergakademie Freiberg.

Tab. 35: Versuchsvarianten der kontinuierlichen Vergärungsversuche

Variante	Substrat	Schnitttermin
1a	Rindergülle (Lichtenberg)	
2	Grünschnitt frisch, 1.Schnitt	25.6.2004
3	Grünschnittsilage, 1.Schnitt	25.6.2004

Mit der Durchführung der diskontinuierlichen Vergärungsversuche im Batch-Verfahren wurde das Institut für Energetik und Umwelt Leipzig (Tabelle 36) beauftragt.

Tab. 36: Versuchsvarianten der Batch-Versuche

Variante	Substrat	Schnitttermin
00 (Nullversuch)	Impfeschlamm	
0 (Referenz)	1g mikrokristalline Zellulose und Impfeschlamm	
1b	Rindergülle (Hänichen)	
2	Grünschnitt frisch 1.Schnitt	25.6.2004
3	Grünschnittsilage 1.Schnitt	25.6.2004
4	Grünschnittsilage verdorben 1.Schnitt	25.6.2004
5	Grünschnittsilage 1.Schnitt	02.8.2004
6	Grünschnittsilage 2.Schnitt	02.8.2004
7	Triticale-Ganzpflanzensilage	

Die aufgeführten Substrate wurden vor den Gärversuchen hinsichtlich wichtiger Inhaltsstoffe untersucht. Die Analytik führte der Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen durch. Die Methodik der durchgeführten Analysen ist im Anhang 3 zusammengestellt. In Tabelle 37 werden die verschiedenen Substrate hinsichtlich einiger aussagekräftiger inhaltsstofflicher Parameter charakterisiert. Wie viel Biogas bzw. Methan sich aus den eingesetzten Substraten gewinnen lässt, wird durch die Anteile an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten bestimmt.

Tab. 37: Charakterisierung der Gärsubstrate

Variante/Substrat		TS %	pH- Wert	Nt %	NH ₄ %	NH ₄ mg/l	C %	RA %	RFa %	RFe %	RP %
kontinuierlich											
1	Rindergülle (Lichtenberg)	8,3	6,8	4,8	2,3		43,8				
2	Grünschnitt	80,8					47,1	5,9	36,0	1,8	9,4
3	Grünschnittsilage	42,5	4,7			90,4	48,1	5,7	37,6	1,9	10,0
diskontinuierlich											
1	Rindergülle (Hä-nichen)	4,3	6,8	5,4	3,3		43,6				
2	Grünschnitt 1.Schnitt	80,8					47,1	5,9	36,0	1,8	9,4
3	Grünschnittsilage 1. Schnitt	42,5	4,7			90,4	48,1	5,7	37,6	1,9	10,0
4	Grünschnittsilage verdorben	42,4	6,6			139,0	47,7	5,8	39,7	1,9	8,9
5	Grünschnitt 1.Schnitt	57,2					46,9	4,0	33,1	1,6	5,8
6	Grünschnitt 2.Schnitt	31,9					46,6	7,7	27,6	3,4	13,8
7	Triticale-Ganzpflanzensilage	40,5	4,8			46,9	46,5	5,8	21,7	3,5	11,1

Triticaleganzpflanzensilage (7. Variante) und der Grünlandaufwuchs des 2. Schnittes (6. Variante) weisen den höchsten Rohprotein- und Rohfettgehalt sowie den niedrigsten Rohfaseranteil auf. Damit zeigen diese Varianten von den geprüften Kosubstraten die besten Vergärungseigenschaften. Die Verschmutzung des 2. Schnittes mit Bodenpartikeln bei der Mahd könnte eine Ursache für den erhöhten Rohaschegehalt darstellen.

6.1.1 Durchführung der kontinuierlichen Vergärungsversuche

Für die kontinuierlichen Untersuchungen zur Vergärung kamen zwei Fermenter zum Einsatz. Der grundsätzliche Aufbau der Laborbiogasanlage der TU Bergakademie Freiberg, gefördert durch die LfL, ist in Abbildung 42 dargestellt.

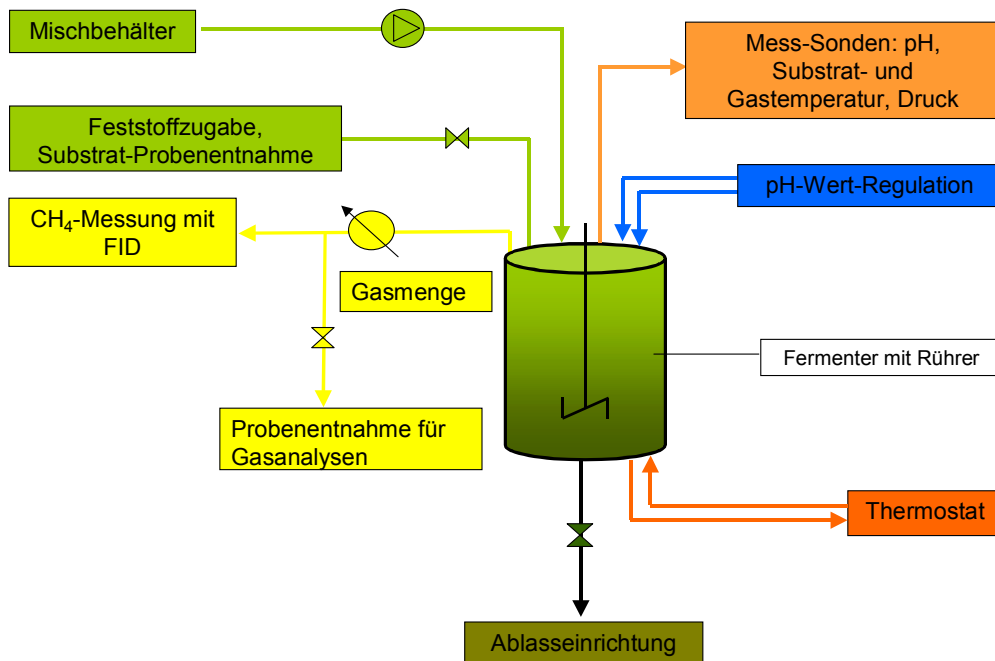


Abb. 42: Prinzipskizze der Laborbiogasanlage (FERCHAU 2004)

Die Fermenter bestehen aus zwei ineinander gesetzten Glaszylindern und sind jeweils in einem Aluminiumgestell gelagert. In dem Zwischenraum der Glaszylinder zirkuliert Wasser zur Temperierung des Fermenterinhalt. Mit einem Thermostat wird die gewünschte Temperatur eingestellt. Der innere Glaszylinder hat ein Fassungsvermögen von ca. 30 Litern. Davon werden effektiv 23 Liter mit Substrat befüllt. Die Fermenter sind als Rührfermenter konzipiert und mit einem am Behälterboden angeordnetem Ankerrührer ausgestattet. Die Durchmischung beider Fermenter erfolgt in Zeitintervallen, die mit einer Zeitschaltuhr realisiert werden. Die Zugabe von Frischsubstrat erfolgt manuell über einen Trichter, der am Fermenterdeckel an der Zugabeöffnung befestigt ist. Das entstehende Biogas wird durch Gasmengenzähler geleitet. Zur Bestimmung des Methangehaltes kann mit einer Umschaltvorrichtung der Flammenionisationsdetektor (FID) zugeschaltet werden. Um die wesentlichen Prozessparameter pH-Wert, Substrattemperatur und Gasdruck zu überwachen, sind im Fermenterdeckel entsprechende Sensoren angebracht. Die Messwerte werden viertelstündlich von einem Datenlogger aufgenommen. Am Boden der Fermenter ist ein Schrägsitzventil zum Ablassen des Behälterinhaltes angebracht. In Abbildung 43 ist der Fermenter mit den wichtigsten Komponenten dargestellt.



Abb. 43: Fermenter Apparaturen (FERCHAU 2004)

Die beiden Fermenter wurden täglich, nach Möglichkeit zur gleichen Tageszeit, mit Frischsubstrat befüllt. Im Fermenter 1 befindet sich Rindergülle mit dem Kosubstrat Grünschnitt bzw. -silage. Der Fermenter 2 arbeitet mit Rindergülle als Monosubstrat. Die jeweilige Zugabemenge ist abhängig von der angestrebten Raumbelastung und dem oTS-Gehalt der Substrate.

Um den Füllstand konstant zu halten, ist die gleiche Menge, die zugegeben werden soll, vorher aus dem Behälter über die am Boden befindliche Ablassereinrichtung (Ventil und Schlauch) abzulassen. Die entstehende Biogasmenge wurde täglich nach dem Befüllen am Milligasähler abgelesen. Zusätzlich erfolgte regelmäßig die Entnahme von Proben zur Bestimmung des H₂S-Gehaltes und der flüchtigen Fettsäuren. Die Proben für die flüchtigen Fettsäuren stammen aus dem abgelassenen ausgefaulten Substrat und werden im Labor analysiert. Der H₂S-Gehalt wird über die Durchleitung des Gasstromes durch eine Cadmiumacetatlösung bestimmt. Weiterhin ist der oTS-Gehalt des Frischsubstrates und des ausgefaulten Substrates (Ablauf-oTS) zu bestimmen. Den oTS-Gehalt ermittelt man gemäß DIN 38 414.

6.1.2 Durchführung der Batch-Versuche

Die Vergärungsversuche wurden in Anlehnung an die Vorschrift im Anhang 4 der Abfallablagerechtsverordnung durchgeführt. Dabei wurden Probeansätze von 2 - 5 g von verschiedenen Grünschnitten und Silagen mit je 250 ml Impfschlamm in jeweils drei Parallelproben angesetzt. Die Gülleproben wurden auf Grund ihrer geringen TS-Gehalte mit je 25 g Probe angesetzt. Zusätzlich wurden jeweils zwei Parallelproben Nullversuch (nur Impfschlamm) und Referenz (1 g mikrokristalline Zellulose und Impfschlamm) untersucht. Die Gärversuche wurden am 13.08.2004 angesetzt. Die Versuche liefen über einen Zeitraum von etwa 30 Tagen. Die Biomethanisierung erfolgte im mesophilen Temperaturbereich von 35 °C.

Abbildung 44 zeigt die Versuchsanlage im Institut für Energetik und Umwelt Leipzig.



Abb. 44: Batch-Versuch im Institut für Energetik und Umwelt

6.2 Ergebnisse der Untersuchungen zur Vergärung verschiedener Kosubstrate

Der spät geschnittene Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung ist gekennzeichnet durch einen hohen Trockensubstanzgehalt sowie auch durch einen in Folge der unterlassenen Stickstoffdüngung geringeren Proteingehalt. Aus unterschiedlicher Literatur ist bekannt, dass Parallelen zwischen der Futterqualität und dem erzielbaren Biogas- und Methanertrag bestehen. An das Kosubstrat werden demnach eben so hohe Anforderungen gestellt wie an ein gutes Grundfutter für Wiederkäuer. Grünschnitt bzw. -silagen mit hoher Futtermittelqualität stellen Kosubstrate mit sehr guten Vergärungseigenschaften dar und bieten die besten Voraussetzungen für einen hohen Biogasertrag (FNR 2004, LEMMER & OECHSER 2002, et al.). Beim Einsatz von Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung sowie spätem Schnitttermin und der daraus resultierenden minderen Futterqualitäten ist mit deutlich geringeren Biogaserträgen zu rechnen als z. B. bei Qualitätssilagen.

Ergebnisse der Batch-Versuche:

Mit den Batch-Versuchen im Labormaßstab bot sich die Möglichkeit, verschiedene Kosubstrate in relativ kurzem Versuchszeitraum hinsichtlich ihres Biogasbildungspotenzials zu prüfen. In Tabelle 38 sind Biogasertrag und -qualität der verschiedenen Substrate zusammengestellt. Die Versuche erfolgten mit dreifacher Wiederholung der Varianten. Die Gasbildungsraten betrugen im Durchschnitt bei den frischen Grasproben zwischen 0,358 bis 0,432 m³/kg oTS und bei der Grassilage (3. Variante) 0,480 m³/kg oTS. Die ermittelten Gaserträge der im Versuch genutzten Grünschnitt- bzw. Silageproben aus extensiver Bewirtschaftung mit später Schnittnutzung liegen im Vergleich zu denen von Grasschnitten und Grassilagen mit Futterqualität niedrig. In den Literaturangaben

schwanken die Werte für frisches Gras zwischen 0,5 - 0,6 m³/kg oTS (BASERGA & EGGER 1997) bzw. 0,7 m³/kg oTS (Höfer 2004) und für Grassilagen zwischen 0,45 - 0,7 m³/kg oTS (LINKE & SCHELLE 2001) bzw. 0,78 m³/kg oTS (HÖFER 2004). Mit Verlagerung des Schnittzeitpunktes des Grünlandes von Juni (frühestmöglicher Schnitttermin nach KULAP, extensive Wiese ist der 15. Juni) auf Anfang August sank die Gasbildung des Grünschnittes. Dies ist vor allem auf das fortgeschrittene Reifestadium und den daraus folgenden höheren Gehalt an schwer abbaubarem Lignin und der Abnahme des Rohproteingehaltes zurückzuführen.

Tab. 38: Versuchsparameter, Gasbildung und Gasqualität der geprüften Substratvarianten

Nr.	Substrat	Whg.	TS %	oTS %	Gasbildung ¹⁾ (m³/kg oTS)	CH ₄ %	CO ₂ %	H ₂ S ppm
1	Rindergülle	1	6,06	5,00	0,246	59	41	32
		2	6,06	5,00	1,073	37	63	0
		3	6,06	5,00	0,269	61	39	44
		Mittel: **	6,06	5,00	0,258	60	40	38
2	Grünschnitt, 1. Schnitt 25.6.04	1	80,82	73,83	0,421	48	52	17
		2	80,82	73,83	0,579	45	55	16
		3	80,82	73,83	0,503	53	47	0
		Mittel:*	80,82	73,83	0,421	48	52	17
3	Grünschnitt- silage	1	42,50	40,18	0,454	45	55	60
		2	42,50	40,18	0,471	45	55	97
		3	42,50	40,18	0,516	46	54	92
		Mittel:	42,50	40,18	0,480	45	55	83
4	Grünschnitt- silage verdorben	1	42,36	38,81	0,299	49	51	46
		2	42,36	38,81	0,331	50	50	53
		3	42,36	38,81	0,320	49	51	54
		Mittel:	42,36	38,81	0,317	49	51	51
5	Grünschnitt, 1. Schnitt 2.8.04	1	57,15	55,26	0,361	49	51	19
		2	57,15	55,26	0,367	50	50	20
		3	57,15	55,26	0,345	50	50	10
		Mittel:	57,15	55,26	0,358	50	50	16
6	Grünschnitt, 2. Schnitt 2.8.04	1	31,85	29,48	0,412	51	49	67
		2	31,85	29,48	0,454	48	52	48
		3	31,85	29,48	0,431	49	51	28
		Mittel:	31,85	29,48	0,432	49	51	48
7	Triticale- Ganzpflanzen- silage	1	40,52	38,16	0,471	51	49	9
		2	40,52	38,16	0,535	50	50	7
		3	40,52	38,16	0,559	50	50	18
		Mittel:	40,52	38,16	0,522	50	50	11

* Werte der 2. und 3. Wiederholung wurden nicht in die Mittelwertbildung einbezogen, weil die Untersuchungsanlagen undicht waren.

** Wert der 2. Wiederholung wurde nicht in die Mittelwertbildung einbezogen, weil er >20% vom Mittelwert abweicht.

1)reiner Gasertrag des Substrates, Gasertrag des Impfschlammes wurde subtrahiert

Der Vergleich der zwei qualitativ differenten Grassilagen (3. und 4. Variante) zeigt, dass durch eine schlechte Silierung des Grasschnittes bzw. den Einsatz von verdorbener Silage der Gasertrag deutlich reduziert wird. Der ermittelte Gasertrag bei der Vergärung der Triticaleganzpflanzensilage

lag mit ca. 0,5 m³/kg oTS höher als bei den Grünschnittproben jedoch niedriger als erwartet. HEIERMANN & PLÖCHL (2004) erfassten bei der Vergärung von Triticaleganzpflanzen und -silage unterschiedlicher Reifestadien im labortechnischen Maßstab eine Gasausbeute von 0,75 – 0,8 m³/kg oTS.

Abbildung 46 zeigt die Biogasbildung der geprüften Varianten sowie der Null- (nur Impfschlamm) und Referenzversuche (1 g mikrokristalline Zellulose und Impfschlamm). Der Impfschlamm (Nullversuch) wies bei der Vergärung wie gewünscht ein sehr geringes Gasbildungspotenzial von ca. 0,005 m³/kg oTS auf. Der Referenzversuch erzielte im Mittel einen Gasertrag von 0,484 m³/kg oTS. Niedrige Gaserträge bei der Vergärung der verschiedenen Substrate können somit nicht auf die biologische Aktivität des Impfschlammes zurückgeführt werden.

In Abbildung 45 ist zu sehen, dass die Proben einen Gasbildungsverlauf praktisch ohne lag-Phase (Verzögerungsphase, in der nicht viel Gas gebildet wird) zeigen. Der Großteil der Gasbildung erfolgte bei einigen Proben in den ersten 10 Tagen, danach entwickelte sich stetig weniger Gas. Bei anderen Proben dauerte diese Periode der hohen Gasbildung etwa 30 Tage. Die Gasbildung war nach den 30 Tagen Versuchsdauer nicht endgültig abgeschlossen. Das Abbruchkriterium (tägliche Gasbildung etwa 1 % der bis dahin gebildeten Gasmenge) war aber erreicht. Die Biogaszusammensetzung (45 – 50 % Methan, 50 – 55 % Kohlendioxid) liegt im üblichen Bereich.

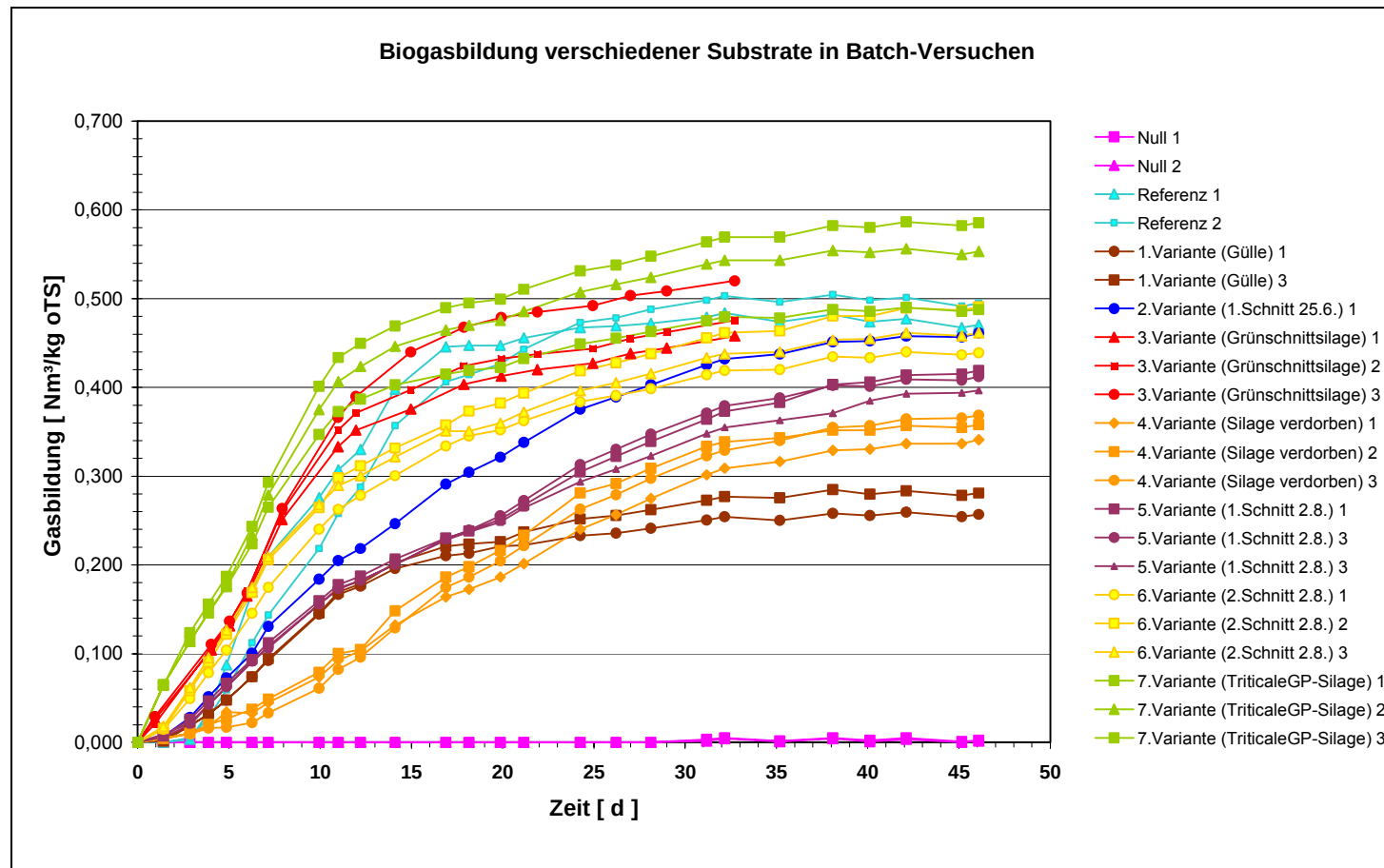


Abb. 45: Biogasbildung verschiedener Substrate in Batch-Versuchen

Ergebnisse der kontinuierlichen Vergärungsversuche:

Auf Grund der längeren Versuchsdauer bei der kontinuierlichen Vergärung von ca. 100 Tagen sowie des kurzen Projektzeitraums konnte die Prüfung nur von drei Varianten erfolgen. In dem 1. Fermenter wurden 70 % Rindergülle und 30 % Kosubstrat (2. und 3. Variante) vergoren und in dem 2. Fermenter Rindergülle als Monosubstrat. Nach 47 Versuchstagen mit frischem Grünschnitt (2. Variante) als Kosubstrat erfolgte am 48. Tag die Umstellung des Kosubstrates auf Grünschnittsilage (3. Variante). Die kontinuierlichen Vergärungsversuche sind derzeit noch nicht abgeschlossen. In Tabelle 39 sind die durchschnittlich erzielten Biogaserträge und -qualitäten der drei Versuchsvarianten zusammengestellt. Der 1. Fermenter wurde mit einer Raumbelastung (oTS je m³ Fermentervolumen und Zeiteinheit) von ca. 2 kg oTS/m³*d gefahren, der 2. Fermenter mit 4 kg oTS/m³*d.

Tab. 39: Versuchsp parameter, Gasbildung und Gasqualität der geprüften Substratvarianten

Versuchsp parameter	Einheit	1. Variante 100 % Rinder- gülle	2. Variante 70 % Rindergülle + 30 % Gras- schnitt	3. Variante 70 % Rindergülle + 30 % Gras- silage
Versuchstage	[d]	109	47	62 *
Zugabe Grundsubstrat	[kg/d]	0,57	0,39	0,40
oTS Grundsubstrat	[%]	8,08	8,15	8,02
Zugabe Kosubstrat	[kg/d]	-	0,06	0,03
oTS Kosubstrat	[%]	-	25,00	47,50
oTS Gesamtsubstrat	[%]	8,08	10,22	10,69
Raumbelastung	[kg oTS/m ³ *d]	4,05	1,95	2,0
Gasausbeute	[m ³ / kg oTS]	0,33	0,37	0,35
Methangehalt	[Vol.-%]	54,55	55,07	53,59
Methangasausbeute	[m ³ / kg oTS]	0,18	0,20	0,19

* Versuch noch nicht beendet

In den durchgeführten Gärtests führte die Zugabe von 30 % Kosubstrat zu einer Erhöhung der Gaserträge um 12 bzw. 6 %. Den Gasbildungsverlauf zeigt Abbildung 46. Die drastische Abnahme der Gas- bzw. Methanbildung am 31. Versuchstag ist auf einen technischen Defekt und dem dadurch bedingten Abfall der Fermentertemperaturen auf 25 °C zurückzuführen.

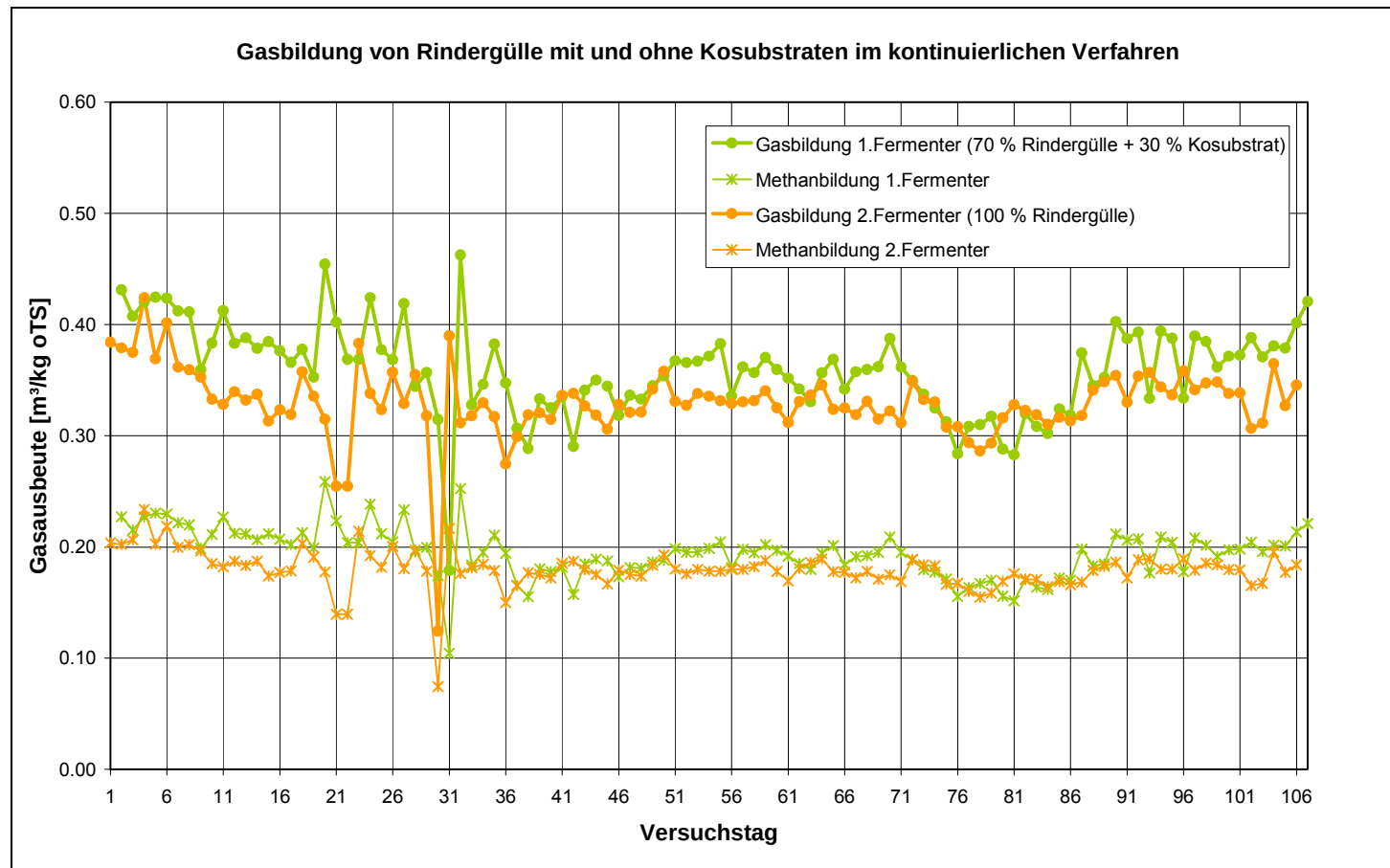


Abb. 46: Gasbildung verschiedener Substrate bei der kontinuierlichen Vergärung

6.3 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projektes erfolgten Untersuchungen zur Vergärung verschiedener Grünschnitte- und Silagen aus extensiver Bewirtschaftung und später Schnittnutzung im labortechnischen Maßstab. Dabei wurden sieben Varianten im Batch-Verfahren (diskontinuierlich) und drei Varianten in einem kontinuierlichen Verfahren getestet. Die Ergebnisse der Batch-Versuche zeigten, dass der Schnittermin des Grases und die Silagequalität einen sehr großen Einfluss auf den Gasertrag haben. Eine Verlegung des nach dem KULAP, Extensive Wiese, angegebenen Schnittzeitpunktes (Mahd nicht vor 15. Juni) auf Anfang August bewirkte eine deutliche Absenkung des Gasertrages. Dies zeigte, dass für eine Nutzung des Grünschnitts zur Biogaserzeugung der frühestmögliche Schnittermin gewählt werden sollte, um eine optimale Gasausbeute zu erzielen.

Der Einsatz verdorbener Grassilage für die Biogasproduktion führte zu minderen Gaserträgen und belegt damit die Forderung nach qualitativ hochwertigen Silagen für die Erzielung hoher Gasausbeuten. Die Gaserträge lagen bei den frischen Grünschnittproben zwischen 0,36 bis 0,43 m³/kg oTS und bei den Grassilagen bei 0,32 (verdorbene Silage) und 0,48 m³/kg oTS. Der Methangehalt betrug zwischen 45 - 50 %. In den kontinuierlichen Versuchen erfolgte die Prüfung von Rindergülle als Monosubstrat und die Zumischung von 30 % Kosubstraten (Grasschnitt, Grassilage) zur Rindergülle (70 %).

Durch die Beimischung von Kosubstraten konnte der Gasertrag nur leicht erhöht werden. Die Gaserträge lagen bei der Vergärung von Rindergülle bei 0,33 m³/kg oTS und bei Zumischung von 30 % Grünschnitt bzw. -silage bei 0,35 – 0,37 m³/kg oTS. Die Vergärung von Grünschnitt- und Grassilagen aus extensiver Bewirtschaftung ist machbar, führt jedoch nur zu einer geringen Steigerung des Gasertrages. In wie weit die Beimischung von diesen Kosubstraten zur Effizienz der gesamten Biogasproduktion beiträgt, ist vor allem vom Mehraufwand und den Kosten der Bereitstellung der Kosubstrate abhängig. Der Mehrerlös muss so hoch sein, dass auch die Mehrkosten gedeckt werden.

7 Ökonomische Bewertung

Die Untersuchungen verschiedener alternativer Nutzungsmöglichkeiten von Grünlandaufwüchsen haben gezeigt, dass die Kompostierung sowie die energetische Nutzung in Feuerungsanlagen durchaus machbare Lösungswege darstellen, um das Grünland futterwirtschaftlich unattraktiver Standorte einer Verwendung zuzuführen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese neuen Verwertungslinien auch aus ökonomischer Sicht vertretbar sind.

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Ernte- und Bewirtschaftungsverfahren erfolgte in sehr guter Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum. Auf Grund des kurzen Projektzeitraums und der Fülle an Arbeitsschwerpunkten war eine detaillierte ökonomische Kosten-Nutzen-Abschätzung der verschiedenen Nutzungsalternativen nicht möglich. Die folgenden Ergebnisse zeigen wichtige Kostenparameter und damit „wirtschaftliche Schwachstellen“

der Verwertungsverfahren auf. Je nach angestrebter Nutzung des Grünschnitts muss auch eine spezifische Bewirtschaftung und Aufbereitung erfolgen. Die Verwendung als Brennstoff fordert eine geringe Gutfeuchte sowie niedrige Gehalte an emissionsrelevanten und verbrennungstechnisch ungünstigen Inhaltsstoffen wie z. B. Stickstoff, Kalium, Schwefel, Chlor. Daraus folgt, dass die Bewirtschaftung extensiv erfolgen sollte und eine späte Schnittnutzung von Vorteil ist.

Im Gegensatz dazu werden bei der Nutzung des Grünschnitts zur Vergärung in Biogasanlagen zur Erzielung hoher Gaserträge Futterqualitäten gefordert, d. h. mit einem hohen Rohfettgehalt und geringen Rohfaseranteil. Das Ausgangsmaterial muss bei kontinuierlichen Biogasverfahren zudem noch konserviert (siliert) werden, um eine gleich bleibende Qualität des Kosubstrates zu gewährleisten. Bei der Kompostierung ist ein Ausgangsmaterial mit hohem Feuchtegehalt sowie hohen Gehalten an wertgebenden Inhaltsstoffen ähnlich wie bei der Verwendung als Kosubstrat wünschenswert. Die durchgeführten Untersuchungen zur Kompostierung von spät geschnittenem Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung haben gezeigt, dass auch dieses Material zu Komposten verarbeitet werden kann.

Abbildung 47 zeigt einige der möglichen Ernteverfahren bei der Grünlandbewirtschaftung.

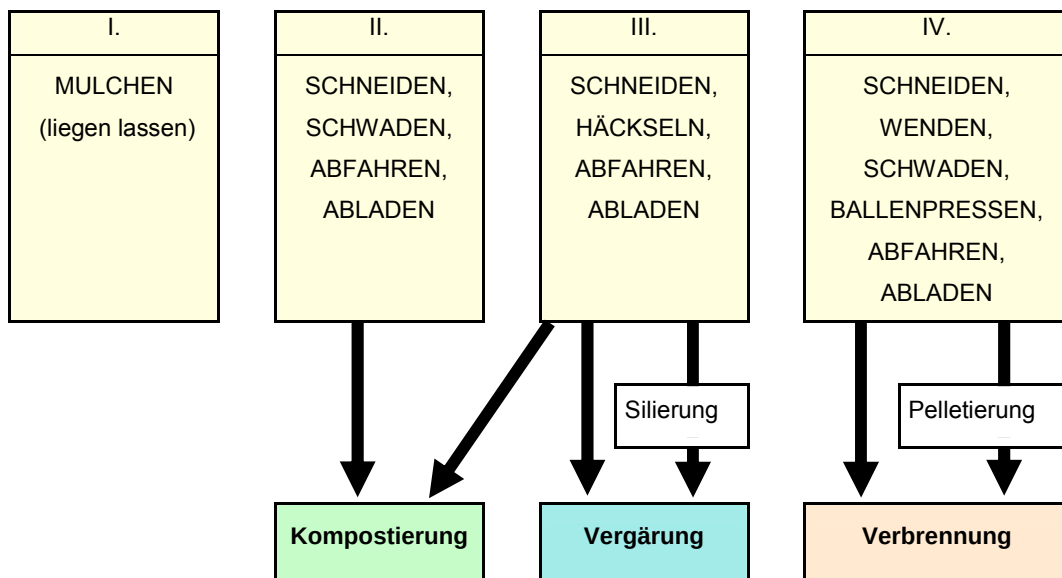


Abb. 47: Ernteverfahren von Grünlandaufwüchsen bei unterschiedlicher Nutzung

7.1 Kosten der Bewirtschaftung des Grünlandes und verschiedener Ernte- und Aufbereitungsverfahren

Die Kosten der verschiedenen Ernteverfahren richten sich nach dem jeweiligen Maschineneinsatz und dem Arbeitszeitbedarf. In Tabelle 40 sind die Kosten der einzelnen Arbeitsgänge der Verfahren zusammengestellt.

Tab. 40: Kosten der verschiedenen Arbeitsverfahren zur Ernte und Bergung von Grünlandaufwüchsen

Arbeitsgang (AG)	Maschinen/Geräte	Arbeitsbreite m	Zeit je AG Sh/ha	VK + PK €/ha	FK €/ha	Summe €/ha
I. Grünland mulchen (liegen lassen)						
Mulchen	Traktor (85 kW) mit Schlegelmulcher	3,0	1,33	32,3	17,3	49,6
						49,6
II. Grünland schneiden und bergen						
Schneiden	Traktor (85 kW) mit Schlegelmulcher	3,0	1,33	32,3	17,3	49,6
Schwaden	Traktor (85 kW) mit Kreiselchwader	3,0	1,33	31,1	14,2	45,3
Laden / Abfahren	Traktor (85 kW) mit Ladewagen bis 40 km/h	0,5	2,17	79,5	42,0	121,5
Transport*	Traktor (85 kW) mit Ladewagen 2 km	0,5	2,17	40,9	17,2	58,1
						216,4
III. Häcksellinie						
Schneiden	Traktor (85 kW) mit Schlegelmulcher	3,0	1,33	32,3	17,3	49,6
Häckseln	SF-Feldhäcksler 350 kW, Pick-up-Tr. 2,0 m	2,0	0,34	24,2	30,5	54,6
Transport	Traktor mit 2 Dreiseitenkipper 8t, 2achs, bis 25km/h		0,99	22,8	14,6	37,4
						141,6
IV. Rundballenlinie						
Schneiden	Traktor (85 kW) mit Heckscheibenmäherwerk+Aufbereitg.	3,2	0,50	17,1	16,9	34,0
Wenden	Traktor (85 kW) mit Kreiselzettwender	3,5	0,46	26,8	14,7	41,5
Schwaden	Traktor (85 kW) mit Kreiselchwader	3,0	1,33	31,1	14,2	45,3
Heu pressen	Traktor (85 kW) mit Rundballen 1,2m	2,8	0,92	37,9	25,3	63,2
Heuballen ablegen*	Traktor (85 kW) Greifschaukel 0,9 m³ (am Hang)		1,84	37,7	16,2	53,9
Heuballen aufladen	Traktor (85 kW) Greifschaukel 0,9 m³		0,42	8,7	3,7	12,4
Heuballen abladen	Traktor (85 kW) Greifschaukel 0,9 m³		0,42	8,7	3,7	12,4
Transport	Traktor mit 2 Dreiseitenkipper 8t, 2achs, bis 25km/h		0,57	9,8	2,0	11,8
						220,70

*Arbeitsschritte wurden bei den Kostensummen des Verfahrens nicht berücksichtigt

VK: variable Kosten (Betriebsstoffe, Unterhaltung, Reparaturen); PK: Personalkosten (Arbeitszeit, Lohn 10,2 €); FK: feste Kosten (Abschreibung, Versicherung, Zins)

Die Kostenanalyse wurde an Hand der im Projekt durchgeführten Ernte- und Bewirtschaftungsverfahren auf der in Kapitel 2 beschriebenen Grünlandfläche und den dort ermittelten Arbeitszeitbedarf und Maschineneinsatzes durchgeführt. Die Maschinenkosten wurden dem KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03 entnommen. Für die Bewirtschaftung des Grünlandes in Vorgebirgslage mussten auf Grund der Hangneigung zum größten Teil leistungsstarke hangtaugliche Maschinen (z. B. Traktor mit 85 kW) eingesetzt werden. Dies erhöhte die Kosten der Arbeitsverfahren.

Von den dargestellten Ernteverfahren ist die Häcksellinie am kostengünstigsten. Jedoch sind selbstfahrende Häckselmaschinen nicht hangtauglich. Somit ist dieses Verfahren nur bis zu einer Hangneigung von ca. 20 % durchführbar. Bei der Rundballenlinie ist die Hangneigung ebenfalls ein begrenzender Faktor. In Hanglagen müssten die Ballen nach Ablage durch die Ballenpresse von einem Geräteträger mit Greifer sofort aufgenommen und an ebener Fläche abgelegt werden. Dies erzeugt zusätzliche Kosten von ca. 54 €/ha. Eine sinnvolle Möglichkeit, Grüngut aus hängigen Lagen zu bergen und zu transportieren, stellt der Einsatz von Quaderballenpressen dar. Jedoch muss im Hinblick einer energetischen Nutzung darauf hingewiesen werden, dass die Quaderballen nicht von jedem Trockenwerk (Pelletierung) maschinell weiterverarbeitet werden können und auch die Feuerungsanlagen für Ganzballen teilweise nur für Rundballen ausgelegt sind.

Für die betriebswirtschaftliche Kalkulation der Grünlandbewirtschaftung müssen neben den verschiedenen Kosten der Arbeitsverfahren auch die Kosten der Grünlandpflege, Flächenkosten sowie sonstige Betriebskosten berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Gesamtkosten in Tabelle 41 wurden folgende Kosten kalkuliert:

- Kalkung des Grünlandes (aller drei Jahre)	29	€/ha
- Flächenkosten (Pacht, Berufsgenossenschaft, Grundsteuer)	55	€/ha
- sonstige fixe Betriebskosten (Quelle: Buchführungsergebnisse)	143	€/ha
	<u>227</u>	<u>€/ha</u>

Für die Berechnung der sonstigen fixen Betriebskosten wurden die durchschnittlichen Kosten aus den Buchführungsergebnissen 2003 übernommen. Die Kosten entsprechen dem Mittel sächsischer Marktfruchtbetriebe (5 ha Parzellengröße, bis 100 ha). Die Bewirtschaftung des Grünlandes fand extensiv statt. Es wurden keine mineralischen oder organischen Düngemittel sowie auch keine Pflanzenschutzmittel ausgebracht. Die Schnittnutzung des Grünlandes erfolgte einmal jährlich nach dem 15. Juni.

Bei der frischen Nutzung des Grünschnitts (Verfahren (I) – (III)) wurde ein Bruttoertrag von 150 dt/ha mit einem TS-Gehalt von 30 % angenommen und bei der Heunutzung (Verfahren (IV)) 60 dt/ha mit 60 % TS. Diese Erträge entsprechen den Ergebnissen der Untersuchungen der Jahre 2003 bzw. 2004 (siehe Kapitel 2).

Tab. 41: Gesamtkosten der verschiedenen Ernte- und Aufbereitungsverfahren

	I. Mulchen	II. Schneiden, Schwaden, Abfahren, Ab- laden	III. Schneiden, Häckseln, Abfahren, Ab- laden	IV. Schneiden, Wenden, Schwaden, Ballenpressen Abfahren, Ab- laden
Gesamtkosten	277 €/ha	443 €/ha	369 €/ha	448 €/ha
davon Arbeitsverfah- ren	50 €/ha	216 €/ha	142 €/ha	221 €/ha
Gesamtkosten nach Ausgleichszahlung*	73 €/ha	239 €/ha	165 €/ha	244 €/ha
zusätzliche Kosten:				
Silierung			108 €/ha	
Rundballenlagerung				95 €/ha
Gesamtkosten			273 €/ha	329 €/ha

Arbeitsverfahrenskosten nach KTL 2002/2003 und eigenen Erhebungen

*Ausgleichszahlung nach KULAP, extensive Wiese: 204 €/ha

Es zeigt sich, dass selbst bei dem jährlich einmaligen Mulchen der Grünlandfläche in Hanglagen trotz Ausgleichszahlung noch Kosten anfallen können. Das liegt vor allem an den bereits erwähnten höheren Maschinenkosten und dem höheren Arbeitszeitaufwand. Für die spätere Nutzung des Grünschnitts in Biogasanlagen fallen für die Silierung zusätzlich 108 €/ha an. Sollte es nicht möglich sein, nach dem Pressen der Ballen diese sofort zum „Pelletierer“ zu transportieren, müssen sie zwischengelagert werden. Dies verursacht Kosten von ca. 95 €/ha. Ziel des landwirtschaftlichen Betriebes muss es sein, die entstandenen Kosten durch Gewinne z. B. aus dem Verkauf auszugleichen.

7.2 Kosten der Kompostierung mit landwirtschaftlichen Maschinen

Bei der Kalkulation der Kosten der Kompostierarbeiten wurde angenommen, dass die Kompostierung am Feldrand erfolgt und der Anfahrtsweg der benötigten Maschinen 2 km beträgt. Von einem Hektar Grünland mit einem Ertrag von 150 dt/ha (30 % TS) können ca. 60 dt Kompost (18 m³) erzeugt werden. In Tabelle 42 sind die anfallenden Kosten bei der Kompostierung von geschnittenem (Verfahren (II)) und gehäckselttem Grünschnitt (Verfahren (III)) aufgezeigt. Das Umsetzen der Kompostmieten erfolgte mit einem Stallmiststreuer mit einem Ladevolumen von 15 m³. Die Umsetzungsgeschwindigkeit des Stallmiststreuers betrug 5 m³/min (ohne Aufladen). Mittels Geräteträger mit Forstkrane wurde das Kompostmaterial aufgeladen. Dieser Arbeitsschritt war sehr zeitintensiv (1 m³/min).

Auf Grund der hohen Feuchtigkeitsverluste während der Kompostierung und des relativ trockenen Ausgangsmaterials fand vor dem Umsetzen die Bewässerung der Mieten mit einem Güllewagen statt.

Tab. 42: Kosten der Kompostierung

Bewirtschaftungsverfahren	II.		III.	
Kosten Bewirtschaftung:	239 €/ha		165 €/ha	
Ausgangsmaterial:	Grünschnitt geschnitten		Grünschnitt gehäckselt	
	121 m ³		78 m ³	
	54 kg/m ³		84 kg/m ³	
Arbeitsschritte:	Umsetzen	Bewässern	Umsetzen	Bewässern
	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
1. Umsetzen	52	24	40	24
2. Umsetzen	30	15	30	15
3. Umsetzen	21	-	21	-
Kosten Kompostierung:	104	38	91	38
Gesamtkosten: (inkl. Bewirtschaftung)	381 €/ha		294 €/ha	
Kosten/m³ Kompost:	21 €/m³		16 €/m³	

60 dt Kompost/ha (18 m³)

Umsetzen: Traktor mit Stallmiststreuer und Geräteträger mit Forstkran; inkl. Anfahrtsweg

Bewässern: Traktor mit Tankwagen; inkl. Anfahrtsweg

Auf Grund des geringeren Volumens des gehäckselten Grünschnitts sind die Kosten des 1. Umsetzens niedriger als bei geschnittenem Grüngut, weil der Stallmiststreuer nicht so oft beladen werden muss. Im Laufe der Kompostrotte nehmen das Volumen der Komposte und damit auch die Kosten des Umsetzens ab.

Die Gesamtkosten der Kompostierung bei dreimaligem Umsetzen und Bewässern beträgt inklusive Bewirtschaftung 21 bzw. 16 €/m³ Kompost. Durch Minimierung der Feuchtigkeitsverluste während der Ernte- und Bergungsarbeiten sowie der Kompostierung (z. B. durch Folienabdeckung) könnte auf eine Bewässerung der Mieten verzichtet werden. Die Kosten der Kompostherstellung inklusive Bewirtschaftung mit dreimaligem Umsetzen und ohne Bewässerung liegen ca. bei 19 bzw. 14 €/m³. Der derzeitige Marktpreis liegt bei hochwertigen Komposten bei ca. 13 €/m³. Der Nährstoffwert liegt im Durchschnitt der in den Kompostierungsversuchen hergestellten Komposten bei ca. 0,74 €/dt Kompost bzw. 2,5 €/m³.

7.3 Kosten der Brennstoffpelletbereitstellung

Derzeit gibt es nur wenige Daten, die eine Kalkulation der Pelletierkosten ermöglichen, weil das Verfahren von dem der Herstellung von Futtermitteln oder Holzpellets abweicht. Bei der Herstellung von Holzpellets werden Kosten von ca. 40 €/t Pellets, ohne Materialkosten (Holzspäne), angegeben. Jedoch müssen die Holzspäne vorher getrocknet werden, was bei der Heupelletierung entfällt. Landwirtschaftliche Biomassen wie Heu und Stroh werden hingegen als Ballen angeliefert und müssen vor dem Pelletieren aufgelöst und gehäckselt werden. Nach Aussagen des Geschäftsführers des Trockenwerkes Grimma kann man bei der Heupelletierung von 60 €/t Pellets ausgehen. In Tabelle 43 sind die Gesamtkosten der Pelletierung, inkl. Bewirtschaftung und Transport, zusammengestellt.

Tab. 43: Kosten der Pelletierung (Hektarertrag: 4,5 Tonnen/ha (85 % TS))

	Kosten	
	€/ha	€/Tonne
Bewirtschaftungs-/Bergekosten	244	54
Kosten Rundballenlagerung	86	19
Kosten 4 km Transport	49	11
Kosten 30 km Transport	149	33
Kosten inkl. 4 km Transport	292	65
Pelletierung	180 bzw. 270	40 bzw. 60
Brennstoffkosten (4 km Transport)	472 bzw. 562	105 bzw. 125

Bei einer Entfernung zum Pelletierwerk von 4 km betragen die Brennstoffkosten 105 bis 125 €/t Pellets. Bei dem Heizwert der Heupellets von 14,5 MJ/kg (15 % Feuchte) können durch eine Tonne Pellets ca. 400 l Heizöl substituiert werden. Dies entspricht bei einem Heizölpreis von 40 ct einem Wert von 160 €/t Pellets. Der Marktpreis für Holzpellets liegt derzeit bei 175 €/t ([www. carmen.de](http://www.carmen.de)). Bei der Ermittlung des Verkaufspreises für Heupellets muss beachtet werden, dass der Preis der Heizanlagen (bis 40 kW) für Halmgüter derzeit um ca. 30 % über denen von Holzpelletkesseln liegen und der Ascheanfall um ein Vielfaches über dem von Holzbrennstoffen liegt.

7.4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes und der erfolgten Untersuchungen verschiedener Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen erfolgte die Ermittlung der Kosten der jeweiligen Bewirtschaftungs- und Verwertungsverfahren. Die betriebswirtschaftliche Kalkulation erfolgte an Hand der in den Untersuchungen erfassten Daten zum Arbeitszeitbedarf sowie dem Maschineneinsatz und bereits vorhandenen Literaturangaben. Auf Grund der Hanglage des Grünlandes und des daraus resultierenden höheren Arbeitszeitbedarfs sowie des Einsatzes leistungsstarker Maschinen ist mit höheren Kosten als bei ebenen Flächen zu rechnen.

Bei dem Arbeitsverfahren Mulchen, bei dem der Grünschnitt auf dem Feld verbleibt, konnten die anfallenden Kosten durch die Ausgleichzahlung (KULAP, Extensive Wiese) von 204 €/ha nicht gedeckt werden. Die Häcksellinie verursacht deutlich geringere Kosten als beim Grünschnitt mit Schlegelmulchgerät. Bei der Kompostierung des Grünschnittes wirkt sich das geringere Volumen der Häcksel auch positiv auf die Kompostierkosten aus. Die Kompostierung erfolgte mit betriebseigenen Maschinen. Die im Projekt ermittelten Kosten für die Kompostherstellung aus Grünschnitt lagen in den Untersuchungen weit über dem jetzigen Marktpreis hochwertiger Komposte von 13 €/m³. Jedoch sind eine Optimierung der Ernte-, Bergungs-, Aufbereitungs- und Kompostierverfahren und damit auch eine Reduzierung der Kosten durchaus machbar.

Bei der Ermittlung der Herstellungskosten von Brennstoffpellets wurde angenommen, dass die Kosten der Pelletierung bei ca. 40 bis 60 €/t Pellets liegen und somit die Gesamtkosten 105 bis 125 €/t Pellets betragen. Die Kosten liegen weit unter dem derzeitigen Holzpelletpreis von ca. 175 €/t und geben somit noch einen Spielraum für die Preisfindung und Ermittlung des Gewinnzuschlags. Hierbei muss aber auch beachtet werden, dass Heupellets andere verbrennungstechnische Eigenschaften aufweisen und die Investitionskosten der gesamten Feuerungsanlage inklusive Ascheaustragungssystem auf Grund des Einsatzes hochwertiger Materialien (z. B. korrosionsfrei) und der noch geringen Marktpräsenz solcher Anlagen viel höher liegen als bei Holzpelletfeuerungen. Die Wirtschaftlichkeit der Pelletherstellung und -nutzung hängt maßgeblich von der Entwicklung des Holzpelletpreises sowie der Nachfrage und den Kosten spezieller Feuerungsanlagen ab.

Die ermittelten Kosten der verschiedenen Arbeitsverfahren stellen eine erste Kalkulationsgrundlage für die ökonomische Betrachtung verschiedener Nutzungsalternativen dar. Sie weisen auf Schwachstellen wie z. B. kosten- und arbeitszeitintensive Arbeitsgänge in den unterschiedlichen Verfahren hin.

8 Ausblick

Im Rahmen des Projektes erfolgte die Prüfung verschiedener alternativer Nutzungsmöglichkeiten von Grünlandaufwüchsen hinsichtlich ihrer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Für die Untersuchungen wurde exemplarisch eine extensiv bewirtschaftete Grünlandfläche in den sächsischen Vorgebirgslagen genutzt. Es erfolgten Untersuchungen zur Kompostierung von Grünschnitt und zur energetischen Nutzung in Feuerungsanlagen sowie Biogasanlagen. Der verspätete Projektbeginn im Jahr 2003 führte zu Verzögerungen der Kartierung sowie der Kompostierarbeiten.

Die Kompostierung von Grünschnitt erfolgte mit betriebseigenen Maschinen. Es wurden im zweijährigen Versuchszeitraum sieben verschiedene Kompostmieten aus Grünschnitt mit verschiedenen Zuschlägen (Holzhäcksel, Gülle, Bioalgeen®-Schnellkomposter) in verschiedener Aufbereitungsform (geschnitten, gehäckselt) und teilweise mit Vlies- bzw. Folienabdeckung getestet. Die Kompostierbarkeit des struktur- und ligninreichen trockenen Grünschnitts war auf Grund des späten Schnitttermins sowie der extremen Sommertrockenheit im Jahr 2003 stark eingeschränkt. Der hohe

Trockensubstanzgehalt des Erntegutes sowie Feuchtigkeitsverluste während der Rotte durch den mikrobiellen Abbau und die Erwärmung der Mieten stellten im Versuchszeitraum die größten Hindernisse für eine optimale Kompostierung dar. Die Mieten mussten teilweise mehrmals bewässert werden.

Durch Zumischung von Gülle konnte das C/N-Verhältnis optimiert und der Rotteprozess beschleunigt werden. Von einer Beimischung von Holzhäckseln ist unbedingt abzuraten. Dadurch wird die Kompostierung auf Grund des sehr hohen ungünstigen C/N-Verhältnisses deutlich verschlechtert. Sehr gute Erfolge bei der Kompostierung des Grünschnitts zeigte die Abdeckung der Mieten mit Silierschlauchfolie. Dadurch wurden Feuchtigkeitsverluste während der Rotte minimiert und somit konnte auf die aufwendige Bewässerung des Kompostmaterials verzichtet werden. Die Kompostierung des Grünschnitts wurde im Gespräch mit verschiedenen Landwirten als „einfachste“ Variante der verschiedenen geprüften Nutzungsalternativen gesehen, weil hierbei hohe Anlageninvestitionen entfallen und die zu verwendende Technik im Allgemeinen beherrscht wird. Hierbei werden jedoch der Arbeitsaufwand, die anfallenden Kosten sowie die Kenntnisse und Erfahrungen, welche erforderlich sind, um einen hochwertigen Kompost herzustellen, unterschätzt. Vielmehr wird unter der Kompostierung die Ablagerung von Grünschnitt für ungewisse Zeit verstanden.

Die ermittelten Kosten der Kompostherstellung inklusive Grünlandbewirtschaftung lagen über dem derzeitigen Marktpreis für hochwertige Komposte. Durch Optimierung der Bewirtschaftungs-, Ernte- und Aufbereitungsverfahren sowie der Kompostierarbeiten ist eine deutliche Reduzierung der Kosten machbar. Die energetische Nutzung von Grünschnitt in Verbrennungsanlagen ist aus emissionsrechtlicher Sicht auf Grund der spezifischen Brennstoffeigenschaften in herkömmlichen Kohle- bzw. Holzfeuerungsanlagen nicht möglich. Das belegten auch die Ergebnisse der Abbrandversuche mit verschiedenen Heupellets in zwei unterschiedlichen Heizanlagen. Trotz Zumischung von Holzspänen bei der Pelletierung des Heus konnten die Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV für die staubförmigen Emissionen nicht eingehalten werden. Um landwirtschaftliche Biomassen wie Heu und Stroh als Brennstoffe einzusetzen, müssen Heizanlagen entwickelt werden, die den kontinuierlichen und emissionsarmen Abbrand ermöglichen. Erste viel versprechende Anlagensysteme werden derzeit auf dem Markt vorgestellt.

Seitens der Pelletqualität lässt sich sagen, dass aus Heu Pellets mit hoher Festigkeit und hoher Energiedichte hergestellt werden könnten. Eine optimale sehr hohe Festigkeit wurde durch die Verwendung von aufbereitetem Heufaserstoff erzielt. Jedoch besteht auch auf dem Gebiet der Pelletierung halmgutartiger Biomassen noch großer Forschungsbedarf. So müssen Kenngrößen für das Pelletierverfahren entwickelt werden, welche eine hohe und auch gleich bleibende Qualität der Pellets gewähren und somit eine Standardisierung von Halmgutpellets ermöglichen. Die ermittelten Kosten für die Heupelletherstellung lagen in etwa so hoch wie die der Holzpelletproduktion. Bei der Findung des Marktpreises ist zu berücksichtigen, dass Heupellets einen geringeren Heizwert und einen viel höheren Aschegehalt aufweisen als Holzpellets.

Die Tastversuche zum Abbrand von Heuballen im HERLT-Ganzballenvergaser in Wiesenburg (derzeit zugelassen für die Nutzung von Getreidestroh) zeigten, dass die Nutzung von Grünschnitt in dieser Anlage durchaus machbar wäre. Jedoch sind hierfür detaillierte Untersuchungen und eventuell eine weitere Modifikation der Anlage notwendig. Mit der Herstellung von Brennstoffpellets aus landwirtschaftlicher Biomasse und deren Nutzung in Feuerungsanlagen steht man derzeit erst am Anfang.

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der energetischen Nutzung von Heu in Verbrennungsanlagen werden von vielen Landwirten interessiert verfolgt. Derzeit besteht jedoch hohe Unsicherheit bezüglich der Anlagen- und Betriebssicherheit neuer Heizanlagen sowie bei der Tötung der erforderlichen Investitionen.

Die Vergärung von Grünschnitt- und Grünschnittsilagen als Kosubstrat zur Gülle wird in der Praxis in entsprechenden Biogasanlagen bereits praktiziert. Hierbei kommen vor allem Qualitätssilagen mit Futterqualität zum Einsatz. Die Vergärungsversuche im Labormaßstab mit Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung und später Schnittnutzung zeigten, dass auf Grund der minderen Futterqualität auch die Gaserträge unter denen von Qualitätssilagen liegen. Im kurzen Projektzeitraum war eine ökonomische Betrachtung der Vergärung des Grasschnittes bzw. der Grassilagen in Biogasanlagen nicht möglich. In der Praxis werden auch bei dieser Nutzungsmöglichkeit von Grünlandaufwüchsen oft die Kosten der Bereitstellung und Silierung des Kosubstrates unterschätzt bzw. bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens ignoriert.

Grundsätzlich lässt sich aus den durchgeführten Untersuchungen ableiten, dass die geprüften Nutzungsmöglichkeiten in der Praxis umsetzbar sind.

9 Literatur

BASERGA, U.; EGGER, K. (1997): Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung. Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse, Tänikon

BECKMANN, B. (1997): Handbuch Kompostierung und Qualitätssicherung. Bodenökologische Arbeitsgemeinschaft Bremen e.V. (Hrsg.), Bremen

BÖHNERT, W., GUTTE, P. & SCHMIDT, P. A., (1997): Checkliste und Rote Liste der Pflanzengesellschaften des Freistaates Sachsen. -Mskr., LfUG Radebeul.

BOSS, M. et al. (1997): Verfahren zur Probenahme und Untersuchung der Stallmistkompostierung unter Feldbedingungen mit Anwendung der biologisch-dynamischen Präparate. In: Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau Bonn, Bd. 4, Verl. Köster, Berlin, S. 615 - 620

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. neu bearb. Aufl. - Springer. Berlin, Wien, New York: 865 S.

- BUDER, W. (1999): Rote Liste Biotoptypen Sachsen. In: Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege 1999. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden: 59 S.
- DIERSCHE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 683 S.
- ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W.; PAULIßEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen im Mitteleuropa. -Scripta Geobot. 18. - 2. verbesserte und erweiterte Auflage. - Göttingen: Verlag Erich Goltze: 258 S.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (Hrsg. 2004): Handreichung – Biogasgewinnung und –nutzung, Gülzow
- FERCHAU, E. (2004): Interner Prüfbericht zur Vergärung von Grünschnitt- und Grassilagen als Kostrat, TU Bergakademie Freiberg
- GRABBE, K.; SCHUCHARDT, F. (1993): Grundlagen der Kompostierung. In: KTBL-Arbeitspapier 191, Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung, S.49-65. Darmstadt
- HARTMANN, H. et al. (2000): Naturbelassenen biogene Festbrennstoffe- umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Abschlussbericht. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München
- HEIERMANN, M.; PLÖCHL, M.(2004): Biogas aus Pflanzen – Ergebnisse von Gärversuchen. In: Tagungsband zur 10. Internationalen Fachtagung 2001, Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, TU Bergakademie Freiberg (Hrsg.), Freiberg
- HEMPEL, W. & SCHMIEMENZ, H. (1986): Die Naturschutzgebiete der Bezirke Leipzig, Karl-Marx-Stadt und Dresden. - In: Weinitschke, H. (Hrsg.): Handbuch der Naturschutzgebiete der Deutschen Demokratischen Republik. Bd. 5. Leipzig, Jena, Berlin (2. Auflage): 360 S.
- HERLT, CHR. (2002): Produktbeschreibung der Heizkessel der Firma HERLT- SonnenEnergieSysteme
- HÖFER, M. (2004): Interner Prüfbericht zur Vergärung verschiedener Substrate in Batch-Versuchen. Institut für Energetik und Umwelt Leipzig
- KIESEWALTER, S., RÖHRICHT, CHR. (2002): Entwicklung einer wirtschaftlichen Prozesskette zur energetischen Nutzung von halmgut- und holzartiger Biomasse im Freistaat Sachsen, Abschlussbericht zum F/E-Projekt. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. www.landwirtschaft.sachsen.de/ffl
- KIESEWALTER, S., RÖHRICHT, CHR. (2003): Pelletierung von Stroh mit Zuschlagstoffen und Bindemitteln. In: KTBL-Schrift 417, Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen, 42-48, Darmstadt
- KLEINKE, M. (1997): Großflächige Entsorgung von Biomasseüberschüssen aus der Landwirtschaftspflege durch Verfahren der Flächen- und Mietenkompostierung von Mähgut im Projektgebiet Nuthe-Nieplitz-Niederung. Humboldt-Universität, Diss., Berlin

- LEMMER, A.; OECHSNER, H. (2002): Energie aus Grüngut. Bauernzeitung [43], 15-17
- LFL (2002): Agrardaten Sachsen 2001. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden
- LINKE, B.; SCHELLE, H. (2001): Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen. Tagungsband zur 7. Internationalen Fachtagung 2004, Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, TU Bergakademie Freiberg (Hrsg.), Freiberg
- MANSFELD, K. & RICHTER, H. (1995): Naturräume in Sachsen. . Forschungen zur deutschen Landeskunde 238. Trier: 228 S.
- MEAK, P. (2002): Biochemische Charakterisierung von Pflanzen unterschiedlicher Nutzungsintensität zur Ableitung von Parametern für die Ermittlung des energetischen Futterwertes. Humboldt-Universität, Diss., Berlin
- NITSCHKE, S., NITSCHKE (1994): Extensive Grünlandnutzung, Naumann-Verlag, Radebeul
- OBERDORFER, E. (1983): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. - 5. Auflage. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 1051 S.
- OBERNBERGER, I. (1997): Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Einjahresgrünpflanzen und Stroh zur Fernwärmeerzeugung, Jahresbericht. Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz, Graz,
- RIECKEN, U.; RIES, U.; SSYMANK, A. (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. - Greven: Kilda-Verlag: 184 S.
- RIEHL, G. (2001): Grünlandbewirtschaftung und Kulturlandschaftsentwicklung im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der LfL 2001 Sonderheft, S. 73-94, Dresden
- RIEHL, G. (2003): Anforderungen von Rindern, Schafen und Pferden an die Energiedichte des Grundfutters, Folie
- RÖHRICHT, CHR., GROß-OPHOFF, A. (2003): Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der LfL 5 (2)
- Sächsisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege - Sächsisches Naturschutzgesetz (SächsNatSchG) vom 16. Dezember 1992. - In: Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt. - Dresden 37: 571-588.
- SCHUBERT, R.; KLOTZ, ST.; HILBIG, W. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Norddeutschlands. - Jena, Stuttgart: Gustav Fischer-Verlag, 1995. - 403 S.
- Schulz, D. (1999): Rote Liste Sachsen: Farn- und Samenpflanzen. - Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Dresden: 35 S.

WACHS, S. (2001): Modellierung verschiedener Szenarien der alternativen Grünlandnutzung bei sinkenden Tierbeständen im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht des Forschungsprojektes (9/2001 bis 12/2002), LfL

WEIßBACH, F., KUHLA, S., SCHMIDT, L. U. A. HENKELS (1998): Schätzung der Verdaulichkeit und der Umsetzbaren Energie von Gras und Grasprodukten. Proc. Soc. Nutr. Physiol., 8, S. 72.

Anhang

Anhang 1: Daten der bodenkundlichen und pflanzensoziologischen Kartierung

Anhang 1-1: Profilbeschreibung auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Aufl., 1994 [KA4])

Titeldaten / Daten zur Aufnahmesituation / Profilkennzeichnung																					
Projekt:		Bodenaufnahme Schweinsdorfer Alpen		Messpunkt- Nr./Profil-Nr.:	GG1	Aufschlussart / Witterung:	GG	WT 3	Bodensystematische Einheit:	RN-BB	Bodenabtrag/ -auftrag:		EY								
				Rechtswert:	5405137 GPS	Reliefformtyp / Mikrorelief:	H	RW	Substratsystemati- sche Einheit:	p-(n)l	Anthropogene Veränderungen		TK								
				Hochwert:	5650286 GPS	Lage im Relief / Wölbung:	K	V,X	Humusform:	Dauerhumus	Nutzungsart / Vegetation:		GW	GR							
				Höhe über NN: (in m)	310	Exposition	NNE		Vernässungsgrad	Vn0	Stratigraphie:		pr								
Datum der Aufnahme:	Jahr 2003	Monat 11.	Tag 25.	TK25-Nr.:	5047	Neigung:	120		Wasserstand: (in dm unter GOF)	GWS6 >20 m	Bemerkungen/ Maßnahme LBP:		SWG								
Horizontbezogene Daten																					
	Horizont- grenzen		Horizont- symbol	Bodenart/ Torfart	Fein- skelett	Grob- skelett	Hu- mus- gehalt [Stufe]	Car- bonat- gehalt [Stufe]	Hydro- morphie		Boden- gefüge		Hohl- räume Risse Poren Röhren	Lager- ungs- dichte	Durch- wurzel- ung	Boden- farbe Munsell	Substratmerkmale			Probe Tiefe in cm	Be- merk- ungen
	Un- ter-/ O- ber- Gren- ze	Form, Lage, Schär- fe							oxi	red	For- m, Grö- ße	La- ge- run- gs- art					Geo- ge- nese	Zu- samm- en- setz./ Her- kunft	Sub- strat- symbol		
1	0-6	di	Ah	Lu	Gr3	X4	h4	c0	eh	rb	bro	o	Rwu, Rre	Ld3	W5	7,5YR 4/2	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden trocken
2	21	di	Ah+Bv	Lu, Sl	Gr3	X4	h0	c0	eh	rb	ein	o	Rwu	Ld5	W3	7,5YR 5- 6/4	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden trocken
3	>21	di	ilC	Sl	Gr6	X5	h0	c0	eh	rb	ein	o		Ld5	W1	10YR 5- 6/3	pr	^c,^s, ^t	p-ln	-	Boden frisch

Anhang 1-2: Profilbeschreibung auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Aufl., 1994 [KA4])

Titel Daten / Daten zur Aufnahmesituation / Profilkennzeichnung																					
Projekt:	Bodenaufnahme Schweinsdorfer Alpen			Messpunkt- Nr./Profil-Nr.:	GG2	Aufschlussart / Witterung:	GG	WT 3	Bodensystematische Einheit:	RN-BB	Bodenabtrag/ auftrag:	-	EY								
				Rechtswert:	5405339 GPS	Reliefformtyp / Mikrorelief:	H (OK)	RK	Substratsystemati- sche Einheit:	p-(n)l	Anthropogene Veränderungen	TK									
				Hochwert:	5650248 GPS	Lage im Relief / Wölbung:	M	V,V	Humusform:	Dauerhumus	Nutzungsart / Vegetation:	GW	GR								
				Höhe über NN:(in m)	315	Exposition	NNW		Vernässungsgrad	Vn0	Stratigraphie:	pr									
Datum der Aufnahme:	Jahr 2003	Monat 11.	Tag 25.	TK25-Nr.:	5047	Neigung:	200		Wasserstand: (in dm unter GOF)	GWS6 >20 m	Bemerkungen/ Maßnahme LBP:	SWG									
Horizontbezogene Daten																					
	Horizont- grenzen		Horizont- symbol	Bodenart/ Torfart	Fein- skelett	Grob- skelett	Hu- mus- gehalt [Stufe]	Car- bonat- gehalt [Stufe]	Hydro- morphie		Boden- gefüge		Hohl- räume Risse Poren Röhren	Lager- ungs- dichte	Durch- wurzel- ung	Boden- farbe Munsell	Substratmerkmale			Probe Tiefe in cm	Be- merk- ungen
	Un- ter-/ O- ber- Gren- ze	Form, Lage, Schär- fe							oxi	red	For- m, Grö- ße	La- ge- run- gs- art					Geo- ge- nese	Zu- samm- en- setz./ Her- kunft	Sub- strat- symbol		
1	0-12	di	Ah	SI (gSms)	Gr3	X3	h4	c0	eh	rb	ein örtl bro	o	Rwu, Rre	Ld3	W5	7,5YR 4/2	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
2	26	di	Ah+Bv	SI (gSms)	Gr3	X4	h0	c0	eh	rb	ei- nört lbro	o	Rwu	Ld5	W4	5YR 5- 5/4	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
3	>26	di	ilC	SI	Gr6	X5	h0	c0	eh	rb	ein	o		Ld5	W1	5YR 7/4	pr	^c,^s, ^t	p-ln	-	Boden frisch

Anhang 1-3: Profilbeschreibung auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Aufl., 1994 [KA4])

Titel Daten / Daten zur Aufnahmesituation / Profilkennzeichnung																
Projekt:	Bodenaufnahme Schweinsdorfer Alpen			Messpunkt- Nr./Profil-Nr.:	GG3	Aufschlussart / Witterung:	GG	WT 3	Bodensystematische Einheit:	BB-RN	Bodenabtrag/ auftrag:		- EY			
				Rechtswert:	5405343 GPS	Reliefformtyp / Mikrorelief:	H (OK)	RH	Substratsystemati- sche Einheit:	p-In	Anthropogene Veränderungen		TK			
				Hochwert:	5650306 GPS	Lage im Relief / Wölbung:	M	X,X	Humusform:	Dauerhumus	Nutzungsart / Vegetation:		GW	GR		
				Höhe über NN: (in m)	295	Exposition	WSW		Vernässungsgrad	Vn0	Stratigraphie:		pr			
Datum der Aufnahme:	Jahr 2003	Monat 11.	Tag 25.	TK25-Nr.:	5047	Neigung:	200		Wasserstand: (in dm unter GOF)	GWS6 >20 m	Bemerkungen/ Maßnahme LBP:		SWG			

Horizontbezogene Daten																					
	Horizont- grenzen		Horizont- symbol	Bodenart/ Torfart	Fein- skelett	Grob- skelett	Hu- mus- gehalt [Stufe]	Car- bonat- gehalt [Stufe]	Hydro- morphie		Boden- gefüge		Hohl- räume Risse Poren Röhren	Lager- ungs- dichte	Durch- wurzel- ung	Boden- farbe Munsell	Substratmerkmale			Probe Tiefe in cm	Be- merk- ungen
	Un- ter-/ O- ber- Gren- ze	Form, Lage, Schär- fe							oxi	red	For- m, Grö- ße	La- ge- run- gs- art					Geo- ge- nese	Zu- samm- en- setz./ Her- kunft	Sub- strat- symbol		
1	0-8	di	Ah	Su (gSms)	Gr3	X3	h3	c0	eh	rb	bro	o	Rwu	Ld3	W4	7,5YR 4/2	pr	^c, ^s, ^t	p-(n)l	-	Boden trocken
2	20	di	Bv/ilC	Sl (gSms)	Gr3	X4	h0	c0	eh	rb	ein örtl bro	o		Ld5	W3	10YR 5- 4/2	pr	^c, ^s, ^t	p-In	-	Boden trocken
3	>20	di	ilC	Sl	Gr6	X5	h0	c0	eh	rb	ein	o		Ld5	W1	5YR 7/4	pr	^c, ^s, ^t	p-In	-	Boden frisch

Anhang 1-4: Profilbeschreibung auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Aufl., 1994 [KA4])

Titeldaten / Daten zur Aufnahmesituation / Profilkennzeichnung																					
Projekt:	Bodenaufnahme Schweinsdorfer Alpen			Messpunkt- Nr./Profil-Nr.:	GG4	Aufschlussart / Witterung:	GG	WT 3	Bodensystematische Einheit:	BBn	Bodenabtrag/ auftrag:	- EY									
				Rechtswert:	5405100 GPS	Reliefformtyp / Mikrorelief:	H (OM)	RK	Substratsystemati- sche Einheit:	p-(n)l	Anthropogene Veränderungen	TK									
				Hochwert:	5650447 GPS	Lage im Relief / Wölbung:	M	V,V	Humusform:	Dauerhumus	Nutzungsart / Vegetation:	GW	GR								
				Höhe über NN: (in m)	270	Exposition	NNE		Vernässungsgrad	Vn0	Stratigraphie:	pr									
Datum der Aufnahme:	Jahr 2003	Monat 11.	Tag 25.	TK25-Nr.:	5047	Neigung:	100		Wasserstand: (in dm unter GOF)	GWS6 >20 m	Bemerkungen/ Maßnahme LBP:	SWG									
Horizontbezogene Daten																					
	Horizont- grenzen		Horizont- symbol	Bodenart/ Torfart	Fein- skelett	Grob- skelett	Hu- mus- gehalt [Stufe]	Car- bonat- gehalt [Stufe]	Hydro- morphie		Boden- gefüge		Hohl- räume Risse Poren Röhren	Lager- ungs- dichte	Durch- wurz- lung	Boden- farbe Munsell	Substratmerkmale			Probe Tiefe in cm	Be- merk- ungen
	Un- ter-/ O- ber- Gren- ze	Form, Lage, Schär- fe							oxi	red	For- m, Grö- ße	La- ge- run- gs- art					Geo- ge- nese	Zu- samm- en- setz./ Her- kunft	Sub- strat- symbol		
1	0-12	di	Ah	Lu	Gr3	X3	h3, h4	c0	eh	rb	bro örtl kru	o	Rwu,R re	Ld3	W4	7,5YR 4/2	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
2	60	di	Bv	SI (gSms)	Gr3	X2	h0	c0	eh	rb	ein örtl bro	o		Ld5	W3	5YR 5/4	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
3	>60	di	Cv	SI	Gr6	X5	h0	c0	eh	rb	ein	o		Ld5	W1	5YR 7/4	pr	^c,^s, ^t	p-ln	-	Boden frisch

Anhang 1-5: Profilbeschreibung auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Aufl., 1994 [KA4])

Titeldaten / Daten zur Aufnahmesituation / Profilkennzeichnung																					
Projekt:	Bodenaufnahme Schweinsdorfer Alpen			Messpunkt-Nr./Profil-Nr.:	GG5	Aufschlussart / Witterung:	GG	WT 3	Bodensystematische Einheit:	RN-BB	Bodenabtrag/ auftrag:		- EY								
				Rechtswert:	5405104 GPS	Reliefformtyp / Mikrorelief:	H (OM)	RK	Substratsystematische Einheit:	p-(n)l	Anthropogene Veränderungen		TK								
				Hochwert:	5650571 GPS	Lage im Relief / Wölbung:	M	V,V	Humusform:	Dauerhumus	Nutzungsart / Vegetation:		GW	GR							
				Höhe über NN: (in m)	265	Exposition	NNE		Vernässungsgrad	Vn0	Stratigraphie:		pr								
Datum der Aufnahme:	Jahr	Monat	Tag	TK25-Nr.:	5047	Neigung:	100		Wasserstand: (in dm unter GOF)	GWS6 >20 m	Bemerkungen/ Maßnahme LBP:		SWG								
Horizontbezogene Daten																					
	Horizont-grenzen		Horizont-symbol	Bodenart/Torfart	Fein-skelett	Grob-skelett	Hu-mus-gehalt [Stufe]	Car-bonat-gehalt [Stufe]	Hydro-morphie		Boden-gefüge		Hohl-räume Risse Poren Röh-ren	Lager-ungs-dichte	Durch-wurzel-ung	Boden-farbe Munsell	Substratmerkmale			Probe Tiefe in cm	Be-merk-ungen
	Un-ter-/O-ber-Gren-ze	Form, Lage, Schär-fe							oxi	red	For-m, Grö-ße	La-ge-run-gs-art					Geo-ge-nese	Zu-samm-en-setz./Her-kunft	Sub-strat-symbol		
1	0-12	di	Ah	Su2 (gSms)	Gr4	X3	h3	c0	eh	rb	bro örtl kru	o	Rwu,R re	Ld2	W5	7,5YR 4/2	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
2	25	di	Ah+Bv	Su2 (gSms)	Gr4	X3	h0	c0	eh	rb	bro	o		Ld5	W3	7,5YR 5-6/4	pr	^c,^s, ^t	p-(n)l	-	Boden frisch
3	>25	di	ilC	Su2	Gr6	X5	h0	c0	eh	rb	bro örtl ein	o		Ld5	W1	10YR 7/2	pr	^c,^s, ^t	p-ln	-	Boden frisch

Anhang 2: Artenliste

Artnamen wissenschaftlich	Artnamen deutsch
<i>Achillea millefolium</i>	Gewöhnliche Schafgarbe
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanzgras
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Gewöhnliches Ruchgras
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Wiesen-Kerbel
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Glatthafer
<i>Brachythecium albicans</i>	Weißliches Kurzbüchsenmoos
<i>Bromus inermis</i>	Unbegrannte Tresse
<i>Campanula patula</i>	Wiesen-Glockenblume
<i>Campanula rotundifolia</i>	Rundblättrige Glockenblume
<i>Carex hirta</i>	Behaarte Segge
<i>Carex muricata</i>	Sparrige Segge
<i>Carpinus betulus</i> juv.	Hainbuche
<i>Cerastium arvense</i>	Acker-Hornkraut
<i>Chaerophyllum aromaticum</i>	Gewürz-Kälberkropf
<i>Convallaria majalis</i>	Maiglöckchen
<i>Dactylis glomerata</i>	Wiesen-Knäuelgras
<i>Elymus repens</i>	Gewöhnliche Quecke
<i>Eurhynchium swartzii</i>	
<i>Festuca rubra</i>	Rot-Schwingel
<i>Festuca brevipila</i>	Rauhblättriger Schwingel
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gewöhnlicher Hohlzahn
<i>Galium album</i>	Großblütiges Wiesen-Labkraut
<i>Galium aparine</i>	Kletten-Labkraut
<i>Geum rivale</i>	Bach-Nelkenwurz
<i>Heracleum sphondylium</i>	Wiesen-Bärenklau
<i>Hieracium lachenalii</i>	Gewöhnliches Habichtskraut
<i>Hieracium pilosella</i>	Kleines Habichtskraut
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras
<i>Holcus mollis</i>	Weiches Honiggras
<i>Hypericum maculatum</i>	Kanten-Hartheu
<i>Knautia arvensis</i>	Acker-Witwenblume
<i>Lamium album</i>	Weißes Taubnessel
<i>Luzula campestris</i>	Gewöhnliche Hainsimse
<i>Myosotis stricta</i>	Sand-Vergissmeinnicht

Phleum pratense	Wiesen-Lieschgras
Poa pratensis	Wiesen-Rispengras
Poa trivialis	Gewöhnliches Rispengras
Pohlia nutans	Nickendes Pohlmoos
Quercus spec. juv.	Eiche
Ranunculus acris	Scharfer Hahnenfuß
Ranunculus repens	Kriechender Hahnenfuß
Rumex acetosa	Wiesen-Sauerampfer
Rumex acetosella	Kleiner Sauerampfer
Rumex obtusifolius	Stumpfblättriger Ampfer
Saxifraga granulata	Körnchen-Steinbrech
Sedum maximum	Große Fetthenne
Silene viscaria	Pechnelke
Stellaria graminea	Gras-Sternmiere
Stellaria media	Vogel-Sternmiere
Tanacetum vulgare	Rainfarn-Wucherblume
Trisetum flavescens	Wiesen-Goldhafer
Urtica dioica	Große Brennnessel
Veronica chamaedrys	Gamander-Ehrenpreis
Veronica hederifolia	Efeu-Ehrenpreis
Vicia tetrasperma	Viersamige Wicke

Anhang 3: Methoden der chemischen Untersuchungen

Prüfmerkmal:	Methode
Analysemethoden der Bodenproben	
N _{min} [kg N/ ha]	MB I VDLUFA A 6.1.3.2
NH ₄ -N [kg/ha]	MB I VDLUFA A 6.1.3.2
NO ₃ -N [kg/ha]	MB I VDLUFA A 6.1.3.2
pH-Wert	MB I VDLUFA A 5.1.1
P [mg/100g]	MB I VDLUFA A 6.2.1.1 (CAL)
K [mg/100g]	MB I VDLUFA A 6.2.1.1 (CAL)
Mg [mg/100g]	MB I VDLUFA A 6.2.4.1 (AAS im CaCl ₂ -Aufschluß, (Schachtschabel))
Humus [%]	DIN ISO 10 694 (Infrarot-Spektrometrie, Umrechnungsfaktor f = 1,724)
N _t [%]	DIN ISO 10 694 (Infrarot-Spektrometrie)
C _t [%]	DIN ISO 10 694 (Infrarot-Spektrometrie)
Na [mg/100g]	MB I VDLUFA A 6.2.1.7
B [mg/kg]	MB I VDLUFA A 7.1.1 (Bestimmung im Extrakt (hwl) mit ICP-OES)
Cu [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN 38406 E7 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Cl [mg/100g]	MB I VDLUFA A 13.4.3 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Zn [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN 38406 E8 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Cd [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN EN 5961 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Cr [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN EN 1233 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Hg [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN EN 1483 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Ni [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN 38406 E11 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Pb [mg/kg]	DIN 38414 S7 + DIN 38406 E6 (AAS im Königswasser-Aufschluss)
Analysemethoden der Pflanzenproben	
TS [%]	MB III VDLUFA 3.1
N [%]	PAW 02 317 (nach DUMAS)
P [%]	PAW 02 315 (RFA)
K [%]	PAW 02 315 (RFA)
Mg [%]	PAW 02 315 (RFA)
Ca [%]	PAW 02 315 (RFA)
Na [%]	PAW 02 315 (RFA)
C [%]	DIN ISO 10 694
S [%]	PAW 02 315 (RFA)
Cu [mg/kg]	PAW 02 315 (RFA)
B [mg/kg]	EG-Methode 8.2.3 (ICP-OES)
Cd [mg/kg]	MB VII VDLUFA 2.2.5 (ICP-MS)
Pb [mg/kg]	MB VII VDLUFA 2.2.5 (ICP-MS)
Hg [mg/kg]	DIN EN 1483-12 (Mikrowellenaufschluss)
Fe [mg/kg]	MB III VDLUFA 11.1.2 (AAS nach Veraschung)
Cr [mg/kg]	DIN EN 1233 (GF-AAS)

Ar [mg/kg]	EN-ISO 11 969 (Mikrowellenaufschluss)
Si [mg/kg]	EN-ISO 11 969 (Mikrowellenaufschluss)
Ni [mg/kg]	MB VII VDLUFA 2.2.5 (ICP-MS)
Zn [mg/kg]	PAW 02 315 (RFA)
Rohasche [%]	PAW 02202
Rohprotein [%]	PAW 02202 (NIR)
Rohfaser [%]	PAW 02202 (NIR)
Rohfett [%]	PAW 02202 (NIR)
ELOS [%]	PAW 02202 (NIR)
ADF [%]	PAW 02202 (NIR)
ADL [%]	PAW 02202 (NIR)
EULOS [%]	PAW 02202 (NIR)
Hu (wf) [MJ/kg]	DIN 51 900
Analysemethoden der Kompostproben und der Verbrennungsaschen	
TS [%]	MB II VDLUFA 11.5.1
pH-Wert	MB I VDLUFA A 6.2.1.1
Glühverlust [%]	MB II VDLUFA 10.1
N [%]	MB II VDLUFA 3.3.1
NH ₄ -N	MB II VDLUFA 3.2.1
P [%]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
K [%]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Mg [%]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
C [%]	DIN ISO 10 694
S [%]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Cu [mg/kg]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Cd [mg/kg]	DIN EN ISO 5961 E 19
Pb [mg/kg]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Hg [mg/kg]	DIN EN 1483 E12
Cr [mg/kg]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Ni [mg/kg]	EN ISO 11885 E22 (ICP)
Zn [mg/kg]	EN ISO 11885 E22 (ICP)

Impressum

Herausgeber: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen

Autoren: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Tierische Erzeugung
Sophia Kieseewalter, Dr. Gerhard Riehl
Christgrün 13
08543 Pöhl
Telefon: 037439/742-0
Telefax: 037439/742-20
E-Mail: gerhard.riehl@smul.sachsen.de

Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. Erhard Albert, Dr. Christian Röhrich
Gustav-Kühn-Straße 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341/ 9174-182
Telefax: (0341) 9174-189
E-Mail: erhard.albert@smul.sachsen.de

Redaktion: siehe Autoren

Endredaktion: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: birgit.seeber@smul.sachsen.de

ISSN: 1861-5988

Redaktionsschluss: Januar 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.