

Möglichkeiten der Verwendung alternativer Verfahren zur Verwertung von Grünlandmähgut: Verbrennen, Vergären, Kompostieren

Different possibilities of alternative use of grassland growth: Combustion, Cofermentation, composting

Martin Elsäßer

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft, Aulendorf

1. Einleitung

Weite Teile Deutschlands, die seither einer wirtschaftlichen Grünlandnutzung unterlagen, werden nicht mehr als Futterflächen benötigt. Begründet ist diese Entwicklung durch veränderte Landwirtschaftsstrukturen als Folge der EU - Agrarpolitik mit starker Förderung des Silomaisanbaus, steigender Tierleistung und weil die Milchviehfütterung heutzutage auf Höchstleistung mit in der Folge existierendem Zwang zur Verfütterung hochenergiereichen Grundfutters ausgerichtet ist. Futter mit Energiekonzentrationen unter 5,0 MJ NEL/kg TM ist nur begrenzt in der Milchviehfütterung einsetzbar, weil auch dem dann notwendigen erhöhten Kraftfuttereinsatz pansenphysiologisch bestimmte Grenzen entgegenstehen (4). Auf extensivierten Flächen erzeugtes Heu kann allenfalls als Strohrsatz in die Ration aufgenommen werden, wenn der hygienische Status nicht durch zu hohe Rohaschegehalte beeinträchtigt ist (16). In der Folge nicht gebrauchten Mähgutes werden aus ehemaligen Grünlandflächen Brachflächen, Buschland oder Wald. Fragen nach möglichen Alternativen zur Nutzung von landschaftstypischen Grünlandflächen werden verstärkt diskutiert. Neben großflächiger Weidehaltung mit hinsichtlich des Futterbedarfes eher anspruchslosen Tiergattungen kommt neben einer Kompostierung der Aufwüchse noch die energetische Nutzung der Aufwüchse in Frage. Biogasgewinnung, Verbrennung oder Mehrkomponentennutzung sind möglich. Kohlenhydratreiche Streuwiesenaufwüchse und Schilfröhricht könnten genauso wie Stroh direkt zur Heizung verwendet werden (9). Spezielle Strohheizanlagen sind neuerdings auch in Deutschland gebaut worden und arbeiten zuverlässig (30); Heu wird aber offensichtlich noch nicht als Brennstoff verwendet (22).

Die Förderung der energetischen Nutzung von pflanzlicher Biomasse ist durch das Stromeinspeisungsgesetz (EEG vom 1. April 2000) wesentlich verbessert worden. Derzeit ist der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung allerdings noch nicht wirtschaftlich, aber die Forderung von MOHR (23), wonach eine Preiserhöhung von Heizöl über eine Energiesteuer auf fossile Brennstoffe die aus Ganzpflanzen gewonnene Biomasse konkurrenzfähig machen könnte, gilt immer noch. Mehrere laufende oder kürzlich abgeschlossene Forschungsprojekte beschäftigen sich mit verschiedenen Methoden zur energetischen Verwertung von Gras. Im Rahmen eines vom Land Baden-Württemberg mit Mitteln aus dem Projekt Angewandte Ökologie (PAÖ) geförderten Projektes

wurde z. B. von der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft in Aulendorf eine Forschungsarbeit zu alternativen Verwertungsmöglichkeiten von Grünlandaufwüchsen im Gebiet des Federseeriedes angefertigt (1). Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde neben der Verwertung der Aufwüchse über Mutterkühe und der Kompostierung des Materials auch die thermische Nutzung geprüft, deren Ergebnisse im Folgenden kurz dargestellt werden. Darüber hinaus werden aber auch die grundsätzlich in Frage kommenden Alternativen aufgeführt und an einigen Beispielen die Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung dargestellt.

2. Alternative Verfahren der Mähgutverwertung

Mähgutaufwüchse können grundsätzlich folgenden Verwendungszwecken zugeführt werden:

- Verwendung als Futter
- Verwendung als Brennstoff
- Verwendung zur Kofermentation in Biogasanlagen
- Verwendung als Grundstoff für Fasern, Protein, Milchsäure, Aminosäuren
- Verwendung als Kompost.

Noch vor wenigen Jahren war der Einschätzung nach GUTH (13) zufolge die Nutzung von speziell angebaute Biomasse als Brennstoff bei den derzeit niedrigen Preisen für fossile Energieträger wirtschaftlich noch nicht interessant. Des weiteren sind auch heute noch nicht alle technischen Voraussetzungen optimal gelöst. Inwieweit sich die Situation für als Überschuss anfallendes Mähgut gleich darstellt, muss überprüft werden. Aufgrund des starken Rückganges an Grünlandflächen in den letzten Jahren erscheint der Handlungsdruck dort jedenfalls hoch. Die Ganzpflanzenverbrennung hat innerhalb der Agrarrohstoffe trotz allem eine aussichtsreiche Position, weil die Grundstoffe oft erzeugernah verbrannt werden können, in diesem Fall dann geringe Transportkosten anfallen und die Produkte eine hohe Rohstoffdichte aufweisen. Zudem sind nachwachsende Rohstoffe als Energieträger CO₂-neutral.

2.1 Verwendung als Futter für extensive Tierhaltungsformen

Die landwirtschaftliche Verwertbarkeit im herkömmlichen Sinne hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Neben dem Aufwuchsalter als maßgeblichem Kriterium für die Verwertung, sind folgende Kriterien von wesentlicher Bedeutung: Botanische Zusammensetzung des Aufwuchses; die Nährstoffgehalte mit spezifischen Inhaltsstoffen; die die Aufwüchse verwertende Tierart, deren Futterakzeptanz und der Futterzustand. Hierüber und über die wesentlichen Zusammenhänge der Verwertung von Grünland als Futter wurden naturgemäß bereits viele Abhandlungen geschrieben. Die allermeisten dieser Arbeiten belegen, dass es heutzutage ganz entscheidend auf eine hohe Energiedichte im Futter ankommt, um die Nutztiere leistungsgerecht zu ernähren. Verzögerungen beim Nutzungstermin, seien sie witterungsbedingt oder aus naturschutzfachlichen Gründen festgelegt,

bedingen in aller Regel eine Abnahme der Futterqualität. Als Beispiel mag hier das Experiment aus dem Forschungsprojekt im Federseeried dienen (Tabelle 1 (7)).

Die Untersuchungen belegen, dass die Aufwuchsmasse in den geprüften Varianten mit reduzierter Nutzungsintensität zurückging, obgleich auch nur einmalig genutzte Streuwiesen mit etwa 50 dt TM ha⁻¹ noch vergleichsweise viel Biomasse bildeten. Vermutlich sind die Aufwuchsmassen der Streuwiesen aber nicht repräsentativ für andere Flächen in Naturschutzgebieten, denn andere Autoren berichten in Abhängigkeit vom Standort von deutlich geringeren Erträgen in Naturschutzgebieten (5).

Standortübliche dreimalige Nutzung der Grünlandflächen erbrachte zumindest in den ersten beiden Aufwüchsen noch gute Energiegehalte, wohingegen der Verzicht auf die dritte Nutzung mit Verzögerung des ersten Schnitttermines ebenso wie die Extensivierungsflächen nur noch sehr geringe Energiegehalte im Futter aufwiesen. Diese Energiedichten reichen bei weitem für die Ernährung von Milchkühen nicht mehr aus. Die Fütterung von Mutterkühen oder von Ochsen zur Mast wäre noch möglich, im vorliegenden Fall war aber die Futterakzeptanz aufgrund hoher Anteile von Rauschmiele (*Deschampsia caespitosa*) extrem gering.

Tabelle 1: Mittlere Energiegehalte und Trockenmasseerträge in Primär- und Folgeaufwüchsen des Federseeriedes

Nutzung	Standortübliche Nutzung	Umstellungsflächen	Extensive Nutzung	Streuweisen¹⁾	Silagewiese
Energiegehalte	(in MJ NEL/kg TM)				
1. Aufwuchs	5,6	4,8	4,0	2,9	6,3
2. Aufwuchs	5,0	4,5			6,1
3. Aufwuchs	4,9				6,1
Ertrag	(dt TM/ha)				
1. Aufwuchs	49,7	41,5	43,3	50,5	35-40
2. Aufwuchs	30,7	29,2			25-30
3. Aufwuchs	8,0				20-25
Gesamtertrag	89,2	70,7	43,3	50,5	90-100

¹⁾ Streuwiesenaufwüchse werden üblicherweise nicht mit dem Maßstab NEL (Nettoenergielaktation) klassifiziert. Die hier dargestellte Bewertung dient lediglich einem Vergleich.

Quelle: ELSÄSSER ET AL., 1996 (7)

Mähgut aus der Landschaftspflege erfüllt die Anforderungen für die Verwendung als Viehfutter also nur für wenige Tierarten (6). Die Aufwüchse könnten zumindest teilweise für die Haltung von Mutterkühen herangezogen werden. In den Bundesländern ergeben sich aber fallweise einige Hemmnisse, die die großräumige Nutzung der Flächen behindern. Solche Gründe sind u.a. unge-

nügende Anzahl an Mutterkuh - Prämienrechten; es mangelt allenthalben an effizienten Vermarktungswegen, die im Bedarfsfall neu geschaffen werden müssten. Die Verwendung von Produktlabels ergibt nur dann einen Sinn, wenn eine entsprechend große, vermarktbar Tierzahl zur Verfügung steht und wenn die Tierhalter in einer Gemeinschaft organisiert sind und die Rechte zum Verkauf am Einzeltier der Marktleitung übertragen werden. Die zentrale Frage aber ist, inwieweit die Mutterkuhhaltung ökonomisch sinnvoll ist. Viele Berechnungen zeigen, dass eine wirtschaftlich lohnende Rinderhaltung nur in bereits am Hof vorhandenen Altgebäuden oder bei billigsten Haltungsformen möglich ist (1). Des Weiteren ist zu hinterfragen, ob die Flächenausstattung in einem Bundesland wie z. B. Baden-Württemberg, das zu weiten Teilen agrarstrukturell von der Realteilung geprägt ist, für großflächige Weidehaltung überhaupt geeignet ist. Wohl deshalb ist derzeit immer noch die Milchviehhaltung der Betriebszweig mit dem höchsten Verbrauch an Grünlandfläche (Tabelle 2). Was also bleibt zu tun, wenn die Milchkuhzahlen aufgrund steigender Individualleistung zurückgehen und damit der „Hauptgrasfresser“ ausfällt?

2.2 Verbrennen der Aufwüchse

2.2.1 Literaturübersicht

Die thermische Verwertung durch Verbrennen des Materials könnte eine gangbare Lösung zur Verwertung der Aufwüchse auch von kleineren Flächen sein. Dafür werden aber an das zu verbrennende Material spezifische Anforderungen gestellt. Zum Einen muss der Grundstoff trocken sein. Zum Anderen sollte die Erntekette gut mechanisierbar sein, wodurch bereits viele Hangflächen oder Mooregebiete aufgrund mangelnder oder stark eingeschränkter Befahrbarkeit nicht mehr in Frage kommen. Auch Wiesenaufwüchse des Streuobstbaus sind natürlich baumbedingt eher ungünstig zu beurteilen. Zudem werden von verschiedenen Autoren die dem Halmgut anhaftenden Guteigenschaften teilweise als technische Mängel angelastet. Genannt werden hier in erster Linie hohe NO_2 -Gehalte des Produktes und auch hohe Aschegehalte. Um die in der Technischen Anleitung Luft 2002 geforderten Emissionsgrenzwerte einhalten zu können, ist deshalb eine Rauchgasreinigung vorzusehen. Die Minderung der Stickoxide sollte durch feuerungstechnische Maßnahmen bzw. durch eine gute Verbrennungsführung zu erreichen sein (22).

Im Vergleich zum Bioenergieträger „Stroh“ ist die Verwendung von Mähgut deutlich problematischer, u.a. weil das Material in wesentlich feuchterem Zustand anfällt und vor der Verfeuerung auf dem Feld getrocknet werden muss. Dazu sind mehrere maschinelle Arbeitsgänge erforderlich. Über einem Feuchtegehalt von 20% ist die Verbrennung unwirtschaftlich, jedoch wird ein Feuchtegehalt von 20 % bei der Heubereitung auch bei günstiger Witterung gerade eben erreicht. Trotzdem wurde Heu bereits als Biorohstoff verwendet (29). Allerdings war das, in der von THOMA beschriebenen Anlage verwendete Mähgut, aufgrund zu hohen Feuchtegehaltes nur sehr schlecht verwertbar. Der Autor weist im übrigen auf die generell geringen vorhandenen Erfahrungen mit der Verbrennung von Heu oder Gräsern hin. Lediglich bei Schilfbeständen liegen größere Erfahrungen vor. Das

Schilfrohr hat einen Kalorienwert von 1075 kJ kg^{-1} und erzeugt bei Verbrennung mit 10 % Feuchtigkeit eine Wärmemenge von ca. 884 kJ kg^{-1} . Aus Schilffresten gepresste Heizbriketts ergeben sogar 1552 kJ kg^{-1} .

Tabelle 2: Anteil der raufutterfressenden Tierarten und maximale Anteile von Grünlandfutter in den Futterrationen (in % der TM) am Beispiel von Baden-Württemberg

Tierarten	% RF-GVE *)	Vor Ähren-schieben	Im Ähren-schieben	Mitte Blüte	Ende Blüte	Überständig
Milchkühe	62 %	60-80	60-100	30-60	20-50	<20
Laktierende Schafe	2 %	80-100	60-80	30-60	20-40	<20
Mutterkühe, Pferde	18%	bis 50	40-80	80-100	bis 80	<30
Färsen, Hammel, Robustpferde	18 %	bis 30	40-70	50-80	bis 100	bis 100

*) RF-GVE = raufutterfressende Großvieheinheit

Quelle: BRIEMLE ET AL., 1995 (3)

Die Ernte von Halmgütern für die Feststoffverbrennung kann wie folgt durchgeführt werden (8) (Tabelle 3):

Tabelle 3: Verfahrenstechnik der Verbrennung

Häckseln	Für unterschiedliche Biomassen geeignet; große Volumen	Keine Materialverdichtung, daher nur für kurze Transportwege geeignet
Pellets, Briketts	möglich	Vorteile nur dann, wenn Pelletierung auf dem Feld möglich wäre, allerdings ist ein Versuchsprojekt hierzu gescheitert
Ballen	Weit verbreitet; großes Gewicht der Ballen	Befahrbarkeit nötig

Das Pressen von Ballen ist ein in der Landwirtschaft bewährtes Verfahren. Die höchste Pressdichte ist im Falle von kubischen Großballen erzielbar. Solche Pressen haben jedoch im Vergleich zu Rundballenpressen ein deutlich höheres Eigengewicht, welches Böden teilweise stark belastet bzw. bei empfindlichen Böden ein Befahren ausschließt. Die Erzeugung von Pellets oder Briketts ist gegenüber der Erzeugung von Ballen vorläufig noch zu teuer. Ein Einsatz von Heupresslingen als Brennstoff gemeinsam mit Holzhackschnitzeln wäre technisch allerdings durchaus möglich.

Für die Verbrennung von halmartigen Biomassen bestehen unterschiedliche Feuerungsarten (8). Zieht man Parallelen zwischen den Untersuchungen von SPLIETHOFF ET AL. (28), die die Zufeuerung von Stroh und Miscanthus in Kohlekraftwerken untersucht haben und der Verbrennung von Mähgut, dann kann von einer erfolgreichen Mitverbrennung dieser Biomassen in einer Kohlestaubfeuerung technisch und auch in Bezug auf möglichst geringe Emissionsbelastung ausgegangen

werden. Der Biomasseanteil ist bei der Verbrennung jedoch begrenzt, da insbesondere der Chloranteil und der Gehalt an Alkalien Probleme bereiten. Die kritischsten Auswirkungen treten dabei durch Korrosion im Bereich der Endüberhitzerheizflächen auf. Des Weiteren kann es bei der Rauchgasreinigungsanlage zu einer Deaktivierung des Katalysators kommen und die Zusammensetzung der Flug- und Rostasche kann sich derart verändern, dass diese Reststoffe nur noch eingeschränkt weiterverwertet werden können.

In einer Versuchsreihe wurde die Verbrennung von pelletiertem Gras und Miscanthus untersucht und mit der Verbrennung von naturbelassenen Holzhackschnitzeln verglichen (24). Die Untersuchungen zeigen, dass zur Verbrennung von Halmgütern, sowohl bei der Feuerungstechnik als auch bei der Abgasreinigung, ein wesentlich höherer Aufwand erforderlich ist, als bei naturbelassenem Holz. Erhöhte Anforderungen bei der Verbrennung ergeben sich als Folge der Verschlackungsneigung der Asche. Im weiteren führt der erhöhte Gehalt an Stickstoff, Chlor, Kalium und Schwefel zu hohen Emissionen, vor allem an Stickoxiden und Salzen. Zur Erzielung von mit Holzfeuerungen, vergleichbaren Emissionswerten sind daher Maßnahmen zur Abgasentstickung, zur Feinstaub- und zur HCl - Abscheidung erforderlich.

Nach Erfahrungen kann weder Stroh noch Heu als Brennstoff pauschal einheitlich und bewertet werden (10). Bei Stroh sind die Inhaltsstoffe, die Strohsorte und die Behandlung mit chemischen Halmverkürzungsmitteln von großer Bedeutung. Graue Stroharten (verregnetes Stroh, später Erntezeitpunkt) sind als Brennstoff gut geeignet. Bei Gras bzw. Heu sind die Verhältnisse ähnlich. Früh geerntetes Heu mit guter Futterqualität bereitet bei der Verbrennung große Probleme. Demgegenüber ist sehr spät geworbenes, auch verregnetes Heu ein besserer Brennstoff. Generell gilt folgende Regel: Gutes Futter ist schlechter Brennstoff - und umgekehrt. HAAG (14) fasst kurz zusammen: *„Die derzeit am Markt gut eingeführten Holzpellets können nicht mit Heupellets verglichen werden, da ein wesentlich höherer Aschegehalt der Heupellets die Einsatzmöglichkeiten einschränkt.“* Gerade die Beseitigung der anfallenden Asche ist offensichtlich ein größeres Problem, denn u.U. wird sie aufgrund in ihr enthaltener Schadstoffe als Sondermüll betrachtet und müsste damit entsorgt werden. Ein vollständiges Nährstoffrecycling ist demnach nicht möglich.

Für eine praktische Umsetzung der Biomasseverbrennung im großen Stil und Auswahl der Verbrennungstechnik ist die Kenntnis des Gesamtpotentials des in der Region verfügbaren Biomassebrennstoffes eine Grundvoraussetzung. Benötigt werden gesetzliche und förderpolitische Verbesserungen.

2.1.2 Eigene Versuche

Im Rahmen des PAÖ - Projektes an der LVVG Aulendorf (1) wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart (Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart, Herrn V. SIEGLE ^{*)}) und der ETH Zürich (Institut für Energietechnik der Eidgenössischen

^{*)} Beiden Herren wird an dieser Stelle für die sehr gute Zusammenarbeit gedankt.

Technischen Hochschule Zürich, Herrn S. BIOLLAZ*) zwei Versuche zur Verbrennung von Landschaftspflegeheu aus dem Federseeried durchgeführt.

Ein Versuch wurde z. E. mit einer Staubfeuerung (Einblasfeuerung) und z. A. mit pelletiertem Riedgras in einer Vorschubfeuerung durchgeführt. Auf nähere Details zur Versuchsdurchführung kann an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen werden.

Versuch 1: Laborwerte des Versuchsbrennstoffs

Die Verbrennungsversuche der Biomassen im Labormaßstab dienten der Charakterisierung ihrer Brenneigenschaften. In Tabelle 4 sind die Analysenwerte des Landschaftspflegeheus aus dem Federseeried im Vergleich mit anderen Biomassen und Kohle aufgetragen. Das Heu wies eine Feuchtigkeit von 10,6 % auf und unterschied sich von anderen Biomassen durch teilweise weit höhere Stickstoffgehalte. Die daraus resultierende Stickoxidbildung bei der Verbrennung kann jedoch durch Regulierung der Luftzufuhr gemindert werden. Die „Ascheerweichungstemperatur“ liegt ebenso wie bei Stroh niedrig. Der Verschlackungsfahr muss somit durch geeignete feuerungstechnische Maßnahmen begegnet werden (27).

Tabelle 4: Brennstoffanalysen des Federseeheus im Vergleich zu anderen Festbrennstoffen

	Kohle	Buche	Fichte	Pappel	Stroh	Federseeheu
Flüchtige (% TS)	34,6	83,2	82,1	81,6	78,8	76,7
gebundenes C (% TS)	57,1	16,5	17,5	16,8	17,6	16,5
Asche (% TS)	8,25	0,34	0,45	1,63	3,66	6,8
Kohlenstoff (% TS)	75	53	53,5	50,6	44	46,9
Wasserstoff (% TS)	4,9	5,7	5,7	5,8	6	5,6
Schwefel (% TS)	0,82	< 0,05	< 0,05	0,06	0,11	0,16
Stickstoff (% TS)	1,09	0,13	0,11	0,39	0,5	1,2
Chlor (% TS)	0,16	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,35	0,17
Brennwert H _o (kJ/kg TS)	31430	19730	20390	19650	19100	18180
Heizwert H _u (kJ/kg TS)	30370	18490	19140	18380	16000	16600
Ascheerweichungstemperatur (°C)	1250	1420	1220	--	1000	1020

Die Ergebnisse wurden mit den Werten anderer halmartiger Brennstoffe verglichen (Tabelle 5). Im Vergleich zu Heu guter Futterqualität unterscheidet sich das Heu aus dem Federseeried, das im Verbrennungsversuch eingesetzt wurde, nur hinsichtlich des Kaliumgehaltes deutlich. Alle weite-

ren Gehaltszahlen liegen innerhalb des natürlichen Streubereiches von gutem Futterheu. Aufgrund der Brennstoffanalyse ist das verfeuerte Riedgras somit gut vergleichbar mit anderen Grasverbrennungsversuchen. Gegenüber Stroh liegen der Stickstoffgehalt höher, der Kalium- und Chlorgehalt dagegen niedriger.

Tabelle 5: Zusammensetzung halmartiger Brennstoffe

Meßgröße	Einfluß ¹⁾	Vergleichswerte ²⁾			Heu aus dem Federseeried			
		Stroh	Miscanthus	Futterheu	Vers.brennstoff ³⁾	Extensivheu	Einstreu trocken	Einstreu verregnet
Rohasche [g/kg TS]	A	45-75	10-40	60--120	55,6	39,9	64,5	59,8
N [g/kg TS]	B	5,4	5,8	19	17,9	17,6	14,5	15,0
S [g/kg TS]	B	1,4	0,8	2,0	1,77	1,83	1,35	1,72
K [g/kg TS]	A,B,C	12	4,7	24,5	5,8	5,2	14,8	7,3
Cl [g/kg TS]	B	3,7	1,5	4,4	1,04	0,93	4,31	4,00
Mg [g/kg TS]					1,60	2,03	1,24	2,45
Ca [g/kg TS]	A,C	2,9	2,0	6,1	7,2	5,4	3,6	6,8
Na [g/kg TS]					0,20	0,10	0,04	0,04
P [g/kg TS]	C	0,72			2,0	1,9	1,8	1,4

¹⁾ Einfluß auf: A=Feuerungstechnik; B=Abgasreinigung; C=Qualität der Asche.

²⁾ Literaturangaben nach HASLER et al., 1996 und HOFBAUER, 1994 zit. b. SIEGLE, 1995 (27).

Im Verbrennungsversuch wurde eine Mischung aus Extensivheu, trocken gelagerter Einstreu und der Witterung ausgesetzter Einstreu verbrannt.

In den Untersuchungen waren zwar NO_x-Schwankungen festzustellen, sie lagen jedoch innerhalb enger Grenzen und sind als gering einzustufen. Heu hatte trotz des großen Stickstoffgehalts des Brennstoffs von über 1 %, geringe NO_x- Emissionen, die noch unter den Emissionen der Strohfamme mit dem halben Stickstoffgehalt liegen. Schon bei moderater Luftstufung sanken die Werte auf das Niveau des nahezu stickstofffreien Holzes. Ein ähnliches Verhalten wurde auch schon bei einem anderen Heu beobachtet. Der Grund ist noch nicht eindeutig geklärt. Vermutet wird jedoch, dass die zunehmende Verholzung von Gras über Stroh zu Holz eine unterschiedliche Stickstofffreisetzung bewirkt (27). Die SO₂- Emissionen des Pflegeheus sind mit 40 bis 80 mg/m³, wie bei allen Biomassen, aufgrund des niedrigen Schwefelgehaltes gering.

Versuch 2: Verbrennung von pelletiertem Riedheu in einer Vorschubfeuerung

An der ETH Zürich wurden im Rahmen eines Energieheu/Feldholzprojektes die technischen Möglichkeiten für die Verbrennung von Gras, Miscanthus und Feldholz in Anlagen von 0,5 bis 3,0 MW untersucht und beurteilt. Der Brennstoff „Federseeriedheu“ war ursprünglich nicht Gegenstand des Versuchsprogrammes, wurde jedoch in das systematische Messprogramm an der ETH integriert. Über die Versuchsdauer wurden regelmäßig Brennstoffproben für die Brennstoffanalyse entnommen.

Emissionen

Auf die Messung weiterer relevanter Emissionskomponenten wurde bei der Riedgrasverbrennung verzichtet. Aufgrund langer Verweilzeiten und hoher Temperaturen in der Nachbrennkammer (800 - 900 °C) lagen die CO-Emissionen sehr tief. Damit die Temperaturen nicht zu hoch stiegen, musste die Anlage zur Kühlung mit einem höheren Luftüberschuss gefahren werden. Die NO₂-Emissionen lagen innerhalb des Erwartungswertes und sind im Vergleich zu naturbelassenem Holz deutlich erhöht. Der Staubgehalt wurde im Abgas nicht gemessen. Aufgrund der erhöhten Ablagerungsmengen in der Feuerung ist jedoch mit erhöhten Staubkonzentrationen im Abgas zu rechnen.

Betriebsverhalten

Die Beurteilung des Betriebsverhaltens war erschwert wegen der starken Leistungsschwankungen aufgrund ungenügender Abstimmung zwischen Beschickung und Regelungstechnik der Feuerung. Als Folge davon schwankten neben der Leistung auch die Temperaturen und der Luftüberschuss, wodurch seinerseits die CO- und NO_x-Emissionen variierten. Bei späteren Versuchen mit Graspellets als Brennstoff konnte durch angepasste Beschickung die Feuerung wesentlich stabiler betrieben werden. Ursache der Schwankungen war somit nicht der Brennstoff selbst, sondern ausschließlich die Regulierung der Verbrennung.

Aufgrund des deutlich niedrigeren Kaliumgehalts gegenüber Heu guter Futterqualität und Stroh war die Tendenz zur Verschlackung bei Heu aus dem Federseeried deutlich schwächer ausgeprägt. Allerdings war wegen des hohen Aschegehalts wie bei Strohverbrennungsanlagen eine leistungsfähige Entaschung notwendig. Zudem kam es zu erheblichen Staubablagerungen im Wärmetauscher. Daher ist eine installierte Druckstoßabreinigung im Wärmetauscher notwendig, um einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen.

Wertung der Versuchsergebnisse

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aufgrund der Meßergebnisse sowohl bezüglich der Gehaltszahlen im Brennstoff als auch der Emissionen und des Anlagenbetriebs kein signifikanter Unterschied zwischen der Verbrennung von Landschaftspflegeheu mit der anderer Grasarten besteht.

Unterschiede bestehen jedoch hinsichtlich des Kaliumgehalts und der daraus resultierenden reduzierten Verschlackung.

Eine Verbrennung von Heu aus dem Federseeried stellt daher ähnliche Anforderungen an die Verbrennungstechnologie wie eine Strohfeuerung und erfordert im Vergleich zu einer Holzfeuerung folgende Zusatzausstattung:

- Spezieller Rost, der eine zuverlässige Entaschung des Feuerraumes gewährleistet
- Wasserkühlung des Feuerraums, um die Verschlackungsgefahr zu reduzieren
- Entstickungsmaßnahmen um tiefere NO_x Emissionen zu erreichen
- Druckstoßabreinigung im Wärmetauscher um Dauerbetrieb zu gewährleisten
- Staubfilter zur Abscheidung salzartiger Stäube.

Kosten von zu Brennstoff aufbereitetem Landschaftspflegeheu

Entscheidend für die Umsetzung der Heuverbrennung in der Praxis ist die Kostenstruktur. MAURER (21) hat in einer Projektstudie für den Landkreis Zollernalb Produktionskosten für Heubrennstoffe ermittelt (Tabelle 6).

Aus einem ebenfalls von MAURER durchgeführten Preisvergleich mit Heizöl geht hervor, dass Pellets erst ab einem Heizölpreis von 0,60€ pro Liter und Heubriketts erst ab 0,50 €/Liter als Brennstoff kostengleich mit Heizöl sind. Ballenheu ist dagegen schon ab einem Heizölpreis von 0,25 bis 0,30 €/Liter konkurrenzfähig.

Tabelle 6: Produktionskosten für Heubrennstoffe (€/100kg)

	Hochdruck- oder Rundballen	Pellets	Briketts
Ausgangsware	7,65 (7,10 bzw. 8,20)	7,65	7,65
Verpressen (projektbezogen)		8,88	5,80
Lagerung	1,00 ¹⁾ bzw. 3,30 ²⁾	3,74 ³⁾	3,74 ³⁾
gesamt	8,65 bzw. 10,95	20,27	17,19
		17,10 ⁴⁾	15,36 ⁵⁾

¹⁾ Lagerung unter Folie; ²⁾ Altgebäude; ³⁾ Altgebäude und Maschinenhalle; ⁴⁾ Mindestkosten bei Pelletierung in Großanlage 75.000 dt/Jahr, entsprechende 2140 ha Landschaftspflegefläche; ⁵⁾ Mindestkosten bei Brikettierung in Großanlage 40.000 dt/Jahr, entsprechend 1140 ha Pflegefläche

Quelle: MAURER, 2002 (21)

2.2 Verwertung von Gras zur Kofermentation in Biogasanlagen Die Verwendung von frischem Gras oder Silagen als Kosubstrat in Biogasanlagen ist grundsätzlich möglich (11), jedoch durch die sehr inhomogenen Substrateigenschaften und die daraus resultierende sehr unterschiedliche Methanansbeute nicht einfach. Die Verwertbarkeit der organischen Substanz für die Biogasproduktion nimmt mit zunehmendem Alter der Pflanzen ab (18). Intensiv genutztes Grünland weist demnach ein günstiges Verhältnis von Input zu Output auf; die gemessenen Gasproduktion scheint nicht artspezifisch, jedoch von der Qualität der Silagen abhängig zu sein (20). Die Verfahren zur anaeroben

Behandlung von Grüngut können aufgrund ihrer Anforderungen an den TS-Gehalt der Substrate und der Beschickungsweise der Fermenter im Wesentlichen unterschieden werden in (18):

- Nass- (<12%TS) oder Feststofffermentationsverfahren (20-40% TS)
- Kontinuierlich oder diskontinuierlich beschickte Fermenter.

Die Feststofffermentationsverfahren werden auch als „Trockenfermentation“ bezeichnet, obwohl der Wassergehalt der Gärsubstrate 60-80% beträgt. Die Forschungsanstrengungen, stapelbare organische Abfallstoffe durch kontinuierliche Feststoffvergärung energetisch zu nutzen, sind in den letzten Jahren vor allem in der Schweiz stark intensiviert worden. Heute spielen jedoch solche kontinuierliche Verfahren in der landwirtschaftlichen Anwendung keine Rolle. Bezüglich der Prozessbiologie kann die kontinuierliche Feststoffvergärung aber als ein äußerst betriebssicheres Verfahren angesehen werden (17).

Für die Praxistauglichkeit hingegen sind allerdings noch technische Entwicklungsarbeiten auf Pilotanlagenebene notwendig. Als Hauptprobleme können die kontinuierliche Beschickung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Anaerobie im Fermenter und der kontinuierliche Stoffaustrag aus dem Gärraum genannt werden. Lösungen für diese Problemstellungen lassen sich nur mit sehr komplexen Anlagentechniken erreichen (17). Die Autoren ziehen demnach auch folgendes Fazit: Im Moment lassen die hohen Investitionskosten aller kontinuierlichen Trockenfermentationsverfahren, die meistens (noch) in einem Missverhältnis zum Ertrag stehen, eine ökonomische Betriebsweise nur bedingt zu. Aufgrund dieser Tatsache wird sich kurz- bzw. mittelfristig bei der Trockenfermentation wohl die diskontinuierliche Betriebsweise durchsetzen.

Die erzielbaren Gaserträge bei Anwendung des Verfahrens zur Trockenfermentation für Produkte aus der Landwirtschaft entsprechen im Wesentlichen den Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan (zit. bei 17) und variieren je nach Art des Substrates von ca. 100 m³/t für Wiesengras (1. Schnitt Beginn Blüte), bis ca. 180 m³/t für teigreife Maissilage. Für Bioabfälle wurden bislang Gasausbeuten ermittelt, die denen der üblichen Nassverfahren gleichen. Da das bei der Trockenfermentation entstehende Biogas von sehr guter Qualität (CH₄-Gehalt ca. 70 - 80 %, H₂S-Gehalt ca. 20 ppm) ist, erleichtert sich der Aufwand, um aus dem Gemisch Gas zu reinigen. Eine Entschwefelung des Biogases ist nach bisherigen Erkenntnissen wegen des niedrigen Schwefelgehaltes nicht erforderlich.

Untersuchungen an der Landesanstalt für Landtechnik in Hohenheim zur Nassfermentation geben Hinweise auf die Methanerträge bei unterschiedlichen Grünlandaufwüchsen (18) (Tabelle 7). Daraus ergibt sich zwangsläufig eine unterschiedliche Rentabilität (Tabelle 8) und eine unterschiedliche Flächenverwertung, denn in viehhaltenden Betrieben sollten aus gärtechnischen Gründen nur etwa 10% des gesamten zu vergärenden Substrates aus Grasaufwüchsen bestehen.

Tabelle 7: Methanertrag einzelner Substrate bei Vergärung in Laborfermentern

Substrat	Methanertrag (m³/kg organ.TS)
-----------------	---

Rindergülle	0,17
Mähgut aus Naturschutzgebieten	0,08
Grassilage (aus extensiver Nutzung)	0,22
Rasenschnitt	0,26
Silomais	0,30
Grassilage (aus intensiver Nutzung)	0,39

Quelle: LEMMER & OECHSNER, 2001 (18)

Tabelle 8: Wirtschaftlichkeit der Vergärung von Gras bei 100 GV Modellbetrieb in unterschiedlichen Anlagen

	Einheit	Wiese intensiv 4 Schnitte	Wiese extensiv 2 Schnitte	Pflege NatSchG
Trockenmasseertrag	dt ha ⁻¹	125	60	15
Methanertrag	m ³ kg o.TS ⁻¹	0,41	0,24	0,10
Landw. Biogasanlage				
Deckungsbeitrag	€	6.118	2.485	-10.935
Stromerzeugungskosten	€ kWh ⁻¹	0,10	0,12	0,29
Erford. minimale Pflegevergütung	€ ha ⁻¹		239.-	360.-
Diskontinuierlich beschickte Feststoffvergärungsanlagen				
Kleinanlage				
Erford. minimale Pflegevergütung	€ ha ⁻¹	409.-	581.-	415.-
Großanlage				
Erford. minimale Pflegevergütung	€ ha ⁻¹	152.-	443.-	383.-
Kontinuierlich beschickte Feststofffermenter zur Bioabfallvergärung				
Erford. minimale Pflegevergütung	€ ha ⁻¹	1327.-	1259.-	836.-

Quelle: LEMMER & OECHSNER, 2002 (19)

Bei Biogasanlagen, die zur Verwertung von extensiven Grasaufwüchsen ausgelegt sind, übersteigen die Betriebskosten die Erlöse für den Stromverkauf bei Weitem. Soll eine Entlohnung der eingesetzten Arbeit in Höhe von 12,50 € erzielt werden, sind Pflegevergütungen zwischen 800.- und 1300.- € je ha zur kostendeckenden Bewirtschaftung notwendig. Hinzu kommt, dass für die Zeit von Ernte bis zur Einspeisung in Biogasanlagen eine Zwischenlagerung des Erntegutes notwendig ist. Diese wird zweckmässigerweise in Form von Silage vorgenommen, wobei für eine ordentliche Vergärung die gleichen gärtechnischen Anforderungen an das Erntegut gestellt werden müssen. Extensiv genutztes Material ist bekanntlich schlecht gärfähig und kommt auch aus diesem Grund für die Nutzung über die Kofermentation eher nicht in Frage. Ein weiterer Vorteil der Biogasnutzung ergibt sich aus der Tatsache, dass Samen des gefürchteten Grünlandunkrautes *Rumex obtusifolius* bereits bei Vergären in mesophilen Biogasanlagen inaktiviert werden (25).

2.3 Mehrkomponentennutzung - Gras als Grundstoff für Fasern und Proteine

GRASS (12) listet einige Hauptprodukte einer „grünen Bioraffinerie“ auf und benennt in erster Linie die Nutzung von Gras für die Faserproduktion. Angestrebt wird ein gleichmäßig über das Jahr verteilter Rohstoffmix um eine gleichmäßige Faserqualität zu gewährleisten. Mehr als 20% Ertragsanteil Kräuter sind ungünstig. Die Grünlandaufwüchse können im Prinzip in frischem Zustand oder auch als Silage angeliefert werden. In der sogenannten „Grasraffinerie“ der 2B-AG (12) wird der Sekundärrohstoff „Gras“ zunächst gewaschen und dann mechanisch fraktioniert. Hauptprodukt sind derzeit die Fasern, die u.a. als Dämmstoff Verwendung finden. Das flüssige Restsubstrat wird um den Proteinanteil verringert und dann einer Biogasverwertung zugeführt. Laut der Pressemitteilung der 2B-AG in Schaffhausen (12), die eine der weltweit ersten Grasraffinerien in Schaffhausen (CH) betreibt, kann mit folgenden Ausbeuten gerechnet werden (Abb. 1). Die in der Abbildung angegebenen Werte sind jedoch durchaus auch substratabhängig. Auch bei diesem Verfahren werden extensiv erzeugte Aufwüchse weniger gut verwertet (Tabelle 9).

Tabelle 9: Substratspezifische Ausbeute je t FM

	Kleegras	Wiese	Landschafts- pflegeaufwuchs	Silage gut	Silage schlecht
Biogas m ³	200	150-200	80-110	230	130-180
Fasern kg TS	400	450	580-650	350	370
Proteine kg TS	200	130-190	80-110	110	70

Quelle: GRASS, 2001 (12)

Wie werden die Chancen in diesem Segment beurteilt? Als weiteres Produkt ist ein Torfersatzsubstrat denkbar. Hierfür bietet sich die Nutzung von älterem Gras an, da dann im Substrat mehr Lignin enthalten ist. Die Verwendung von Fasern kann in Dämmstoffen oder beigemischt zu Kunststoffen erfolgen. Papier aus Gras ist keine Utopie mehr, sondern scheitert derzeit an der fehlenden Markteinführung. Ungeklärt sind derzeit noch die Verhältnisse bei der Gewinnung von Proteinen, deren Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung ist für die Verwendung des Produktes als Futter.

2.4 Kompostierung

Mähgutaufwüchse können direkt auf der Fläche oder auf Ackerflächen kompostiert werden, wobei die Aufwuchsmengen bestimmte Volumina nicht übersteigen sollten. Beim Mulchen kann es im Herbst und Winter aufgrund eingeschränkter Umsetzungen zu ungenügender Zersetzung kommen. Eine hohe Auflage von Mulchgut wird im Übrigen den Besatz an Schädlingen wie Mäusen etc. stark erhöhen und eine Anreicherung der Standorte mit Nitrat ist wahrscheinlich. Als Mindestanforderung an gute Zersetzung wird ein C/N-Verhältnis von 40:1 gefordert (26). Versuche an der LVVG Aulendorf (2) zeigen, dass Mulchen ganz generell eine ausreichende Mähgutbeseitigung

ermöglicht, allerdings ist der Zeitpunkt und die Frequenz des Mulchens für die Dauerhaftigkeit ausschlaggebend. Hier sind noch nicht alle Fragen geklärt.

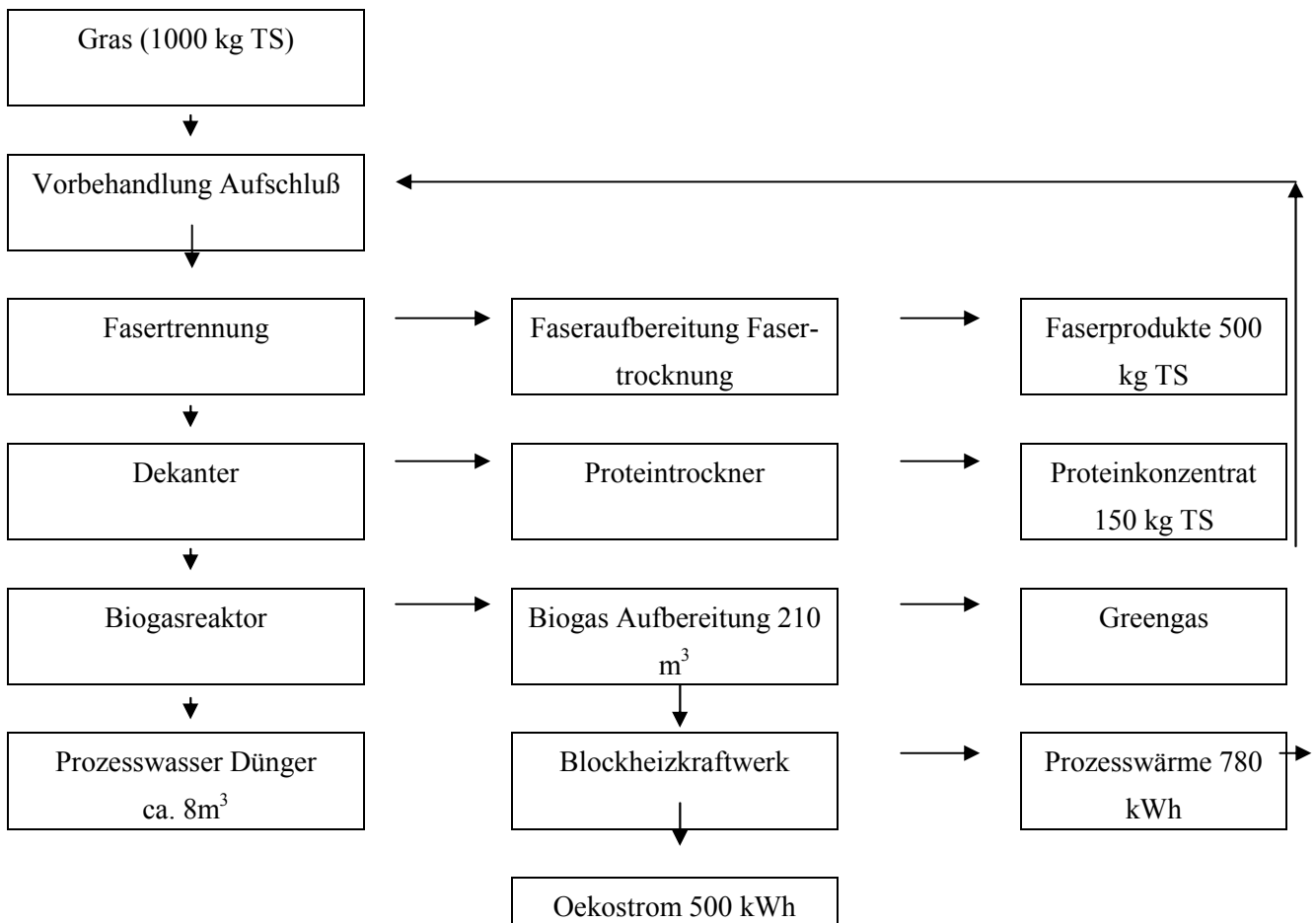


Abb. 1. Verwendungsmöglichkeiten und Substratausbeute bei der Mehrkomponentennutzung von Grasaufwüchsen

Quelle: GRASS, 2001 (12); verändert

3. Schlussfolgerungen

Bei der Heuverbrennung bereitet früh geerntetes Material Probleme, wohingegen graues, verregnetes, spät geerntetes Heu bessere Brennstoffeigenschaften aufweist. Material der Streuwiesen und Extensivheu können in einer Staubfeuerung vollständig und schadstoffarm verbrannt werden. Eine wirtschaftliche Verwertung von großen Mengen an Mähgut ist allerdings nur möglich, wenn die Flächen gut mechanisierbar sind. Eine Brennstoffaufbereitung, die mit hohem Aufwand verbunden ist (Mahlen und/oder Pelletieren des Brennstoffs), beeinträchtigt die Wirtschaftlichkeit der Biomasseverbrennung erheblich. Aus diesem Grund kommt in der Praxis in der Regel nur eine Ganzballenverbrennung von Quaderballen oder eine Verbrennung aufgelöster Rund- oder Quaderballen in Frage. Aufgrund der geringen Tragfähigkeit der Moorböden, insbesondere im seenahen Bereich, können im Projektgebiet „Federseeried“ in der Regel nur Rundballenpressen eingesetzt werden.

Rundballen waren jedoch bislang für die Ganzballenverbrennung ungeeignet und führten bei der Ballenauflösung zu ungleichmäßiger Brennstoffbeschickung. Eine erste praxisreife Anlage zur Rundballenverbrennung wurde aber bereits entwickelt (15). In weiteren Untersuchungen wäre zu klären, ob kleinere und damit leichtere Quaderballenpressen an die besonderen Standortbedingungen angepasst werden können.

Biomasseverbrennungsanlagen erfordern höhere Investitionen als Verbrennungsanlagen für fossile Energieträger, wobei der Investitionsbedarf bei einer Heufeuererzeugung wiederum höher als bei einer Holzfeuererzeugung ist. Zur Vermeidung von Emissionen müsste eine Biomasseverbrennungsanlage z.B. mit einer Abgasreinigung ausgerüstet sein. Die Wirtschaftlichkeit von Biomasseverbrennungsanlagen wird dadurch stark beeinträchtigt. Die Brennstoffkosten sind ein weiterer wichtiger Faktor. Kann die Biomasse über die bisher bestehende flächenbezogene Förderung erzeugt werden, so könnte der Brennstoff evtl. ohne Erlös an den Betreiber der Biomasseverbrennungsanlage abgegeben werden, was sich sehr positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken würde. Fällt die bisherige flächenbezogene Förderung weg, so müssten für den Brennstoff Erlöse in Höhe der Bergungs- und Bereitstellungskosten erzielt werden. Eine Biomasseverbrennungsanlage wäre in diesem Fall mit Sicherheit unwirtschaftlich. Noch nicht abschließend geklärt ist die Beseitigung der anfallenden Asche, deren Kosten könnte die Rentabilität der Verbrennung wesentlich beeinträchtigen. Hieraus entsteht ein wesentlicher Vorteil der Kofermentation von Gras in Biogasanlagen, denn bei Biogasgewinnung ist ein geschlossener Nährstoffkreislauf möglich. Grassubstrate sind im Prinzip gut geeignet, um mit Gülle zusammen vergoren zu werden, gute Gasausbeute verlangt aber ein intensiv genutztes, auch im Sinne der landwirtschaftlichen Nutzung gut gärfähiges Material. In diesem Zusammenhang wäre sicher das Aufstellen einer Energiebilanz sinnvoll, die mit großer Wahrscheinlichkeit für die Kofermentation günstiger ausfallen wird als für die Verbrennung, weil der größte Input - Parameter, nämlich die mineralische N-Düngung für die Erzeugung hochwertiger Grassilage als Fermentationsgrundstoff besser als bei der Verbrennung ausgenutzt wird.

Mulchen zur Beseitigung der Aufwüchse ist möglich, allerdings erfolgt eine Nährstoffanreicherung auf den Flächen, die unter bestimmten Umständen zu Nitratproblemen führen kann. Zudem wird auf Naturschutz- und Landschaftspflegeflächen in der Regel das Gegenteil, nämlich gerade eine Nährstoffausmagerung gewünscht.

6. Zusammenfassung

Mit abnehmender Zahl an Raufutterfressern in der Landwirtschaft und gestiegenen Anforderungen der Milchkühe an die Futterqualität ist Mähgut aus der Landschaftspflege immer weniger über das Tier verwertbar. Extensive Weidehaltung wäre eine Möglichkeit zur Verwertung des Materials, wobei dann großflächig Strukturen für die Weidehaltung geschaffen werden müssen. Das erweist sich in dicht besiedelten Landschaftsräumen nicht immer als einfach. Weitere Alternativen zur Verwendung des Mähgutes aus der Landschaftspflege sind generell vorhanden, aber sie sind teil-

weise noch nicht hinreichend gut entwickelt und ihr Einsatz hängt von einigen standörtlichen Bedingungen ab, die im Einzelnen nicht so leicht zu lösen sind. In getrocknetem Zustand könnte Halmgut als Pellets oder in Ballen gepresst verbrannt werden. Ebenso sind Flächenkompostierung, Mulchen oder die Nutzung des Materials zur Kofermentation in Biogasanlagen denkbar. Sogar Multikomponentennutzungen in Graskraftraffinerien (Faser, Biogas, Proteinsynthese) werden durchgeführt. Allerdings ist die Umsetzung im großtechnischen Maßstab nicht einfach, denn für jede Nutzungsalternative werden unterschiedliche Voraussetzungen an den Ausgangszustand des Materials gestellt. Im vorliegenden Beitrag werden die unterschiedlichen Anforderungen erläutert und die Möglichkeiten der großtechnischen Verbrennung von Landschaftspflegeheu an einem konkreten Versuch im Europareservat „Federseeried“ untersucht.

Summary

Decreasing amounts of roughage consumers, due to varying agricultural structures and increasing demands on forage quality of milking cows, lead to unfavourable utilization of grasses from landscape management. Extensive grazing could be a suitable alternative, whereas large pasture areas are not often existent in areas with high population density. Other alternatives for the use of grass growth from landscape management are potentially existent, but they are not yet fully developed and the support is determined by different attributes of the sites, which are not easy to solve. Alternatives are described in this article and an experiment for combustion is shown for the famous Federseerie nature reservation. It could be shown, that each processing method needs different conditions of raw material. Grasses are good suitable for the fermentation with liquid manure, but high efficient gas production needs intensively used grassland swards for successful fermentation processes. Combustion needs raw material with high lignin and drymatter contents and is therefore more suitable for organic materials from landscape management, but this locations should be urgently to mechanize and of lowest size.

7. Literaturverzeichnis

1. ARMBRUSTER, M.; ELSÄSSER, M., 1997: Alternativen der Nutzung von Grünland im Europa-Reservat Federseeried. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Projekt Angewandte Ökologie, 26, 191 S..
2. BRIEMLE, G., 2002: unveröffentlichter Versuchsbericht zum Mulchversuch in Wolketsweiler. LVVG Aulendorf.
3. -; ELSÄSSER, M.; JILG, T.; MÜLLER, W.; NUSSBAUM, H., 1995: Nachhaltige Grünlandbewirtschaftung in Baden-Württemberg. in: LINCKH, G.; SPRICH, H.; FLAIG, H.; MOHR, H. (Hrsg.): Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft - Voraussetzungen, Möglichkeiten, Maßnahmen. Springer Verlag , 215-264.

4. DROCHNER, W., 1996: Tiergerechte Fütterung vor dem Hintergrund qualitativer, ökonomischer und ökologischer Forderungen an die Tierernährung. Landinfo, 5,33-39. Herausgeber: Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg.
5. EINSTEIN, J., 1995: Potentieller Umfang der jährlich mähbaren Streuwiesen. Naturschutzzentrum Federsee, Bad Buchau, mündliche Mitteilung.
6. ELSÄSSER, M., 2000: Wirkungen extensiver und intensiver Weidenutzungsformen auf die Verwertbarkeit von Grünlandaufwüchsen. Natur und Landschaft, 75, 9, 357-363.
7. ELSÄSSER, M.; ARMBRUSTER, M.; WESNER, R.; BRIEMLE, G.; NUSSBAUM, H.; JILG, T.; KUNZ, H.G.; EINSTEIN, J.; SCHWAB, S., 1996: Alternative landwirtschaftliche Nutzung und Verwertung von Grünlandaufwüchsen aus dem Europa-Reservat Federseeried. Veröffentlichungen PAÖ, 16, 233-246.
8. FICHTNER DEVELOPMENT ENGINEERING, 1993: Machbarkeitsstudie Bioenergie Ulm-Eselsberg, Förderkonzept Nachwachsende Rohstoffe der Bundesregierung, Energie-Versorgung Schwaben AG.
9. FLAIG, H.; MOHR, H., 1993: Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft. Springer Verlag, 376.
10. FLARUP, J. H., 1996: Besondere Anforderungen bei der Verbrennung von Halmgüter. Referat zum Thema Ganzballenfeuerungen für Halmgüter. Tagungsberichte 4. Holzenergiesymposium der ETH - Zürich.
11. GRAF, W., 2001: Kraftwerk Wiese. Strom und Wärme aus Gras. 2. Auflage, Books on Demand, 156 S..
12. GRASS, S., 2001: Die Verarbeitung von Gras zu Fasern, Protein, und Strom. 3. Graskraft-Seminar, Tagungsband, Stuttgart-Hohenheim, 32-36.
13. GUTH, D., 1994: Agrarpolitische Aspekte und Fördermöglichkeiten für Nachwachsende Rohstoffe. Tagungsband "Fachtagung Nachwachsende Rohstoffe", Fellbach.
14. HAAG, R., 2002: Mündliche Mitteilung. Vortrag auf dem Symposium der Akademie für Ländlichen Raum, Baden-Württemberg, Bräunlingen, 10.4.2002.
15. HERLT, C., 2002: Vergaserheizkessel für Ganzballen aus Biomasse, insbesondere Stroh. Vortrag bei der Tagung des Facharbeitskreises Biomasse an der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig am 5.6.2002. (zit. bei Maurer, 2003).
16. JILG, T.; BRIEMLE, G., 1992: Zur Akzeptanz von Streuwiesenheu im Vergleich von Gerstenstroh. Das wirtschaftseigene Futter, 38, 91-104.
17. KÖTTNER, M.; KAISER, A., 2001: Übersicht über die Verfahren der Trockenvergärung. Tagungsband 4. Graskraft - Seminar, Bad Hersfeld.
18. LEMMER, A., OECHSNER, H., 2001: Einsatz von Mähgut landwirtschaftlich nicht genutzter Flächen als Kosubstrat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Tagungsband zur 5. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, (Hrsg.) Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart.

19. -, 2002: Machbarkeitsstudie zur Biogasnutzung im Landkreis Freudenstadt. Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landtechnik.
20. MÄHNERT, P.; HEIERMANN, M.; PLÖCHL, M.; SCHELLE, H.; LINKE, B., 2002: Verwertungsalternativen für Grünlandbestände. Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung. Landtechnik, 5, 260-261.
21. MAURER, K., 2002: Thermische Verwertung von Heu aus der Pflege von Naturschutzflächen. Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Projektstudie im Auftrag des Zollernalb-Kreises.
22. MAURER, K., 2003: Gras als Brennstoff? Tagungsunterlagen „Nutzung von überschüssigem Grünland“. Juli 2003, Aulendorf, K. Maurer, Landesanstalt für landwirtschaftliches Bauwesen, Universität Hohenheim.
23. MOHR, H., 1994: Energie aus Biomasse - eine Chance für die Umwelt? Tagungsband "Fachtagung Nachwachsende Rohstoffe", Fellbach.
24. NUSSBAUMER, T.; BIOLLAZ, S., 1996: Einsatz von Rostfeuerungen für Holz und Halmgüter. Feuerungstechnik, Ascheverwertung und Wärme-Kraft-Kopplung. Tagungsband zum 4. Holzenergiesymposium, ETH Zürich, 9-42.
25. OECHNSER, H., 2003: Bedingungen der Kofermentation von Grasbiomasse. Mündli. Mitteilung: Vortrag Fortbildung „Nutzung von überschüssigem Grünland“, Juli 2003, Aulendorf; Dr. H. Oechner, Landesanstalt für Landw. Bauwesen, Universität Hohenheim..
26. PROCHNOW, A., 1992: Landschaftspflege - Mit welchen Aufwuchsmengen ist zu rechnen? Landtechnik, 48, 638-640.
27. SIEGLE, V., 1995: Biomasseverbrennung in einer Staubfeuerung. Versuchsbericht, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart, unveröffentlicht.
28. SPLIETHOFF, H.; SIEGLE, V.; HEIN, K., 1996: Zufuehrung von Biomasse in Kohlekraftwerken. Feuerungstechnik, Ascheverwertung und Wärme-Kraft-Kopplung, Tagungsband zum 4. Holzenergiesymposium, ETH Zürich, 155-176.
29. THOMA, H., 1994: Biomassefeuerung der Trocknungsgenossenschaft Lengelfeld - Erfahrungsbericht. Tagungsband „Fachtagung Nachwachsende Rohstoffe“, Fellbach.
30. VETTER, A.; HERING, T., 2001: Stand der Technik und Erfahrungen bei der Verbrennung von Stroh und Getreide. 10. Symposium Energie aus Biomasse, ISBN 3-934681-17-4, OTTI Regensburg, 23.11.2001.

Anschrift des Verfassers:

Landwirtschaftsdirektor Privatdozent Dr.sc.agr. Martin Elsäßer
Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft
Atzenberger Weg 99
88326 Aulendorf
martin.elsaesser@lvvg.bwl.de