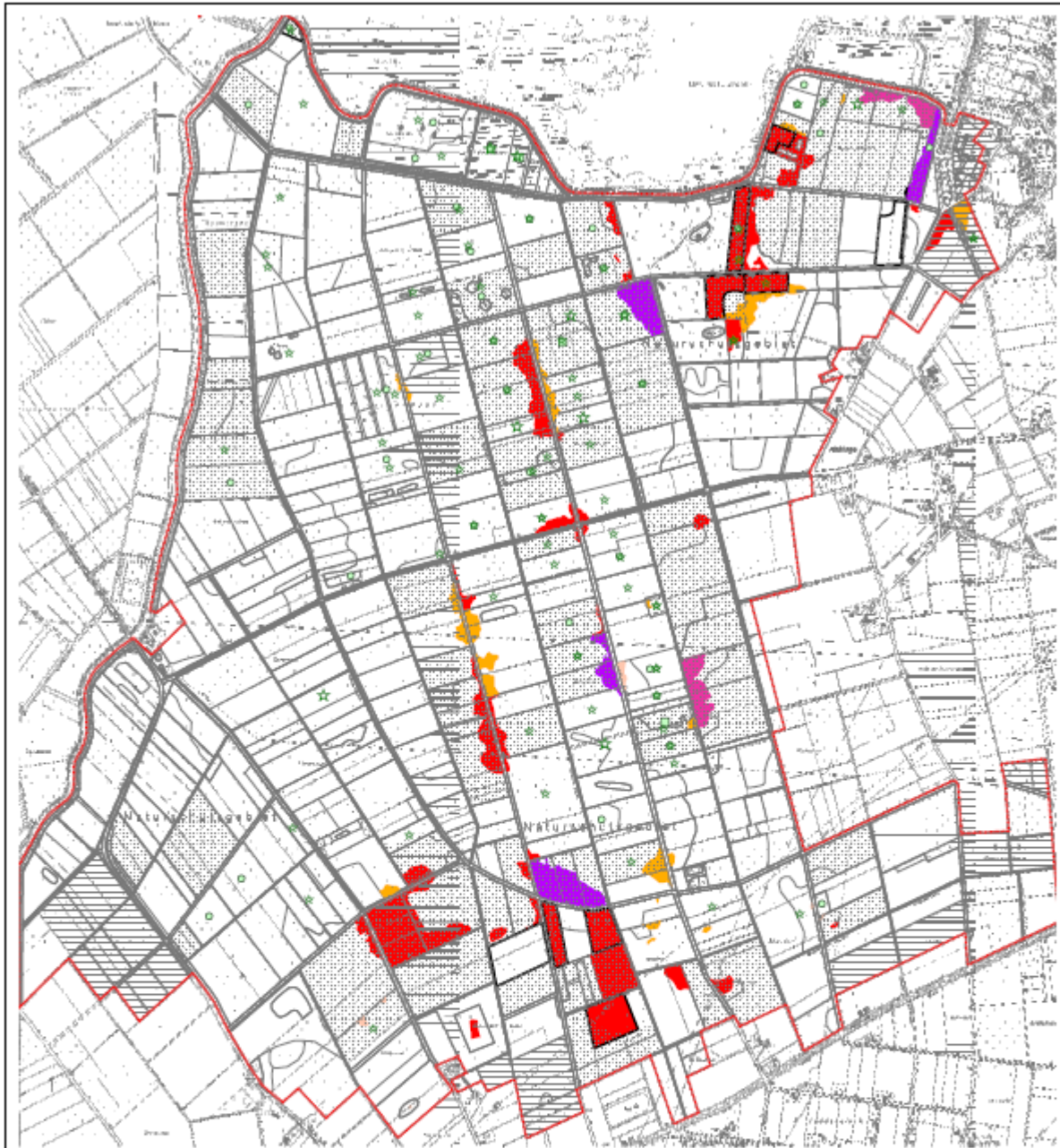


Anlage A1a: Verteilung des Sumpfschachtelhalm im NSG Ochsenmoor



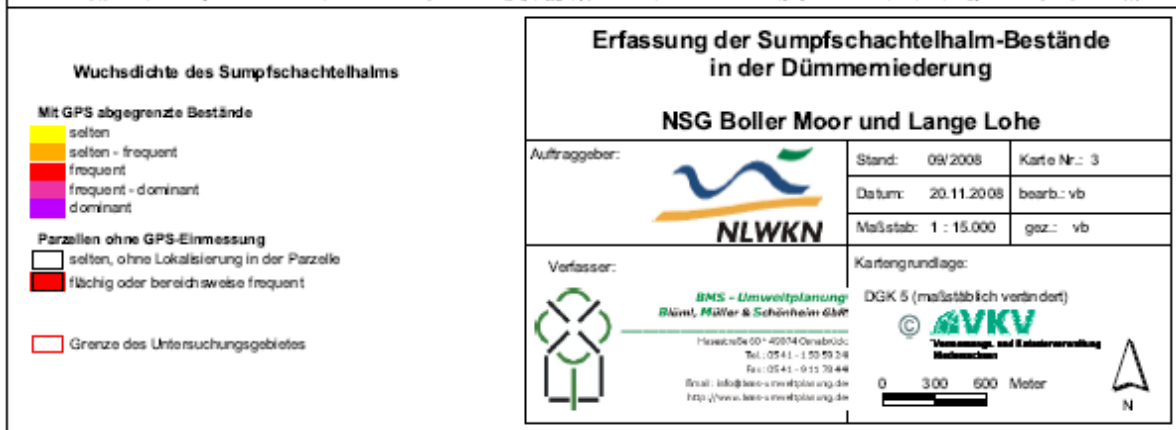
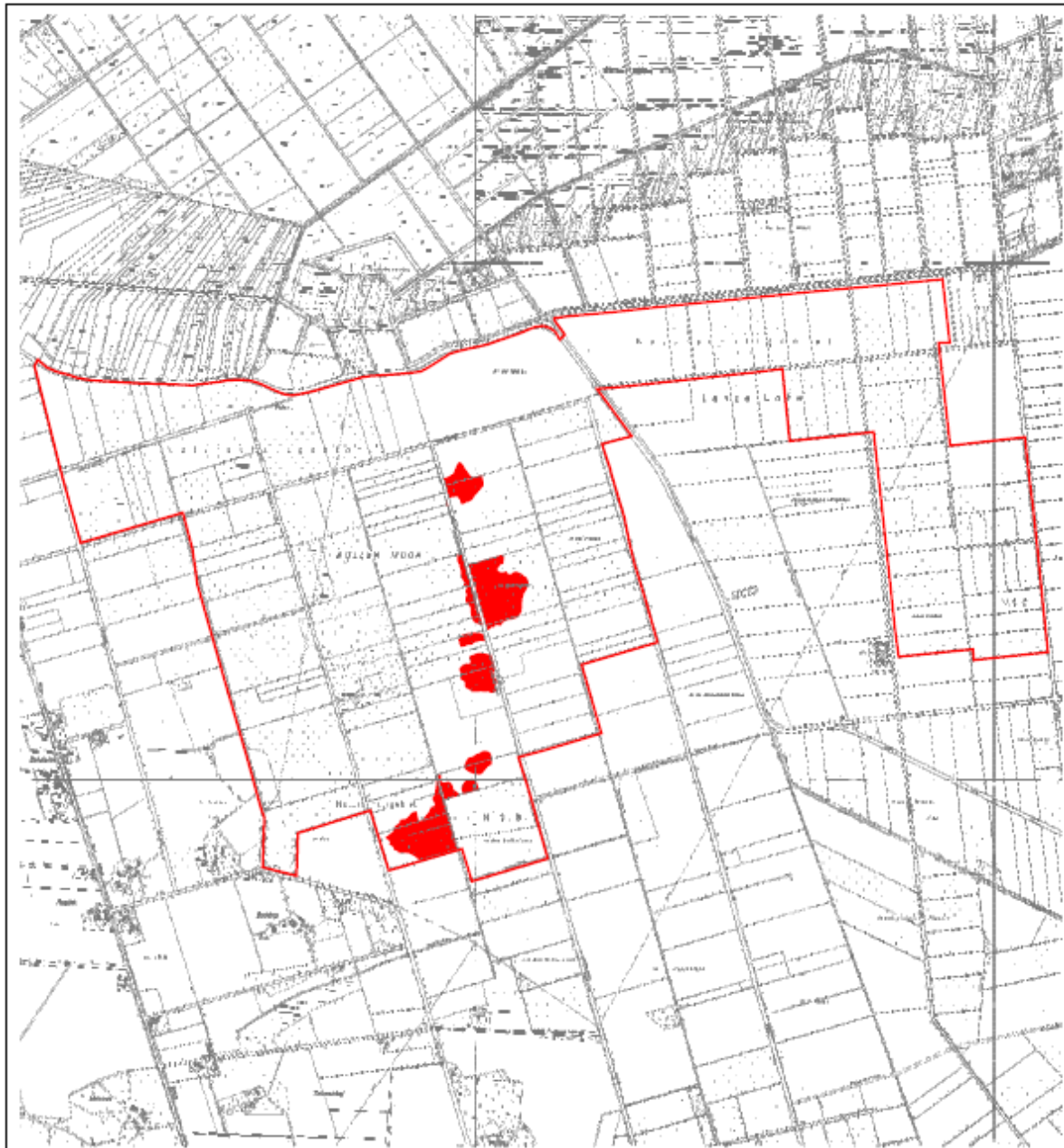
Verbreitung u. Wuchsdichte des Sumpfschachtelhalm Mit GPS abgegrenzte Bestände selten selten - frequent frequent frequent - dominant dominant Grenz des NSG Ochsenmoor	
Parzellen ohne GPS-Einmessung selten, ohne Lokalisierung in der Parzelle flüchtig oder bereichsweise frequent	
Vorkommen bei der Kartierung 2000 randlich oder flüchtig vorkommend nicht untersucht	
Vorkommen des Teich- u. Ufer-Schachtelhalm 2000 2008 selten oder randlich frequent	

Erfassung der Sumpfschachtelhalm-Bestände in der Dümmeniederung NSG Ochsenmoor		
Auftraggeber: 	Stand: 09/2008 Datum: 20.11.2008 Maßstab: 1 : 15.000	Karte Nr.: 1 bearb.: vb gez.: vb
Verfasser:  BMS - Umweltplanung Rini, Müller & Schönlein GbR Heerstraße 60 • 40874 Osnabrück Tel.: 0541 - 1 53 53 24 Fax: 0541 - 9 13 78 44 Email: info@bms-umweltplanung.de http://www.bms-umweltplanung.de	Kartengrundlage: DGK 5 (maßstäblich verändert)  Vermessungs- und Katasterverwaltung Niedersachsen 0 300 600 Meter 	

Anlage A1b: Verteilung des Sumpfschachtelhalms, westl. Dümmerniederung



Anlage A1c: Verteilung des Sumpfschachtelhalms, Boller Moor



Anlage A2

Profilgrabung und Rhizombeobachtung auf Problemflächen mit Sumpfschachtelhalm (*Equisetum Palustre*) - Verfasserin: Christiane Weil

Gliederung

Abbildungsverzeichnis	- 110 -
Tabellenverzeichnis	- 110 -
1 Zielstellung	- 111 -
2 Methoden	- 111 -
2.1 Profilgrabung	- 111 -
2.2 Rhizombeobachtung	- 112 -
3 Profilaufnahmen	- 112 -
3.1 Pferdeweide	- 112 -
3.2 Schafweide	- 114 -
3.3 Rinderweide	- 117 -
3.4 Versuchsfläche Asselersand	- 119 -
4 Ergebnisse Rhizombeobachtung	- 121 -
4.1 Morphologie der Rhizome	- 121 -
4.2 Grabungen Schafweide	- 122 -
4.3 Grabung Asselersand	- 123 -
5 Zusammenfassung und Diskussion	-120-
Literaturverzeichnis	-121-

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Profilaufnahme Pferdeweide, sehr flachgründiges Erdniedermoor	- 113 -
Abb.2: Profilaufnahme Schafweide	- 116 -
Abb.3: Profilaufnahme Rinderweide, Tiefpflugsanddeckkultur mit anthropogenem Mischhorizont R	- 118 -
Abb.4: Profilaufnahme Versuchsfläche Asselersand, Flusskalkmarsch	- 120 -
Abb.5: SSH-Rhizome, Alter und Tiefe nach links zunehmend	- 122 -

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über die Standorte	- 111 -
Tab. 2: Oberirdischer Zustand der Wedel bei erster Grabung auf Schafweide	- 122 -
Tab. 3: Ober- und unterirdische Triebe des SSH bei zweiter Grabung auf Schafweide	- 123 -

1 Zielstellung

Auf vier verschiedenen Flächen werden 2010 Versuche zu der Wirksamkeit des Unterschneidungsverfahrens mit Gänseflugschar gegen Sumpfschachtelhalm (SSH) vorgenommen. Das Verfahren zeigt in den Vorjahren schwankende Erfolge deren Abhängigkeit von dem jeweiligen Standort, insbesondere dessen Bodenprofil, überprüft werden soll.

In einem zweiten Untersuchungsschritt wird die Wirkung des Unterschneidungsverfahrens auf die ober- und unterirdischen Teile der Pflanze beobachtet. Folgende Hypothesen für die Weiterentwicklung der Pflanze nach der Unterschneidung sollen überprüft werden:

1. Die entwickelten oberirdischen Triebe und das über der Schnittebene liegende Vertikalrhizom stirbt ab, es erfolgt hieraus kein neuer Austrieb.
2. Ein Neuaustrieb erfolgt aus den Nodien des unter der Schnittstelle liegenden Vertikalrhizomes in der vorliegenden Vegetationsperiode.
3. Es erfolgt eine Neubildung von Vertikalrhizomen aus dem Horizontalrhizom (Hauptstamm) in der vorliegenden Vegetationsperiode.

2 Methoden

2.1 Profilgrabung

Auf jeder der Flächen wird ein Bodenprofil von einem Meter Breite bis zum Erreichen des Untergrundhorizontes freigelegt. Relief, Nutzungsart und Entwässerungsmaßnahmen werden beschrieben. Vorgefundene Horizonte werden abgegrenzt und bestimmt sowie Hydromorphiemerkmale festgehalten. Die Bodenart der Horizonte wird per Fingerprobe und der Carbonatgehalt durch Zugabe von 10 prozentiger Salzsäure nach KA 5 (Sponagel 2005) eingeschätzt. Auf zwei der vier Standorte wird der Profilaufbau durch 8-9 Einschläge mit einem Pürkhauer bis in 1 m Tiefe überprüft.

Weiterhin wird die Lage der Vertikal- und Horizontalrhizome des SSH im Boden festgehalten.

Tab. 1: Übersicht über die Standorte

Bezeichnung	Flurstück	Flur	Gemarkung
Pferdeweide Ochsenmoor	81	2	Stemshorn
Schafweide Ochsenmoor	9	3	Stemshorn
Rinderweide Ochsenmoor	53	3	Stemshorn
Versuchsfläche Asselersand	201 (Schlagnummer)		

2.2 Rhizombeobachtung 2010

Auf der Versuchsfläche Schafweide Ochsenmoor werden Grabungsproben aus dem unterschrittenen Bereich und aus dem unbehandelten Bereich der Fläche genommen. Die erste Beprobung erfolgt Anfang Juni etwa fünf Wochen nach der Unterschneidung und ein weiteres Mal, Mitte Juli. Es werden jeweils zwei gewöhnliche Bodenprofile angelegt und bestimmt. Bei dem Abtrag des Materials in Schichten von etwa 20 cm werden Vertikal- sowie Horizontalrhizome auf deren Lage und Zustand untersucht (Vertrocknung, Faulen, Neuaustrieb). Außerdem wird vor der Grabung die Anzahl und der Zustand der oberirdischen Triebe aufgenommen.

Ein ähnliches Vorgehen findet auf der Versuchsfläche Asselersand Anwendung. Allerdings nur zu einem Grabungstermin Ende Juni, drei Monate nach der Unterschneidung.

3 Profilaufnahmen

3.1 Pferdeweide

Die untersuchte Fläche liegt in einem Tiefenbereich des Makroreliefs und wird als nicht bis kaum geneigt eingestuft, ein ebenes Mikrorelief zeichnet sich ab. Seit 1988 befindet sich die Fläche in extensiver Grünlandnutzung. Die Nutzungsgeschichte beinhaltet keine Bewirtschaftung als Acker. Seit 1953 besteht eine tiefe randliche Grabenentwässerung, durch regelbare Staue wird der Wasserstand jedoch seit 1992 kontrolliert. Die Fläche soll im Jahresverlauf nur kurzfristig überstaut werden, Wasserstände von maximal 40 cm unter Flur werden für die Bewirtschaftungsperiode angestrebt.

Die Profilgrabung erfolgte am 22.07.2010 bis in eine Tiefe von 1,2 m. Der Oberboden ist durch Niederschläge am Vortag frisch, in einer Tiefe von 97 cm wird zu diesem Zeitpunkt das Grundwasser erreicht.

Das Profil stellt ein sehr flachgründiges, Erdniedermoor (KV) dar. Die vorgefundenen Horizonte (Abb. 1) werden im Folgenden beschrieben. Es schließt sich ein Vergleich mit den Pürkhauer Bohrproben an.

Pferdeweide

nHv 0-15 cm

Niedermoorhorizont aus Resten torfbildender Pflanzen, vererdet. Die Torfart ist durch die Vererdung nicht mehr zu identifizieren. Der Horizont ist carbonatfrei.

nHt 15-40 cm

Niedermoorhorizont aus Resten torfbildender Pflanzen, geschrumpft. Die Torfart ist nicht identifizierbar und der Horizont carbonatfrei.

fFo 40-79 cm

Fossiler semisubhydrischer Horizont, oxidiert. Die carbonatreiche Schluffmudde (Fmu) weist besonders in Rissen im Bereich von 40-55 cm Tiefe helle, oxidative Verrostungsmerkmale auf.

fF 79-96 cm

Fossiler semisubhydrischer Horizont, bestehend aus einer Sandmudde (Fms), carbonatfrei.

C 96-120 cm

Der Unterbodenhorizont besteht aus reinem Sand und ist carbonatfrei.






	Tiefe	Horizont	Bodenart	Carbonatgeh.
	0-15 cm	nHv	H	c0
	15-40 cm	nHt	H	c0
	40-79 cm	fFo	Fmu	c4
	79-96 cm	fF	Fms	c0
	96-120 cm	C	Ss	c0

Abb.1: Profilaufnahme Pferdeweide, sehr flachgründiges Erdniedermoor

Die horizontalen Hauptrhizome des SSH, inklusive Stärkeknollen, liegen zwischen 70 und 90 cm Tiefe. Sie ziehen sich also überwiegend durch die Sandmudde. Erste weniger dicke Horizontalrhizome finden sich in der Schluffmudde ab 55 cm Tiefe. Die Vertikalrhizome durchziehen den Boden von dieser Tiefe bis zur Oberfläche.

Neun Einschlüsse mit einem Pürkhauer zeigen einen sich verändernden Profilaufbau in der Fläche. Die Torfauflage bestehend aus nHv und nHt Horizont ist im arithmetischen Mittel 34 cm mächtig. Die Werte liegen zwischen 40 und 28 cm. Der oberste Horizont kann in einem Fall schon als anmooriger Oberboden (Aa) eingeschätzt werden. Fünf Bohrproben weisen ebenfalls eine carbonatreiche Schluffmudde auf, die restlichen vier Proben enthalten in dieser Tiefe eine Schicht mit Bruchwaldtorf. In diesen Fällen schließt sich eine schluffreiche aber carbonatfreie Sandmudde (Fms/mu) über dem C-Horizont an. Die zuerst beschriebene Horizontabfolge findet sich in der westlichen, die abweichende Horizontabfolge in der östlichen Versuchsparzelle. Beide Profilvarianten finden sich auf der mittleren Parzelle.

3.2 Schafweide

Die untersuchte Fläche liegt in einem Tiefenbereich des Makroreliefs und wird als nicht bis kaum geneigt eingestuft, ein ebenes Mikrorelief zeichnet sich ab. Seit 1989 befindet sich die Fläche in extensiver Grünlandnutzung. Die Nutzungsgeschichte beinhaltet keine Bewirtschaftung als Acker. Seit 1953 besteht eine tiefe randliche Grabenentwässerung, durch regelbare Staue wird der Wasserstand jedoch seit 1992 kontrolliert. Die Fläche soll im Jahresverlauf nur kurzfristig überstaut werden, Wasserstände von etwa 30 cm unter Flur werden für die Bewirtschaftungsperiode angestrebt.

Die Profilgrabung erfolgt am 22.07.2010 bis in eine Tiefe von 0,9 m. Der Oberboden ist durch Niederschläge am Vortag frisch, in einer Tiefe von 0,8 m wird zu diesem Zeitpunkt das Grundwasser erreicht.

Das Profil stellt ein sehr flachgründiges, Erdniedermoor (KV) dar. Die vorgefundenen Horizonte (Abb.2) werden im Folgenden beschrieben. Es schließt sich ein Vergleich mit den Pürkhauer Bohrproben an.

Schafweide

nHv 0-25 cm

Niedermoorhorizont aus Resten torfbildender Pflanzen, vererdet. Die Torfart (H) ist durch die Vererdung nicht mehr zu identifizieren. Der Horizont ist carbonatfrei.

fFo 25-46 cm

Fossiler semisubhydrischer Horizont, oxidiert. Detritusmudde mit hohem Schluffgehalt (Fhg/mu), carbonatreich (c4). Besonders Risse in der Mudde weisen helle Verrostungen (eh) auf.

Go 46-68 cm

Semiterrestrischer Bodenhorizont mit Grundwassereinfluss, oxidiert. Die Bodenart ist Reinsand es bilden sich hellrostfarbene Oxidationsmerkmale ab, die auf wechselnde Feuchtebedingungen in dieser Tiefe schließen lassen. Der Horizont ist carbonatfrei.

Gr 68-73 cm

Semiterrestrischer Bodenhorizont mit Grundwassereinfluss, reduziert. Die Bodenart ist Reinsand es bilden sich schwarze Reduktionsmerkmale ab. Der Horizont ist carbonatfrei.

fF 73-76 cm

Fossiler semisubhydrischer Horizont. Die Sandmudde (Fms) enthält einen deutlichen Anteil an organischer Substanz, sie ist carbonatfrei.

C 76-90 cm

Der Unterbodenhorizont besteht aus reinem Sand und ist carbonatfrei.







	Tiefe	Horizont	Bodenart	Carbonatgeh.
	0-25 cm	nHv	H	c0
	25-46 cm	fFo	Fhg/mu	c4
	46-68 cm	Go	Ss	c0
	68-73 cm	Gr	Ss	c0
	73-76 cm	fF	Fms	c0
	70-110 cm	C	Ss	c0

Abb.2: Profilaufnahme Schafweide, sehr flachgründiges Erdniedermoor

Die horizontalen Hauptrhizome des SSH, inklusive Stärkeknollen, liegen zwischen 45 und 60 cm Tiefe. Sie ziehen sich also überwiegend durch die beiden grundwasserbeeinflussten Horizonte aus Reinsand. Einzelne Horizontalrhizome bahnen sich auch ihren Weg durch den unteren Bereich der Detriusmudde. Die Vertikalrhizome durchstoßen die Mudde und verzweigen sich im oberflächennahen Bereich des Torfhorizontes.

Acht Einschlüsse mit einem Pürkhauer bestätigen den Profilaufbau überwiegend. Die Torfaufgabe beträgt im arithmetischen Mittel 33 cm. In vier Bohrproben wird ein Torfschrumpfungshorizont (Ht) identifiziert der hier mit einberechnet ist. Die Detriusmudde erreicht eine mittlere Mächtigkeit von 17 cm, in einem Fall ist sie carbonatfrei. Bei fünf der Bohrungen kann entweder kein G- oder kein fF-Horizont identifiziert werden. Es ist allerdings unklar ob diese nicht ausgeprägt oder durch die Pürkhauerbohrung schwierig zu identifizieren sind.

3.3 Rinderweide

Die untersuchte Fläche liegt in einem Tiefenbereich des Makroreliefs und wird als nicht bis kaum geneigt eingestuft. Ein ebenes bis leicht welliges Mikrorelief zeichnet sich ab. Seit 1995 befindet sich die Fläche in extensiver Grünlandnutzung. Eine Ackernutzung vor 1970 ist wahrscheinlich, später wird die Fläche allerdings ausschließlich als Grünland bewirtschaftet. Seit 1953 besteht eine tiefe randliche Grabenentwässerung, durch regelbare Staue wird der Wasserstand jedoch seit 1992 kontrolliert. Die Fläche soll im Jahresverlauf nur kurzfristig überstaut werden, Wasserstände von maximal 60 cm unter Flur werden für die Bewirtschaftungsperiode angestrebt.

Die Profilgrabung erfolgt am 22.06.2010 bis in eine Tiefe von 1,1 m. Der Oberboden ist ausgetrocknet, in einer Tiefe von 0,7 m wird zu diesem Zeitpunkt das Grundwasser erreicht. Das ursprüngliche Profil des Bodentyps Normniedermoor (HNn) ist durch eine Tiefpflüfung stark verändert und kann nun als Tiefpflugsanddeckkultur beschrieben werden. Folgende Horizonte werden abgegrenzt und können anhand der Abbildung 3 Nachvollzogen werden:

Aa 0-10 cm

Anmooriger Oberbodenhorizont, gekennzeichnet durch die Anreicherung organischer Substanz nach dem Übergang zur Grünlandnutzung. Der mineralische Anteil besteht aus reinem Sand (Ss). Der Horizont wird als carbonatfrei (c0) eingestuft.

oAp 10-25 cm

Organisch angereicherter Oberbodenhorizont gepflügt. Dieser Horizont weist eine regelmäßige Durchmischung von Mineral- und Torfboden durch Pflüfung auf. Wobei das mineralische Material aus reinem Sand besteht und die Torfkomponente vererdeten Radzellentorf (Hnr) darstellt. Hellrostfarbene oxidative Merkmale (eh) weisen auf wechselnde Feuchtebedingungen hin. Der Horizont wird als carbonatfrei eingestuft.

R 25-70 cm

Anthropogener Mischhorizont, durch tiefgreifende bodenmischende Maßnahmen entstanden. Er stellt eine keilförmige Verzahnung von dem Mineralboden als Reinsand, der kalkhaltigen Detritusmudde (Fhg/mk) und dem stark zersetzten Radzellentorf dar. Der Sand ist durch reduzierende Bedingungen blaugrau gefärbt (rg) was auf einen langfristigen Grundwassereinfluss schließen lässt. Der Horizont ist carbonathaltig (c3) und im Bereich der Muddestücke auch sehr carbonatreich (c5).

C 70-110 cm

Der Untergrundhorizont besteht aus schwach lehmigem Sand (SI2) er wird als carbonatfrei eingestuft.

Es werden keine zusätzlichen Einschlüsse mit dem Pürkhauer vorgenommen da durch die Vermischung der ursprünglichen Horizonte kein klares Bild zu erwarten ist.

Die Horizontalrhizome des Sumpfschachtelhalms werden in der Tiefe von 25-60 cm im R Horizont gefunden. Die Vertikalrhizome verlaufen hiervon ausgehend zur Oberfläche.





		Tiefe	Horizont	Bodenart
		0-10 cm	Aa	Ss
		10-25 cm	oAp	Ss, Hnr
		25-70 cm	R	Ss, Hnr, Fhg/mk
		70-110 cm	C	SI2

Abb.3: Profilaufnahme Rinderweide, Tiefpflugsanddeckkultur mit anthropogenem Mischhorizont R

3.4 Versuchsfläche Asselersand

Die untersuchte Fläche liegt im Tidebereich der Elbe direkt hinter dem Vordeich. Das Wasser strömt durch ein Gräbensystem frei ein und aus. Bei Hochwassergefahr werden die Zuflüsse jedoch verschlossen, so dass der aktuelle Materialeintrag durch Überflutungen als eher gering einzuschätzen ist.

Das flache, ebene Makrorelief ist durch die Anlage von Grüppen und Beeten in der Fläche als wellig einzustufen. Durch die Grüppen und das Grabensystem erfolgt eine Dränung des Bodens. Die Fläche steht unter dauerhafter Grünlandnutzung und wird als Mähweide bewirtschaftet.

Die Grabung erfolgt am 30.06.2010 bis in eine Tiefe von 1,6 m. Der Oberboden ist stark ausgetrocknet, in einer Tiefe von 1,4 m wird zu diesem Zeitpunkt das Grundwasser erreicht. Das Profil (Abb. 4) stellt eine Flusskalkmarsch (MCf) mit der typischen Horizontabfolge tpAh / tpeGo / tpeGr dar, die im Folgenden genauer beschrieben wird.

tpAh 1-15 cm

Perimariner (tidal-fluviatiler) Oberboden mit Humusanreicherung. Der schluffige Lehm (Lu) ist als carbonatfrei (c0) einzuschätzen.

tpeGo 15-145 cm

Perimariner, mergeliger, semiterestrischer Bodenhorizont mit Grundwassereinfluss und oxidativen Merkmalen. Der mitteltonige Lehm (Lt3) ist von etwa 2 cm mächtigen Sandbändern aus Feinsand und schichtenhaft auftretenden Muschelresten durchzogen. Diese werden im Profil nicht sichtbar, fallen aber bei der Grabung auf. Der Horizont weist diffuse und auch stark kongregierte Verrostungen auf (ed/eh). Er wird als stark bis sehr carbonatreich (c4-c5) eingeschätzt.

tpeGr 145-160 cm

Perimariner, mergeliger, semiterestrischer Bodenhorizont mit Grundwassereinfluss und reduktiven Merkmalen. Der mitteltonige Lehm (Lt3) ist durch Eisensulfide gleichmäßig schwarz gefärbt (rs) und zeigt hierdurch die reduzierenden Bedingungen dieses Horizontes an. Das Bodenmaterial ist carbonathaltig (c3).

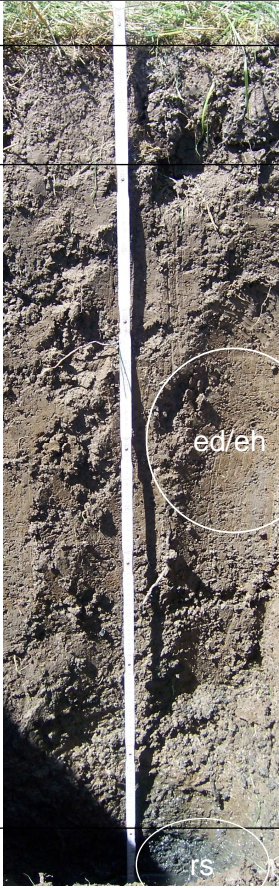
	Tiefe	Horizont	Bodenart	Carbonatgeh .
	0-15 cm	tpAh	Lu	c0
	25-70 cm	tpeGo	Lt3	c4-5
	145-160 cm	tpeGr	Lt3	c3

Abb.4: Profilaufnahme Versuchsfläche Asselersand, Flusskalkmarsch

Es werden keine zusätzlichen Einschläge mit dem Pürkhauer vorgenommen da in dem Marschboden keine kleinräumigen Profilunterschiede zu erwarten sind.

Die Horizontalrhizome des SSH, inklusive Stärkeknollen, liegen in dem tpeGr Horizont, unterhalb von 150 cm Tiefe. Von dieser Ebene der Hauptrhizome ausgehend durchziehen Vertikalrhizome tpeGo und tpAh Horizont.

4 Ergebnisse Rhizombeobachtung

4.1 Morphologie der Rhizome

Der allgemeine Aufbau des SSH-Rhizoms lässt sich gefolgt beschreiben:

Von der Ebene des Hauptstammes ausgehend durchziehen Vertikalrhizome in abnehmender Dicke aber zunehmender Verzweigung den Boden nach oben hin. Kurz unter der Erdoberfläche enden die Rhizome teilweise tot d.h. ohne die Ausbildung eines oberirdischen Triebes. Viele bilden dagegen einen grünen oberirdischen Trieb aus oder halten einen weißlichen jungen Trieb (siehe Abb. 5, rechts) unter der Oberfläche bereit. Diese Triebe gehen aus den Nodien der Rhizome hauptsächlich in der Tiefe von 0-10 cm hervor. Der Durchmesser der Vertikalen Rhizome nimmt von 2 mm an der Oberfläche bis zu 7 mm auf Höhe des Hauptstammes zu. Ebenso verändert sich die Farbe der Triebe von schwarz in den obersten 20 bis 30 cm (Abb. 5, Zweites von rechts) zu rötlich-braun in den darunter liegenden Schichten. Der Hauptstamm besteht aus horizontalen Rhizomen mit einem Durchmesser von 5 bis 10 mm. Die Farbe ist offensichtlich von dem Alter der Rhizome abhängig: Junge Rhizome mit Meristemspitze sind gelblich, es folgt ein rötlicher Bereich der später in auberginefarben übergeht (Abb. 5, 1-4 von links). Die Horizontalrhizome verzweigen sich an den Nodien und bilden somit ein Netz im Boden aus. Außerdem befinden sich dunkelbraune bis schwarze Speicherknollen (10-20 mm lang, ca. 5 mm Durchmesser) an manchen Nodien des Horizontalrhizomes. Weiterhin sind die Nodien des Horizontalrhizoms Ausgangspunkte für die Vertikalrhizome. An allen Nodien der vertikalen und horizontalen Rhizome befindet sich ein Wurzelkranz. Es werden keine korkenzieherartigen langen Wurzeln, wie sie Köhler (1971) beschreibt gefunden. Davon abgesehen stimmen die aktuellen Beobachtungen aber mit der älteren Quelle (ebenda) überein.



Abb.5: SSH-Rhizome, Alter und Tiefe nach links zunehmend

4.2 Grabungen Schafweide

Die erste Grabung findet bei mittlere Bodenfeuchte bis in 80 cm Tiefe statt. Das Grundwasser steht zu diesem Zeitpunkt etwa 60 cm unter Flur. Der Aufbau des Bodenprofils und die Lage der vertikal sowie Horizontalrhizome ist Kapitel 3.2 zu entnehmen.

Tab. 2: Oberirdischer Zustand der Wedel bei erster Grabung auf Schafweide

nicht unterschritten	unterschnitten
130 Triebe SSH / m ²	50 Triebe SSH / m ²
davon beschädigt 10	davon beschädigt 25
WS 1: 30 %	WS 1: 70 %
WS 2: 70%	WS 2: 30%
Wuchshöhe: 5 - 35 cm, durchschnittlich 15 cm	Wuchshöhe: 5 - 26 cm, durchschnittlich 10 cm

Der unterschrittene Bereich kann unterirdisch folgendermaßen mit dem nicht unterschrittenen verglichen werden:

Die Unterschneidungslinie wird klar aufgefunden, sie befindet sich etwa in den ersten 10 cm der Detriusmudde. Die durchtrennten Rhizome weisen keine Fäulnis oder Vertrocknung auf.

Es gibt keine eindeutigen Unterschiede hinsichtlich der Neuaustriebsrate zu dem nicht unterschnittenen Bereich ober- oder unterhalb des Schnitthorizontes. Eine oberhalb der Schnittstelle liegende Stärkeknolle ist aufgebraucht.

Die zweite Grabung erfolgt am 22.07.2010 bis in eine Tiefe von 0,9 m. Der Oberboden ist durch Niederschläge am Vortag frisch, in einer Tiefe von 0,8 m wird das Grundwasser erreicht. Der Aufbau des Bodenprofils und die Lage der vertikal sowie Horizontalrhizome ist Kapitel 3.2 zu entnehmen.

Oberirdisch werden im nicht unterschnittenen Bereich etwa doppelt so viele SSH-Triebe gezählt wie im unterschnittenen (Tab. 3). Die Anzahl junger Rhizomtriebe in 5-25 sowie 46-60 cm Tiefe unterscheidet sich kaum zwischen den beiden Varianten. Im Bereich des Schnitthorizontes werden in der unterschnittenen Variante jedoch deutlich mehr junge Triebe gezählt (Tab. 3) die bis zu 30 cm lang sind. Die Neuaustriebe entspringen ausschließlich den Nodien der vertikalen Rhizome unterhalb der Schnittfläche. Die durchtrennten Rhizome weisen keine Fäulnis oder Vertrocknung auf.

Tab. 3: Ober- und unterirdische Triebe des SSH bei zweiter Grabung auf Schafweide

nicht unterschnitten	unterschnitten
Triebe SSH/m ² (oberirdisch)	
67	31
Junge Rhizomtriebe/m ² , 5-25 cm Tiefe	
9	6
Junge Rhizomtriebe/m ² , 25-46 cm Tiefe	
6	29
Junge Rhizomtriebe/m ² , 46-60 cm Tiefe	
2	2

4.3 Grabung Asselersand

Die Grabung erfolgt bis in eine Tiefe von 1,6 m. Der Oberboden ist stark ausgetrocknet, in einer Tiefe von 1,4 m wird das Grundwasser erreicht. Angaben zum Aufbau des Bodenprofils und der Lage der Vertikal- sowie Horizontalrhizome sind Kapitel 3.4 zu entnehmen.

Im nicht unterschnittenen Bereich werden in 10-30 cm Tiefe auf 1 m² nur 2, in 30-60 cm Tiefe nur 5 junge Rhizomtriebe gefunden. Oberirdisch werden vor der Grabung 105 Wedel SSH/m² gezählt.

Der unterschnittene Bereich zeigt keine oberirdischen Wedel. Kurz unter der Oberfläche enden die meisten Vertikalrhizome ohne Triebbildung. Wenige 1-3 cm lange, weißliche Triebe befinden sich in den obersten 5cm. In der Tiefe von 40-60 cm werden mindestens 15 junge Austriebe an den Nodien der Vertikalrhizome unterhalb des Schnitthorizontes (35 cm) gefunden. Die durchtrennten Rhizome weisen keine Fäulnis oder Vertrocknung auf. Das Horizontalrhizom wird in beiden Varianten auf Grund der Tiefe nicht untersucht.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Der Hauptstamm des Sumpfschachtelhalms, d.h. seine Horizontalrhizome von deren Nodien die Vertikalrhizome ausgehen und auch Speicherknollen ausgebildet werden, liegt an den vier Standorten in unterschiedlicher Tiefe. Erste Horizontalrhizome werden auf der Rinderweide bereits in 25 cm und am Versuchstandort Asselersand erst in 150 cm Tiefe gefunden. Ähnlich ist jedoch die Art der Horizonte in welchen der Hauptstamm liegt, sie weisen reduktive Merkmale auf oder liegen im Grundwasserschwankungsbereich. Scheinbar werden auch Horizonte mit überwiegend mineralischer, lockerer Bodenart wie Sand bevorzugt. Ob ein Zusammenhang zwischen dem Unterschneidungserfolg und der Tiefe des Hauptstammes besteht kann mit Hilfe der Zählung der SSH-Triebe auf den Versuchsflächen untersucht werden.

Die Rhizombeobachtung zeigt, dass keine Erschöpfung des SSH bei einmaliger Unterschneidung zu erwarten ist. Oberirdisch und oberhalb des Schnitthorizontes stellt sich eine Art Wachstumsstillstand ein. Ein Absterben der Rhizome, wie in Hypothese eins vermutet, kann nach drei Monaten nicht beobachtet werden. Der Nachwuchs erfolgt dagegen aus den Nodien der Vertikalrhizome direkt unterhalb der Schnittlinie. Hypothese zwei kann also bestätigt werden. In dieser Tiefe ist auf beiden untersuchten Standorten eine vermehrte Triebbildung im Vergleich zur nicht unterschnittenen Variante zu erkennen. Innerhalb von drei Monaten nach der Unterschneidung bilden sich bis zu 30 cm lange Vertikalrhizome. Hypothese drei geht von einer verstärkten Bildung von Vertikalrhizomen durch den Hauptstamm aus. Für den Standort Schafweide kann diese Vermutung nicht bestätigt werden. Im NSG Asseler Sand wird der Hauptstamm aufgrund seiner Tiefe nicht untersucht. Ein absterben des SSH-Rhizoms ist auch durch wiederholtes Unterschneiden aus meiner Sicht heraus nicht zu erwarten. Einige Rhizome haben selbst die anhaltende Standortveränderung durch die tiefgründige Entwässerung zwischen 1953 und 1992 überlebt und ermöglichen nun die Wiederausbreitung der Pflanze. Vor diesem Hintergrund ist es ratsam Nutzungsstrategien zu finden, die mit dem SSH-Auftreten vereinbar sind. Eine nachhaltige Bekämpfung im Sinne des Naturschutzes scheint dagegen aussichtslos.

Literaturhinweise (Anlage A1):

KAMPHUES, J. & WOLF, P. (2010): Untersuchungen zu nachteiligen Effekten einer Aufnahme von getrocknetem Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*) bei Wiederkäuern und Pferden, Sicherung wirtschaftlicher Nutzung von Feuchtgrünlandstandorten unter Berücksichtigung der Sporenpflanze Sumpfschachtelhalm, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (vgl. Anlage B1)

KÖHLER, I. (1971): Verbreitung, Biologie und Bekämpfung des Sumpfschachtelhalmes, Paul Parey, Hamburg

SPONAGEL, H. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover

Forenbacher, 1952: Schachtelhalmvergiftung der Pferde – eine B1-Avitaminose, Schweizer Archiv für Tierheilkunde 94, S. 153-171.

LIEBENOW, H. & K. LIEBENOW 1981: Giftpflanzen . – VEB Fischer-Verlag, Jena, 2. Auflage, 248 S.

RAUSCHERT, S. 1961: Wiesen- und Weidepflanzen. Erkennung, Standort und Gesellschaftung, Bewertung und Bekämpfung. – Neumann-Verlag Radebeul; 406 S.

BRIEMLE, G. (2000): Giftpflanzen des Grünlandes – Wirkung auf Nutztier und Mensch, sowie Bekämpfungsmaßnahmen, Bildungs- und Wissenszentrum für Viehhaltung, Grünlandwirtschaft, Wild und Fischerei, Aulendorf (LVVG) Atzenberger Weg 99 D - 88 326 Aulendorf

Anlage B1



Projektbericht

Untersuchungen zu nachteiligen Effekten einer Aufnahme von getrocknetem Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*) bei Wiederkäuern und Pferden

(Die erste Veröffentlichung erfolgte bereits im Zwischenbericht 2010)

1. Einleitung

Hintergrund des vorliegenden Teilprojektes war eine massive Kontamination von Weideflächen im Bereich Asseler Sand mit Sumpfschachtelhalm (SSH). Hier konnten bei einer Weidekartierung pro Quadratmeter durchschnittlich 248 Wedel mit einer durchschnittlichen Masse von 2,13 g pro Wedel (ursprüngliche Substanz=uS) ermittelt werden. Auf den gesamten Weideaufwuchs (uS) bezogen betrug der Anteil des Sumpfschachtelhalmes 28,7%. Zu den toxischen Inhaltsstoffen des SSH gehören laut Angaben der Literatur Palustrin (Equisetin), Palustridin (0,5 – 3,0 %; Variation während der Vegetationsperiode), Thiaminase, Kieselsäure (5 – 10%), Oxalsäure sowie Flavonoide (u.a. Kampferöl). Von diesen Inhaltsstoffen sollen beim **Wiederkäuer** die Wirkungen des Palustrin im Vordergrund stehen. Zu den klinischen Symptomen zählen eine schlechte Aufnahme des Futters (→ reduzierte Akzeptanz → Leistungseinbußen), Störungen im Bereich des Gastrointestinaltraktes (Diarrhoe, Indigestionen), zentralnervöse Störungen (Unruhe, Ataxie) sowie Störungen des Allgemeinbefindens (Apathie). Im Gegensatz hierzu stehen bei **Pferden** die Wirkungen der Thiaminase im Vordergrund. Diese führen aufgrund eines Thiamin-Mangels (Thiamin= Vitamin B₁) in erster Linie zu zentralnervösen Störungen, die sich zunächst in Form von Hyperästhesien und Konvulsionen, im weiteren Verlauf als Apathie und Ataxie äußern (das klinische Bild wird daher auch als „Tamelkrankheit“ bezeichnet).

Insgesamt wurden diese Symptome vielfach in Fallberichten beschrieben, ohne dass aber eine genaue Dosis angegeben wurde, ab bzw. bei der es zu diesen Störungen kam.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war daher die Ermittlung maximal tolerabler Mengen an Sumpfschachtelhalm im Grundfutter für Wiederkäuer (Schafe, Milchkühe) und Pferde.

2. Material und Methoden

- Tiere

Für die Untersuchungen standen drei Schafe (Alter: 1 Jahr; Körpermasse: 40,2 ± 2,53 kg), zwei Milchkühe (Alter: 4 Jahre; Körpermasse 666 bzw. 754 kg) und drei Ponies (zwei Shettlandponies, ein Deutsches Reitpony; Alter: 4-8 Jahre; Körpermasse 104, 124 bzw. 302 kg) zur Verfügung. Diese wurden über jeweils 10 Tage an das Futter adaptiert, die eigentliche Versuchsphase betrug ebenfalls 10 Tage. Die Anfütterung erfolgte bei den Pferden in den Boxen (einstreulose Haltung der Tiere auf Gummimatten), für die eigentliche Versuchsphase befanden sich die Tiere in speziellen Bilanzständen (quantitative Erfassung von Harn und Kot). Die Schafe wurden ebenfalls einzeln und einstreulos auf Gummimatten in Boxen gehalten; da die Tiere die umgeschnallten Harntrichter und Kotbeutel tolerierten, war hier keine separate Aufstallung in Bilanzständen erforderlich. Die Kühe befanden sich in Anbindehaltung (Sägemehl statt Stroheinstreu).

- Sumpfschachtelhalm (SSH)

Für die **Gewinnung** des SSH wurden die stark kontaminierten Weideflächen im Asseler Sand gemäht, der frisch geschnittene Aufwuchs in Jutesäcke gefüllt und sofort zum Institut für Tierernährung transportiert. Dort wurde der SSH von Hand aussortiert, wobei auch eine Differenzierung und Abtrennung zu evtl. vorkommendem Ackerschachtelhalm erfolgte. Der SSH wurde anschließend auf dem Boden des Stallgebäudes ausgebreitet und getrocknet (Bodentrocknung imitierend, also keine Wärmezufuhr).

Die Ermittlung der **chemischen Zusammensetzung** erfolgte nach üblichen Labormethoden (Rohnährstoffe mittels Weender Analyse; Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, atomabsorptionsspektrometrisch; P: photometrisch, Na, K: flammenphotometrisch). Hier konnten zunächst folgende Nährstoffe ermittelt werden (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung des getrockneten Sumpfschachtelhalmes

Trockensubstanz	g/kg uS		916	
Rohasche			246*	
Rohprotein		g/kg TS	169	
Rohfett			19	
Rohfaser		g/kg TS	178	
NfE			388	
Ca		11,7	Cu	7,92
P	g/kg TS	6,57	Zn	81,4
Mg		3,23	Fe	535
Na		3,55	Mn	100
K		10,5	Se	0,51

uS=ursprüngliche Substanz; TS = Trockensubstanz

* 50% HCl-unlösliche Asche

Die Analyse des Palustringehaltes (s. Tabelle 2) erfolgte mittels HPLC/MS-Kopplung (Julius Kühn Institut Braunschweig). Für die Massenspektroskopie wurde das Esquire3000 von Bruker mit Ionenfalle und APCI-Quelle eingesetzt.

Tabelle 2:
Palustringehalte im isolierten Sumpfschachtelhalm bzw. in kontaminiertem Grundfutter

Trocknungsverfahren	Probenmaterial	Gehalt (mg/kg TS)
Gefriertrocknung	SSH (isoliert; Ernte 2009)	187
	SSH-Gras-Gemisch (SSH-Anteil: 84% i. uS)	152
Bodentrocknung	SSH (isoliert; Ernte 2008)	120
	SSH (isoliert; Ernte 2009)	221
Heißlufttrocknung	SSH (isoliert; Ernte 2009)	163
	SSH-Gras-Gemisch (SSH-Anteil: 84% i. uS)	155
	SSH kontaminiertes Heu (SSH-Anteil 3 %)	6,50

Für die folgenden Fütterungsversuche wurde der SSH aus der „Ernte 2009“ mit einem Palustrin-Gehalt von 221 mg/kg TS fein vermahlen eingesetzt.

- Challenge

Die nachfolgend beschriebene Rationsgestaltung (s. Tabelle 3) erfolgte unter der Zielsetzung einer vollständigen Aufnahme der jeweils angestrebten Mengen an SSH. Die Schafe erhielten Heu und ein kommerzielles Krafffutter, wobei letzteres vermahlen und mit SSH gemischt wurde. Neben der Kontrolle (kein Zusatz von SSH zum Krafffutter) wurde mit steigenden SSH-Zulagen zum Krafffutter ein Kontaminationsgrad von 5 bzw. 10 % der Gesamt-TS eingestellt. Ähnlich war die Rationsgestaltung bei den Ponies. Diese erhielten Heu und Mash, wobei der SSH wiederum dem Krafffutter zugemischt wurde. Neben der 5 bzw. 10%-Variante (Anteil des Sumpfschachtelhalmes an der Gesamt-TS) konnte hier zudem eine 20%-Variante geprüft werden. Zudem erfolgte bei dieser Variante ein Austausch des unbelasteten Heus gegen ein originär, d.h. natürlich kontaminiertes Heu (SSH-Anteil 3%; s. Tabelle 2) ausgetauscht.

Tab. 3: SSH-Kontamination der Rationen für Schafe, Kühe und Ponies

SSH-Kontamination (% der Gesamtaufnahme)	Schafe	Kühe	Ponies
0	X	X	X
1,25		X	
2,5		X	
5	X	X	X
10	X	Futterverweigerung	X
20	Futterverweigerung		X
Rationsgestaltung	Heu <i>Krafffutter</i>	TMR / Heu TMR / Heu	Heu <i>Mash</i>

kursiv: Rationskomponente, der SSH zugelegt wurde

Da die Kühe, bei denen die Zulage des SSH zur TMR erfolgte (später erfolgte die Zulage des getrockneten SSH statt zur TMR zum Heu), nicht mehr als 5% SSH an der Gesamtration tolerierten, musste die 10%-Variante entfallen; stattdessen wurde eine Abstufung des SSH-Gehaltes von 5 über 2,5 zu 1,25% der Gesamtration vorgenommen.

- Parameter

Entsprechend den laut Literatur zu erwartenden klinischen Störungen (s. Einleitung) erfolgte die Überprüfung folgender Parameter (s. Übersicht 1):

Übersicht 1: Parameter zur Erfassung von Effekten beim Tier infolge SSH-Aufnahme

Futter	Chemische Zusammensetzung, Palatabilität, Aufnahmemenge
Kot	Qualität (Score), Trockensubstanzgehalt, Aschegehalt
Gesundheitsstatus	klinische Symptome? (Atemfrequenz, Puls, Körpertemperatur)
Harn	pH, spez. Gewicht, Blut, Protein, Ketonkörper
Blut	
- hämatologisch	RBC, WBC, HGB, HCT, PLT
- hämatochemisch	Gesamteiweiß, Harnstoff, Creatinin, ALP, gamma-GT, GLDH, Na, K, Ca, Vitamin B ₁ (Pferde)
Milch	Menge, Fett-, Eiweiß-, Laktose-Gehalt, Na, Cl, Zellzahl, pH
Sektion	pathologisch-anatomische sowie pathologisch-histologische Untersuchungen (nur bei den Wiederkäuern)

3. Ergebnisse

3.1 Schafe

Bedingt durch die Zulage des SSH kam es zu einem signifikanten, d.h. hier massivem Rückgang in der **Futteraufnahme** der Schafe (s. Tabelle 4). Gleichzeitig führte die Zulage des SSH zu einer Reduktion des Trockensubstanzgehaltes im Kot (dieser verlor dabei seine tierarttypische Form und wurde pastös bis breiig).

Tab. 4: Futteraufnahme bzw. Kotqualität bei Schafen infolge SSH-Aufnahme (im Angebot: Heu und Krafffutter+SSH)

% SSH an Gesamtration	0	5	10
Futteraufnahme g uS/Tier/d	810 ^a ± 2,04	781 ^a ± 32,2	571 ^b ± 177
TS-Gehalt im Kot g TS/kg uS	403 ^a ± 22,9	371 ^a ± 85,7	316 ^b ± 126

uS = ursprüngliche Substanz ; TS = Trockensubstanz

Bei den **Blutparametern** (s. Tabelle 5) konnten keinerlei Effekte infolge einer Sumpfschachtelhalm-Aufnahme beobachtet werden.

Tab. 5: Blutparameter bei Schafen in Abhängigkeit von der SSH-Aufnahme

	0 % SSH	5 % SSH	10 % SSH
Hb (g/L)	104 ± 5,83	103 ± 10,4	108 ± 13,3
Htk (L/L)	0,30 ± 0,02	0,29 ± 0,03	0,31 ± 0,06
MCHC (g/L)	348 ± 16,0	356 ± 14,8	345 ± 23,1
Leukozyten (G/L)	9,56 ± 2,52	10,5 ± 3,01	11,3 ± 2,90
Crea (µmol/L)	73,4 ± 7,35	71,3 ± 8,22	78,8 ± 9,07
CK (U/L)	64,9 ± 24,0	45,8 ± 7,74	39,3 ± 2,08
GLDH (U/L)	27,1 ± 18,1	58,1 ± 75,9	50,2 ± 95,5
AST (U/L)	43,3 ± 14,9	42,8 ± 10,9	40,7 ± 15,3

Anders hingegen bei den Befunden aus den **Sektionen**; hier konnte bei allen drei Schafen eine katarrhalisch-hämorrhagische Enteritis diagnostiziert werden (s. Abb. 1).



Abb. 1: Katarrhalisch-hämorrhagische Enteritis bei Schafen infolge einer SSH-Aufnahme (Sektion nach 10% Variante)

3.2 Kühe

Im Vergleich zu den Schafen war bei den Milchkühen (n=2) infolge der Aufnahme von SSH mit dem Futter ein noch ausgeprägterer Einbruch in der **Futteraufnahme** (s. Abb. 2) zu beobachten (TS-Aufnahme von 2 – 3% der KM → unter 1% der KM!).

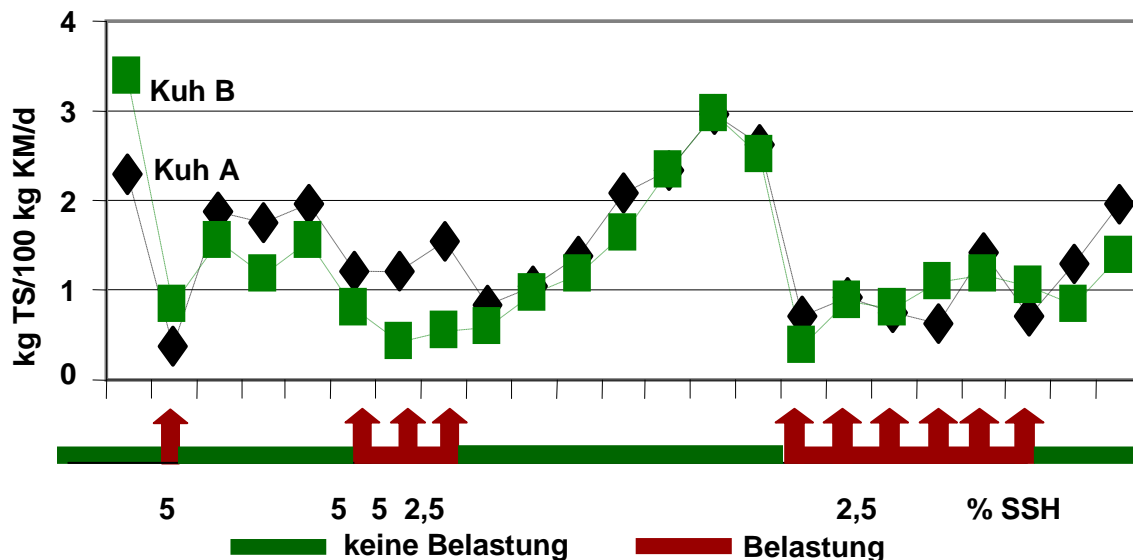


Abb. 2: Einfluss der SSH-Zulage zur TMR auf die Futteraufnahme von Milchkühen

Hier kam es bei Angebot einer mit 5% SSH kontaminierten TMR zu einer Reduktion der konsumierten Futtermenge auf Werte unter 1 kg Trockensubstanz/100 kg KM/d. Auch eine Belastung mit 2,5 % SSH wurde von den Kühen noch sensorisch wahrgenommen, d.h. erkannt und mit einer Reduktion der Futteraufnahme quittiert (s. Abb. 2). Um sich an die maximal tolerable Kontamination heranzutasten, wurde die SSH-Zulage stufenweise von 5,0 über 2,5 bis zu 2,0 bzw. 1,25 % der üblichen Futteraufnahme reduziert (s. Tabelle 6).

Tab. 6: Futteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit vom Anteil des SSH in der Gesamt-TMR

Anteil (%) des SSH an der TMR	Futteraufnahme (kg TS/100 kg KM/Tag)	
	Kuh A	Kuh B
5	0,67 ^a ± 0,22	0,92 ^a ± 0,48
2,5	0,84 ^a ± 0,30	0,94 ^a ± 0,37
2,0	1,45 ^b ± 0,19	1,86 ^b ± 0,29
1,25	1,43 ^b ± 0,27	1,90 ^b ± 0,30
0	2,34 ^c ± 0,09	2,07 ^c ± 0,19

Hierbei zeigte sich, dass selbst die Zulage von lediglich 1,25% SSH (i. TS) zu einer signifikanten Reduktion der Futteraufnahme führte.

In einem weiteren Versuch, in dem dann die SSH-Zulage nicht zur TMR, sondern zu einem separat angebotenen Heu erfolgte, zeigte sich ebenfalls bereits bei Anteilen von 1,25% eine Verweigerung der Futteraufnahme.

Ebenso wie bei den Schafen kam es auch bei den Kühen infolge der Aufnahme an Sumpfschachtelhalm zur einer Beeinträchtigung der **Kotqualität** (s. Tabelle 7).

Tab. 7: Trockensubstanzgehalt im Kot von Kühen infolge SSH-Aufnahme

SSH (%)	Kuh A SSH Aufnahme		Kuh B SSH Aufnahme	
	g TS/Tag	g/kg uS	g TS/Tag	g/kg uS
5	280 ± 98,7	118 ± 8,54	205 ± 66,8	109 ± 5,69
2,5	151 ± 75,1	129 ± 12,6	128 ± 66,2	139 ± 17,8
1,25	150 ± 15,5	151 ± 11,2	121 ± 22,8	144 ± 6,09
0	---	149 ± 8,55	---	142 ± 6,31

Im Vergleich zur Kontrolle (0% SSH) führte die Zulage von 5% SSH zu einer Reduktion des Trockensubstanzgehaltes im Kot, der also dünnbreiiger und zudem dunkler als üblich war (bei einer Untersuchung auf okkultes Blut mittels Schnelltest war das Ergebnis negativ). Erst bei einer Reduktion des SSH-Anteils auf 2,5 % (Kuh B) bzw. 1,25 % SSH (beide Kühe) konnte wieder eine übliche Kotqualität beobachtet werden.

Auch hier wurde wiederum eine Vielfalt an Blutparametern untersucht; ähnlich zu den Erfahrungen mit Schafen waren auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsgruppen zu ermitteln (s. Tabelle 8).

Tab. 8: Blutparameter bei Kühen in Abhängigkeit von der SSH-Aufnahme

	0 % SSH	5 % SSH	10 % SSH
Hb (g/L)	10,2 ± 0,40	10,2 ± 0,55	11,4 ± 1,10
Htk (L/L)	30,5 ± 1,35	27,9 ± 1,37	26,9 ± 0,40
MCHC (g/L)	33,4 ± 0,31	36,5 ± 0,99	42,6 ± 4,32
Leukozyten (G/L)	8333 ± 1234	8700 ± 361	7933 ± 635
Crea (µmol/L)	94,1 ± 7,94	94,1 ± 4,40	90,6 ± 6,96
CK (U/L)	132 ± 7,64	174 ± 13,3	172 ± 18,6
GLDH (U/L)	7,90 ± 0,71	14,6 ± 4,44	21,9 ± 5,47
AST (U/L)	63,7 ± 11,8	75,0 ± 4,00	87,0 ± 7,00

Zudem wurde bei den Kühen auch die Qualität der **Milch** überprüft. Dabei zeigten sich im Milchfett-, -protein- und -lactose-Gehalt keine Veränderungen infolge einer SSH-Aufnahme. Auch die in der Literatur vereinzelt beschriebene „bläuliche Verfärbung“ der Milch konnte zu keinem Zeitpunkt beobachtet werden.

3.3 Pferde

Im Gegensatz zu den Wiederkäuern zeigte sich bei den Pferden – selbst bei einer Belastung der Ration mit 20% SSH - keine Beeinflussung der **Futteraufnahme**. Die Tiere nahmen das Mash, dem in unterschiedlichen Mengen SSH zugemischt wurde, spontan und vollständig auf.

Auch hinsichtlich der Kotqualität zeigten sich Unterschiede zu den bei den Wiederkäuern erhobenen Befunden: So kam es hier infolge der Zulage von SSH zum Krafftutter nicht zu einer Reduktion, sondern sogar zu einem signifikanten Anstieg des TS-Gehaltes im Kot (s. Tabelle 9), d.h. der Kot wurde hier eher fester.

Tab. 9: Trockensubstanzgehalt im Kot der Pferde in Abhängigkeit vom SSH-Anteil im Futter (Angebot des SSH über ein Mash)

SSH-Anteil (%) ¹⁾	0	5	10	20
TS-Gehalt (g/kg uS)	206 ^a ± 38,4	221 ^{abc} ± 34,7	240 ^b ± 29,3	317 ^c ± 15,5

¹⁾ der TS der gesamten Ration

Zur Überprüfung der Verdaulichkeit wurden die Pferde in speziellen Bilanzständen aufgestellt, in denen neben der Ermittlung der Futteraufnahme auch eine quantitative Erfassung des abgesetzten Kotes möglich war, um die scheinbare Verdaulichkeit anhand der Formel $[(F-K)/F \times 100]$ kalkulieren zu können (s. Tabelle 10).

Tab. 10: Scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz bei Pferden nach Aufnahme von Futter mit unterschiedlich hohen SSH-Kontaminationen

SSH-Anteil (%)	0	5	10	20
sV _{os} (%)	57,8 ± 3,70	59,3 ± 4,91	58,5 ± 1,28	58,7 ± 1,59

Die Zulage des SSH führte selbst bei einem Anteil von 20% im Futter zu keiner nachteiligen Beeinflussung der scheinbaren Verdaulichkeit der organischen Substanz.

Bei der Überprüfung der diversen Blutparameter wurde – da bei Pferden laut Angaben der Literatur die Wirkungen der Thiaminase aus dem Sumpfschachtelhalm im Vordergrund stehen sollen – zudem der Thiamingehalt überprüft (s. Tabelle 11).

Tab. 11: Thiamingehalte im Blut der Pferde in Anhängigkeit zur SSH-Aufnahme

SSH-Anteil (%)	0	5	10	20
Thiamin (µg/L)	57,8 ± 3,70	59,3 ± 4,91	58,5 ± 1,28	58,7 ± 1,59

Bei den Blut-/Harnparametern Hb, Htk, MCHC, Leukozyten, Crea, CK, GLDH und AST (hier im Einzelnen nicht dargestellt) zeigten sich keinerlei Abweichungen. Und auch die Thiamingehalte (s. Tabelle 11) wiesen - selbst bei der 20% Variante - keine Abweichungen auf.

4. Diskussion

Mit dem vorliegenden Teilprojekt sollte die maximal tolerable Kontamination von Grundfutter mit Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*) bei Wiederkäuern (Kühe, Schafe) und Pferden ermittelt werden. Hintergrund der Studie war eine infolge von Renaturierungsmaßnahmen

starke Kontamination von landwirtschaftlichen Grünlandaufwüchsen im Bereich Asseler Sand mit Equisetum, was die Frage nach der möglichen landwirtschaftlichen Nutzung dieser Flächen aufwarf. Da es im Palustringehalt des Sumpfschachtelhalms durchaus Schwankungen geben kann, wurde die Giftpflanze auf eben beschriebenen Flächen von Hand geerntet, um die Versuche später im hiesigen Institut unter standardisierten Fütterungsbedingungen durchführen zu können. Der nachgewiesene Palustringehalt entsprach dann auch Gehalten, die in anderen Teilprojekten ermittelt wurden. Von den in der Literatur beschriebenen Effekten konnte in erster Linie die schlechte Akzeptanz des Futters nach Zulage des SSH – zumindest bei den Wiederkäuern - bestätigt werden. Dabei verweigerten die Schafe ein Futter, welches zu 5% SSH enthielt, die Kühe zeigten sich noch sensibler; hier wurden bereits Gehalte von 1,25% sensorisch wahrgenommen. Anders hingegen die Pferde, welche sogar die 20% Variante noch spontan und zügig aufnehmen. Warum es im Futteraufnahmeverhalten derartige tierartspezifische Unterschiede gab, lässt sich nur mutmaßen. Möglicherweise spielt hier die Art der Futteraufnahme eine entscheidende Rolle. Während Kühe und Schafe das Futter mit der Zunge aufnehmen (hier sind durchaus eine Reihe von Geschmackspapillen lokalisiert), erfolgt dies bei den Pferden überwiegend mit den Lippen. Möglicherweise kommt in diesem Zusammenhang eher die Kieselsäure, denn dem Palustrin- oder Thiaminase-Gehalt eine Bedeutung zu, indem sie zu einer mechanischen Reizung führt (kristallartige Strukturen). Die reduzierte Futteraufnahme führte bei den Milchkühen – wie zu erwarten - zu einer reduzierten Milchproduktion. Bei den Schafen wäre sicherlich eine Kachexie die Folge gewesen, die hier aufgrund der relativ kurzen Versuchsdauer noch nicht sehr stark ausgeprägt war. Neben der Futterverweigerung konnte zudem eine negative Beeinflussung der Kotqualität bei Kühen und Schafen beobachtet werden, wie es auch in der Literatur beschrieben wird (signifikant reduzierter TS-Gehalt im Kot, Kotqualität s. Abb. 3).



Abb. 3: Konsistenz des Schafkotes vor (links) und nach (rechts) Aufnahme einer Ration mit einem Anteil von 5% Sumpfschachtelhalms

Ob für diese Beeinflussung der Kotqualität eine veränderte Passagezeit infolge des Palustrins bzw. eine mechanische Reizung im Darmbereich durch die Silikate verantwortlich zu machen ist, kann nicht gesagt werden. Fakt ist jedoch, dass in der Sektion der Wiederkäuer eine katarrhalisch-hämorrhagische Enteritis diagnostiziert werden konnte. Diese war bei den Schafen deutlicher ausgeprägt, wobei diese aber auch die höher kontaminierten Rationen (5 bzw. sogar 10%) erhalten hatten, während die Kühe die Ration mit einem Anteil von 5% SSH bereits verweigerten. Ob derartige Befunde auch bei den Pferden vorlagen, kann nicht gesagt werden, da diese nicht einer Sektion zugeführt wurden. Es erscheint aber sehr unwahrscheinlich, zumal es bei den Pferden sogar zu einem Anstieg im TS-Gehalt des Kotes kam. Bezüglich der Blutparameter zeigten sich weder bei den Wiederkäuern, noch bei den Pferden Einflüsse einer Zulage von SSH; ebenso konnten keine Veränderungen an der Milchqualität gefunden werden, die auf die Aufnahme von SSH zurückzuführen waren. Unter Umständen lassen sich die ausgebliebenen klinischen Symptome durch eine nicht ausreichend lange Versuchsdauer erklären. Es muss erklärend angefügt werden, dass die Menge des manuell geernteten Sumpfschachtelhalms der limitierende Faktor für die Versuchsdauer war. So wog ein Wedel durchschnittlich 2,13 g (uS), was einer Menge von rund 0,7 g im getrockneten Zustand entsprach. Um beispielsweise eine adäquate Menge an SSH bei der 5% Variante im Versuch mit den Schafen zugeben zu können, waren pro Tier und Tag 45 g SSH (i.TS) erforderlich; dies entspricht einer Menge von rund 64 Wedeln pro Tier und Tag. Bei den Kühen waren die Futteraufnahmen entsprechend höher, so dass allein aufgrund der notwendigen Menge an SSH eine zeitliche Begrenzung der Versuche notwendig war. Parallel wurden jedoch auch Fütterungsversuche mit Schafen und Pferden im Feld gemacht (s. Teilprojekt Landwirtschaftskammer Hannover); hier decken sich die bisher vorliegenden Ergebnisse mit den dort erhobenen Befunden (d.h. bei Pferden konnten keine Probleme beobachtet werden).

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Wiederkäuer die Futteraufnahme mit zunehmenden SSH-Anteilen verweigerten; die maximal tolerierte Menge betrug weniger als 1% der TS. Die Folgen in der Praxis dürften demnach eine reduzierte Leistung (Ansatz, Milchproduktion) sowie ein langsamer Verfall der Tiere sein, wenn es parallel auch noch zu Durchfall kommt. Bei fehlendem Angebot von alternativen Futtermitteln dürften zudem Diarrhoe und Enteritiden auftreten. Andere Untersuchungsergebnisse zeigten sich hingegen bei den Pferden; hier wurden Anteile bis zu 20% an SSH im Futter toleriert und auch vertragen. Dies mag sicherlich zunächst auch auf die kürzere Expositionszeit zurückzuführen sein; andererseits werden die Tiere unter praxisüblichen Fütterungsbedingungen seltener mit derart stark belasteten Rationen konfrontiert werden. Selbst in einem auf dem Asseler Sand geworbenen Heu konnte nur ein maximaler Anteil von 3% SSH nachgewiesen werden.

Für eine endgültige Aussage sind sicherlich Versuche mit noch längerer Dauer erforderlich. Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich jedoch die Befürchtung der Landwirte teilen, dass Kühen und Schafen auf stark belasteten Weiden nicht genügend Futter aufnehmen bzw. auf derartigen Flächen kein qualitativ hochwertiges Futter geerntet werden kann, welches von die Tieren in ausreichender Menge gefressen wird. Andererseits steht einer Heuwerbung für Pferde nichts entgegen, wobei jedoch ein häufigeres Wenden und eine ausreichende Trocknung des Materials anzuraten ist (unter diesen Erntebedingungen bröckelt der Sumpfschachtelhalm und gelangt so nicht ins Pressgut), um eine möglichst geringe Kontamination des Heus zu gewährleisten.

5. Literatur (zu B1)

KAMPHUES J. (1990): Verweigerung der Aufnahme von Heu bei Zuchtbullen bedingt durch eine Kontamination mit Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*). Tierärztl. Praxis 18 (4), 349-351

KERN, H. (1957): Beitrag zur Kenntnis der Inhaltsstoffe und der toxischen Dosis des Sumpfschachtelhalmes (*Equisetum palustre*). Stuttgart, Tech. Hochschule, Diss.

KNIGHT, A. P. u. WALTER, R.G. (2003): A Guide to Plant Poisoning of Animals in North America, Teton NewMedia, Jackson, USA

LOTT, D.G. (1951): The Use of Thiamin in Mare's Tail Poisoning of Horses. Can J Comp Med Vet Sci. 15(11), 274 – 276

MEETZ, A. (1932): Der Einfluss des Sumpfschachtelhalmes (*Equisetum palustre*) auf die Zusammensetzung der Milch und des Butterfettes. Milchwirtsch. Forsch. 13, 405 - 430

STÖBER, M. (2006): Fütterungs-, mangel- und vergiftungsbedingte Krankheiten der Organe des zentralen Nervensystems, in: G. DIRKSEN, H.-D. GRÜNDER U.M. STÖBER (Hrsg.): Die klinische Untersuchung des Rindes. 5. Auflage, Parey Verlag, Berlin, Hamburg, S. 1140

UOTILA, I. (1956): Kortteiden ja erityisesti suokortteen (*Equisetum palustre* L.) vahingollisuudesta kotieläinten ruokonnassa sekä tämän lajin levinneisyydestä suomessa. [Über die Schädlichkeit von Schachtelhalm, insbesondere von Duwock (*Equisetum palustre* L.) bei der Fütterung von Haustieren und über die Verbreitung dieser Art in Finnland.] Helsingin, Yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Diss.

Anlage B2:



„Energetische Verwertung *Equisetum palustre* – reicher Grünlandaufwüchse“

Kooperationspartner Universität Rostock innerhalb der Verbundmaßnahme

„Sicherung wirtschaftlicher Nutzung von Feuchtgrünlandstandorten unter Berücksichtigung der Sporenpflanze Sumpfschachtelhalm“ – Koordination LWK Niedersachsen

Aktenzeichen: 26540 – 33/2

B 2: Ergebnisbericht Universität Rostock

Teilprojekt „Energetische Nutzbarkeit von Sumpfschachtelhalm in Verfahren der Biomethanisierung“

Inhalt

- 1 Anlass und Zielsetzung
- 2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden
- 3 Ergebnisse und Ausblick
- 4 Öffentlichkeitsarbeit

1 Anlass und Zielsetzung

Für Aufwüchse, deren starker Besatz mit Sumpfschachtelhalm eine Verfütterung an Nutztiere ausschließt, müssen dringend alternative Verwertungsoptionen außerhalb der tierischen Veredelung erarbeitet werden. Anderenfalls drohen nicht mehr beherrschbare Pflegekosten bzw. die Aufgabe der naturschutzfachlichen Zielstellungen für diese Flächen. Als Lösung bietet sich die energetische Verwertung der Aufwüchse an, da die verfahrenstechnischen Voraussetzungen und der Absatz der erzeugten Energie wesentlich günstiger zu beurteilen sind als dies bei etwaigen stofflichen Verwertungsszenarien der Fall wäre.

Die derzeit praxisrelevanten Konversionstechnologien (Biogas, Verbrennung) für halmgutartige Biomassen im energetischen Verwertungsbereich stellen divergierende Ansprüche an das zu verwertende Substrat. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Bereitstellungskonzepte und weiterer lokaler Gegebenheiten lassen sich die grundsätzlichen Vor- und Nachteile der potentiellen Verwertungspfade abschätzen, wenn die Substrateigenschaften bekannt sind. Da die direkte thermische Nutzung (Verbrennung) mit den Kriterien Proteinarmut, hohe TS-Gehalte sowie geringe Mineralstoffkonzentrationen Anforderungen stellt, welche die Substrateigenschaften des Sumpfschachtelhalmes konterkarieren, wird diese Verwertungsoption im Projekt nicht vorrangig verfolgt.

Im Focus dieser Untersuchungen steht vielmehr die Energieproduktion auf Basis der anaeroben Methanogenese Sumpfschachtelhalm-haltiger Pflegeaufwüchse.

Folgende Versuchsfragestellungen ergaben sich aus der Tatsache, dass die potentiellen Gärsubstrate mit nennenswerten Anteilen von *Equisetum palustre* behaftet sind, zu deren Einsatz in der Biogasproduktion bis dato weder wissenschaftliche Untersuchungen noch Praxiserfahrungen vorliegen:

1. Gehen von den Toxinen des Sumpfschachtelhalmes inhibitorische Effekte auf die wesentlichen Mikroorganismen-Gemeinschaften der stufenweisen Methanogenese aus?
2. Gibt es weitere substratspezifische Eigenschaften der Art, die den Einsatz in Biogasfermentern beeinflussen?
3. Welches Fermentationsverfahren eignet sich am besten für die Vergärung stark Duwock-kontaminierter Pflegeaufwüchse und welche Methanausbeuten sind zu erwarten?

Von der Beantwortung dieser Fragen versprechen wir uns belastbare Hinweise und Einsatzempfehlungen von mit *Equisetum palustre* behafteten Landschaftspflegeaufwüchsen als Substrat in Biogasanlagen.

2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

2.1 Arbeitsschritte

Den Untersuchungen zur Gäreignung der Substrate wurde eine Voruntersuchung vorangestellt. Ziel dieser Untersuchung war es, mögliche gravierende Toxineinflüsse früh zu erkennen, um auf dieser Grundlage die erfolgversprechendsten Konzentrationen in den Substratmischungen einzustellen und die nur zeitlich begrenzt zur Verfügung stehenden Messeinrichtungen optimal auf die Untersuchungssubstrate abstimmen zu können.

Dem schloss sich die Bestimmung der Gasausbeute nach VDI 4630 im Batchversuch als Beurteilungsgrundlage für das Verfahren der Naßfermentation an. Geprüft wurden sechs Varianten mit unterschiedlichen Massenanteilen an *Equisetum palustre* sowie zwei Referenzvarianten und zwar sowohl als Frischmaterial als auch als Feuchtsilage. Die gleiche Versuchsanstellung wurde 2011 mit im Frühjahr 2010 gewonnenem Material in gleicher Variantenkonstellation wiederholt.

Die Bestimmung der Methanausbeuten im Verfahren der Trockenfermentation (siehe Abb. 2) erfolgte für *Equisetum palustre* als Reinsubstrat und als Mischsubstrat mit typischer Begleitvegetation des Feuchtgrünlandes. Variiert wurde die Perkolatführung mit dem Ziel, ein den Substratbesonderheiten angepasstes Management zu etablieren.

Zusätzlich zur Kernaufgabe wurde in der Vegetationsperiode 2011 eine Populations- und Wuchsstadiensammlung initiiert, welche weitere Aufschlüsse über Ausmaß und Ursachen der Variation des Palustringehaltes liefern soll.

2.2 Methoden

2.2.1 Prüfsubstrate

Die Bemessung der möglichen inhibitorischen Effekte der Toxine des Sumpfschachtelhalms warf etliche methodische Probleme auf: Da die Mittel für mikrobiologische Untersuchungen der Budgetkürzung in der Antragsphase zum Opfer fielen und keine hinreichend großen Mengen reinen Palustrins für enge Konzentrationsabstufungen bei ansonsten gleicher Substratmatrix zur Verfügung standen, konnte die Dosis=>Wirkung-Beziehung nicht nach pharmakologisch üblicher Art und Weise direkt und Organismen bezogen verfolgt werden.

Als Lösung des Problems wurde die durch einen Vorversuch optimierte, gestaffelt abgestufte Substratsanteils-Beimengung mit nachträglicher Palustrinbestimmung gewählt. Die geprüften Substrate und deren Zusammensetzung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Zusammensetzung der Prüfsubstrate (Mischungsanteile in % m)

Prüfvariante	<i>E. palustre</i> L.	Begleit-vegetation	<i>E. arvense</i> L.
V 1	100	0	0
V 2	80	20	0
V 3	50	50	0
V 4	20	80	0
V 5	10	90	0
V 6	0	100	0
V 7	0	0	100

Dieser Ansatz erschwert jedoch die kausale Interpretation der gemessenen Kenngrößen der Biomethanisierung, da mögliche Effekte sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe mit sonstigen Substrateffekten vermengt (confounded) auftreten können. Um also etwaige inhibitorische Effekte des Spermidin-Alkaloids Palustrin auf die Methanogenese von denen der sonstigen Substrateigenschaften trennen zu können, wurde der nach Liebenow und Liebenow (1981) als ungiftig geltende Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*), im gleichen Entwicklungsstadium geerntet, als Referenz ausgewählt und in beiden Versuchsjahren mit untersucht (Versuchsvariante V 7, siehe Tab. 1).

Das Pflanzenmaterial wurde am 20.05.2009 sowie am 02.06.2010 im Naturschutzgebiet „Assler Sand“ bei Stade gesammelt und geborgen (Abb. 1).

Für die Durchführung der Biogasversuche wurden insgesamt drei verschiedene Variantenherkünfte geerntet:

- *Equisetum palustre* rein (Einzelpflanzensammlung)
- Begleitvegetation rein (mesophiles Grünland, Teilflächenmahd, Negativselektion von *Equisetum palustre* per Hand)
- Mischvegetation, Mahd (mesophiles Grünland, Teilflächenmahd, *Equisetum palustre* mit hohen Bestandesanteilen)



Abb. 1: Werbung der Gärsubstrate auf Teilflächen mit hoher *Equisetum*-Abundanz

Über Stichprobenziehung und botanische Separation wurden die *Equisetum*-Anteile im Mischsubstrat quantifiziert. Die als Mischvegetation beerntete Biomasse setzte sich aus circa 60 %-Masse *E. palustre* und 40 %-Masse Begleitvegetation zusammen. Neben der Prüffart *Equisetum palustre* wurden auch die weiteren toxischen Arten *Ranunculus acer* sowie *Rhinanthus serotinus* aus der Biomasse der Begleitvegetation entfernt. Ein Teil der Probenmenge wurde nach aliquoter Teilung eingefroren.

Tab. 2: Botanische Zusammensetzung der Begleitvegetation
(Beprobungsjahre 2009 und 2010)

Pflanzenart	Deutsche Bezeichnung	Ertragsanteile [%]	
		2009	2010
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanz	2	4
<i>Alopecurus geniculatus</i>	Knick-Fuchsschwanz	18	8
<i>Agrostis ssp.</i>	Straußgräser	20	8
<i>Festuca pratensis</i>	Wiesenschwingel	4	6
<i>Festuca rubra</i>	Rotschwingel	+	8
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras	3	6
<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras	10	1
<i>Poa pratensis</i>	Wiesenrispengras	2	2
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras	4	8
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitzwegerich	14	10
<i>Ranunculus acer</i> *	Scharfer Hahnenfuß	-	(2)
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	6	15
<i>Rhinanthus serotinus</i> *	Großer Klappertopf	-	(1)
<i>Rumex acetosa</i>	Wiesensauerampfer	4	5
<i>Taraxacum officinalis</i>	Gewöhnlicher Löwenzahn	12	+
<i>Trifolium pratense</i>	Wiesenklee	1	12

*) Arten wurden wegen möglicher toxischer Effekte aus den Substraten entfernt

Am Folgetag sind die verschiedenen Varianten entsprechend des unterschiedlichen Massenbedarfes der Versuchsreihen aufgeteilt worden. Das Gros des Materials wurde in einem Gewächshaus auf den für die Silierung optimalen Wassergehalt angewelkt und anschließend in großen Regentonnen einsiliert.

2.2.1 Untersuchungsmethoden

Die Analyse des **Palustringehaltes** erfolgte mittels HPLC/MS-Kopplung. Für die Massenspektroskopie wurde das Esquire3000® von Bruker mit Ionenfalle und APCI-Quelle eingesetzt. Einzelheiten sind den Berichten von Dr. Beuerle (TU Braunschweig) sowie Dr. Schütze (JKI Quedlinburg) zu entnehmen.

Die Gäreignung der Substrate ist für das Verfahren der **Nassvergärung** mit einer diskontinuierlichen Batchanlage (siehe Abb. 2) unter mesophilen Temperaturbedingungen nach VDI-Richtlinie 4630 bei einer Verweilzeit von 34 Tagen geprüft worden.

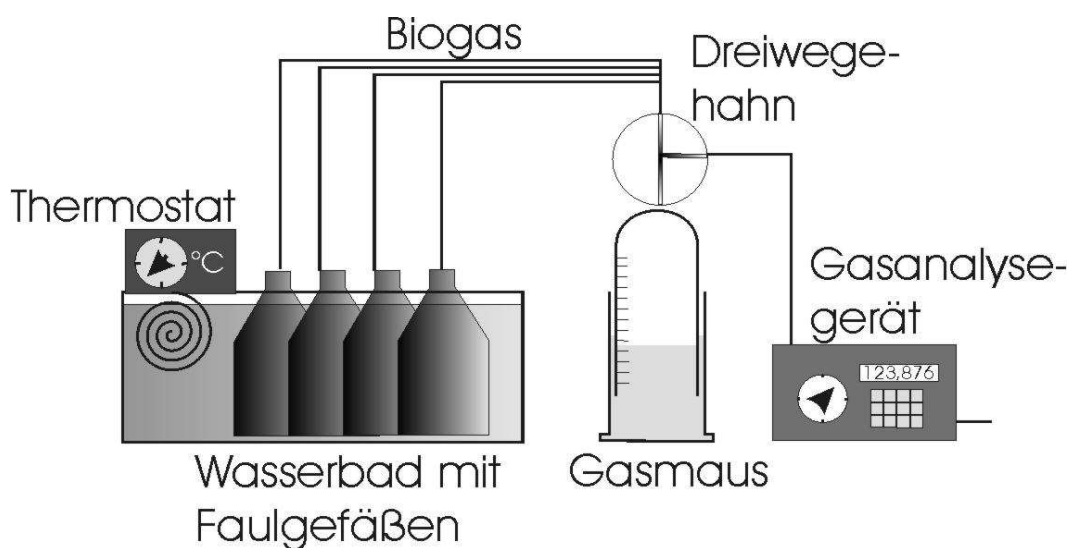


Abb. 2: Schematische Darstellung des Batch-Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Gasausbeute

Die Varianten sind entsprechend der angestrebten Zusammensetzung in einer für die Vergärung sowie die Analytik hinreichenden Menge (ca. 150 g) eingewogen und gemischt worden. Jeder Variante wurde eine repräsentative Probe entnommen und auf deren Gehalt an TS-, oTS- sowie freien organischen Säuren untersucht. Anhand des Gehaltes an organischer Substanz, des Gärrestes bzw. der Substratvarianten, wurden die Mischungsanteile der zu vergärenden Suspension ermittelt. Das Mischungsverhältnis ist

nach VDI 4630 auf 2 : 1 (Gärrest : Substrat) festgelegt. Dieses Verhältnis soll sicherstellen, dass selbst bei der Vergärung von energiereichen Substraten ein ausreichendes Puffervermögen der Suspension vorhanden ist. Als Impfmateriale bzw. Inokulum wurde der Gärrest einer Nassfermentationsanlage verwendet, dessen Restgaspotential als zusätzliche Variante erfasst und von den Gaserträgen der Varianten subtrahiert worden ist. Nach Versuchsbeginn ist das entstandene Biogasvolumen täglich abgelesen und zusammen mit den relevanten Umweltbedingungen protokolliert worden. Die Analyse der Biogaszusammensetzung fand dann statt, wenn eine für eine qualifizierte Analyse ausreichende Menge an Biogas entstanden war (500 ml). Das Biogaspotential der einzelnen Varianten wurden entsprechend der VDI 4630 auf Normbedingungen umgerechnet und auf L_N Biogas bzw. L_N Methan*kg oS⁻¹ bezogen.

Auch die zweistufige **Feststoffvergärung** könnte unter mesophilen Temperaturbedingungen für die Biomethanisierung des beschriebenen Substrates vorteilhaft sein. Die diesbezüglichen Feststoffvergärungsversuche fanden bei der S.I.G Dr. Ing. STEFFEN GmbH in Lühburg, etwa 50 km südöstlich von Rostock, statt. Diese Anlage hat gegenüber Versuchsanlagen im Labormaßstab den Vorteil, dass dort praxisnahe Bedingungen geschaffen werden können.

Die Versuchsanlage ist in einem freistehenden Container untergebracht, in den 2 isolierte Holzboxen („Fermenter-Bänke“) eingebaut sind. Dort stehen mehrere Fermenter zur Verfügung. Die angestrebte mesophile Reaktionstemperatur wird über einen Radiator pro Fermenterbank realisiert, der zwischen den Fermentern 4 und 5 bzw. 7 und 8 steht. Die Heizungen werden über einen Thermocontroller pro Fermenter-Bank angesteuert. Dessen Thermofühler ist an dem Fermenter platziert, der am weitesten von dem Radiator entfernt steht. Über den Radiatoren sind Ventilatoren angebracht, die eine gleichmäßige Temperaturverteilung ermöglichen sollen (Abb. 3).

Das erzeugte Biogas gelangt über die Gasleitungen zu einem der beiden Messplätze. Jedem Fermenter ist ein Trommelgaszähler zugeordnet. Auf Höhe der Messplätze zweigen sich von jeder Gasleitung ein Probenahme-Stutzen, sowie ein „U-Rohr“ ab. Der Probenahme-Stutzen wird verwendet, um die Biogaszusammensetzung zu ermitteln. An dem mit Wasser gefüllten „U-Rohr“ kann der Druck abgelesen werden, der in dem jeweiligen Fermenter herrscht.

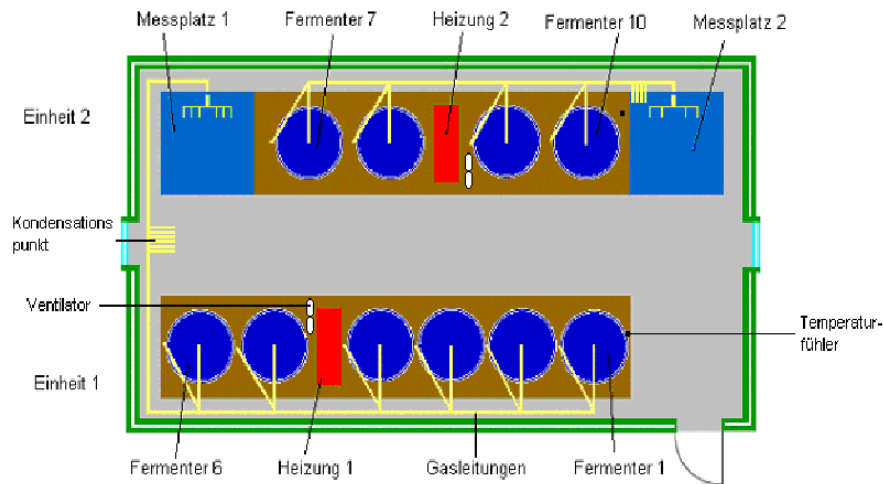


Abb. 3: Aufbau und Anordnung der Feststoffvergärungsanlage

Ein einzelner Fermenter hat ein Volumen von 120 l. Dieses wird durch eine Drainschicht und den für die Entgasung notwendigen Kopfraum auf ein effektives Nutzvolumen von etwa 70 l reduziert. Eine Verstopfung des Perkolatabflusses durch Feststoffe wird durch ein grobmaschiges Sieb sowie die Drainschicht wirkungsvoll verhindert (Abb. 4).

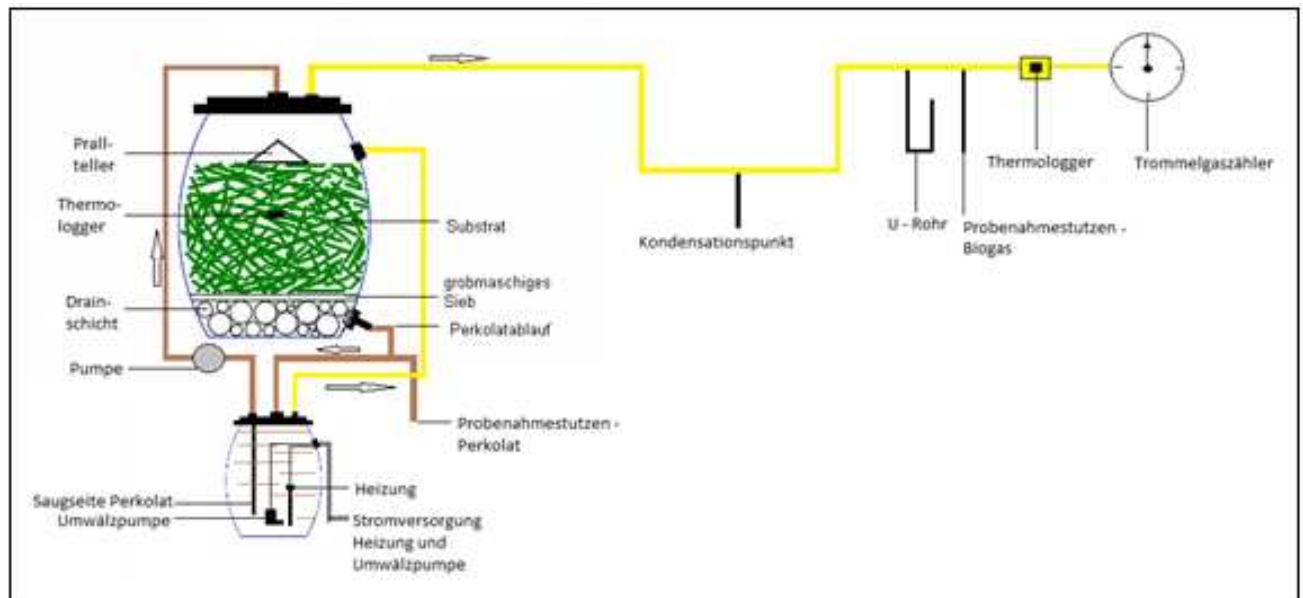


Abb. 4: Schematische Darstellung eines Gärbehälters im Prüfverfahren der Feststoffvergärung

Die Perkolations-technik wurde innerhalb der Versuchsreihe variiert, um Hinweise für eine dem Substrat bestmöglich angepasste Verfahrensweise zu erlangen. Zum einen wurde manuell mittels Bohrmaschinenaufsatzpumpe dreimal pro Tag mit $30 \text{ l} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ perkoliert, zum

anderen auf automatisierte Rotationsschlauchpumpen zurückgegriffen und sechs tägliche Perkolationen realisiert.

Um etwaige Temperaturunterschiede erfassen zu können, wurden die verwendeten Fermenter mit je einem Thermologger ausgestattet. Zwei weitere Thermologger wurden verwandt, um die Gastemperatur vor dem Eintritt in den Trommelgaszähler zu erfassen. Zwischen den verwendeten Trommelgaszählern befand sich ein Sensor einer handelsüblichen Wetterstation. Diese zeichnete zusätzlich die herrschende Raumtemperatur sowie den Luftdruck auf.

Die Analyse einer Reihe weiterer Substratspezifika wie chemische Analysen der Substrate, Effluats und Gärreste, die Gaszüchtigkeit, die Lagerungsdichte sowie die Gärrestbeschaffenheit erfolgte nach Standardmethoden gemäß guter Laborpraxis. Aus Übersichtsgründen wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darlegung der Methoden verzichtet.

3 Ergebnisse und Ausblick

3.1 Ergebnisse der Batchversuche zur Simulation der Nassvergärung

Der Biogasertrag je kg organischer Substanz sowie der Gehalt an Methan im Biogas wurden sowohl von der botanischen Zusammensetzung des Substrats als auch vom Jahr der Substratbergung signifikant beeinflusst (siehe Tab. 3). Ob das geprüfte Pflanzenmaterial frisch oder siliert fermentiert wurde, war hingegen von geringer Relevanz.

Tab. 3: Einflüsse der Prüffaktoren auf substratspezifische Kenngrößen der Methanogenese (Ergebnisse des F-Tests, Haupteffekte der Varianzanalyse, GLM)

	Art des Prüfsubstrats (V1 - V7)	Jahr der Substratbergung	Substratbeschaffenheit (frisch bzw. siliert)
Biogasertrag (NL je kg oTM)	< 0,01 **	< 0,01 **	0,11 ^{n.s.}
Methangehalt (in % _{Vol} BG)	< 0,01 **	0,001 ***	0,65 ^{n.s.}

Die Methanerträge der Prüfsubstrate sind in Abb. 5 dargestellt. Beide Reinsubstrate der Equisetum-Arten wiesen vergleichbare Methanausbeuten auf, welche denen der grasdominierten Begleitvegetation (V6) sogar überlegen waren.

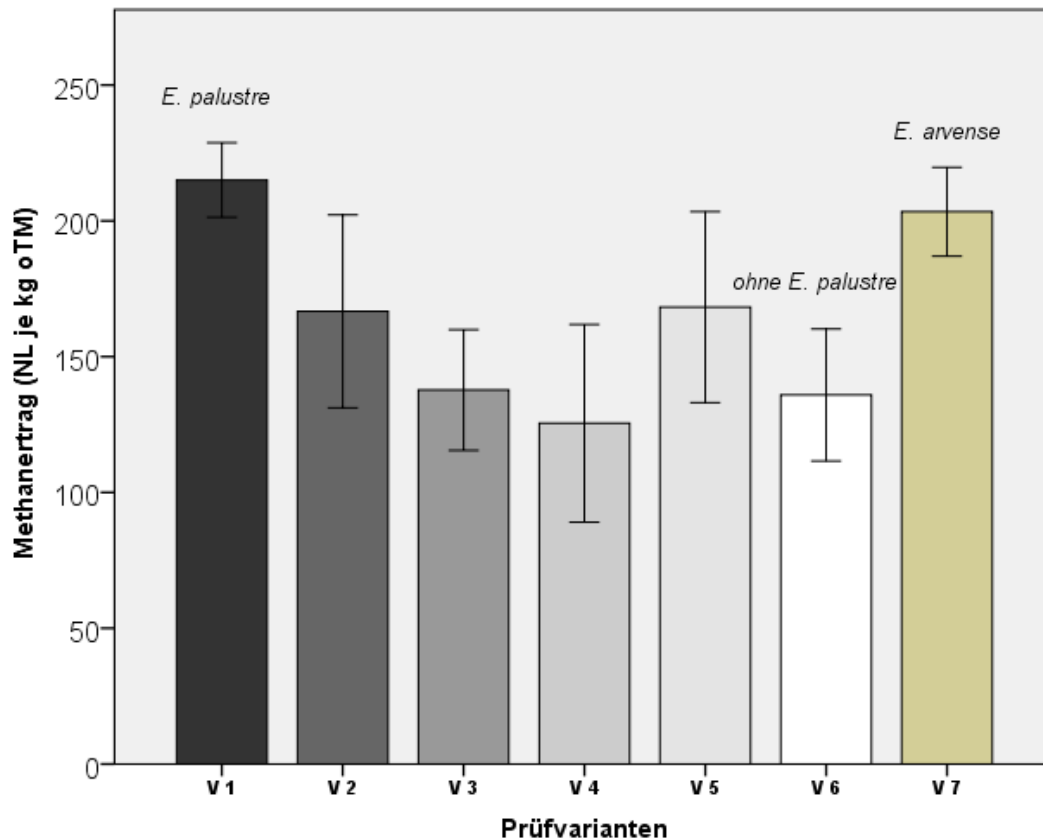


Abb. 5: Methanerträge (Normliter je kg oTM) der Prüfsubstrate (n=4; Fehlerbalken=SE)

Die Mischvarianten V2-V5 unterscheiden sich in den mittleren Methanerträgen nicht signifikant und bewegen sich erwartungsgemäß zwischen den Mischungskomponenten V1 und V6.

3.2 Ergebnisse der Feststoffvergärung

Auch im Verfahren der Feststofffermentation konnte der Duwock sein recht hohes Energiepotential unter Beweis stellen, der das des Gemenges, bestehend aus Begleitvegetation und Sumpfschachtelhalm, sogar übertraf (siehe Tab. 4).

Die verfahrenstechnischen Maßnahmen der Animpfung sowie der Verbesserung der Perkolationsführung führten bei einer Gärdauer von jeweils 54 d zu einer weiteren Erhöhung des Biogasertrages (Tab. 4).

Tab. 4: Einflüsse der Prüffaktoren auf substratspezifische Kenngrößen der Methanogenese

Var.	Substratspezifikation	Perkolation	NI Biogas * kg oTS ⁻¹	NI CH ₄ *kg oTS ⁻¹	CH ₄ -Anteil
15	E.p. rein	3 x10 l	413,91	186,58	45,08
16	Mix	3 x10 l	329,63	139,31	42,26
17	E.p. rein mit 20 % Animpfung	6 x 5 l	434,05	228,34	52,61
18	E.p. rein mit 20 % Animpfung	6 x 5 l	443,76	237,72	53,57
19	Mix mit 20% Animpfung	6 x 5l	348,47	200,48	57,53
20	Mix mit 20% Animpfung	6 x 5l	353,72	199,57	56,42
21	E.p. rein mit 20 % Animpfung	6 x 10 l (0- 20d), 6 x 5 l (21-54d)	741,83	377,79	50,93
22	E.p. rein mit 20 % Animpfung	6 x 10 l (0- 20d), 6 x 5 l (21-54d)	728,64	384,43	52,76
23	Mix mit 20% Animpfung	6 x 10 l (0- 20d), 6 x 5 l (21-54d)	685,1	401,71	58,64
24	Mix mit 20% Animpfung	6 x 10 l (0- 20d), 6 x 5 l (21-54d)	674,62	367,80	54,52

Die Biogasausbeute, aber auch die für die Verwertbarkeit des Biogases sehr bedeutsame Methankonzentration konnten durch eine optimierte Perkulationsführung entscheidend erhöht werden.

In Abbildung 6 ist der Verlauf der Methankonzentrationen im Biogas der Varianten E.p. rein sowie Mix in Abhängigkeit von der Perkulationsführung und der Gärdauer beispielhaft dargestellt. Insbesondere Methankonzentrationen oberhalb von 55% sind für eine wirtschaftliche Gestaltung der Biogasverwertung äußerst interessant, da derartige Gasqualitäten (ggfs. nach Aufreinigung vor Ort) direkt in Netze eingespeist werden können. Bei optimierter Perkolatführung kann der Bereich hoher CH₄-Gehalte ein bis zwei Wochen früher erreicht werden (siehe Abb. 6). Die im Vergleich zur Nassfermentation allgemein höheren Methankonzentrationen sind ein Vorteil des Verfahrens der Feststofffermentation, welcher dazu beitragen kann, den Nachteil der relativ langen Verweildauer zumindest teilweise zu kompensieren.

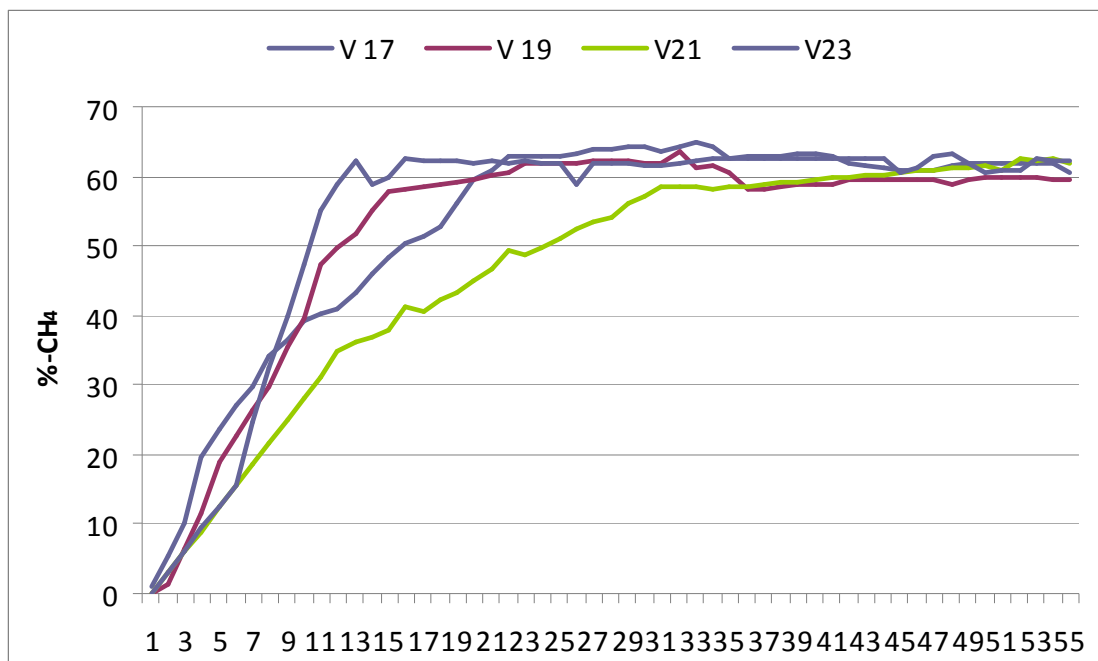


Abb. 6: Verlauf der Methankonzentrationen im Biogas der Varianten E.p. rein sowie Mix in Abhängigkeit von der Perkolationsführung und der Gärdauer

3.3 Einfluss des Palustringehaltes auf die Methanogenese

Die Palustringehalte wiesen eine sehr starke jahresspezifische Variation auf, so dass Konzentrationen über 150 mg Palustrin je kg Substrat-TM dem zweiten Beprobungsjahr vorbehalten blieben (siehe Tab. 5 und 6).

Tab. 5: Zusammensetzung (Mischungsanteile in % m) und Palustringehalte (mg·kg⁻¹ TM) der Prüfsubstrate (2009)

Prüfvariante	<i>E. palustre</i> L.	Begleit-vegetation	<i>E. arvense</i> L.	Palustringehalt Frischsubstrat	Palustringehalt Silage
V 1	100	0	0	84	39
V 2	80	20	0	108	39
V 3	50	50	0	31	30
V 4	20	80	0	-	-
V 5	10	90	0	15	34
V 6	0	100	0	39	24
V 7	0	0	100	11	-

Den Ursachen dieser starken Variation muss in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

Tab. 6: Zusammensetzung (Mischungsanteile in % m) und Palustringehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ TM) der Prüfsubstrate (2010)

Prüfvariante	<i>E. palustre</i> L.	Begleit-vegetation	<i>E. arvense</i> L.	Palustringehalt Frischsubstrat	Palustringehalt Silage
V 1	100	0	0	1774	2360
V 2	80	20	0	1012	1462
V 3	50	50	0	401	822
V 4	20	80	0	233	209
V 5	10	90	0	86	116
V 6	0	100	0	39	24
V 7	0	0	100	16	-

Es besteht keine Beziehung zwischen dem Palustringehalt und den Biogaserträgen (Abb. 7), so dass negative Beeinflussungen der Methanogenese durch diesen sekundären Inhaltsstoff auszuschliessen sind.

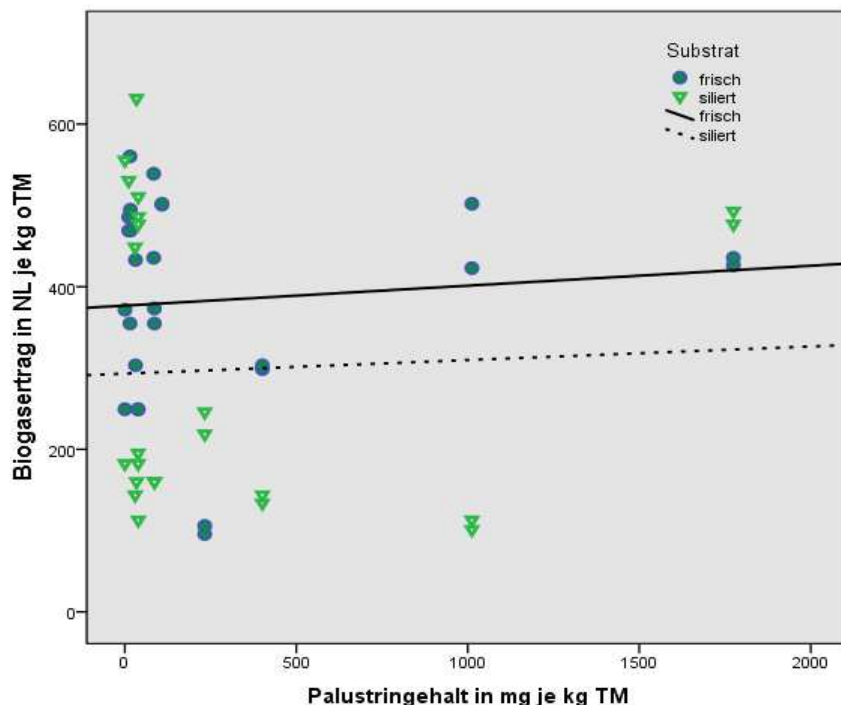


Abb. 7: Biogasertrag (Normliter je kg oTM) der Prüfsubstrate vs. Palustringehalt (mg je kg TM)

Dafür spricht auch das vergleichbare Niveau des Methanertrages beider Schachtelhalmarten bei höchst unterschiedlichem Wirkstoffgehalt.

3.4 Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Untersuchung zeigt, dass bei der Verwendung von stark mit Duwock besetzten Feuchtgrünland-Aufwüchsen für die Biogasfermentation keine negativen Effekte auf das Prozessgeschehen durch den sekundären Inhaltsstoff ‚Palustrin‘ zu befürchten sind. Das Palustrin wird im Zuge der Methanogenese nahezu vollständig abgebaut (Gehalte < 5 mg/kg Gärrest).

Dem Nachteil relativ hoher Siliziumgehalte der Schachtelhalmarten steht der Vorteil vergleichsweise geringer Rohfasergehalte und damit hoher Methanausbeuten der organischen TM gegenüber. Da die Gattung *Equisetaceae* ihre Standfestigkeit physiologisch stärker als Gramineen über Zellwandverkieselung als über Lignifizierung realisiert, erscheint der Einsatz stark Duwock-haltiger Aufwüchse in den klassischen Nassvergärungsanlagen als sinnvollste Option. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die entsprechenden Anlagen für den Halmguteinsatz optimiert sind.

Bei hohen Anteilen von Gramineen in der Begleitvegetation und naturschutzfachlich notwendigen späten Pflegeschnitten ist hingegen dem Verfahren der Feststofffermentation der Vorzug zu geben, wobei auf eine Substrat-angepasste Perkolationsführung besonderer Wert zu legen ist.

Literatur

Chen, Y., Cheng J.J. und Creamer, K.S. (2008): Inhibition of anaerobic digestion process: A review. In: *Bioresource Technology* 99, 4044-4064, 93-97.

Liebenow, H. und Liebenow, K. (1981): *Giftpflanzen*. 2. Auflage, Fischer Verlag. Jena, 1981.

4 Öffentlichkeitsarbeit

Müller, Jürgen "Analyse von Umweltauswirkungen des Anbaus von Bioenergiepflanzen - Untersuchungen zur Substrateignung von Grünlandaufwüchsen". Posterbeitrag, 04.02.2009, Güstrow (Organisation: Umweltbildungszentrum)

Jantzen, Christian „Zur Eignung von Grünlandaufwüchsen mit dem Bestandesbildner *Equisetum palustre* L. für Verfahren der Biomethanisierung“. Masterarbeit im Studiengang Agrarökologie, Universität Rostock, 2010

Müller, Jürgen; Wiedow, Denny; Jantzen, Christian; Dittmann, Lisa (2012): Eignung von Grünlandaufwüchsen mit dem Bestandesbildner *Equisetum palustre* L. für Verfahren der Biomethanisierung. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (13), S. 129-133

in Vorbereitung:

Jantzen, Christian; Wiedow, Denny; Müller, Jürgen (2013): Vergleich verschiedener energetischer Verwertungspfade von Feuchtgrünlandaufwüchsen am Beispiel von *Equisetum palustre* L. - Tagungsbeitrag „Reed as a Renewable Resource (RRR)“: International Conference on the Utilization of Wetland Plants, Greifswald 2013

Jantzen, Christian; Wiedow, Denny; Müller, Jürgen (2013): Comparison of different utilisation paths of wetland biomass for energy production - the case example of *Equisetum palustre* L. In: Mires and Peat (11)

Anlage B3

Projektbericht

Isolierung und Charakterisierung von Palustrin aus Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*)

Projektantrag:

PJ 058/07

„Sicherung Feuchtgrünland – Isolierung des Palustrins aus dem Sumpfschachtelhalm“
bewilligt am 19.11.2007

Projektzeitraum:

01.04.2008 bis 30.09.2008

Projektziel:

Das Ziel des Teilprojektes ist es, Palustrin aus *Equisetum palustre* zu isolieren und chemisch/physikalisch zu charakterisieren. Die zu isolierende Menge sollte ca. 100 mg in ausreichender Reinheit betragen. Das isolierte Palustrin wird als Referenzsubstanz für die Methodenentwicklung zur Analyse von Palustrin in Futterproben an Kooperationspartner abgegeben. Dort wird eine entsprechende Analysetechnik zum sensitiven Nachweis von Palustrin aus Futterproben erarbeitet.

Projektleiter:

Dr. Till Beuerle
Technische Universität Braunschweig
Institut für Pharmazeutische Biologie
Mendelssohnstr. 1
38106 Braunschweig
Tel.: 0531 391 5385
e-mail: t.beuerle@tu-bs.de