

Verbrennung von Grünlandbiomasse: Einfluss der botanischen Diversität auf Mineral- und Stickstoffgehalte und damit auf Korrosions- und Emissionsrisiken

J. Khalsa¹, T. Fricke¹, W. W. Weisser², A. Weigelt³, M. Wachendorf¹

¹UNIVERSITÄT KASSEL, GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, Witzenhausen, E-Mail: khalsa@uni-kassel.de

²TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, TERRESTRISCHE ÖKOLOGIE, München.

³UNIVERSITÄT LEIPZIG, SPEZIELLE BOTANIK UND FUNKTIONELLE BIODIVERSITÄT.

1. Einleitung und Problemstellung

Die bioenergetische Nutzung von diversem Extensivgrünland gilt als Alternative für Standorte, an denen sich Weidewirtschaft ökonomisch nicht mehr lohnt. Sie bietet die Möglichkeit zum Erhalt der Artenvielfalt und wichtigen Ökosystemfunktionen dieser Flächen. Die Verbrennung, als ein möglicher Wandlungsweg von Biomasse zu Energie, benötigt jedoch hinreichende Qualitätseigenschaften des Brennstoffs um Korrosions-, Emissions- und Verschlackungsprobleme vorbeugen zu können.

Die Konzentrationen von Stickstoff (N), Chlor (Cl) und Schwefel (S) in der Biomasse haben einen direkten Einfluss auf Korrosions- und Emissionseigenschaften. Die N-Konzentrationen in der Biomasse stehen in einer logarithmischen Beziehung zu den Stickoxid- (NO_x)-Emissionen (van Loo and Koppejan, 2008), welche zu den Hauptumwelteinflüssen der Biomasseverbrennung zählen. Cl ist verantwortlich für die Bildung von HCl und zusammen mit Alkalimetallen für die Bildung von Chloriden wie z.B. KCl oder NaCl. Außerdem kann bei der Verbrennung von Biomassen mit hohen Cl-Konzentrationen mit der Bildung von polychlorinierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F) gerechnet werden. S wird während der Verbrennung in Schwefeloxide (SO_x) umgewandelt, wobei 40-90% des S in der Asche gebunden werden und der Rest hauptsächlich in Form von SO₂ und zu einem kleineren Teil als SO₃ emittiert wird. Ein Teil der SO_x-Emissionen kann, durch eine Reaktion des SO_x mit den Alkalichloriden, zu Korrosionsschäden führen. Dabei wird Cl durch SO ersetzt und gasförmiges Cl₂ gebildet. Dieses gasförmige Cl₂ kann nun mit den Metallen in den Ofenwänden zu z.B. FeCl₂ reagieren.

Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) in der Asche spielen eine entscheidende Rolle für die Ascheerweichungstemperatur der Biomasse. Wenn z.B. die K-Konzentrationen gering und die Ca- und Mg-Konzentrationen hoch sind, kann mit hohen Ascheerweichungstemperaturen gerechnet werden.

Extensives Grünland ist oft sehr heterogen in seiner Zusammensetzung und schwankt daher stark in seinen Qualitätsparameter und somit auch in den Korrosions- und Emissionseigenschaften bezüglich einer Verwertung durch Verbrennung. Ob diese Schwankungen in Beziehung gestellt werden können mit dem Vorkommen funktioneller Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) und/oder der Artenzahl, war die Kernfragestellung dieser Studie, in der die Sommer- und Herbstaufwüchse des Jena-Experiments aus den Jahren 2008 und 2009 auf ihre N, Cl, S, K, Ca, Mg-Gehalte untersucht wurden.

2. Material und Methoden

Pflanzenbestände aus dem Artenpool der Glatthaferwiesen wurden mit steigender Artenzahl (1 - 60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena im Jahr 2002 etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt. Der Versuchsaufbau basiert auf einer vollständig randomisierten Blockanlage mit 82 Parzellen der Größe 20 x 20m. Auf diesen Parzellen wurden (in 4-facher Wiederholung) alle möglichen Kombinationen von Artenzahl x Anzahl funktioneller Gruppen realisiert. Zum Erhalt der Zielbestände wurden die Parzellen regelmäßig gejätet. Eine Düngung fand nicht statt (detailliertes Versuchsdesign siehe Roscher *et al.*, 2004). Von allen 82 Parzellen wurden in den Jahren 2008 und 2009, von den Sommer- als auch von den Herbstaufwüchsen, 300g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle genommen. Die geerntete Biomasse wurde bei 70°C 48 Stunden getrocknet und der Aschegehalt wurde nach Erhitzen bei 550°C bestimmt. Mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die Konzentrationen von S, Cl, K, Ca und Mg bestimmt während N-Konzentrationen durch Elementaranalyse (vario MAX CHN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt wurden.

Die statistische Analyse wurde als Varianzanalyse (ANOVA) mit sequentiellen Fehlerquadratsummen (sequential sum of squares; Schmid *et al.*, 2007) durchgeführt. Der Block-Effekt (Block) wurde an erster Stelle in das Modell gestellt, so dass alle folgenden Parameter frei von denen im Block enthaltenen Varianzen, die durch Unterschiede in den Bodeneigenschaften und dem Flächenmanagement auftreten, interpretiert werden konnten. Die 60-Artenparzellen wurden lediglich als Referenzpunkt für höchst mögliche Diversität genutzt, flossen aber in die ANOVA nicht mit ein. Außerdem mussten zwei Parzellen der Artenzahl = 1 aus dem Datensatz, auf Grund von Etablierungsproblemen, entfernt werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Unter den verschiedenen funktionellen Gruppen gab es keine die ausschließlich zu einer Verbesserung der Verbrenneigenschaften der Gesamtbiomasse geführt hätte (Tab. 1).

Die Leguminosen z.B. erhöhten leicht den Mg-Gehalt, verringerten den S-Gehalt, aber erhöhten auch das Risiko der NO_x-Bildung. Gräser hingegen verringerten die Gefahr von NO_x-Emissionen, aber auch den Mg-Gehalt, was sich negativ auf die Ascheerweichungstemperatur auswirken kann. Entlang des Artenzahlgradienten nahmen N und S signifikant (von 1 zu 60 Arten in beiden Schnitten ab (bei N um 14 % im 1. Schnitt und 18% im 2. Schnitt; bei S um 23% und 16%; Abb 1.).

Dies ist zunächst ein positiver Trend jedoch wird in Abb. 2. deutlich, dass die Werte generell weit über den empfohlenen Grenzwerten liegen.

In Abb. 3. zeigt sich, dass besonders die Konzentrationen von K sehr hoch sind und zu einem hohen Verschlackungsrisiko beitragen. Allerdings sind auch die Ca-Konzentration hoch und können diesem Trend entgegen wirken. Hierbei sind insbesondere die Leguminosen von Vorteil, die geringe K- und hohe Ca-Gehalte haben

Tab. 1: Varianzanalyse (ANOVA) von Stickstoff- (N), Magnesium- (Mg) und Schwefelgehalt (S) in Abhängigkeit der Artenzahl (AZ) und Vorkommen/Nichtvorkommen der funktionellen Gruppen (Lg = Leguminosen; Gr = Gräser; kl. K = kleine Kräuter; gr. K = große Kräuter). Erster und zweiter Schnitt wurden separat analysiert. Pfeile deuten auf eine Zunahme (↑) oder Abnahme (↓) mit dem Vorkommen der jeweiligen funktionellen Gruppe oder der ansteigenden Artenzahl hin. (Freiheitsgrade = FD).

Schnitt	Parameter	FD	N (g kg ⁻¹ TM)		Mg (g kg ⁻¹ DM)		S (g kg ⁻¹ DM)	
			F	P	F	P	F	P
1.	Block	3	2	0.182	4	0.013	7	<0.001
	Log (AZ)	1	3	0.082↓	10	0.003↓	35	<0.001↓
	Lg	1	13	<0.001↑	68	<0.001↑	3	0.105
	Gr	1	24	<0.001↓	74	<0.001↓	21	<0.001↓
	kl. K	1	1	0.367	<1	0.498	<1	0.817
	gr. K	1	1	0.453	<1	0.919	7	0.009↓
	Residuen	67						
2.	Block	3	2	0.149	5	0.003	2	0.146
	Log (AZ)	1	11	0.001↓	8	0.006↓	23	<0.001↓
	Lg	1	79	<0.001↑	18	<0.001↑	19	<0.001↓
	Gr	1	7	0.008↓	13	0.001↓	<1	0.741
	kl. K	1	1	0.246	1	0.416	<1	0.998
	gr. K	1	10	0.003↓	<1	0.578	<1	0.691
	Residuen	67						

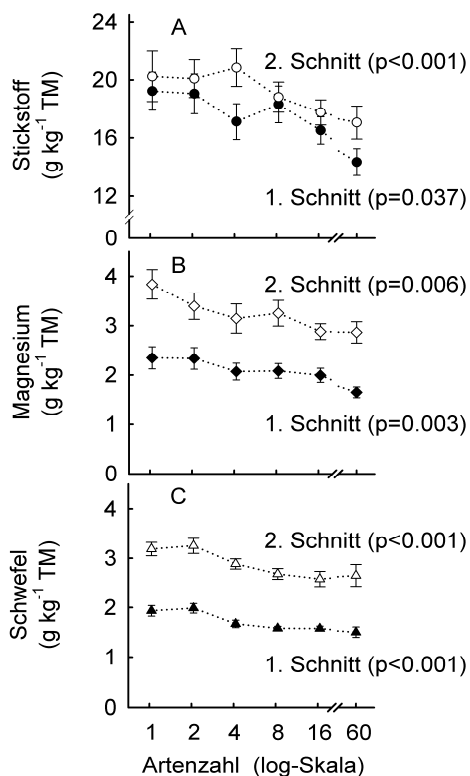


Abb. 1: Einfluss der Artenzahl auf N-, Mg- und S-Gehalt in den Biomassen der beiden Schnitte. Fehlerbalken zeigen Standardfehler.

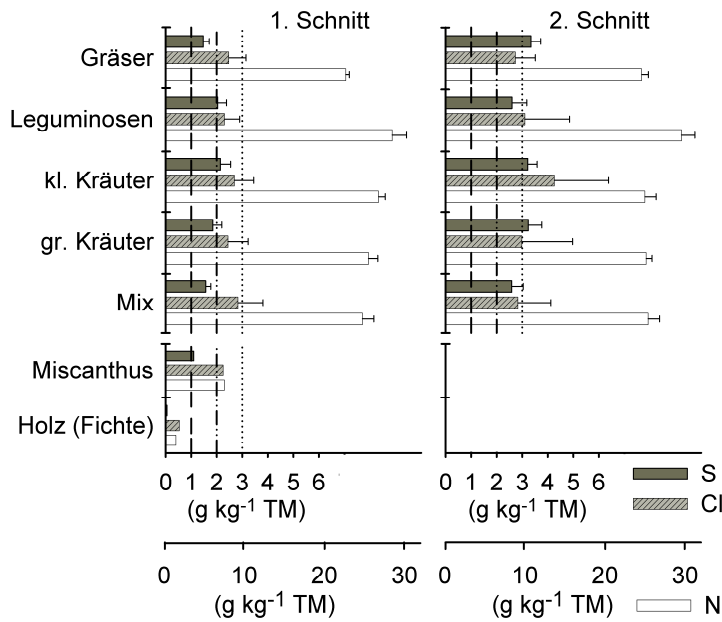


Abb. 2: S-, Cl- und N-Konzentrationen in den Funktionele-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionele-Gruppen-Mischungen (Mix) zu beiden Schnittzeitpunkten. Außerdem sind dargestellt der 1 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), relevant für Korrosion durch S und Cl, der 2 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), relevant für SO_x -Emissionen und der 3 g kg^{-1} TM-Grenzwert (.....), relevant für PCDD/F-Emissionen bedingt durch Cl (Grenzwerte nach Oberberger *et al.*, 2006). Zum Vergleich wurden Werte für Holz (Fichte, als Hackschnitzel) und Miscanthus aufgeführt.

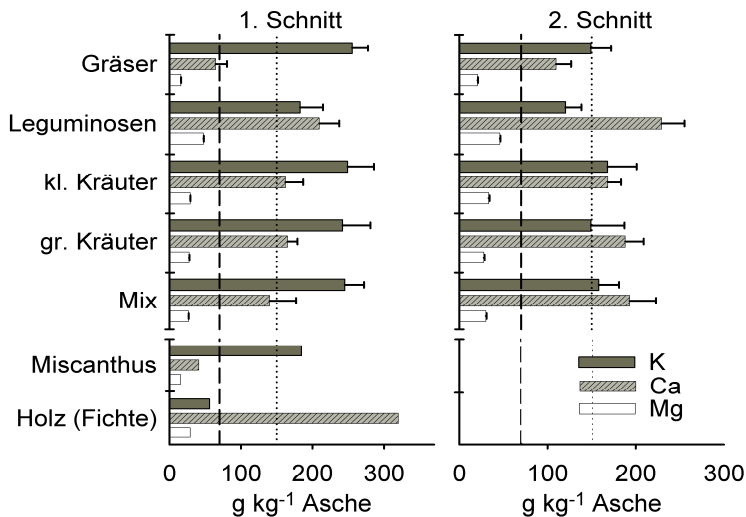


Abb. 3: K-, Ca- und Mg-Konzentrationen in der Asche der Funktionele-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionele-Gruppen-Mischungen (Mix) zu beiden Schnittzeitpunkten. Der 70 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), den die K-Konzentrationen nicht überschreiten sollten und der 150 g kg^{-1} TM-Grenzwert (.....), über dem die Ca-Konzentrationen liegen sollten um die Ascheerweichungstemperaturen hoch zu halten, wurden nach Oberberger *et al.* (2006) dargestellt.

4. Schlussfolgerungen

In dieser Studie konnten eindeutige Diversitätseffekte für verbrennungsrelevante Parameter von extensiver Grünlandbiomasse nachgewiesen werden. Diese werden detaillierter in Khalsa *et al.* (2012) diskutiert. Sowohl das Vorkommen von einzelnen funktionellen Gruppen, als auch die Artenzahl können sich positive auf Emissions-, Korrosions- und Verschlackungsrisiko auswirken. Allerdings stehen positiven Attributen bestimmter funktioneller Gruppen oftmals auch negative gegenüber. Generell lässt sich sagen, dass insbesondere die Konzentrationen von N, Cl, S und K sehr hoch waren und eine Aufbereitung der Biomasse erforderlich machen. Es gab erfolgreich Studien zu einem hydrothermalen Konditionierungsverfahren gekoppelt mit einer mechanischen Entwässerung (IFBB), bei dem z.B. 74-84 % des K und 79-89 % des Cl, in Abhängigkeit der Konditionierungstemperatur, aus der Biomasse gewaschen werden konnten (Richter *et al.*, 2010; Richter *et al.*, 2011). Solch eine Aufbereitung ist für die hier untersuchten Biomassen zu empfehlen.

Literatur

- KHALSA, J., FRICKE, T., WEISSER, W.W., WEIGELT, A. und WACHENDORF, M. 2012: Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion - Results from a diversity grassland experiment. *Grass and Forage Science*, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T. und BÄRNTHALER, G. (2006): Chemical properties of solid biofuels - significance and impact. Standardisation of Solid Biofuels in Europe. *Biomass and Bioenergy* 30, 973–982.
- RICHTER, F., FRICKE, T. und WACHENDORF, M. (2010) Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. III. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on solid fuel properties and on energy and greenhouse gas balances. *Grass and Forage Science* 65, 185–199.
- RICHTER, F., FRICKE, T. und WACHENDORF, M. (2011) Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 1. The fate of mineral compounds. *Bioresource Technology* 102, 4855–4865.
- ROSCHE, C., SCHUMACHER, J., BAADE, J., WILCKE, W., GLEIXNER, G., WEISSER, W.W., SCHMID, B. und SCHULZE, E.-D. (2004): The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5, 107-121.
- SCHMID, B., HECTOR, A., HUSTON, M. A., INCHAUSTI, P., NIJS, I., LEADLEY, P. W. und TILMAN, D. (2007): The design and analysis of biodiversity experiments. In M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti (eds.). *Biodiversity and ecosystem functioning: Synthesis and perspectives*. Oxford Univ. Press, Oxford. 61–75.
- VAN LOO, S. und KOPPEJAN, J. (2008): *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan, London, UK.