

Chemische und botanische Determinanten der Mineralstoffgehalte in Brennstoffen von extensiv genutztem Grünland in Europa

F. Hensgen¹, L. Bühle¹, I. Donnison², K. Heinsoo³, M. Wachendorf¹.

¹ UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,

Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, DE, hensgen@uni-kassel.de

² INSTITUTE OF BIOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND RURAL SCIENCES, ABERYSTWYTH, Gogerddan, Aberystwyth, SY23 3EB, UK

³ ESTONIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES, Riia 181, Tartu 51014, EE

1. Einleitung und Problemstellung

Extensives Grünland beherbergt eine große Zahl an seltenen Pflanzenarten und ist Habitat für viele Tierarten. Diese Biodiversität ist bedroht durch Intensivierung und Verbrachung (ISSELSTEIN et al., 2005). Der Erhalt des extensiven Grünlands ist eines der Hauptziele der europäischen Naturschutzpolitik. Regelmäßiger später Schnitt ist notwendig um die gegenwärtige Vielfalt zu erhalten, wird aber oftmals aus ökonomischen Gründen nicht durchgeführt (OSTERMANN, 1998). Die Nutzung des Aufwuchses dieser Flächen zur Bioenergieerzeugung würde diese Problematik lösen. Jedoch erschweren die chemischen Eigenschaften des Aufwuchses eine Nutzung mit herkömmlichen Konversionstechniken wie Vergärung oder Verbrennung. Die biologische Vergärung des Materials wird erschwert durch hohe Ligningehalte, die zu langen Verweilzeiten im Fermenter und geringen Biogaserträgen führen (RICHTER et al. 2009). In der Verbrennung führen die erhöhten Gehalte an S, K, Mg, Cl und N zu Problemen durch Korrosion, Emissionen und Ascheverschlackung (OBERNBERGER et al., 2006).

Das von der Universität Kassel entwickelte IFBB (Integrierte Erzeugung von Festbrennstoff und Biogas aus Biomasse) System nutzt diese extensiven Aufwüchse. Dazu werden die Mineralstoffe mittels Maischung und anschließender Abpressung in den Presssaft transferiert, wohingegen der anfallende Presskuchen mineralstoffärmer und damit besser zur Verbrennung geeignet ist (WACHENDORF et al. 2009). Der IFBB Prozess wurde intensivst untersucht (RICHTER et al. 2011 a, b) und die Verbesserung der Brennstoffqualitäten konnte dabei nachgewiesen werden. Diese Studie untersucht die Faktoren, welche die Massenflüsse der Mineralstoffe in den Presssaft und die Konzentrationen der schädlichen Elemente im Presskuchen beeinflussen. Untersucht wurden die Auswirkungen chemischer Parameter, wie die des Fasergehalts der Silage aber auch die Auswirkungen botanischer Parameter, wie der Zusammensetzung der Silage nach unterschiedlichen funktionellen Gruppen.

2. Material und Methoden

Jeweils sechs Untersuchungsflächen im Vogelsberg, Estland und in Wales wurden in dreifacher Wiederholung auf je 100m² untersucht. Die Flächen wurden ausgesucht um möglichst unterschiedliche, extensive Grasland-Vegetationen wiederzuspiegeln. Botanische Parameter wurden auf einer 5m x 5m Teilfläche untersucht. Die Bedeckungsgrade der Arten wurden nach LONDO (1975) aufgenommen, ebenso die Bedeckungsgrade der funktionellen Gruppen Gräser, Kräuter, Leguminosen und Sauer-

gräser. Die Beerntung der Flächen wurde mit einem Balkenmäher in 5 cm Schnitthöhe durchgeführt. Der Zeitpunkt wurde für jede Fläche gesondert festgelegt und variierte zwischen Juni und Oktober. Etwa 20 kg der Biomasse wurde direkt in 60L Polyethylenfässer siliert. Und für 6 Wochen siliert. Ertragsberechnungen wurden auf 5m² durchgeführt. Trockenmasse wurde durch Trocknung der Proben bei 105°C für 48h analysiert. Die Proben wurden mithilfe des mobilen IFBB Prototypen aus dem Prograss Projekt verarbeitet. (Fig. 2). Die Silage wurde 30 Minuten mit 25°C warmen Frischwasser gemischt und anschließend mit einer Schneckenpresse abgepresst (AV, Anhydro Ltd., Kassel, Germany; Steigung 1:6, Perforation 1,5 mm). Proben von Silage und Presskuchen wurden bei 60°C für 24h getrocknet. C, H und N wurden mit dem Vario MAX CHN (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) analysiert. Der Gehalt an K, Mg, Ca, Cl, S und P wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelt und die Weender und van Soest Fraktionen nach Standardmethoden und Nahinfrarotspektroskopie. Die Massenflüsse der genannten Elemente in den Presssaft wurden nach folgender Formel berechnet:

$$MF_{X_{PC}} = \frac{M_{PC} * C_{X_{PC}}}{M_{Sil} * C_{X_{Sil}}}$$

$$MF_{X_{PF}} = 1 - MF_{X_{PC}}$$

mit:

$MF_{X_{PC}}$: Relativer Massenfluss eines Elementes X in den Presskuchen

M_{PC} : Gewicht des Presskuchens [kg]

$C_{X_{PC}}$: Konzentration des Elementes X im Presskuchen [g kg⁻¹]

M_{Sil} : Gewicht der Silage [kg]

$C_{X_{Sil}}$: Konzentration des Elementes X in der Silage [g kg⁻¹]

$MF_{X_{PF}}$: Relativer Massenfluss eines Elementes X in den Presssaft

Statistische Auswertungen wurden vorgenommen unter Zuhilfenahme der Software R (R Development Core Team, 2011). Um zu untersuchen ob sich die Gehalte an Elementen in Presskuchen und Silage und innerhalb der untersuchten Regionen signifikant unterscheiden wurde eine ANOVA durchgeführt. Der Effekt der chemischen und botanischen Zusammensetzung der Silage auf die Brennstoffqualität wurde mittels multipler linearer Regression untersucht. Vorausgehende Studien haben gezeigt, dass Neutrale Detergentien Faser NDF und Trockensubstanzgehalt der Silage maßgeblichen Einfluss auf die Mineralstoffgehalte des Presskuchens haben (Richter et al., 2011a, b). Daher wurden diese Faktoren auch in dieser Studie in die statistische Modellierung miteinbezogen. Andere Faktoren wie Lignin, Rohfett und Rohprotein erwiesen sich als nicht aussagekräftig. Die Daten der botanischen Zusammensetzung wurden ebenfalls in die Berechnung einbezogen. Aufgrund des Vorliegens von Multikollinearität wurden drei der vier funktionellen Gruppen in das Modell einbezogen (Gras, Kräuter und Leguminosenanteil) und der NDF-Gehalt als chemische Determinante. Quadratische Zusammenhänge und zweifach Interaktionen wurden ebenfalls berücksichtigt. Ein Faktor verblieb im jeweiligen Modell, wenn seine Signifikanz $p <$

0.05 war. Die Modellentwicklung folgte den Prinzipien der Hierarchie und Marginalität (Nelder und Lane, 1995). Der Test für Homogene Varianzen wurde graphisch durchgeführt und die Normalverteilung mit dem Shapiro Wilk Test überprüft. Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben waren wurden die Daten log-transformiert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Massenfluss der Trockenmasse in den Presssaft betrug 20%. Die Massenflüsse der schädlichen Elemente waren deutlich höher, daher wurden die Gehalte dieser Elemente im Presskuchen, im Verhältnis zur Ausgangsbiomasse, reduziert (Abb.1). Die höchste Reduktion erfuhr hierbei der Cl und K Gehalt, da diese beiden Elemente in wasserlöslicher Form vorliegen. Niedrige Massenflüsse wurden hingegen für N und Ca beobachtet. Die Massenflüsse für S lagen im mittleren Bereich. Die Konzentrationen an schädlichen Mineralstoffen im Presskuchen waren deutlich geringer als in der Silage. Mit der Ausnahme des Stickstoffs konnten für die Verbrennung unbedenkliche Werte erreicht werden. Die erhöhten N-Werte bedingen eine angepasste Brennstoffführung in der Verbrennungskammer um NO_x Emissionen zu verhindern.

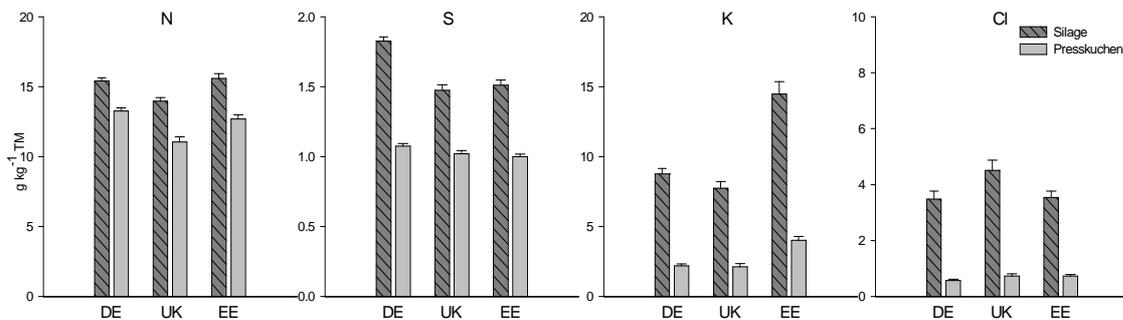


Abb. 1: Konzentration von N, S, K, Cl in Silage und Presskuchen ($\text{g kg}^{-1} \text{TM}^{-1}$) von Standorten in Deutschland (DE), Wales (UK) und Estland (EE), Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler des Mittelwertes

Die Konzentrationen von Asche, N und den Mineralstoffen im Presskuchen ließen sich mithilfe des NDF-Gehaltes der Silage und botanischen Parametern vorhersagen (Abb.2). Die Bestimmtheitsmaße der Vorhersagen für TM ($R^2: 0.63$), Asche ($R^2: 0.70$), N ($R^2: 0.73$), K ($R^2: 0.64$), Mg ($R^2: 0.79$) und Ca ($R^2: 0.74$) waren aussagekräftig, wohingegen Cl ($R^2: 0.56$) und S ($R^2: 0.45$) nur mittelmäßig und P ($R^2: 0.34$) sehr schlecht zu modellieren waren. Abb.2 a) und b) zeigt, dass sich der Ascheanteil im Presskuchen reduziert, wenn grasreiches und leguminosenarmes Ausgangsmaterial mit einem hohen Fasergehalt verwendet wird. Für den Stickstoff zeigte sich, dass der Fasergehalt der Silage den stärksten Einfluss auf die N-Gehalte im Presskuchen hat. Je höher der Fasergehalt der Silage desto geringer sind die N-Gehalte im Presskuchen (Abb. 2. c)). Dies gilt insbesondere bei geringen Leguminosenanteilen. Auch der Magnesiumgehalt im Presskuchen war umso geringer, je niedriger der Grasanteil der Silage war und umso höher je höher der Leguminosenanteil war. (Abb.2 d) und e)). Der Krautanteil zeigte dieselbe Tendenz wie der Grasanteil und auch ein höherer Faseranteil führte zu niedrigeren Mg-Gehalten im Presskuchen (Abb. 2 f)).

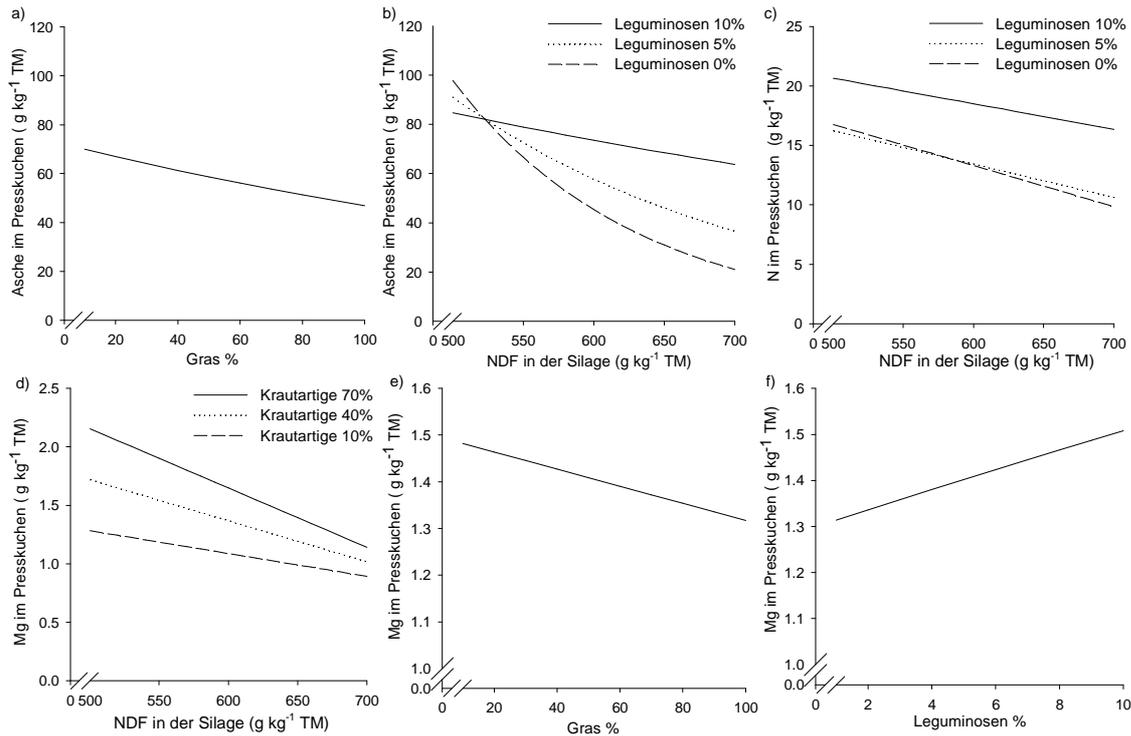


Abb. 2: Modellierung der Konzentrationen im Presskuchen von Asche (a,b), N (c) und Mg (d,e,f) Bedeckungsgrade in %, Konzentrationen in g kg⁻¹ TM.

4. Schlussfolgerungen

Das IFBB Verfahren führt zu einer deutlichen Verbesserung der chemischen Zusammensetzung des extensiven Grünlandmaterials für die energetische Nutzung durch Verbrennung. Insbesondere der Chlor- und Kalium-Gehalt wird reduziert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass möglichst älteres, faserreiches Material bevorzugt zur Brennstoffherzeugung eingesetzt werden sollte und bezüglich der botanischen Zusammensetzung möglichst grasreiches Material bevorzugt werden sollte.

Literatur

- ISSELSTEIN, J., JEANGROS, B. & PAVLU, V. (2005): Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe- a review. *Agron. Res.* 3, 139-151.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten (Decimal scale for plant sociological survey of permanent squares), in: Tüxen, R., (ed.), *Sukzessionsforschung (succession research)*, Ber. int. Symp. IVV., Vaduz, 1973, pp. 613-617.
- NELDER, J.A., und LANE, P.W. (1995): The computer analysis of factorial experiments. In memoriam: Frank Yates. *Amer. Stat.* 49, 382-385.
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T. & BÄRNTHALER, G. (2006): Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass Bioenergy* 30, 973–982.
- OSTERMANN, O.P. (1998): The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. *J. Appl. Ecol.* 35, 968-973.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Posterbeiträge: Sektion Energetische Nutzung

RICHTER, F., GRAß, R., FRICKE, T., ZERR, W. & WACHENDORF, M. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. II. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on anaerobic digestion of press fluids. *Grass Forage Sci.* 64, 354-363.

RICHTER, F., FRICKE, T. & WACHENDORF, M. (2011 A): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 1. The fate of mineral compounds. *Bioresour. Technol.* 102, 4855-4865.

RICHTER, F., FRICKE, T. & WACHENDORF, M. (2011 B): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 2. Properties of energy carriers and energy yield. *Bioresour. Technol.* 102, 4866-4875.

WACHENDORF, M., RICHTER, F., FRICKE, T., GRAß, R. & NEFF, R. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass Forage Sci.* 64, 132-143.