

## **Einfluss der natürlichen Variabilität und zweier Qualitätsoptimierungsstrategien auf die Verbrennungseignung von Extensivgrünland-Aufwüchsen**

B. Tonn<sup>1</sup>, U. Thumm<sup>2</sup>, W. Claupein<sup>2</sup>

1: GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR  
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,  
von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen,

2: UNIVERSITÄT HOHENHEIM, INSTITUT FÜR KULTURPFLANZENWISSENSCHAFTEN (340),  
70593 Stuttgart, btonn@uni-goettingen.de

### **1. Einleitung und Problemstellung**

Für die energetische Nutzung spät geschnittener, rohfaserreicher Grünlandaufwüchse, die in der Tierfütterung nur bedingt verwertbar sind, stellt die Verbrennung ein mögliches Konversionsverfahren dar. Umweltrelevante Emissionen bei der Verbrennung und Beschädigung der Feuerungsanlage durch ungünstiges Asche-Hochtemperaturverhalten stellen jedoch Risiken dar, die den Einsatz dieser Aufwüchse in der Verbrennung erheblich einschränken können. Beide Problembereiche stehen in engem Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung der Biomasse: Hohe Asche- und N-Gehalte führen zu erhöhten Staub- und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Durch Übergang von K und Cl in die Gasphase bei höheren Temperaturen führen hohe Gehalte dieser Elemente zu Verschmutzung und Korrosion des Wärmetauschers. Hohe Anteile von K und niedrige Anteile von Ca und Mg in der Biomasseasche werden darüber hinaus mit niedrigen Ascheschmelzpunkten in Verbindung gebracht, in deren Folge es zur Verschlackung des Brennraums kommen kann (VAN LOO und KOPPEJAN, 2008). Die aufgezählten Prozesse sind je nach Feuerungsanlage von unterschiedlich hoher Relevanz. Bei entsprechender Kenntnis der Einflussfaktoren auf verbrennungsrelevante Qualitätsparameter ist es daher möglich, für spezifische Einsatzzwecke Grünlandaufwüchse ausreichend hoher Brennstoffqualität zu selektieren.

Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie hoch der relative Einfluss von Schnitzeitpunkt, botanischer Zusammensetzung und Standortbedingungen für die beobachtete hohe natürliche Variabilität der Brennstoffqualität von Extensivgrünland-Aufwüchsen ist. Weiter wurde geprüft, ob bei anderen halmgutartigen Biofestbrennstoffen angewandte Qualitätsoptimierungsstrategien das Potenzial haben, auch bei Extensivgrünland-Aufwüchsen die chemische Zusammensetzung zu verbessern. Hierzu wurden die Effekte der z.B. bei *Miscanthus* und Rohrglanzgras angewandten Winterernte sowie der bei Getreidestroh praktizierten Auswaschung unerwünschter Inhaltsstoffe durch Regen während der Feldliegezeit untersucht.

### **2. Material und Methoden**

Die Feldversuche wurden an sechs Extensivgrünland-Standorten in Baden-Württemberg durchgeführt (Tab. 1). Standort IV hatte vor Versuchsbeginn in unregelmäßigen Abständen geringe Mengen an Stallmist erhalten, die anderen Ver-

suchsstandorte waren langjährig ungedüngt. Zur Untersuchung der natürlichen Variabilität der Biomassequalität wurde an allen Standorten an fünf Schnittzeitpunkten (Mitte Juni - Mitte Oktober 2007 in monatlichen Abständen) der erste Aufwuchs geerntet. Eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> wurde von Hand mit einer Schnitthöhe von 7 cm beerntet. Die geerntete Biomasse wurde in die Biomassefraktionen „Gräser“ (*Poaceae*, *Juncaceae*, *Cyperaceae*) und „Kräuter“ (übrige Arten) sortiert. Beide Fraktionen wurden separat analysiert. Zur Ermittlung des Effekts der Winterernte wurden zwei weitere Ernten vorgenommen (Mitte Dezember 2007, Mitte Februar 2008), wobei zu diesen Schnittzeitpunkten die geerntete Biomasse nicht sortiert wurde. Beide Feldversuche wurden an jedem Standort in einer gemeinsamen randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen durchgeführt.

Die Biomasse für die Auswaschungsversuche wurde in den Monaten Juli und September an den Standorten I-V gewonnen. Unbehandelte Biomasseproben wurden mit Proben verglichen, die mit zwei unterschiedlichen Intensitäten mittels einer standardisierten Labormethode ausgewaschen wurden. Hierbei wurden Biomasseproben für 10 bzw. 120 min in wassergefüllten Schüttelflaschen auf einem Laborschüttler behandelt. Vorangegangene Versuche mit simuliertem Regen zeigten, dass die 10-minütige Auswaschung einer Regenmenge von ca. 30-40 mm, die 120-minütige Auswaschung einer Regenmenge von > 70 mm entspricht (TONN *et al.*, 2011).

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte

Nr.	Pflanzengesellschaft	Üblicher Schnittzeitpunkt	Standort <sup>1</sup>	Boden		
				pH	K <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>2</sup>
I	Kalkmagerrasen	Okt./Nov.	410 m ü. NN, 8 °C, 750 mm	7,4	18	1
II	Kalkmagerrasen	Okt./Nov.	525 m ü. NN, 9 °C, 900 mm	7,3	20	1
III	Salbei-Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	435 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	5,9	16	2
IV	Typische Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	520 m ü. NN, 9 °C, 900 mm	7,2	27	2
V	Kohldistel-Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	430 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	5,5	9	5
VI	Großseggenried	nicht geschnitten	435 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	6,2	10	4

1: Höhenlage, mittlere Jahresdurchschnittstemperatur, mittlere Jahresniederschlags-summe

2: Pflanzenverfügbare Bodennährstoffgehalte (CAL, in mg/100 g)

Alle Biomasseproben wurden auf ihre Asche-, N-, Cl-, K-, Ca- und Mg-Gehalte analysiert. Für die Proben des Auswaschungsversuchs sowie für 35 repräsentative Proben der beiden Feldversuche wurden zusätzlich die Si-Gehalte bestimmt und das Ascheschmelzverhalten untersucht. Hierzu wurden gemahlene Biomasseproben bei 650 °C verascht und anschließend jeweils 200 mg der so erzeugten Asche in einem Muffelofen für zwei Stunden auf 1000 °C erhitzt. Die erhitzten Ascheproben wurden mit Hilfe eines Stereomikroskops in vier Kategorien eingeteilt (lose, leicht versintert, stark versintert, geschmolzen; siehe TONN *et al.* (2012)). Zur Charakterisierung der Aschezusammensetzung wurden die Verhältnisse K/Asche, Si/Asche,

(Ca+Mg)/Asche berechnet und auf eine Summe von 100 % normalisiert (im Folgenden als  $K_n$ ,  $Si_n$  und  $(Ca+Mg)_n$  bezeichnet).

Auf Grundlage einer varianzanalytischen Auswertung der einzelnen Versuche wurden lineare Kontraste zwischen folgenden Gruppen berechnet:

- a) Natürliche Variabilität
  - Schnittzeitpunkt Juni – Schnittzeitpunkt Okt.
  - Biomassefraktion Kräuter – Biomassefraktion Gräser
  - Standort mit maximalem Gehalt – Standort mit minimalem Gehalt
- b) Winterernte
  - Schnittzeitpunkt Okt. – Schnittzeitpunkt Dez.
  - Schnittzeitpunkt Okt. – Schnittzeitpunkt Feb.
- c) Auswaschung
  - Kontrolle – 10 min Auswaschung
  - Kontrolle – 120 min Auswaschung

Die Analyse erfolgte an log-transformierten Daten. Durch Rücktransformierung von der log-Skala werden die berechneten Kontraste als Anteil der ersten Kontrastvariablen ausgedrückt. Zu weiteren Details der Versuchsdurchführung und -auswertung siehe TONN *et al.* (2010, 2011, 2012).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Von Juni bis Oktober nahmen die K-Gehalte der Grünlandaufwüchse um durchschnittlich 28 % ab und die Ca-Gehalte um 23 % zu (Abb. 1a). Die weiteren untersuchten Inhaltsstoffe wurden durch den Schnittzeitpunkt nur in geringem Maße beeinflusst. Die botanische Zusammensetzung hatte dagegen einen deutlichen Einfluss auf die Biomassequalität. Mit Ausnahme von Cl waren die Gehalte der untersuchten Inhaltsstoffe in Kräutern höher als in Gräsern. Der Unterschied dieser beiden Biomassefraktionen war für Ca und Mg besonders groß und über Standorte und Schnittzeitpunkte hinweg konsistent. Die Cl-, Mg- und K-Gehalte sowie in geringerem Maße die Ca-Gehalte wiesen zusätzlich einen starken Standorteinfluss auf.

Winterernte führte bei allen Aufwüchsen zu einer starken Reduktion der K- und Cl-Gehalte von im Mittel 73-84 % (K) und 78-90 % (Cl). Von den anderen untersuchten Inhaltsstoffen wurde nur Mg in stärkerem Maße reduziert (Abb. 1b). Der Schnittzeitpunkt Februar führte gegenüber dem Schnittzeitpunkt Dezember nur zu geringen qualitativen Änderungen, war aber mit deutlich höheren Biomasseverlusten verbunden (TONN *et al.*, 2008). Auswaschung reduzierte ebenfalls vor allem K- und Cl-Gehalte (Abb. 1c). Eine mit dem Effekt der Winterernte vergleichbare Reduktion trat jedoch erst nach 120-minütiger Auswaschung auf. Bei der 10-minütigen Auswaschung, die eher der unter Feldbedingungen realisierbaren Auswaschungsintensität entspricht, wurden die K-Gehalte im Mittel um 30 %, die Cl-Gehalte um 45 % reduziert.

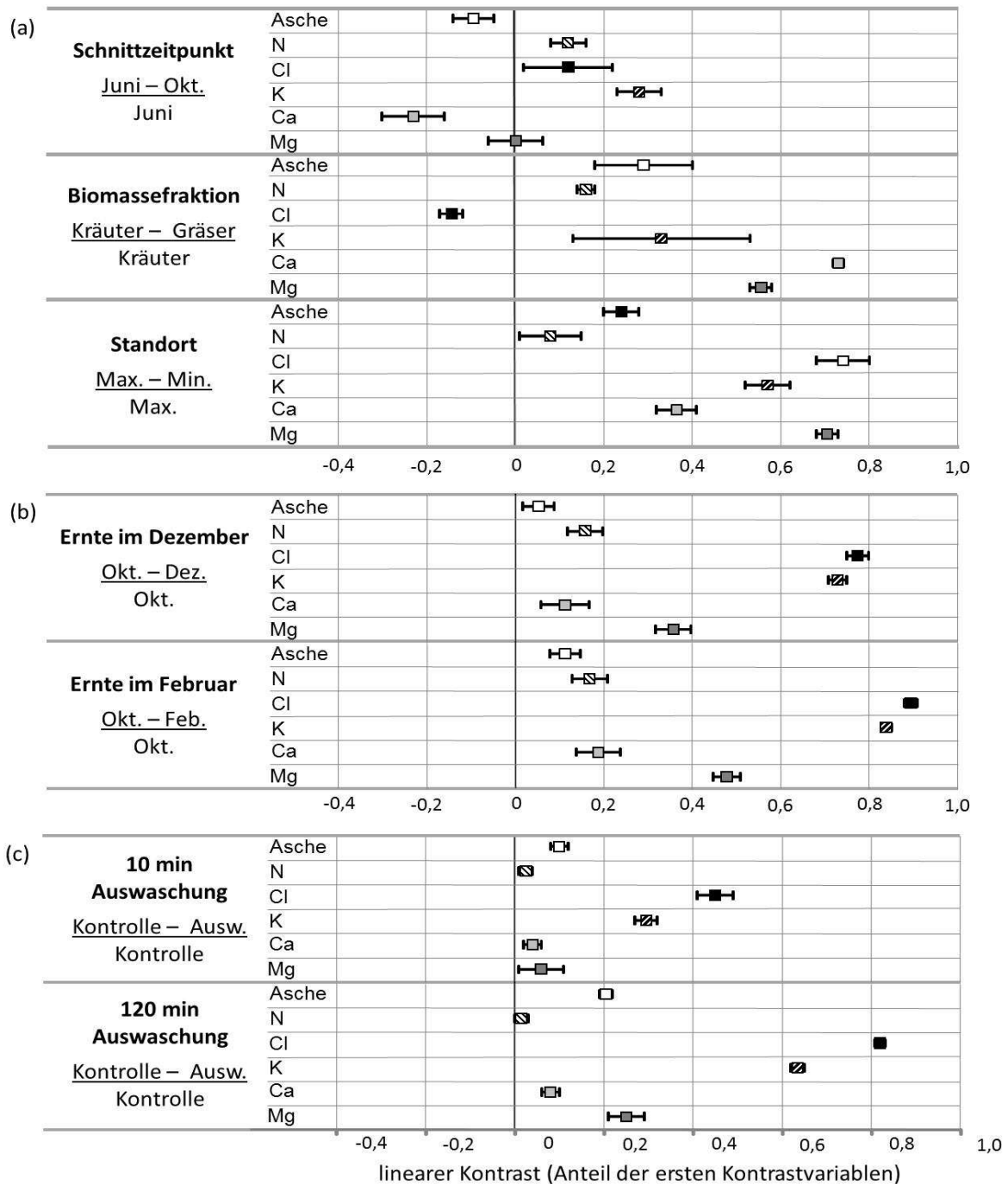


Abb. 1: Einfluss (a) der natürlichen Variabilität sowie der Qualitätsoptimierungsverfahren (b) Winterernte und (c) Auswaschung auf die Gehalte von Asche und verbrennungsrelevanten Elementen in Grünlandaufwüchsen. Lineare Kontraste der log-transformierten Parameter, ausgedrückt als Anteil der ersten Kontrastvariablen. Fehlerbalken: Vertrauensintervall ( $\alpha=0,05$ ).

Unter den zwischen Juni und Oktober geernteten Varianten traten sowohl unter den Gräsern als auch unter den Kräutern bei 1000 °C vollständig geschmolzene Ascheproben auf, während die Asche der im Dezember und Februar geernteten Proben als „lose“ klassifiziert wurde (Abb. 2a). Die Stärke des beobachteten Ascheschmelzens stand dabei im Zusammenhang mit den  $K_n$ -Gehalten. Für den Verbrennungsprozess potenziell problematische stark versinterte oder geschmolzene Proben traten nur bei

Werten von  $K_n > 26\%$  auf. Die Reduktion der K-Gehalte durch Auswaschung führte dem entsprechend ebenfalls zu einer Verbesserung des Ascheschmelzverhaltens (Abb. 2b).

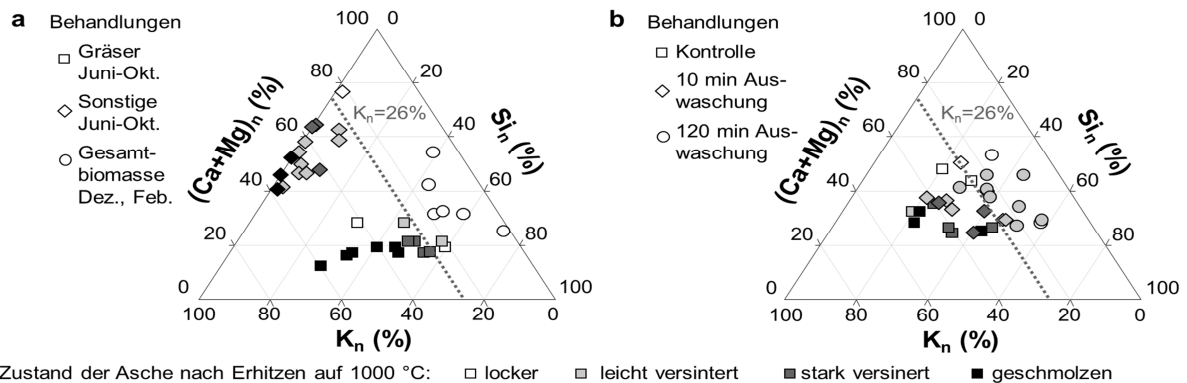


Abb. 2: Zustand der Asche nach Erhitzen auf 1000 °C in Abhängigkeit von den normalisierten Konzentrationen von K, Si und Ca+Mg. (a) Ergebnisse des Feldexperimentes, (b) Auswaschungsversuche.

#### 4. Schlussfolgerungen

Asche- und N-Gehalte wiesen eine geringe natürliche Variabilität auf und wurden weder durch Winterernte noch durch Auswaschung in relevantem Maß reduziert. Extensivgrünland-Aufwüchse sind daher nur für den Einsatz in Verbrennungsanlagen geeignet, die technische Vorrichtungen zur Reduktion von Staub- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen aufweisen (z.B. Luftstufung und leistungsfähige Filter (VAN LOO und KOPPEJAN, 2008)). Die für das Asche-Hochtemperaturverhalten bedeutenden K-, Cl-, Ca- und Mg-Gehalte weisen dagegen eine hohe natürliche Variabilität auf, die wesentlich durch botanische Zusammensetzung und Standortfaktoren beeinflusst wird. Dies bietet die Möglichkeit, je nach Art der Feuerungsanlage gezielt geeignete Extensivgrünland-Aufwüchse auszuwählen. Sowohl Winterernte als auch Auswaschung durch Niederschläge während der Feldliegezeit können geeignete Qualitätsoptimierungsstrategien zur weiteren Verbesserung des Asche-Hochtemperaturverhaltens von Extensivgrünland-Aufwüchsen darstellen.

#### Literatur

- TONN, B., THUMM, U. und CLAUPEIN, W. (2008): Späte Schnitzeitpunkte von Extensivgrünland – eine Strategie zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Biofestbrennstoffe aus der Landschaftspflege? *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 9, 293-296.
- TONN, B., THUMM, U. und CLAUPEIN, W. (2010): Semi-natural grassland biomass for combustion – influence of botanical composition, harvest date and site conditions on fuel composition. *Grass and Forage Science* 65, 383-397.
- TONN, B., DENGLER, V., THUMM, U., PIEPHO, H.-P. und CLAUPEIN, W. (2011): Influence of leaching on the chemical composition of grassland biomass for combustion. *Grass and Forage Science* 66, 464-473.
- TONN, B., THUMM, U., LEWANDOWSKI, I. und CLAUPEIN, W. (2012): Leaching of biomass from semi-natural grasslands – effects on chemical composition and ash high-temperature behavior. *Biomass and Bioenergy* 36, 390-403.
- VAN LOO, S. und KOPPEJAN, J. (Hrsg., 2008): *The handbook of biomass combustion and co-firing*. London, UK: Earthscan.