

# Räumliche Präferenzen weidender Rinder verursachen Nährstoffumverteilung auf mehreren Maßstabsebenen

<sup>1,2</sup>B. TONN, <sup>1</sup>C. HÜPPE, <sup>1</sup>N. KUNZE, <sup>1,2</sup>C. RAAB UND <sup>1,2</sup>J. ISSELSTEIN

<sup>1</sup>Abteilung Graslandwissenschaft, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen, <sup>2</sup>Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung, Georg-August-Universität Göttingen, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen

btonn@gwdg.de

## Einleitung und Problemstellung

Der Nährstoffkreislauf extensiv beweideter, ungedüngter Grünlandflächen wird durch Futteraufnahme und Exkrementdeposition der Weidetiere dominiert. Sowohl das Futteraufnahmeverhalten als auch die Absetzung von Exkrementen weisen typischerweise räumliche Muster auf. Bei Rindern, die anders als beispielsweise Pferde (Ödberg und Francis-Smith, 1976) kein Toilettenverhalten zeigen, hängt die Dichte der abgesetzten Exkrementstellen eng mit der Aufenthaltshäufigkeit zusammen (Koch et al., 2018). Wenn das räumliche Muster der Futteraufnahme daher von der räumlichen Verteilung der Tiere während anderer Verhaltensweisen abweicht, führt dies zu einer Nährstoffumverteilung auf der Weidefläche. Solche Nährstoffumverteilungsprozesse sind insbesondere von großflächigen Weidesystemen bekannt. Das Vorhandensein unterschiedlicher Vegetationstypen und weite Entfernungen zwischen Wasserstellen, bevorzugten Futterressourcen oder anderen Attraktionszentren tragen in diesen Systemen zu ausgeprägten räumlichen Mustern sowohl der Futteraufnahme als auch anderer Verhaltensweisen bei (van Uytvanck et al., 2010; Koch et al., 2018). Allerdings wurde auch auf kleinräumigen, vergleichsweise homogenen Weideflächen eine starke Heterogenität der Exkrementdeposition beobachtet (Tonn et al., 2007; Schnyder et al., 2010), die zur großräumigen Nährstoffumverteilung führen kann. Auf Weiden mit ausgeprägtem Mosaik zwischen häufig befressenen, niedrigen, und selten befressenen, hohen Grasnarbenbereichen (patch-grazing) treten zusätzlich oft kleinräumige Unterschiede in den Bodennährstoffgehalten zwischen diesen beiden Grasnarbenbereichen auf (Densing et al., 2015). Diese deuten darauf hin, dass auf solchen Weiden zusätzlich ein kleinräumiger Nährstofftransfer stattfindet, der durch räumliche Muster des Fressverhaltens und nicht durch solche der Exkrementdeposition verursacht wird.

In einem langjährigen Rinderweideversuch mit ausgeprägtem fraßbedingtem Mosaik niedriger und hoher Grasnarbenbereiche wurde der Zusammenhang zwischen Bodennährstoffgehalten, Grasnarbenstruktur, und räumlicher Verteilung der Weidetiere beim Fressen und während anderer Verhaltensweisen untersucht. Es wurde erwartet, dass die Tiere niedrige Grasnarbenbereiche beim Fressen, nicht aber bei anderen Verhaltensweisen bevorzugen, und dass es einen Zusammenhang zwischen den gemessenen Bodennährstoffgehalten und dem aus den Tieraufenthaltsdaten abgeleiteten tierbedingten Nährstofftransfer gibt.

## Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf einem 2002 etablierten Rinderstandweideversuch auf dem Versuchsgut Relliehausen der Universität Göttingen (Niedersachsen, 265–340 m ü. NN, 8,9 °C, 806 mm) durchgeführt. In diesem wurden drei Beweidungsintensitäten verglichen, die durch vorgegebene Zielgrasnarbenhöhen definiert waren: moderat (6 cm), extensiv (12 cm) und sehr extensiv (18 cm). Zum Aufrechterhalten der Zielgrasnarbenhöhe wurde der Tierbesatz auf Grundlage von Grasnarbenmessungen in zweiwöchentlichem Abstand angepasst. Jede Beweidungsintensität wurde dreifach auf je 1 ha großen Parzellen

wiederholt. Die Versuchsflächen sind durch ein langjährig stabiles Muster aus niedrigen, häufig beweideten und hohen, selten beweideten Grasnarbenbereichen geprägt (Tonn et al., eingereicht). Die Verteilung der niedrigen und hohen Grasnarbenbereiche wurde in einer vorherigen Studie auf Basis eines Luftbildes vom 20. April 2015 kartiert (Tonn et al., eingereicht).

Vom 17. Mai bis 15. Juni 2017 wurde je Parzelle ein Tier mit einem GPS-Halsband mit Aktivitätssensor (GPS Plus Collar, Vecronic Aerospace GmbH, Berlin) ausgestattet. Positionen der Tiere wurden in einem Intervall von 128 s, Aktivitätsniveau in einem Intervall von 64 s aufgezeichnet. Zwischen 24. Mai und 2. Juni wurde das Tierverhalten für eine Dauer von durchschnittlich 7 h je besondertem Tier erfasst. Auf Basis der Tierbeobachtungsdaten wurden die parallel erhobenen GPS- und Aktivitätsdaten mittels Random-Forest-Klassifikation in die Verhaltensweisen „Fressen“ (Tier steht oder läuft mit gesenktem Kopf) und „andere Verhaltensweisen“ klassifiziert. Diese Klassifikation wurde zur Vorhersage der Verhaltensweise aller Tieraufenthaltsdaten genutzt. Mittels Kerndichteschätzung (Gaußkern, Bandweite 3 m) wurden Karten für die relative Dichte der Aufenthaltshäufigkeit der Tiere (lokale Dichte der Tieraufenthaltsdaten / mittlere Dichte der Tieraufenthaltsdaten) insgesamt und getrennt nach Verhaltensweise (Fressen, andere Verhaltensweisen) erstellt.

Unter der Annahme, dass die Nährstoffaufnahme der Weidetiere proportional zu ihrer Aufenthaltshäufigkeit beim Fressen und die Nährstoffrückfuhr in Exkrementen proportional zu ihrer Gesamtaufenthaltshäufigkeit ist, wurde ein Nährstofftransferindex (NTI) wie folgt berechnet:

$$NTI = \text{relative Aufenthaltshäufigkeit gesamt} - \text{relative Aufenthaltshäufigkeit Fressen}$$

Ein positiver Wert des NTI entspricht dabei einer positiven, ein negativer Wert einer negativen tierbedingten Nährstoffbilanz, wobei Nährstoffverluste und Nährstoffexport von der Fläche unberücksichtigt bleiben.

Im März 2017 wurden je Parzelle 30 Bodenproben in einer Tiefe von 0–10 cm genommen. In der extensiven Beweidungsvariante wurden hierfür 15mal jeweils ein niedriger und ein benachbarter hoher Grasnarbenbereich beprobt. In der moderaten Beweidungsvariante waren es zehn solcher Probenpunktpaare und zusätzlich zehn Probenpunkte in niedrigen Grasnarbenbereichen, in der sehr extensiven Variante zehn Probenpunktpaare und zehn Probenpunkte in langen Grasnarbenbereichen. Die Bestimmung der Bodenkali- und -phosphorgehalte erfolgte nach Extraktion mit Calciumacetatlactat.

Der Zusammenhang zwischen NTI und Bodennährstoffgehalten wurde mittels gemischter linearer Modelle geprüft. Diese enthielten die festen Effekte Beweidungsintensität, Grasnarbenbereich, NTI und deren Interaktionen, je Versuchsparzelle zufällige Achsenabschnitte und Koeffizienten für NTI sowie eine räumliche Korrelationsstruktur.

## Ergebnisse und Diskussion

Die gewichtete Genauigkeit der Klassifikation von Tieraufenthaltsdaten in „Fressen“ und „anderen Verhaltensweisen“ lag bei 94,8 %, mit erheblichen Schwankungen zwischen den Tieren (76,5–99,8 %). „Fressen“ wurde mit 7,7 % häufiger fehlklassifiziert als „andere Verhaltensweisen“ (2,8%), was vor allem auf eine sehr geringe Klassifikationsgenauigkeit einer einzelnen Parzelle zurückging. Der mittlere Anteil als „Fressen“ klassifizierter Tieraufenthaltsdaten lag bei 32 %.

Der mittlere Flächenanteil kurzer Grasnarbenbereiche nahm mit abnehmender Beweidungsintensität ab (Tab. 1, Abb. 1a). Der Anteil an Tieraufenthaltsdaten in niedrigen Grasnarbenbereichen war beim Fressen 2–22mal höher als bei anderen Verhaltensweisen. Der Quotient zwischen dem Anteil von Tieraufenthaltsdaten in niedrigen Grasnarbenbereichen und dem Anteil niedriger Grasnarbenbereiche in der jeweiligen Parzelle (Selektionsindex) war für Fressen etwas größer (Bevorzugung), für andere Verhaltensweisen deutlich niedriger als eins (Meidung, Tab. 1).

Tab.1: Flächenanteil niedriger Grasnarbenbereiche und Anteil in niedrigen Grasnarbenbereichen lokalisierter Tieraufenthaltsdaten sowie Selektionsindex (Anteil Tieraufenthaltsdaten / Flächenanteil) für niedrige Grasnarbenbereiche; Mittelwerte und Standardabweichungen.

Zielgröße	Beweidungsintensität		
	moderat	extensive	sehr extensiv
Flächenanteil	0,63 ± 0,17	0,29 ± 0,12	0,17 ± 0,13
Anteil Tieraufenthaltsdaten Fressen	0,63 ± 0,08	0,34 ± 0,08	0,17 ± 0,13
Anteil Tieraufenthaltsdaten Andere	0,23 ± 0,12	0,03 ± 0,13	0,02 ± 0,01
Selektionsindex Fressen	1,05 ± 0,24	1,32 ± 0,40	1,21 ± 0,56
Selektionsindex Andere	0,40 ± 0,22	0,09 ± 0,03	0,14 ± 0,13

Niedrige Grasnarbenbereiche wurden damit bei der Futteraufnahme deutlich weniger bevorzugt als erwartet. Hierzu können Messungenauigkeiten der verwendeten GPS-Sensoren sowie der Zeitpunkt der Telemetriestudie beigetragen haben. Da Unterschiede in der Futterqualität zwischen niedrigen und hohen Grasnarbenbereichen von Frühjahr zum Sommer hinzunehmen (Röver 2006), ist die Selektion für niedrige Grasnarbenbereiche im Frühjahr möglicherweise weniger ausgeprägt als im weiteren Jahresverlauf.

Im Gegensatz dazu traten als „andere Verhaltensweisen“ klassifizierte Tieraufenthaltsdaten ganz überwiegend in hohen Grasnarbenbereichen auf. Diese Daten wiesen auch eine sehr starke räumliche Konzentration auf (Abb. 1c). Die für „andere Verhaltensweisen“, d.h. insbesondere Ruhen und Wiederkauen, bevorzugten Bereiche befanden sich vor allem an Parzellengrenzen und -ecken, was einen Einfluss des Sozialverhaltens der Weidetiere nahe legt. Möglicherweise führt die in diesen Bereichen zu erwartende sehr hohe Kotstellendichte dazu, dass diese bei der Futteraufnahme langfristig gemieden werden; die Grasnarbenhöhe wäre demnach nicht Ursache, sondern Folge der räumlichen Präferenz der Tiere beim Ruheverhalten.

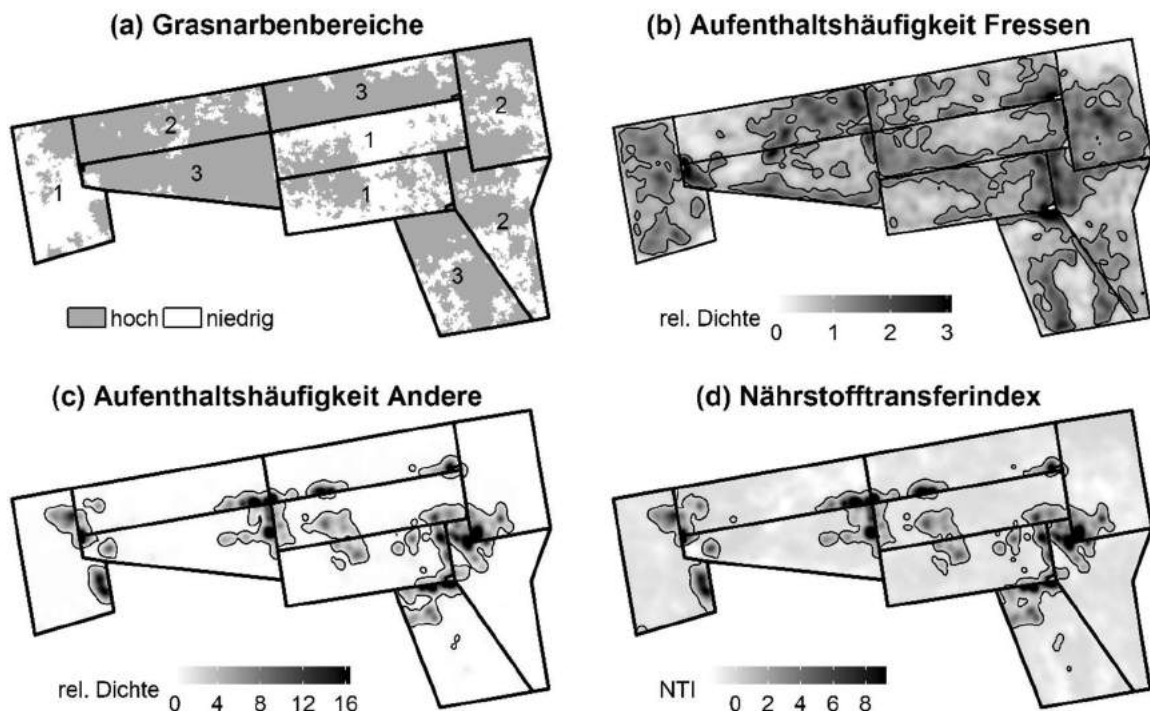


Abb. 1: (a) Verteilung hoher und niedriger Grasnarbenbereiche; 1: moderate, 2: extensive, 3: sehr extensive Beweidung; Parzellengröße: 1 ha; (b, c) Aufenthaltshäufigkeit besonderer Kühe beim Fressen bzw. bei anderen Verhaltensweisen; Konturlinie: Parzellenmittelwert (relative Dichte = 1); (d) Nährstofftransferindex (NTI); Konturlinie: Nährstoffbilanz ausgeglichen (NTI = 0).

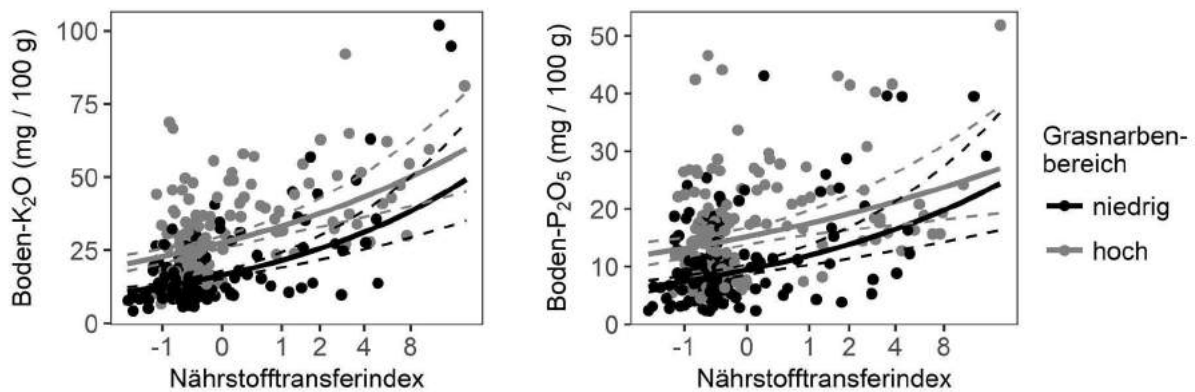


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Nährstofftransferindex (negativ: Nährstoffverlust, positiv: Nährstoffgewinn) und Bodenphosphor und -kaliumgehalten. Einzelwerte (Punkte) und Modellvorhersagen (durchgezogene Linien) mit Vertrauensintervall (gestrichelte Linien).

Als Resultat der verhaltensabhängigen Tieraufenthaltsmuster wiesen 74–88 % der Weidefläche eine negative errechnete tierbedingte Nährstoffbilanz auf ( $NTI < 0$ ; Abb. 1d), während 5–8 % der Fläche einen Nährstoffgewinn von mehr als dem Doppelten des durchschnittlichen tierbedingten Nährstoffumsatzes hatten ( $NTI > 2$ ).

Bodenkalium- und -phosphorgehalte zeigten eine erhebliche Variabilität (Abb. 2;  $K_2O$ : 4–102 mg/100 g,  $P_2O_5$ : 2–52 mg/100g). Die Konzentrationen beider Nährstoffe waren in hohen Grasnarbenbereichen deutlich höher als in niedrigen und nahmen mit zunehmenden Werten des NTI zu (Abb. 2). Grasnarbenbereich ( $p < 0,0001$ ), NTI ( $p < 0,0001$ ) und ihre Interaktion ( $p = 0,041$  bzw.  $p = 0,042$ ) zusammen erklärten 38 % bzw. 29 % der beobachteten Variabilität.

Die Unterschiede der Bodennährstoffgehalte zwischen hohen und niedrigen Grasnarbenbereichen selbst bei identischem NTI, weisen darauf hin, dass der NTI zumindest auf der Maßstabsebene der Grasnarbenbereiche die langfristigen Nährstoffflüsse nicht korrekt widerspiegelt. Nettonährstoffexport aus niedrigen Grasnarbenbereichen und Nährstofftransfer hin zu bevorzugten Ruhebereichen erscheinen jedoch als wichtige Einflussfaktoren auf die Bodennährstoffgehalte.

## Schlussfolgerungen

Erwartungsgemäß wiesen Futteraufnahme und andere Verhaltensweisen unterschiedliche räumliche Muster auf. Die daraus theoretisch resultierende Nährstoffumverteilung spiegelte sich in den Bodenphosphor- und -kaliumgehalten wider. Anders als erwartet, dominierte das räumliche Muster des Ruheverhaltens und nicht das des Fressverhaltens die aus den Tieraufenthaltsdaten errechnete Nährstoffumverteilung. Die beobachtete Präferenz für niedrige Grasnarbenbereiche bei der Futteraufnahme war geringer als erwartet. Die Bodennährstoffgehalte deuten jedoch darauf hin, dass der langfristige Nährstoffexport aus niedrigen Grasnarbenbereichen höher ist, als aus den kurzfristigen Tieraufenthaltsdaten abgeleitet werden kann.

Aus den negativen Nährstoffbilanzen auf einem Großteil der Weidefläche und den stark positiven Nährstoffbilanzen auf kleinen Teilbereichen ergeben sich Konsequenzen sowohl für Nährstoffemissionen als auch für die langfristige Produktivität der Weidefläche. Andererseits können die resultierenden unterschiedlichen Standortvoraussetzungen innerhalb der Weidefläche die pflanzliche Diversität fördern. Zur Verringerung bzw. zum Ausgleich tierbedingter Nährstoffumverteilung auf Weideflächen könnten neue Technologien wie Virtual Fencing und teilflächenspezifische Düngung beitragen.

Diese Arbeit wurde durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt (Förderkennzeichen TO 895/1-1).

## Literatur

- DENSING, E. M., GABLER, J., EBELING, D., TONN, B. & ISSELSTEIN, J. (2015): Einfluss der Grasnarbenstruktur auf die funktionelle Zusammensetzung der Vegetation bei unterschiedlichen Beweidungsinensitäten auf einer Rinderstandweide. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 16, 200-203.
- KOCH, B., HOMBURGER, H., EDWARDS, P. J. & SCHNEIDER, M. K. (2018): Phosphorus redistribution by dairy cattle on a heterogeneous subalpine pasture, quantified using GPS tracking. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 257, 183-192.
- ÖDBERG, F.O. & FRANCIS-SMITH, K. (1976): Studies on the formation of ungrazed eliminative areas in fields used by horses. *Applied Animal Ethology* 3, 27-34.
- RÖVER, K.-U (2006): *Grazing behaviour and performance of beef cattle on grassland managed for biodiversity benefits*. Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge 16.
- SCHNYDER, H., LOCHER, F. & AUERSWALD, K. (2010): Nutrient redistribution by grazing cattle drives patterns of topsoil N and P stocks in a low-input pasture ecosystem. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 88, 183-195.
- TONN, B., RAAB, C. & ISSELSTEIN, J. (EINGEREICHT): Sward patterns created by patch grazing are stable over more than a decade.
- TONN, B., WECKHERLIN, P. & THUMM, U. (2006): Kotstellenverteilung auf einer Umtriebsweide – Beeinflussung durch das Weidemanagement. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 7, 220-223.
- VAN UYTVANCK, J., MILOTIC, T. & HOFFMANN, M. (2010): Nitrogen depletion and redistribution by free-ranging cattle in the restoration process of mosaic landscapes: The role of foraging strategy and habitat proportion. *Restoration Ecology* 18, 205-216.