

Die Schwanzhaare von Rindern zeigen die räumliche und zeitliche Variation der Wasserversorgung der Grasnarbe

K. Auerswald, H. Schnyder, M. Schwertl und R. Schäufele

Technische Universität München, Lehrstuhl für Grünlandlehre, Freising

Einleitung

Die Größe und v. a. die räumliche und zeitliche Heterogenität von Ökosystemen erschweren das Erfassen von Stoffflüssen. Die Untersuchung stabiler Isotope der Bioelemente ist häufig ein elegantes Verfahren, da die Fraktionierung der stabilen Isotope direkt die beteiligten Prozesse indiziert und quantitativ interpretiert werden kann. In Graslandökosystemen bietet sich die Untersuchung der Haare der Weidetiere an, da diese beim Grasens das Weidegebiet flächig beproben und damit kleinräumige Heterogenitäten ausgleichen. Dadurch werden schwache Effekte sichtbar, die sonst im heterogenitätsbedingten Rauschen untergehen. Gleichzeitig speichert das Haar die Information chronologisch und ist retrospektiv analysierbar, wodurch starke saisonale Veränderungen mit wenigen Beprobungen erfasst werden können. Dies könnte genutzt werden, um die Wasserversorgung von Grasland zu quantifizieren, die räumlich auf Grund der Bodeneigenschaften und zeitlich auf Grund des Witterungsverlaufs variiert, was mit konventionellen bodenhydrologischen Methoden nur unzureichend erfassbar ist.

Bei Wassermangel verengt die Pflanze die Spaltöffnungen. Nach FARQUHAR et al. (1989) vermindert dies die ^{13}C -Fraktionierung bei der Photosynthese:

$$\Delta = a + (b-a) pi/pa \quad \text{Gleichung 1.}$$

Dabei ist Δ die Diskriminierung gegenüber ^{13}C im atmosphärischen CO_2 , a ist die Diskriminierung durch die CO_2 -Diffusion, b die durch die CO_2 -Bindung, pi ist der CO_2 -Partialdruck im Interzellularraum und pa der in der freien Atmosphäre. Mit zunehmender Verengung der Spaltöffnungen sinkt pi und damit die Diskriminierung. Die Signatur des assimilierten Kohlenstoffs ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ass}}$) ergibt sich dann aus der Diskriminierung und der CO_2 -Signatur der Umgebungsluft ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Luft}}$):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{ass.}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{Luft}} - \Delta)/(\Delta - 1) \quad \text{Gleichung 2.}$$

Die Wasserversorgung eines Pflanzenbestandes hängt von der Erschließung des Bodenwassers durch die Wurzeln (effektiver Wurzelraum), von der Speicherfähigkeit der Böden (nutzbare Feldkapazität) und der Witterung (Niederschlag und potentielle Evapotranspiration) ab, die räumlich (Boden) und zeitlich (Witterung) stark variieren.

In Böden stellt sich ein für Standort und Nutzung typischer Humusvorrat ein, bei dem die C-Bilanz ausgeglichen ist und kein Nettofluss auftritt. Eingriffe des Menschen können jedoch aus Böden Nettoquellen oder Nettosenken machen. So macht die Umwandlung von Grasland zu Acker aus den Böden eine Nettoquelle, die Umwandlung von Acker in Grasland dagegen eine Nettosenke, bis schließlich ein neues, an die veränderte Landnutzung angepasstes Fließgleichgewicht erreicht ist. Besonders große Kohlenstoffmengen können in Mooren gespeichert werden. Durch Entwässerung und damit Belüftung können dann dementsprechend hohe Mengen CO_2 freigesetzt werden. Da der in der organischen Substanz gespeicherte Kohlenstoff wegen der Fraktionierung bei der Photosynthese eine andere isotopische Signatur aufweist als die Atmosphäre, führt sowohl die Nettofixierung wie

die Nettofreisetzung der Böden zu einer isotopischen Verschiebung in der Atmosphäre, was wiederum die Signatur des bei der Photosynthese fixierten Kohlenstoffs beeinflusst (Gleichung 2).

Material und Methoden

Standort und Nutzung: Die Versuche fanden auf dem Versuchsgut Grünschwaige der TU München statt. Dort finden sich dränierte, degradierende Niedermoores und ehemals acker genutzte Mineralböden. Die nutzbare Feldkapazität der Weiden auf Niedermoor liegt zwischen 100 und 186 mm (im Mittel je Weide), bei den Mineralböden zwischen 56 und 83 mm. Die Weiden werden während der Vegetationszeit von ca. 15 Tieren (überwiegend Limousin) beweidet.

Isotopenanalyse: Untersucht wurden über 5 Jahre die Schwanzhaare der Rinder, die mit Längen bis über 50 cm mehr als ein Jahr an Informationen speichern (mittlere Haarwachstumsgeschwindigkeit 0,8 mm/d). Die Haare wurden nach SCHWERTL et al. (2003) behandelt, analysiert und ausgewertet.

Witterung und Bodenwasserhaushalt: Der Wasserhaushalt wurde an ca. 400 repräsentativ verteilten Standorten für diese 5 Jahre modelliert. Dazu wurde der Bodenwasserspeicher entsprechend der täglichen potentiellen Verdunstung entleert. Sank der Bodenwasserspeicher standortsabhängig unter 30% der nutzbaren Feldkapazität, wurde die aktuelle Transpiration linear gegenüber der potentiellen Verdunstung vermindert (LOOMIS und CONNOR 1992). Durch Regen wurde der Bodenwasserspeicher wieder aufgefüllt. Bei Wasserzufuhr über die Feldkapazität wurde Absickerung angenommen. Laterale Zu- und Abflüsse wurden nicht berücksichtigt, da das Untersuchungsgebiet eben ist. By-pass-Flüsse blieben ebenfalls unberücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Haare der Tiere zeigten deutliche isotopische Muster, die sich sowohl zwischen Haaren von parallel untersuchten Tieren reproduzieren ließen, wie auch in den Überlappungsbereichen der sukzessiv von gleichen Tieren beprobten Haare. Dadurch ließen sich die Haarsignaturen eindeutig datieren und Veränderungen bestimmten Ereignissen zuordnen, zum Beispiel dem Wechsel zwischen Stall und Weide.

Die Tiere unterschieden sich wenig, wenn sie auf den gleichen oder ähnlichen Standorten gehalten wurden (Abb. 1, oben). Dies zeigt, dass die Haare tatsächlich das Futter widerspiegeln und dass die Standortgruppen sich prägnant unterscheiden. Neben dem klaren Unterschied zwischen der Stall- und der Weideperiode und dem Standortsunterschied während der Weideperiode variierte die Haarsignatur auch während der Vegetationsperiode auf beiden Standortgruppen mehr oder weniger parallel, was auf Witterungseinflüsse hinweist. Der Vergleich der ^{13}C -Signatur mit der Modellierung des Bodenwasservorrats (Abb. 1, unten) ließ dann auch eine deutliche Übereinstimmung erkennen. Allerdings war die Haarsignatur wesentlich stärker gepuffert, da sie im Unterschied zum Bodenwasser nicht auf jeden Regen reagiert, da von einer Verbesserung der Wasserversorgung nur jeweils der neu fixierte Kohlenstoff beeinflusst wird, während der überwiegende Teil der Biomasse die ererbte Signatur konserviert. Im Tier kommt es dann zu einer weiteren Glättung. Dennoch bleibt erkennbar, dass niedrige Wasservorräte, sei es bedingt durch die unterschiedliche Speicherkapazität der Böden oder durch den Witterungsverlauf, sich in besonders hohen ^{13}C -Signaturen widerspiegeln. Sogar das ca. 14 Tage andauernde, etwas höhere Wasserangebot um Mitte Mai spiegelte sich in einer etwas niedrigeren Haarsignatur wieder. Dies war in den Haaren allerdings erst Mitte Juni zu be-

obachten, da der in der Wachstumszone der Pflanzen deponierte, neu assimilierte C erst bis in die Verbisszone wachsen musste, um schließlich in der Haarsignatur aufzutauchen.

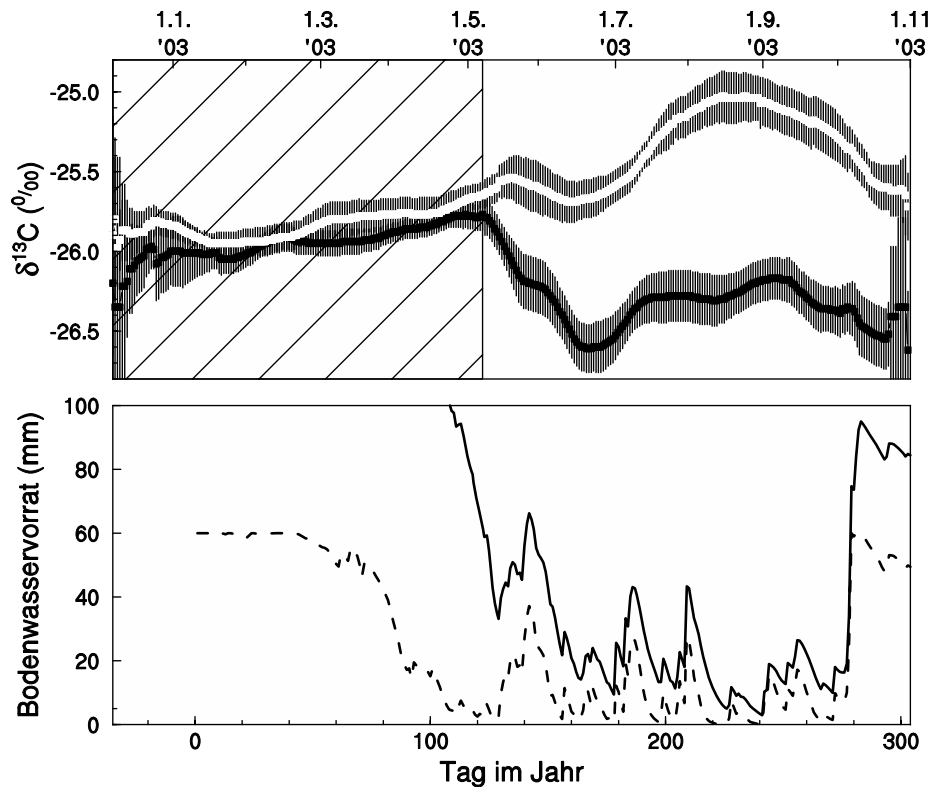


Abb. 1, oben: ^{13}C -Signaturen im Jahr 2003 in den Schwanzhaaren, getrennt nach Standortsgruppen; die schwarze Mittelwertslinie markiert degradierte Niedermoore, die weiße Mittelwertlinie neu angelegte Weiden auf Mineralboden; je Standortsgruppe je 2 Tiere von je 5 Weiden und 2 Schwanzhaare je Tier; die vertikalen Striche geben das 95 %-Vertrauensintervall jedes Mittelwertes an; die Stallperiode ist schraffiert.

Unten: Pflanzennutzbare Bodenwasser auf einem typischen Moor (durchgezogene Linie) und einem typischen Mineralbodenstandort (gestrichelt).

Die summarische Gegenüberstellung des mittleren nutzbaren Bodenwassers während der Vegetationsperiode und der mittleren Haarsignatur (Abb. 2) erlaubt, die verschiedenen in Abb. 1 zu Standortsgruppen zusammengefassten Weiden nach ihren Bodeneigenschaften zu differenzieren und verschiedene Jahre darzustellen. Dabei hängt die ^{13}C -Signatur klar vom nutzbaren Bodenwasservorrat ab. Unterscheidet man zusätzlich noch zwischen Flächen mit Humusabbau (altes Grasland auf degradiertem Niedermoor) und Humusaufbau (neu angelegtes Grasland auf Mineralboden), so beträgt $r^2 = 0,91$. Die Moorstandorte mit Humusabbau liegen um 0,4 ‰ unter den ehemaligen Ackerstandorten. In dem weiten Bereich an Bodenwasservorrat, in dem sich beide Gruppen überlappen, trennen sie sich klar hinsichtlich der ^{13}C -Signatur. Der Unterschied von 0,4 ‰ beruht auf dem Unterschied im Substrat der Photosynthese (vergl. Gleichung 2). Zusätzlich zum CO_2 der freien Atmosphäre steht den Pflanzen isotopisch unterscheidbares CO_2 aus dem Humusabbau zur Verfügung. Eine einfache Massenbilanzberechnung ergibt, dass die CO_2 -Konzentration über dem Niedermoor durch den Humusabbau um ca. 2 ‰ gegenüber den ehemaligen Ackerflächen höher sein muss.

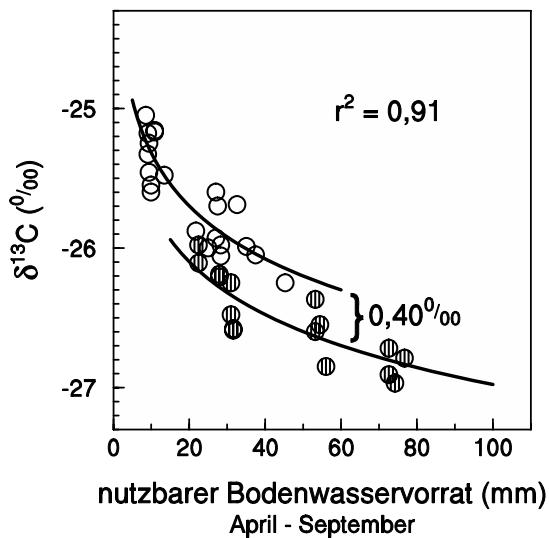


Abb. 2: ^{13}C -Signatur im Mittel der während der Weideperiode (ab 6 Wochen nach Auftrieb) gewachsenen Haarabschnitte von altem Grasland auf entwässertem Niedermoor (schraffierte Kreise) und neuem Grasland auf Mineralboden (leere Kreise). Die Linie ist eine multiple Regression mit dem Standorttyp als zweitem Regressor.

Schlussfolgerung

Anhand der Haarsignatur der Weidetiere lässt sich der Wasserhaushalt heterogener Weiden, der sich mit konventionellen Methoden nur schwer greifen lässt, retrospektiv einfach bestimmen. Wesentlich dafür ist, dass die isotopische Variation der Vegetation entlang der Nahrungskette weitergegeben wird und quasi als isotopischer Fingerabdruck identifiziert werden kann. Vorteilhaft bei der Untersuchung der Haare gegenüber der Vegetation als primärer Quelle des isotopischen Fingerabdrucks ist, dass das Grasens die kleinräumige Variabilität ausgleicht und dass die Information noch retrospektiv gewonnen werden kann.

Eine ausführliche Darstellung findet sich bei SCHNYDER et al. (2006) und AUERSWALD et al. (2005).

Literatur

- AUERSWALD, K., SCHWERTL, M., SCHÄUFELE, R., und SCHNYDER H. (2005): Let the sheep do the sampling – Tierhaare als Werkzeug der Ökosystemanalyse. Rundgespräche der Kommission für Ökologie 30: 93-104, Dr. Friedrich Pfeil Verlag, München.
- FARQUHAR, G. D., EHLERINGER, J. R. und HUBICK K. T. (1989): Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology 40: 503-537.
- LOOMIS, R. S., CONNOR und D. J. (1992): Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge.
- SCHNYDER H., SCHWERTL M., AUERSWALD K. und SCHÄUFELE R. (2006): Hair of grazing cattle provides an integrated measure of the effects of site conditions and inter-annual weather variability on $\delta^{13}\text{C}$ of temperate humid grassland. Global Change Biology 12: 1-15.
- SCHWERTL M., AUERSWALD K. und SCHNYDER H. (2003): Reconstruction of the isotopic history of animal diets by hair segmental analysis. Rapid Commun. Mass Spectrom. 17: 1312-1318.