

Trends in der ^{13}C -Diskriminierung und der physiologischen Wassernutzungseffizienz im Grünland in den letzten 150 Jahren

I. Köhler¹, P. Poulton², K. Auerswald¹, H. Schnyder¹

¹Lehrstuhl für Grünlandlehre, Technische Universität München, Am Hochanger 1, D-85350 Freising, Email: schnyder@wzw.tum.de

²Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, United Kingdom

Einleitung und Problemstellung

Durch die Energiegewinnung aus fossilen Rohstoffen und durch Landnutzungsänderung ist die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre seit 1850 von $288 \mu\text{mol mol}^{-1}$ auf über $380 \mu\text{mol mol}^{-1}$ gestiegen.

Pflanzen, die in Kurzzeitexperimenten unter erhöhter CO_2 -Konzentration (im Mittel $567 \mu\text{mol mol}^{-1}$) wuchsen, zeigten eine Abnahme der stomatären Leitfähigkeit und eine Zunahme der Photosyntheserate (AINSWORTH & ROGERS, 2007). Eine Verringerung der stomatären Leitfähigkeit bei steigender CO_2 -Konzentration könnte die Wassernutzungseffizienz steigern und die Transpiration verringern. Dies hätte Auswirkungen auf Wasserkreisläufe und das Klima (BETTS *et al.*, 2000). Kenntnisse über bereits erfolgte Anpassungsreaktionen der Pflanzen würden dabei helfen, Vorhersagen über zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzen und auf Vegetation-Klima Interaktionen zu verbessern.

Untersuchungen stabiler Kohlenstoffisotope in Baumringen ergaben, dass die physiologische Wassernutzungseffizienz von Bäumen in den vergangenen Jahrhunderten zumeist zugenommen hat (BERT *et al.*, 1997; DUQUESNAY *et al.*, 1998; SAURER *et al.*, 2004). Vergleichbare Studien liegen für Grünlandvegetation bisher nicht vor, da die Kurzlebigkeit der Vegetationsorgane retrospektive Analysen nicht erlaubt. Das Park Grass Experiment und zugehörige Probenarchiv ermöglichten es, langfristige Veränderungen der Kohlenstoffisotopie und der ^{13}C -Diskriminierung in krautigen Pflanzenproben zu analysieren. Dies sollte zeigen, ob sich die physiologische Wassernutzungseffizienz des halbnatürlichen Graslandes der gemäßigten Zone während der letzten 150 Jahre verändert hat.

Material und Methoden

Das Park Grass Experiment in Rothamsted, England, wurde ursprünglich als Düngungsversuch im Jahr 1857 angelegt. Eine 2,8 ha große Dauergrünlandfläche wurde in 20 Parzellen unterteilt, welche jährlich mit unterschiedlichen Düngermengen und Düngerkombinationen behandelt wurden. Der Aufwuchs wird seither einmal bzw. zweimal (ab 1875) pro Jahr gemäht, Proben der Heuernte werden archiviert. Wir analysierten die Kohlenstoffisotopie in Proben der unge-

düngten und nicht gekalkten Nullparzelle 3. Die hier vorgestellten Ergebnisse stammen von Proben des jeweils im Juni geernteten ersten Schnitts.

Das fein vermahlene Pflanzenmaterial wurde bei 60 °C 24 h getrocknet und Aliquote von 0,7 mg ± 0,05 mg in Zinnbecher der Größe 3,3 x 5 mm (IVA Analytentechnik e.K., Meerbusch, Deutschland) eingewogen. Die Proben wurden in einem Elementaranalysator (NA 1110; CarloErba Instruments, Mailand, Italien) verbrannt und der C- und N-Gehalt sowie die Kohlenstoffisotopie ($\delta^{13}\text{C}$) mit einem Massenspektrometer (Delta plus; Finnigan MAT) bestimmt. Aus der Kohlenstoffisotopie der Pflanzen ($\delta^{13}\text{C}_p$) und des atmosphärischen CO_2 ($\delta^{13}\text{C}_a$, geschätzt nach WITTMER *et al.*, 2008) wurde die ^{13}C -Diskriminierung ($^{13}\Delta$) berechnet:

$$^{13}\Delta = \frac{\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_p}{1 + \delta^{13}\text{C}_p}.$$

Veränderungen der Stomataöffnung oder der Photosyntheserate beeinflussen die CO_2 -Konzentration im Interzellularraum des Blattes. Die Diskriminierung $^{13}\Delta$ hängt nach FARQUHAR *et al.* (1982) vom Verhältnis der CO_2 -Konzentrationen im Interzellularraum (c_i) und in der Atmosphäre (c_a) ab:

$$^{13}\Delta = a + (b - a) \frac{c_i}{c_a},$$

wobei a und b die Fraktionierung bei der Diffusion (4,4 ‰) und bei der Kohlenstofffixierung durch die Rubisco (27 ‰) sind. Damit kann die interzelluläre CO_2 -Konzentration berechnet werden, aus der sich die physiologische Wassernutzungseffizienz (W_i) ergibt:

$$W_i = \frac{A}{g} = \frac{c_a - c_i}{1.6} = \frac{c_a \cdot (1 - \frac{c_i}{c_a})}{1.6},$$

wobei A die Assimilation und g die stomatäre Leitfähigkeit ist.

Der Wasserhaushalt der Fläche, insbesondere der verfügbare Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode, wurde nach SCHNYDER *et al.* (2006) modelliert. Auf Grundlage der verfügbaren Wetterdaten des Rothamsted Electronic Archives errechneten wir das pflanzenverfügbare Bodenwasser (PAW) in den einzelnen Monaten ab Februar 1947.

Ergebnisse und Diskussion

$\delta^{13}\text{C}$ der Proben hat in den letzten 150 Jahren parallel zu $\delta^{13}\text{C}$ des atmosphärischen CO_2 abgenommen (Abb. 1). Folglich blieb die ^{13}C -Diskriminierung langfristig konstant (Abb. 2), mit einem Mittelwert von 21,0 ‰ ($\pm 0,5$ ‰ SD), c_i/c_a betrug im Mittel 0,73. Die CO_2 -Konzentration im Interzellularraum des Blattes stieg deshalb im gleichen Verhältnis wie die atmosphärische CO_2 -Konzentration seit 1857 von 212 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ auf 282 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ um 33 % an. Die physiologische Wassernutzungseffizienz (Abb. 3) ist ebenfalls um 33 % von 48 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ auf 64 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ angestiegen. Ähnliche Zunahmen der physiologischen Wassernutzungseffizienz wurden auch in Untersuchungen an Baumringen beobachtet.

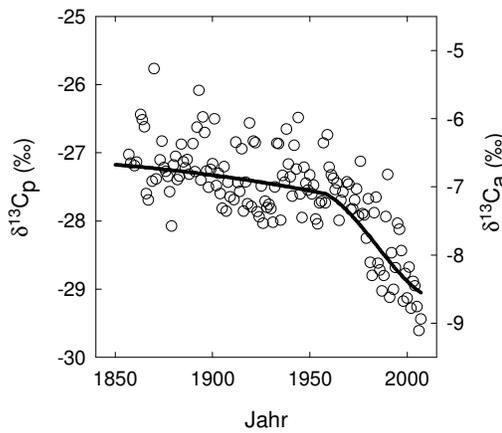


Abb.1: Langzeittrends der Kohlenstoffisotopie der Park Grass Proben (\circ , $\delta^{13}\text{C}_p$) und des atmosphärischen CO_2 ($-$, $\delta^{13}\text{C}_a$).

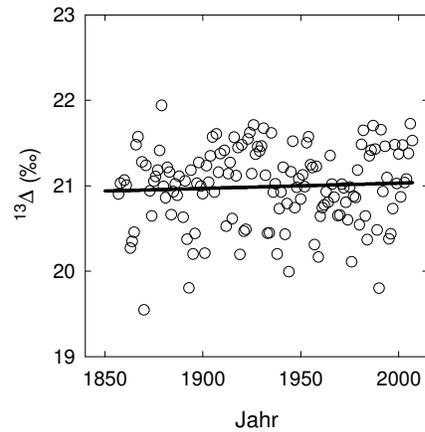


Abb. 2: Langzeittrend der Diskriminierung $^{13}\Delta$ des ersten Schnitts der Park Grass Proben (\circ , $^{13}\Delta$) und Regression ($-$):

$$y=0,0006 \cdot x+19,8, r^2=0,03, P=0,5$$

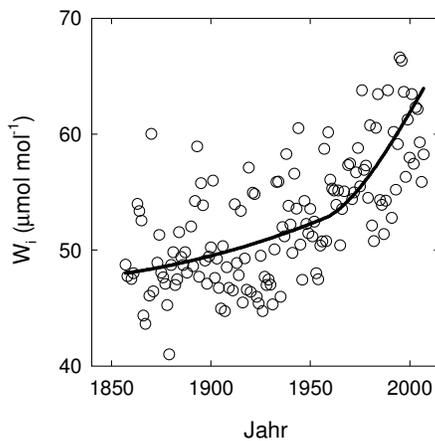


Abb.3: Langzeittrends der physiologischen Wassernutzungseffizienz der Park Grass Proben (\circ , W_t) und mit $c_i/c_a = 0,73$ berechnetes Modell ($-$).

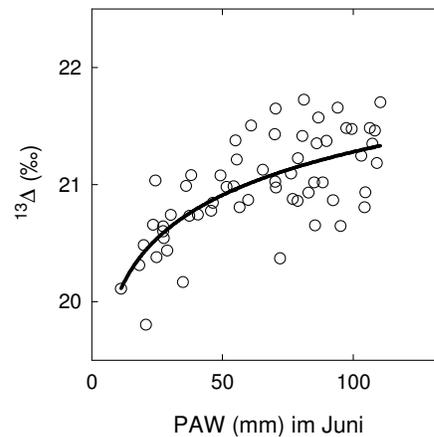


Abb.4: Korrelation zwischen der Diskriminierung (\circ , $^{13}\Delta$) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser im Juni und Regression ($-$):

$$y=0,53 \cdot \ln(x)+18,2, r^2=0,5, P<0,0001$$

tet. So fanden SAURER *et al.* (2004) einen Anstieg der physiologischen Wassernutzungseffizienz um 19 % von 1861-1891 bis 1961-1990 in verschiedenen Koniferen, während BERT *et al.* (1997) in *Abies alba* im Zeitraum von 1930 bis 1980 einen Anstieg von 30 % beobachteten. DUQUESNAY *et al.* (1998) fanden bei *Fagus sylvatica* in Abhängigkeit vom Baumbestand eine Zunahme der physiologischen Wassernutzungseffizienz von 23 % und 44 % während des letzten Jahrhunderts.

In Kurzzeitexperimenten, in denen Pflanzen unter erhöhter CO_2 -Konzentration wuchsen, nahm die stomatare Leitfähigkeit von C3-Gräser im Mittel um 30 % ab, die Assimilationsleistung nahm um 30 % zu (AINSWORTH & ROGERS, 2007).

Eine höhere Assimilation sollte mit einer Zunahme der pflanzlichen Biomasse einhergehen, wie POLLEY *et al.* (1993) zeigten. Die Erträge der von uns untersuchten Nulldüngungsparzelle des Park Grass Experiments wiesen in den letzten 150 Jahren jedoch keinen signifikanten Ertragszuwachs auf (JENKINSON *et al.*, 1994). Dem „CO₂-Düngeeffekt“ wirkt vermutlich die Nährstofflimitierung auf der ungedüngten Parzelle entgegen. Für die Regulierung von c_i / c_a spielt also vor allem die verringerte stomatäre Leitfähigkeit eine Rolle.

Die Variation in der ¹³C-Diskriminierung konnte durch die interannuellen Schwankungen der Witterungsbedingungen erklärt werden. Die ¹³C-Diskriminierung des ersten Schnitts hing sehr stark vom pflanzenverfügbaren Bodenwasser im Juni ab (Abb.4).

Schlussfolgerungen

Die ¹³C-Diskriminierung in einem halb-natürlichen Grasland der gemäßigten Zone wies während der letzten 150 Jahre keinen signifikanten Langzeitrend auf. Dies ist vermutlich durch die Abnahme der stomatären Leitfähigkeit bedingt. Kurzfristig reagierte die ¹³C-Diskriminierung dagegen auf die interannuell unterschiedliche Wasserverfügbarkeit.

Die physiologische Wassernutzungseffizienz stieg proportional zur CO₂-Konzentration in der Atmosphäre an. Dies führt bei unverändertem Wasserdampf-sättigungsdefizit zwischen Blattinnerem und Atmosphäre zu einer Abnahme der Transpiration des Pflanzenbestandes. Eine verringerte Transpiration hätte eine Zunahme des Oberflächenabflusses (BETTS *et al.* 2007) zur Folge.

Literatur

- AINSWORTH E.A. & ROGERS, A. (2007) *Plant, Cell and Environment* 30, 258-270
BERT, D. *et al.* (1997) *Ecology* 78, 1588-1596
BETTS, R.A. *et al.* (2000) *Global Ecology & Biogeography* 9, 171-180
BETTS, R.A. *et al.* (2007) *Nature* 448, 1037-1041
DAWSON, T. *et al.* (2002) *Annual Review of Ecology and Systematics* 33, 507-559
DUQUESNAY, A. *et al.* (1998) *Plant Cell and Environment* 21, 565-572
FARQUHAR, G.D. *et al.* (1982) *Australian Journal of Plant Physiology* 9, 121-137
FIELD, C.B. *et al.* (1995) *Plant, Cell and Environment* 18, 1214-1225
JENKINSON, D.S. *et al.* (1994) *Journal of Agricultural Science*, 122, 365-374
POLLEY, H.W. *et al.* (1993) *Nature* 361, 61-64
SAURER, M. *et al.* (2004) *Global Change Biology* 19, 2109-2120
SCHNYDER, H. *et al.* (2006) *Global Change Biology* 12, 1315-1329
WITTMER, M.H.O.M *et al.* (2008) *Biogeosciences* 5, 913-924.