

# Wurzelmasse und C-Sequestrierung von Grünland: Einfluss der Phosphor- und Kaliumversorgung

H. Schuch<sup>1)</sup>, F. Taube<sup>1)</sup>, P. Lausen<sup>2)</sup>, E. Techow<sup>2)</sup>, A. Herrmann<sup>1)</sup>

1) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Grünland u. Futterbau/Ökol. Landbau, 24118 Kiel,  
2) Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 24768 Rendsburg

## 1 Einleitung

Grünland stellt eine wichtige Komponente des globalen C-Kreislaufs dar. Die Netto-C-Bilanz von Grünlandflächen wird von zahlreichen Faktoren, wie beispielsweise der Nutzungsart (Schnitt, Weide) und -häufigkeit, determiniert, welche die ober- und unterirdischen Prozesse beeinflussen. Der C-Eintrag über Wurzelmasse ist dabei eine entscheidende Stellgröße der C-Sequestrierung von Grünlandbeständen. Während der Effekt der N-Versorgung auf das Wurzelwachstum von Grünland relativ gut dokumentiert ist [5], liegen nur wenige Studien zum Einfluss der Grundnährstoffversorgung vor. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, den Einfluss der Phosphor- und Kaliumversorgung auf die Wurzelmasseakkumulation und die C-Speicherung von Dauergrünland zu analysieren.

## 2 Material und Methoden

Basis der Untersuchung bildet ein Feldversuch, der 1985 in einem Dt. Weidelgras-dominierten Grünlandbestand auf einem Podsol (Ss, pH 4.8) mit 5 Wiederholungen in der Nähe von Schuby, Schleswig-Holstein, etabliert wurde. Die Phosphor- und Kaliumdüngung wurde in jeweils vier äquidistanten Stufen variiert ( $P_2O_5$ : 0, 45, 90, 135 kg ha<sup>-1</sup> in Form von Superphosphat;  $K_2O$ : 0, 120, 240, 360 kg ha<sup>-1</sup> in Form von KCl), wobei der jeweils andere Nährstoff in der höchsten Gabe appliziert wurde, um einen Nährstoffmangel bezüglich des nicht betrachteten Nährelementes auszuschließen. Die Bestände wurden über 4-Schnitte genutzt und erhielten eine einheitliche N-Düngung von 260 kg N ha<sup>-1</sup> (80-60-60-60) in Form von Kalkammonsalpeter. Die Bestandeszusammensetzung wurde in unregelmäßigen Abständen mittels Nachsaat und Herbizidapplikation manipuliert, um leistungsfähige Bestände zu gewährleisten. Nach 27 Jahren variiertes Nährstoffversorgung wurden Mitte Juli 2012 Bodenproben zur Quantifizierung der C- und N-Gehalte in drei Tiefen (0-30, 30-60, 60-90 cm) entnommen. Die Proben wurden getrocknet, gesiebt (< 2 mm) und gemörsert. Die C- und N-Gehalte wurden mittels CN-Analyser (Vario Max CN, Elementar Analysensysteme, Hanau) bestimmt. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (Corg) wurde als Differenz des Gesamt-C- und Karbonat-C-Gehaltes (SCHEIBLER, DIN ISO 10693) ermittelt. Die Lagerungsdichte wurde in 10-15, 40-45 und 75-80 cm Bodentiefe erhoben. Weiterhin wurden Ende Juli Bodenproben entnommen (Wurzelbohrer, 8 cm Durchmesser), die Wurzelmasse über Auswaschung (0.63 mm Sieb) quantifiziert und der C- und N-Gehalt der Wurzelmasse ermittelt. Ergänzend hierzu erfolgte eine Analyse der oberirdischen Biomasseakkumulation und der Bestandeszusammensetzung (Mai 2012, vor erstem Schnitt) nach [3]. Die P- und K-Gehalte des Bodens wurden mittels DL-Methode in 0-20 cm Bodentiefe in unregelmäßigen Abständen jeweils zu Vegetationsende quantifiziert. Der Effekt der P- und K-Versorgung auf den Corg-Gehalt des Bodens und die Wurzelmasseakkumulation wurde anhand einfaktorieller Varianzanalysen ermittelt, unter Verwendung von SAS 9.2 Proc mixed. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse wurde durchgeführt zur

Quantifizierung der Effekte von Jahr und Nährstoffversorgung auf den TM-Ertrag und die Grundnährstoffgehalte des Bodens, welche in unregelmäßigen Intervallen erfasst worden waren. Multiple Mittelwertvergleiche wurden mittels Tukey-Kramer bzw. t-Test und Bonferroni-Holm-Adjustierung durchgeführt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Bestandeszusammensetzung wurde in allen Behandlungen durch Gräser dominiert, wie in Abb. 1 dargestellt, was u.a. auf die Nachsaaten und den Herbizideinsatz in den vergangenen Jahren zurückzuführen ist. Weißklee konnte sich vermutlich aufgrund des geringen pH-Wertes des Oberbodens nicht im Bestand etablieren. Ein deutlicher Krautanteil (9.2%) trat nur bei unterlassener P-Versorgung auf, während in den K-Behandlungen der Krautanteil stets unter 1% lag.

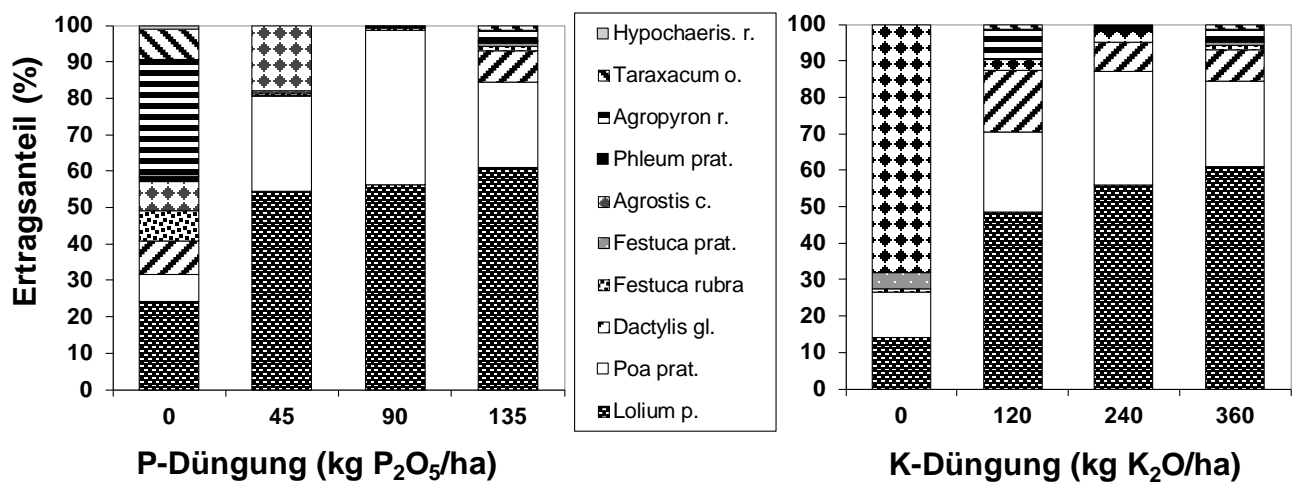


Abb. 1: Bestandeszusammensetzung im ersten Aufwuchs (Mai 2012), quantifiziert als Ertragsanteile nach [3], in Abhängigkeit der langjährig variierten P- und K-Versorgung.

Der jährliche Spross-TM-Ertrag wurde sowohl für die P- als auch K-Düngung signifikant durch die Interaktion von Nährstoffdüngungsniveau und Jahr beeinflusst. Mit Ausnahme zweier Versuchsjahre (2000, 2011), resultierte die P-Düngung in höheren TM-Erträgen als die ungedüngte Kontrolle (P0), wohingegen die Düngestufen P45, P90 und P135 ähnliche Erträge erzielten (Abb. 2). Im Vergleich zur P-Versorgung, resultierte K-Mangel in einer deutlicheren Ertragsreduktion. Abgesehen von den signifikanten Unterschieden zwischen der Kontrolle (K0) und den gedüngten Varianten, erzielte Variante K120 einen signifikant geringeren TM-Ertrag als Varianten K240 bzw. K360 in 6 von 10 Jahren.

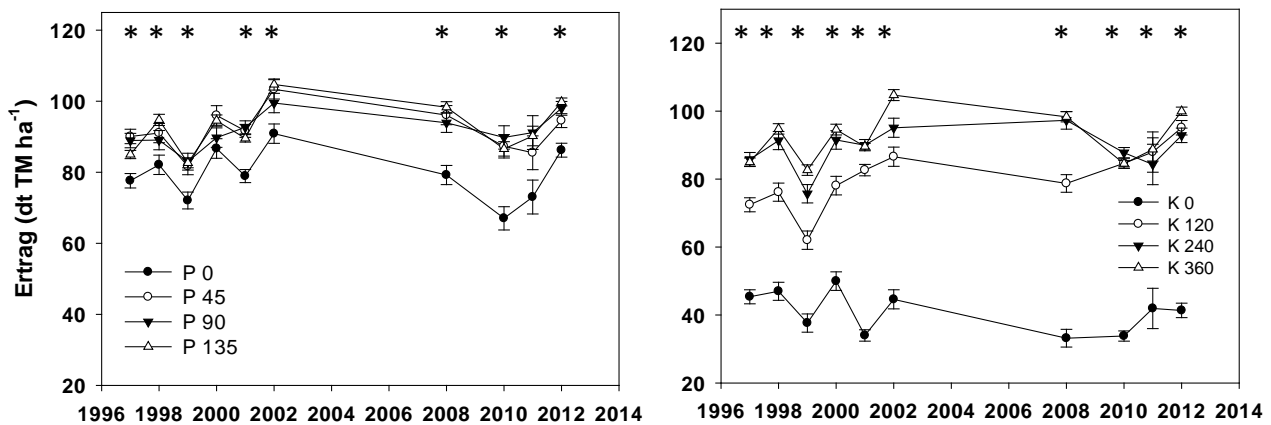


Abb. 2.: Einfluß der P- und K-Versorgung auf den jährlichen TM-Ertrag ( $t\ ha^{-1}$ ), welcher in unregelmäßigen Intervallen zwischen 1997 und 2012 erfasst wurde. Sterne kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen Düngestufen innerhalb eines Jahres.

Gemäß der „Functional Equilibrium“-Theorie und dem signifikanten Einfluss der P- und K-Versorgung auf die oberirdische Biomasseakkumulation, hätte man entsprechende Effekte auf die Wurzelmasse und den Corg-Gehalt des Bodens erwarten können. Wie aus zahlreichen Untersuchungen bekannt ist, reduziert Nährstoffmangel die Gesamtbiomasseakkumulation und modifiziert die Biomasseallokation zwischen Pflanzenorganen. Untersuchungen von [2] fanden bei eingeschränkter P-Verfügbarkeit eine Akkumulation von Kohlenhydraten in Blättern sowie eine Veränderung der Biomasseallokation zugunsten der Wurzel. Ähnlich zum P-Mangel scheint auch Kalium-Mangel eine KH-Akkumulation in Blättern zu verursachen, die jedoch aufgrund eines eingeschränkten KH-Exports, in keiner Förderung des Wurzelwachstums resultiert.

Die Wurzelbiomasse variierte zwischen 10 und  $14.7\ t\ OM\ ha^{-1}$  in der obersten Bodenschicht (0-30 cm, s. Tab. 1), und überstieg damit erheblich die Werte ( $6.5\ t\ OM\ ha^{-1}$ ), die auf einer nahe gelegenen über 4-Schnitt genutzten Grünlandfläche ähnlichen Alters (sandiger Lehm) ermittelt wurden [1]. Vermutlich führte regelmäßig während der Vegetationsperiode auftretender Wassermangel zu einem generell höheren Wurzelanteil. Es ist anzumerken, dass eine Differenzierung zwischen lebender und abgestorbener Wurzelmasse aufgrund der eingesetzten Methodik der Wurzelprobenahme (Wurzelbohrer) nicht möglich war. Die Durchwurzelung des Unterbodens (30-60 cm) war generell sehr gering. Eine gesteigerte P- und K-Versorgung förderte tendenziell die in der obersten Bodenschicht akkumulierte Wurzelbiomasse, signifikante Effekte konnten jedoch nicht abgesichert werden (Tab. 1). Offensichtlich wurde die Veränderung in der Biomasseallokation (Wurzel vs Sproß) durch die ertragsreduzierenden Effekte einer reduzierten P- und K-Versorgung, sowie durch Unterschiede in der Bestandeszusammensetzung aufgewogen. Der Corg-Gehalt des Bodens lag im oberen Bereich des in anderen Studien berichteten Wertebereichs ([6], [7]). In Übereinstimmung zur Wurzelmasse, zeigte der Corg-Gehalt des Oberbodens einen tendenziellen Anstieg bei verbesserter Grundnährstoffversorgung. Jedoch konnten nur für die P-Düngung signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle (P0) und den gedüngten Varianten abgesichert werden. Im Unterboden führte eine gesteigerte K-Versorgung tendenziell zu abnehmenden Corg-Gehalten, während für die P-Versorgung kein konsistenter Trend erkennbar war.

Tab. 1: Menge organischen Kohlenstoffs (t C ha<sup>-1</sup>) und aschefreie Wurzelbiomasse (t OM ha<sup>-1</sup>) in Abhängigkeit der Nährstoffversorgung und Bodentiefe. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen Düngestufen innerhalb einer Bodentiefe.

		Corg-Gehalt Boden (t C ha <sup>-1</sup> )			Aschefreie Wurzelmasse (t OM ha <sup>-1</sup> )	
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm
Phosphor- Düngung (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	0	97.24 <sup>a</sup>	49.49 <sup>a</sup>	19.68 <sup>ab</sup>	11.00 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>
	45	109.86 <sup>b</sup>	51.08 <sup>a</sup>	27.40 <sup>ab</sup>	12.71 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>
	90	113.44 <sup>b</sup>	64.83 <sup>a</sup>	32.72 <sup>b</sup>	14.69 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>
	135	111.10 <sup>b</sup>	50.79 <sup>a</sup>	20.54 <sup>a</sup>	12.66 <sup>a</sup>	0.51 <sup>a</sup>
Kalium- Düngung (kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> )	0	104.42 <sup>a</sup>	60.05 <sup>a</sup>	31.83 <sup>a</sup>	10.03 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>
	120	107.04 <sup>a</sup>	57.65 <sup>a</sup>	25.29 <sup>a</sup>	9.97 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>
	240	109.23 <sup>a</sup>	49.37 <sup>a</sup>	21.62 <sup>a</sup>	12.38 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>
	360	111.10 <sup>a</sup>	50.79 <sup>a</sup>	20.54 <sup>a</sup>	12.66 <sup>a</sup>	0.51 <sup>a</sup>

Unter den gegebenen Umweltbedingungen war eine langjährige Grundnährstoffversorgung von 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> bzw. 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ausreichend zur Erzielung des Ertragsmaximums. Dies spiegelte sich auch in den P- und K-Gehalten des Bodens wider (Abb. 3). Bei P-Entzügen von 22-24 kg P ha<sup>-1</sup> in der P-Kontrolle bzw. 30-40 kg P ha<sup>-1</sup> in den gedüngten Varianten (Daten nicht präsentiert) zeigte die P-Kontrolle eine P-Abreicherung, während bei einer P-Versorgung von 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> der Bodenphosphatpool weitgehend konstant blieb. Eine P-Anreicherung war erst ab einer Düngung von 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> erkennbar. Einschränkend muss allerdings erwähnt werden, dass bei einer N-Versorgung von 260 kg N ha<sup>-1</sup> das Ertragspotential des weidelgrasdominierten Bestandes vermutlich nicht ausgeschöpft werden konnte. Die Boden-K-Gehalte zeigten eine weniger deutliche Differenzierung in Bezug auf die applizierte K-Düngermenge (Abb. 3). So wies die K-Kontrolle in keinem Jahr signifikante Unterschiede zur Variante K120 und nur in einigen Jahren (1992, 1993, 1994, 1995, 1996) Differenzen zur Variante K240 auf. Die Höchstversorgung (K360) war mit Ausnahme des Jahres 1988 durch signifikant höchste Boden-K-Gehalte charakterisiert. Die beobachteten Effekte sind über die K-Entzüge und -verluste nachvollziehbar. Ein grosser Anteil des über Düngung zugeführten Kaliums wurde über das Erntegut abgefahren (in Variante K360 bis über 300 kg K ha<sup>-1</sup>; Daten nicht dargestellt), während in der Kontrollvariante lediglich ca. 30 kg K ha<sup>-1</sup> entzogen wurden. Dies resultierte in einer Kalium-Düngernutzungseffizienz bis über 80 %. Weiterhin zu berücksichtigen ist ein mit steigender K-Versorgung zunehmendes Risiko der Kaliumauswaschung, welches durch die in den letzten Jahren zunehmenden starken Sommerniederschläge forciert worden sein dürfte. Für leichte Standorte mit hoher Kaliumversorgung konnte ein Auswaschungspotential von bis zu 10 mg (100 g)<sup>-1</sup> Boden dokumentiert werden [4]. Aufgrund potentieller K-Auswaschungsverluste ist der Effekt des Bodenprobenahmeterrains bei der Interpretation von Ergebnissen zur Boden-K-Analyse zu beachten. Eine Anhebung der P- bzw. K-Gehalte auf Gehaltesklasse C ist unter den gegebenen Umweltbedingungen, d.h. leichten Standorten, aus pflanzenbaulicher Sicht nicht erforderlich.

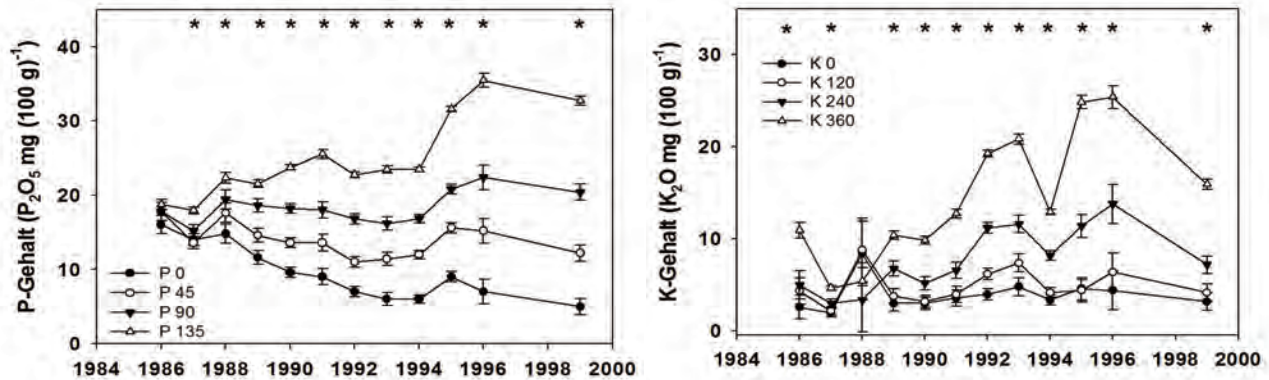


Abb 3.: P- und K-Gehalte des Bodens (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bzw. K<sub>2</sub>O (100 g)<sup>-1</sup> Boden) in Abhängigkeit der P- und K-Versorgung, welche in unregelmäßigen Abständen zwischen den Jahren 1986 und 1999 erfasst wurden. Sterne kennzeichnen signifikante Mittelwertunterschiede zwischen Düngestufen innerhalb eines Jahres.

## 4 Schlussfolgerungen

Eine nicht hinreichende P- und K-Versorgung des Grünlandes beeinflusst nicht nur den TM-Ertrag und die Futterqualität, sondern kann auch das C-Sequestrierungspotential des Bodens einschränken. Bei einem mittleren N-Düngungsniveau von 260 kg N ha<sup>-1</sup> genügte allerdings bereits eine P-Düngung in Höhe von 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> um Höchstträge zu erzielen. Eine darüber hinaus gehende P-Versorgung wird im Boden in verfügbarer Form akkumuliert. Im Gegensatz hierzu besteht für eine den K-Bedarf übersteigende K-Versorgung ein hohes Risiko der K-Auswaschung. Eine angepasste Grundnährstoffversorgung von Dauergrünland ist daher unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten anzustreben; die Empfehlungen zur Grunddüngung und insbesondere die Gehaltsklassen sind jedoch, zumindest für sandige Standorte, kritisch zu hinterfragen.

## 5 Literatur

- [1] CHEN, S. (2013): persönliche Mitteilung.
- [2] HERMANS, C., HAMMOND, J.P., WHITE, P.J. and VERBRUGGEN, N. (2006): How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science* 11, 610-617.
- [3] KLAPP, E. (1965): Grünlandvegetation und Standort. Verlag P. Parey, Berlin, Hamburg.
- [4] MOIR, J., SEIDEL, M. and KAYSER, M. (2013): Potassium dynamics of four grassland soils contrasting in soil K management history. *Grassland Science* 59, 1-10.
- [5] SOUSSANA, J.F., LOISEAU, P., VUICHARD, N., CESCHIA, E., BALESSENT, J., CHEVALLIER, T. and ARROUAYS, D. (2004): Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management* 20, 19-23.
- [6] SPRINGOB, G., BRINKMANN, S., ENGEL, N., KIRCHMANN, H. and BÖTTCHER, J. (2001): Organic C levels of Ap horizons in North Germany Pleistocene sands as influenced by climate, texture, and history of land-use. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164, 681-690.
- [7] WIESMEIER, M., SPÖRLEIN, P., GEUB, U., HANGEN, E., HAUG, S., REISCHL, A., SCHILLING, B., VON LÜTZOW, M. and KÖGEL-KNABNER, I. (2012): Soil organic carbon stocks in south-east Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* 18, 2233-2245.