

Erhöhung des Bodenkohlenstoffspeicherungspotentials von Grünlandssystemen durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

C. Malisch, N. Kagiya, T. Reinsch, F. Taube

Grünland und Futterbau / Ökol. Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel,
cmalisch@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

Der Humusgehalt von Böden steht im direkten Zusammenhang mit der Bodenfruchtbarkeit und dem Klimaschutz. Europäische Grünlandssysteme speichern im Mittel $0.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$. Im Gegensatz dazu verlieren ackerbaulich genutzte Systeme im Jahr 0.8 t C ha^{-1} (Vleeshouwers and Verhagen, 2002). Die Modellierung des C-Speicherpotentials insbesondere von Grünlandstandorten unterliegt allerdings großen Unsicherheiten und ist abhängig von den Standortbedingungen, dem Verbleib von Ernterückständen sowie der chemischen Eigenschaften dieser. Insbesondere letzteres lässt sich perspektivisch aufgrund einer unzureichenden Datengrundlage und seiner Komplexität bisher nur unzureichend für diverse Bestände abbilden, obgleich Vorteile von Mehrartengemengen auf Ertragsleistung und Ökosystemdienstleistungen gegenüber Reinsaaten bereits nachgewiesen wurden (Nyfeler *et al.*, 2009). In den letzten Jahren wurde die Bedeutung der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe, insbesondere diverser Polyphenole, auf die Umsetzungskinetik im Boden erkannt. Eine Polyphenolgruppe, der hierbei besondere Aufmerksamkeit zuteilwurde, sind die Proanthocyanidine (PA, syn. kondensierte Tannine). So haben PAs verschiedene Wirkweisen mit denen sie die Nährstoffkreisläufe beeinflussen können: Einerseits haben sie die Fähigkeit, extrazelluläre Enzyme zu hemmen, wodurch der Abbau organischer Masse durch Mikroorganismen verhindert wird. Gleichzeitig können sie auch die Nitrifikation oder N-Mineralisation hemmen. Dies führt zu einer mittelfristigen Stabilisierung der organischen Bodensubstanz. Könnten Einflüsse der PAs auf den Wurzelumsatz und die C-Sequestrierung nachgewiesen werden, so würde dies einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn für die Kohlenstoffmodellierung von diversen Pflanzenbeständen auf dem Grünland mit sich bringen.

Material und Methoden

Acht Sorten aus fünf Pflanzenarten mit Relevanz im Futterbau wurden aufgrund ihrer für die oberirdische Biomasse bekannten PA-Gehalte ausgewählt, um ihre unterirdischen PA-Konzentrationen sowie die daraus resultierenden CO_2 Respiration zu quantifizieren (Tab. 1). Um den Pflanzen homogene und optimale Wuchsbedingungen zu schaffen wurden sämtliche Pflanzen in einem Gewächshaus der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter kontrollierten Bedingungen (25°C Tagestemperatur, 10°C Nachttemperatur, Bewässerung) kultiviert. Der im gesamten Experiment verwendete Boden war ein sandiger Lehm mit $0.78\% \text{ C}_{\text{org}}$.

Zur Ernte wurde die gesammelte Wurzelmasse in zwei Teilproben getrennt, die entweder für die Tanninextraktion oder für die Respirationmessungen verwendet wurden. Die Extraktion der Tannine erfolgte mit einem Aceton:Wasser (80/20 v/v) Gemisch wie in Malisch *et al.* (2015) beschrieben. Die Quantifizierung der Tannine erfolgte mittels UPLC-MS/MS-Analyse nach Engström *et al.* (2015). Alle Messungen wurden anschließend auf den Gehalt an organischer Substanz korrigiert. Zur Durchführung der Respirationmessungen wurden drei grundsätzliche Arten von Behandlungen durchgeführt: a) der Boden wurde mit Wurzeln der acht

Sorten inkubiert um die aus dem Wurzelumsatz entstehende Respiration zu erheben, b) der Boden blieb wurzelfrei und wurde mit Polyphenol-Extrakten aus der oberirdischen Biomasse von OV, LC und LP geimpft, zur Simulation des Eintrages von Polyphenolen aus Ernteresten und seneszenten Blattmasse, sowie c) eine Negativkontrolle mit wurzelfreien Boden ohne jegliche Modifikation zur Messung der Hintergrundatmung. Jede Behandlung wurde vierfach wiederholt.

Tabelle 1: Verwendete Sorten und das umgesetzte C der Wurzeln, sowie ihr C/N Verhältnis, und die Konzentration an Proanthocyanidinen (PA) und hydrolysierbaren Tanninen (HT) in mg /g organischer Masse

Art	Abk.	Sorte	C Um-	C/N	PA	HT
Hornschatenkleee (<i>Lotus corniculatus</i>)	LC	Viking	52.6±7.2	17	0.2	0
Esparssette (<i>Onobrychis viciifolia</i>)	OV	Perly	39.7±2.3	42	0	0.02
Luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	MS	Galaxie	35.1±3.9	21	0	0.1
Sumpf-Hornkleee (<i>Lotus pedunculatus</i>)	LP	PR3	30.7±4.4	16	6.5	0
Hornschatenkleee (<i>Lotus corniculatus</i>)	LC	Leo	29.5±1.5	17	1.8	0
Kl. Wiesenknopf (<i>Sanguisorba minor</i>)	SM	PR2	27.4±6.2	55	1.0	56.8
Esparssette (<i>Onobrychis viciifolia</i>)	OV	WKT10	14.3±3.8	28	0.1	0
Sumpf-Hornkleee (<i>Lotus pedunculatus</i>)	LP	NSL	11.9±2.3	19	2.7	0

Die Wurzeln, bestehend aus dem gleichen Verhältnis aus Pfahlwurzeln und Lateralwurzeln, wurden in Nylon-Netzen (20 × 20 cm, Maschengröße 0,037 mm) vor der Inkubation für 48h zur Homogenisierung und Trockenmassebestimmung gefriergetrocknet. Anschließend wurden die Netze drei Tage lang im Wasser rehydriert, bevor sie in den Boden jeweils mit 7,8 g TM Wurzeln inkubiert wurden. Bei den zusätzlich in eigenen, nur mit Boden gefüllten Gefäßen durchgeführten Behandlungen mit Polyphenolextrakten wurde einmal pro Woche dem wurzelfreien Boden der Extrakt in Lösung hinzugegeben (70 mg PA/70 mL H₂O am Tag 1,7, 14, 21 und 70 mg PA/35 mL H₂O am Tag 28, 35, 42, 49, 56).

Um die Bodenfeuchte über das Experiment konstant zu halten wurde täglich bewässert um den Bodenwassergehalt auf mindestens 0,25 m³/m³ anzuheben. Der CO₂-Fluss wurde jeden zweiten Tag mit einem IRGA (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) verbunden mit einer Bodenrespirationskammer (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Die PA-Konzentration variierte (Tab. 1, P<0,001) sowohl innerhalb der Arten als auch zwischen der ober- und unterirdischen Biomasse. In der oberirdischen Biomasse wurde die höchsten Konzentrationen (P<0,001) mit 15,9 mg PA g DM⁻¹ in den beiden Esparssette-Sorten nachgewiesen (Resultate nicht gezeigt). Dem entgegengesetzt besaß Esparssette nahezu keinerlei Sekundärmetabolite im Wurzelsystem. Aufgrund der unterschiedlichen C-Gehalte in den Wurzeln variierte bei gleicher Wurzelmasse die Menge an inkubierten C. Daher wurde die Analyse im Folgenden in zwei Kategorien unterteilt: CO₂-C Respiration pro g organischer Substanz (OM) sowie CO₂-C Respiration pro g C Eintrag. Bei gleicher OM unterschieden sich die kumulativen CO₂-C-Respiration signifikant zwischen den Behandlungen (P<0,001), wobei die niedrigsten Emissionen mit 72 g C m⁻² aus der Inkubation mit Wurzeln des Sumpf-

hornklee „NSL448192“ resultierten. Dies entsprach weniger ($P < 0.05$) als der Hälfte der Flüsse die aus dem Umsatz der Luzernewurzeln entstanden (138 g C m^{-2}) (Abb. 1a).

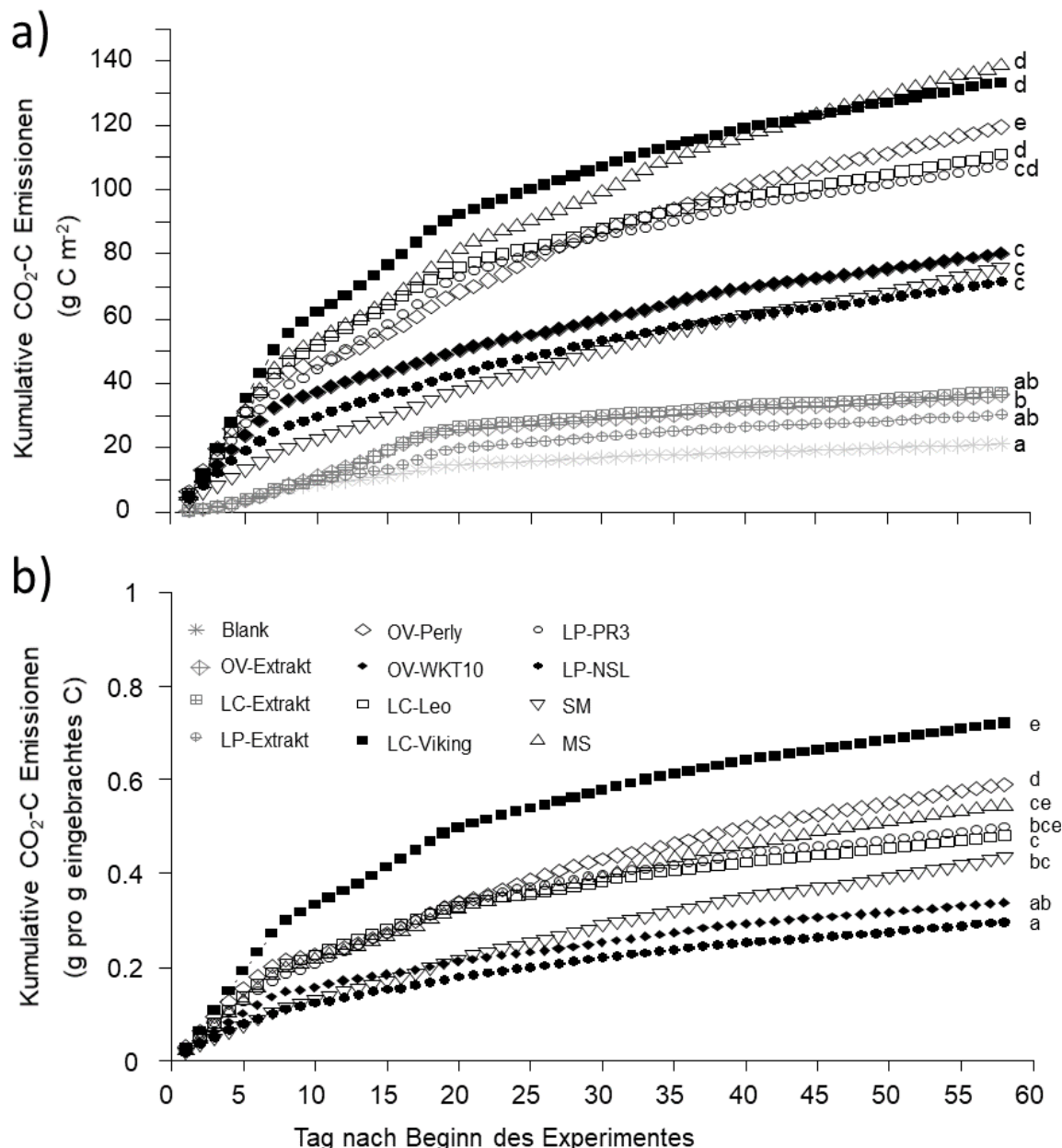


Abbildung 1: $\text{CO}_2\text{-C}$ Respiration aus der Zersetzung von Wurzeln der acht Sorten, sowie von drei Extrakten der oberirdischen Biomasse, und der Negativkontrolle („Blank“). In Teil a) der Abbildung sind die Emissionen bei gleicher eingebrachter Biomasse in den Boden abgebildet, während in Teil b) die Emissionen auf die Menge des in den Boden eingetragenen Kohlenstoff korrigiert sind. Unterschiedliche Buchstaben repräsentieren signifikante ($P < 0.05$) Unterschiede anhand paarweiser Vergleiche.

Die CO_2 -Respiration unterschied sich innerhalb der Arten ebenso wie zwischen den Arten, wobei die Unterschiede insbesondere bei dem Sumpfhornklee und der Esparsette ausgeprägt waren. So waren bei den Sorten "PR3" und "Perly" die Respiration im Vergleich zu "NSL448192" bzw. "WKT10" jeweils um 50% höher ($P < 0.01$). Beim Vergleich des emittierten $\text{CO}_2\text{-C}$ pro Kohlenstoff wurden die höchsten Verluste ($P < 0,01$) in der Hornschotenklee-Sorte "Viking" festgestellt, wobei 72% des gesamten eingebrachten Kohlenstoffs als CO_2 nachgewiesen werden konnten. Im Vergleich hierzu emittierten die Sumpfhornklee-Sorte

"NSL448192" und die Esparsette-Sorte "WKT10" nur 30% bzw. 34% der eingebrachten C-Mengen. Die beobachteten Unterschiede konnten allerdings nicht durch chemische Eigenschaften der Wurzeln erklärt werden. Weder Tannine, noch C/N Verhältnis, noch im folgenden quantifizierte Alkaloide oder andere Sekundärmetaboliten korrelierten mit der gemessenen CO₂-Respiration. Ungeachtet dessen kann aus den Resultaten abgeleitet werden, dass es unterschiedliche Wurzelumsatzraten zwischen den Arten und Sorten gibt. So bildeten die Sorten „NSL448192“ und „PR3“ des Sumpfhornkleees sowie die Sorte „Viking“ des Hornschotenkleees die gleiche Menge Wurzelmasse, doch Wurzelumsatzraten, welche sich um den Faktor zwei unterscheiden.

Schlussfolgerungen

Während gezeigt werden konnte, dass große Unterschiede zwischen den Wurzelumsatzraten existierten, konnte nicht abschließend geklärt werden, welche chemischen Eigenschaften der Wurzeln den größten Beitrag auf die Emissionen aufwiesen. So kann die Hypothese bestätigt werden, dass eine sorgfältige Auswahl der gepflanzten Futterleguminosen wahrscheinlich deutliche Unterschiede in dem Potential zum Kohlenstoffeintrag in den Boden führt und somit gezielt als Werkzeug zur Erhöhung des Bodenkohlenstoffgehaltes genutzt werden kann.

Literatur

- Engström, M.T., Päljjarvi, M., Salminen, J.-P., 2015. Rapid Fingerprint Analysis of Plant Extracts for Ellagitannins, Gallic Acid, and Quinic Acid Derivatives and Quercetin-, Kaempferol- and Myricetin-Based Flavonol Glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 4068-4079. <http://doi.org/c6fg>
- Malisch, C.S., Lüscher, A., Baert, N., Engström, M.T., Studer, B., Fryganas, C., Suter, D., Mueller-Harvey, I., Salminen, J.-P., 2015. Large Variability of Proanthocyanidin Content and Composition in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 10234-10242. <http://doi.org/f72wjc>
- Nyfelner, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., Connolly, J., Lüscher, A., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *J. Appl. Ecol.* 46, 683-691. <http://doi.org/cs2fdk>
- Vleeshouwers, L.M., Verhagen, A., 2002. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biol* 8, 519-530. <http://doi.org/chbj3f>