

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission I
Titel der Tagung: Horizonte des Bodens
Veranstalter: DBG
Termin und Ort der Tagung: 2.-7. September, Göttingen
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation) <http://www.dbges.de>

Einfluss von Baumarten auf Treibhausgasumsätze in verformten Waldböden

Hannes Warlo¹, Felix Hugo¹, Moritz Kramer¹, Friederike Lang¹, Helmer Schack-Kirchner¹

Einleitung

Um flächige Schäden durch die Befahrung von Waldböden zu vermeiden, besteht in Deutschland das Rückegassenkonzept. Dieses sieht vor, dass alle Fahrbewegungen abseits von Waldstraßen und Maschinenwegen auf Rückegassen konzentriert werden, um den Bestand vor Befahrungsschäden zu schützen. Trotz dieser Bodenschutzmaßnahme geht man davon aus, dass bei einer angenommenen Rückegassenbreite von vier Metern und Abständen zwischen den Gassen von 20-40 Metern, bodenphysikalische Veränderungen auf 10-20 % der deutschen Waldfläche stattfinden. Die aus bodenökologischer Sicht gravierendsten Veränderungen sind eine Abnahme des Porenvolumens durch die Verdichtung von Grob- und Mittelporen sowie ein Verlust der Porenkontinuität. Die daraus resultierende verringerte Bodenbelüftung führt zu einer Hemmung der biotischen Strukturbildung, insbesondere durch ein eingeschränktes Wurzelwachstum. Zudem bewirkt die Sauerstoffarmut eine Veränderung der Quellen- und Senkenfunktion des Bodens für die klimarelevanten Spurengase Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). So ist zu erwarten, dass bei abnehmender Sauerstoffverfügbarkeit die Methanoxidationsrate abnimmt. Unter zunehmend anaeroben Bedingungen kommt es zu einer netto CH_4 -Produktion. Auch die Freisetzung von N_2O ,

dem Zwischenprodukt der unter anoxischen Bedingungen verstärkt ablaufenden Denitrifizierung, wird durch die verringerte Bodenbelüftung gefördert.

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss der Baumarten Buche, Fichte und Schwarzerle auf die Flüsse von CO_2 , CH_4 und N_2O in verformten Waldböden zu quantifizieren. Schwarzerle wurde aufgrund ihres potentiellen positiven Einflusses auf die Regeneration der Bodenstruktur (Meyer et al. 2014) miteinbezogen. Dieser beruht auf der Fähigkeit von Erlenwurzeln, aufgrund ihres Aerenchyms auch in anaerobe Bodenbereiche vordringen zu können. Durch die Symbiose von Erlenwurzeln mit stickstofffixierenden Actinomyceten kann es außerdem zu einer erhöhten N_2O -Freisetzung kommen, da mehr Ausgangssubstrat für die Prozesse der Nitrifizierung und Denitrifizierung zur Verfügung steht.

Material und Methoden

Auf einer ehemaligen Sturmwurflläche im Landkreis Ravensburg wurden drei Reinbestände von Buche, Fichte und Schwarzerle in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander ausgemacht. In jedem Bestand wurden ehemalige Fahrspuren identifiziert, die nach der letzten Befahrung im Jahr 2000 mit den jeweiligen Baumarten bepflanzt wurden. Entlang von fünf Quertransekten pro Fahrspur wurden drei Straten definiert: (1) Bestand (ungestörte Kontrolle), (2) Fahrgleis (Bereich des direkten Kontakts zwischen Maschine und Boden) und (3) Mittelwulst (Bereich zwischen den beiden Fahrgleisen). In den verschiedenen Straten wurden Messkragen installiert, die über eine Dauer von einem Jahr vor Ort verblieben (**Abbildung 1**).



Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Fahrspurprofils mit Einteilung in Straten und zugehörigen Messkammern.

Innerhalb dieses Jahres fanden zwischen Juni 2016 und Juni 2017 insgesamt 17

¹ Professur für Bodenökologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg
hannes.warlo@bodenkunde.uni-freiburg.de

Gasflussmessungen (CO_2 , CH_4 und N_2O) in einer zeitlichen Auflösung von mindestens einem Monat statt. Dazu wurden Messkammern für 30 Minuten auf den Messkragen installiert und sechs Gasproben mithilfe von evakuierten Glasvials entnommen. Durch die Injektion von Ethan als Tracergas in die Messkammer konnte anhand der Abnahme der Ethankonzentration der Diffusionskoeffizient des Bodens anhand einer in-situ Methode nach Schack-Kirchner et al. (2001) bestimmt werden. Die Analyse der Gasproben fand gaschromatographisch (GC 8000 series, Fisons, Loughborough, United Kingdom; CARBONPLT Säule, J&W Scientific, Folsom, USA) mit Hilfe eines ECD und eines FID nach Lofffield et al. (1997) statt.

Als weitere Parameter wurden bei jeder Messung Lufttemperatur, Bodentemperatur und Bodenfeuchte bestimmt. Anhand der erhobenen Parameter wurden gemischte lineare Modelle für jedes Stratum erstellt, um in einer ceteris-paribus-Darstellung den Effekt der Baumarten auf die Spurengasflüsse zu quantifizieren. Dabei wurden als fixed effects die Parameter „Baumart“, „Bodentemperatur“, „Bodenfeuchte“ und „relativer Diffusionskoeffizient“ festgelegt. Als random effect wurden die zeitlichen und räumlichen Wiederholungen im Jahresverlauf angesehen.

Ergebnisse und Diskussion

Obwohl die Reinbestände von Buche, Fichte und Erle auf einer Fläche von nicht einmal einem Hektar lokalisiert sind, war eine räumliche Variabilität der Bodenfeuchte zu erkennen. Zu jedem Messzeitpunkt wurden im Erlenbestand signifikant höhere Feuchten gemessen als unter Buche und Fichte, die sich untereinander nicht unterschieden. Eine höhere volumetrische Bodenfeuchte unter Erle spiegelte sich jedoch nicht in geringeren Diffusionskoeffizienten wider. Dies wäre zu erwarten gewesen, da wassergefülltes Porenvolumen nicht zur Diffusionsleistung des Bodens beiträgt. Eine Erklärung für diesen scheinbaren Widerspruch könnten durch das Wurzelwachstum der Erle geschaffene Grobporen sein, welche

erheblich zur Diffusionswirksamkeit des Bodens beitragen.

Die CO_2 -Flüsse folgten in allen Beständen erwartungsgemäß der Bodentemperatur. Während der Vegetationsperiode wurden im Erlenbestand signifikant höhere Respirationsraten von bis zu $211 \text{ kg/ha} \cdot \text{d}^{-1}$ gemessen, als im Buchen- und Fichtenbestand (maximal 135 bzw. $111 \text{ kg/ha} \cdot \text{d}^{-1}$). Höhere Respirationsraten im Erlenbestand wurden auf ein enges C/N-Verhältnis aufgrund der stickstoffreichen Erlenstreu und die daraus erhöhte biologische Aktivität zurückgeführt. Bei der Betrachtung der monatlich gemessenen CH_4 -Flüsse im Fahrgleis (**Abbildung 2**) wird deutlich, dass sich eine verbesserte Bodenbelüftung unter Erle nicht in einer erhöhten Methanoxidationsrate äußerte. Mögliche Ursache hierfür ist eine kompetitive Inhibition der CH_4 -Oxidation durch erhöhte Gehalte an Ammonium (NH_4^+) unter Erle in Folge der Stickstoffakkumulation durch die Symbiose mit Actinomyzeten (Fixierungsleistung von bis zu $80 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ unter Schwarzerle). Hierbei tritt NH_4^+ an den Bindungsplätzen der Enzyme methanotropher Bakterien in Konkurrenz mit CH_4 .

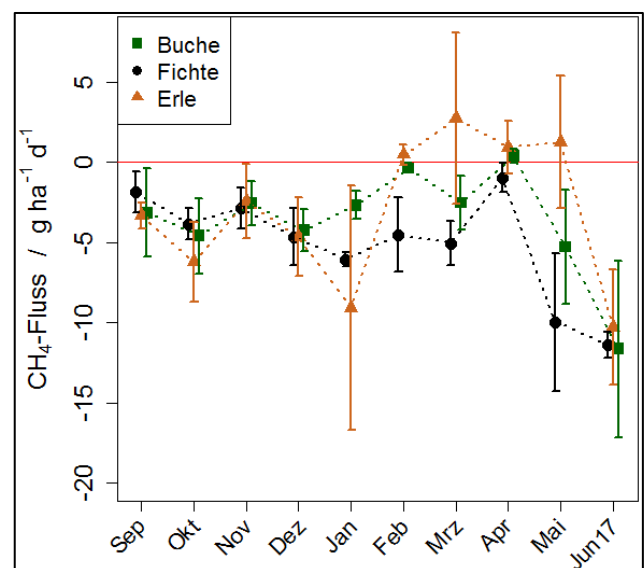


Abbildung 2: CH_4 -Flüsse im jahreszeitlichen Verlauf im Stratum „Fahrgleis“. Abgebildet sind die Mediane der fünf Feldwiederholungen mit ihrem 95 % Vertrauensbereich. Aufgrund technischer Schwierigkeiten konnten die Messungen von Juni bis August 2016 nicht verwendet werden.

Aus **Abbildung 3** wird ersichtlich, dass im ungestörten Bestand unter Erle meist geringere Methanoxidationsraten vorlagen. Dies könnte ebenfalls auf den Effekt einer kompetitiven Inhibition, bedingt durch höhere NH_4^+ -Gehalte zurückzuführen sein.

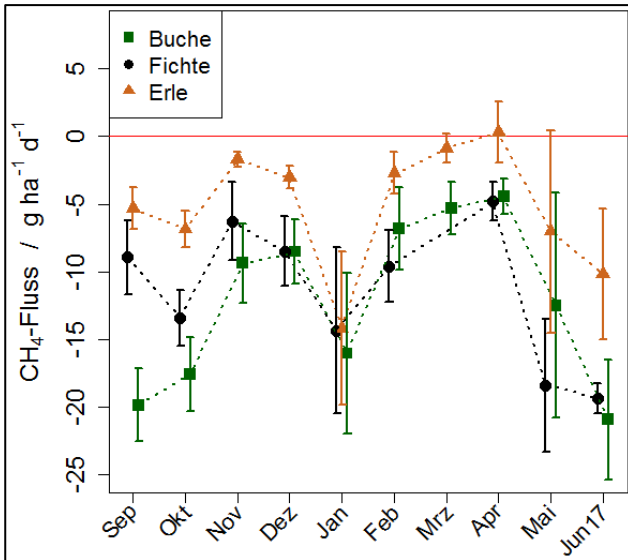


Abbildung 3: CH_4 -Flüsse im jahreszeitlichen Verlauf im Stratum „Bestand“. Abgebildet sind die Mediane der fünf Feldwiederholungen mit ihrem 95 % Vertrauensbereich. Aufgrund technischer Schwierigkeiten konnten die Messungen von Juni bis August 2016 nicht verwendet werden.

Analog zu den vorigen Abbildungen sind in **Abbildung 4** die Flüsse von N_2O im Stratum „Bestand“ zu sehen. Auffällig ist hier eine Zunahme der N_2O -Emissionen unter Erle ab dem Herbst 2016, während keine signifikanten Unterschiede zwischen Buche und Fichte erkennbar waren. Anhand von gemischten linearen Modellen konnte die Bodenfeuchte als Haupteinflussfaktor auf die N_2O -Emissionen identifiziert werden. Außerdem waren die N_2O -Emissionen im Erlenbestand am höchsten, wenn die Bodentemperaturen nahe dem Gefrierpunkt lagen. Dies kann auf Mineralisationsschübe zurückgeführt werden, wenn nach dem Auftauen der stickstoffreichen Erlenstreu leicht verfügbares Substrat für Nitrifizierung und Denitrifizierung zur Verfügung steht. Im Stratum „Fahrgleis“ war eine Tendenz zu höheren N_2O -Freisetzungsraten unter Erle erkennbar, die jedoch statistisch nicht signifikant war. Ebenfalls nur ein Trend war

hier in Richtung geringerer Emissionen unter Fichte zu sehen.

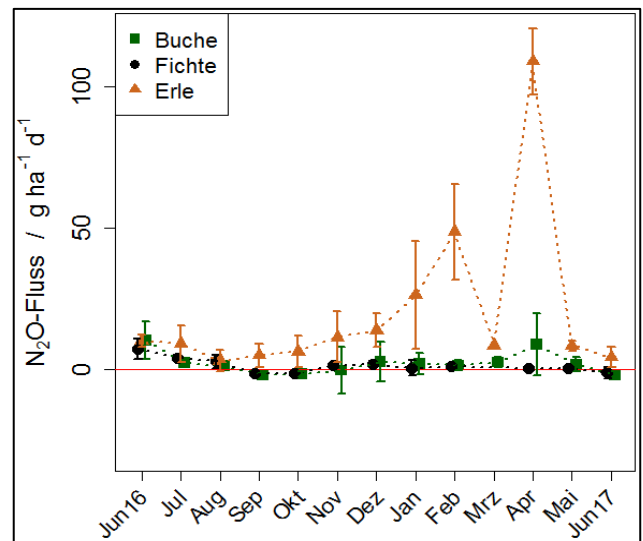


Abbildung 4: N_2O -Flüsse im jahreszeitlichen Verlauf im Stratum „Bestand“. Abgebildet sind die Mediane der fünf Feldwiederholungen mit ihrem 95 % Vertrauensbereich.

Nach Erstellung der gemischten Modelle und der Standardisierung der Parameter „Bodenfeuchte“ auf 40 %, „Bodentemperatur“ auf 15 °C und „relativer Diffusionskoeffizient“ auf 0,2 konnte für CO_2 ein Baumarteneffekt für Erle identifiziert werden: In allen Straten lag die Respirationsrate signifikant höher, als unter Buche und Fichte. Auch für N_2O konnten zumindest im ungestörten Bestand erhöhte Emissionen unter Erle nachgewiesen werden. Bei CH_4 hingegen war in keinem Stratum ein Effekt der Baumarten erkennbar.

In **Abbildung 5** sind die durchschnittlichen netto CH_4 - und N_2O -Emissionen in kg CO_2 -Äquivalenten/ $\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$ der einzelnen Bestände, differenziert nach Straten dargestellt. Die CO_2 -Emissionen fanden in dieser Übersicht keine Beachtung, da von einer ausgeglichenen Bilanz zwischen C-Fixierung und -Mineralisierung ausgegangen werden kann. Zudem wurde angenommen, dass 15 % der Bestandesfläche durch Rückegassen ausgemacht werden, welche sich wiederum zu jeweils 50 % aus Fahrgleis und Mittelwulst zusammensetzen.

Im ungestörten Bestand unter Fichte gleichen sich Methanoxidation und N_2O -Produktion aus. Im Fahrspeurbereich kommt es unter Erle zu etwa 80 % höheren Treib-

hausgasemissionen, als unter Fichte. Unter Buche liegen die Emissionen um knapp 30 % höher.

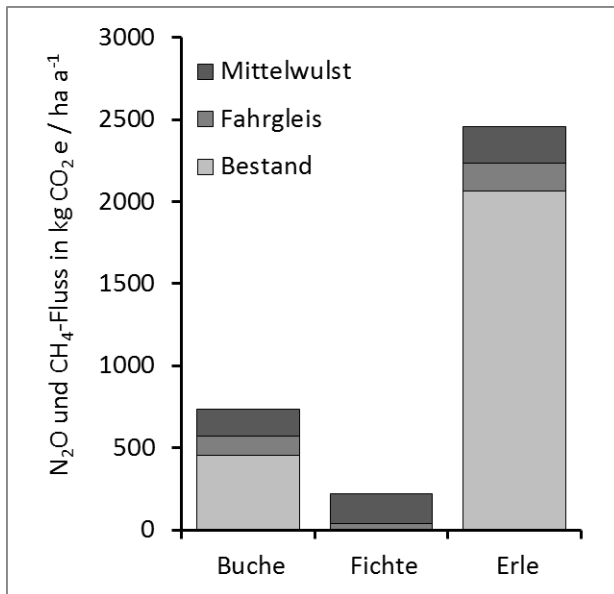


Abbildung 5: Durchschnittliche netto CH₄- und N₂O-Emissionen in CO₂-Äquivalenten/ha*a⁻¹ in den einzelnen Beständen, differenziert nach Straten.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Arbeit legt nahe, dass Schwarzerlenbestände aufgrund ihrer Eigenschaft, atmosphärischen Stickstoff zu fixieren, zu erhöhten Treibhausgasemissionen in Form von Lachgas führen. Aus Gesichtspunkten des Klimaschutzes erwies sich der Fichtenbestand am günstigsten, da sich Methankonsumption und N₂O-Produktion hier nahezu ausgleichen. Hinweise auf eine verbesserte Strukturregeneration auf mit Schwarzerlen bepflanzten Fahrspuren spiegeln sich nicht in höheren Methanoxideraten wider. Daher ist anzunehmen, dass andere Prozesse, wie z.B. eine kompetitive Hemmung der CH₄-Oxidation durch NH₄⁺, den Effekt einer besseren Bodenbelüftung konterkarieren. Dennoch ist von einer Bepflanzung von Fahrspuren mit Schwarzerlen zur Strukturregeneration nicht grundsätzlich abzuraten. Positive Effekte wie die Erhaltung der technischen Befahrbarkeit durch eine mögliche Armierungswirkung des Wurzelgeflechts könnten die im Vergleich zu Fichte um ca. 80 % höheren Treibhausgasemissionen ausgleichen. Insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass nur etwa 15 % der Be-

standesfläche aus Rückegassen bestehen und durch die dauerhafte Erhaltung der technischen Befahrbarkeit verhindert werden kann, dass weitere Flächenanteile durch das Ausweichen auf tragfähigeren Boden beschädigt werden. Diese noch offenen Fragen werden wir auf Basis laufender Experimente klären.

Literatur

- Meyer, C., Lüscher, P., & Schulin, R. (2014). Recovery of forest soil from compaction in skid tracks planted with black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), *Soil and Tillage Research*, 143: 7–16.
- N. Lofffield, H.Flessa, J. Augustin, F. B. (1997). Automated Gas Chromatographic System for Rapid Analysis of the Atmospheric Trace Gases Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide, *Journal of Environmental Quality*, 26: 560–4.
- Schack-Kirchner, H., Gaertig, T., Wilpert, K. V., & Hildebrand, E. E. (2001). A modified McIntyre and Phillip approach to measure top-soil gas diffusivity in-situ, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164/3: 253–8.