

**Tagungsbeitrag zu:** Jahrestagung der  
**Titel der Tagung:** Böden – Lebens-  
grundlage und Verantwortung  
**Veranstalter:** DBG, Rostock, Septem-  
ber 2013

**Berichte der DBG** (Nicht begutachtete  
online Publikation)

<http://www.dbges.de>

## **CO<sub>2</sub>-Konzentration der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität als Indikatoren der natürlichen Regeneration auf Rückegassen im Kalkbuchenwald**

Corinna Kohn, Thorsten Gaertig und  
Heinz-Christian Fründ

### **Zusammenfassung**

Durch das Fahren von Forstmaschinen im Wald kommt es auf den Rückegassen zu Bodenverdichtung. Dabei ist weitgehend unbekannt, ob und in welchem Zeitraum eine natürliche Regeneration auf den verdichteten Waldböden stattfindet. In dieser Untersuchung wurden CO<sub>2</sub>-Konzentration und Phosphatase-Aktivität auf unterschiedlich alten Rückegassen (5, 15, 24 und 38 nach der letzten Befahrung) untersucht, um den Regenerationsfortschritt festzustellen. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist auf der fünf Jahre alten Rückegasse am höchsten, die Phosphatase-Aktivität hingegen ist auf der Fahrspur und im Mittelstreifen reduziert. 24 Jahre nach der letzten Befahrung liegen die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf der Rückegasse bei 2000 ppm und entsprechen wieder denen im ungestörten Bereich.

---

HAWK Hildesheim, Holzminden, Göttingen  
Corinna Kohn  
Büsgenweg 1a  
37077 Göttingen  
Email: [Corinna.Kohn@hawk-hhg.de](mailto:Corinna.Kohn@hawk-hhg.de)  
Telefon: 0551 5032 191

**Schlüsselworte:** Bodenverdichtung, CO<sub>2</sub>-Konzentration, natürliche Regeneration, Phosphatase-Aktivität

### **Einführung**

Der Einsatz von Forstmaschinen ist für eine rationelle Waldbewirtschaftung unvermeidlich, obwohl das Befahren von Waldböden Bodenschäden bewirkt. Durch Bodenverdichtung ändern sich das Mikro- und Makrogefüge des Bodens – es kommt zu Strukturstörungen, die sowohl die physikalischen als auch chemischen und ökologischen Eigenschaften des Bodens beeinflussen.

Von besonderer Bedeutung sind dabei Belüftungsstörungen und damit einhergehende Änderungen der Luftzusammensetzung. Insbesondere erhöhen sich die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, wohingegen sich die O<sub>2</sub>-Konzentrationen verringern. Damit geht eine Beeinträchtigung von Pflanzenwurzeln einher und die Vitalität der Pflanzen kann herabgesetzt sein (z. B. GAERTIG ET AL. 1999, EPPINGER ET AL. 2002). Auch andere aerobe Bodenorganismen werden gestört und es folgt die Umstellung auf eine anaerobe Mikroflora (FREY ET AL. 2009).

Bodenenzyme reagieren früher als andere Bodeneigenschaften auf Veränderungen im Boden und Enzymaktivitätsbestimmungen werden zur Beurteilung des Einflusses verschiedener Umweltfaktoren auf den Boden eingesetzt (KANDELER UND DICK 2007). Verdichtete Böden weisen dabei geringere Enzymaktivitäten als ungestörte Böden auf (TAN ET AL. 2008). Saure Phosphatasen zählen zu den extrazellulären Enzymen und werden vorrangig von Pflanzenwurzeln und Pilzhyphen in die Rhizosphäre abgegeben (HÄUSSLING UND MARSCHNER 1989, SCHINNER UND SONNLEITNER 1996). Sie sind

somit ein Indikator für aerobe Organismen, die das Bodenvolumen aktiv erschließen.

Ziel dieser Untersuchung ist es festzustellen, in welchem Umfang eine natürliche Regeneration des verdichteten Bodens auf Rückegassen auf biologisch sehr aktiven Standorten stattfindet und anhand der Parameter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität quantifiziert werden kann.

## Material und Methoden

In einer unechten Zeitreihe wurden Rückegassen in einem Buchenaltbestand im Göttinger Wald (Terra fusca, Bodenart mäßig bis mittelschluffiger Ton, pH-Wert (H<sub>2</sub>O) 5-7) untersucht, die seit 5, 15, 24 und 38 Jahren nicht mehr befahren wurden.

An 4 Transekten mit jeweils 31 Messpunkten quer über die Rückegasse, die jeweils die Bereiche Bestand, Fahrspur, Seitenstreifen und Mittelstreifen umfassen, wurden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Bodenluft in 5 cm Tiefe gemessen. Die Messungen erfolgten nach dem NDIR Verfahren (FOERSTER ET AL. 2012).

An einem weiteren Transekt wurden Bodenproben entnommen und die saure Phosphomonoesterase-Aktivität unter Verwendung von Mikrotiterplatten bestimmt (MARGESIN 1993, KREMER 1994). Die Bodenproben wurden auf 5 mm gesiebt und nach Zugabe einer auf pH 6,5 gepufferten p-Nitrophenyl-Phosphatlösung eine Stunde bei 37°C inkubiert. Die enzymatisch freigesetzte Menge an p-Nitrophenyl wurde nach Zugabe von Natronlauge im alkalischen als p-Nitrophenolat photometrisch bei 400 nm bestimmt.

## Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Bodenluft auf den unterschiedlich alten Rückegassen. Im Referenzbereich und im Bestand beträgt der CO<sub>2</sub>-Gehalt auf allen Untersuchungsflächen 2000 ppm. Das entspricht den Werten eines gut durchlüfteten Bodens. Die Streuung ist bei diesen Messungen sehr gering.

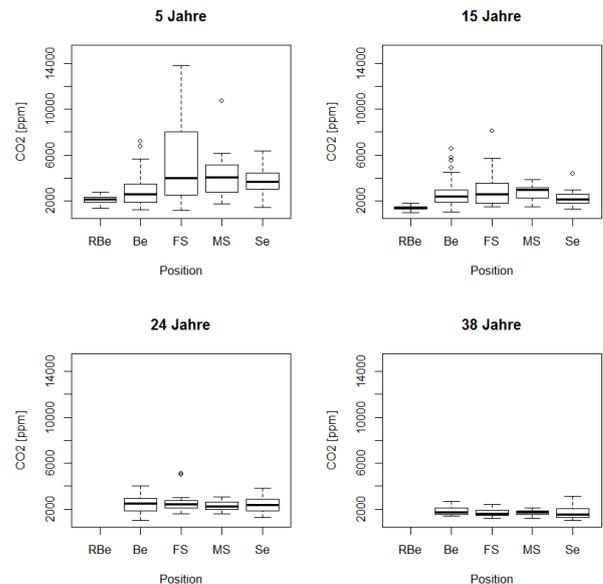


Abbildung 1: Whisker-Boxplots (Median und Quartile) für CO<sub>2</sub>-Konzentration der Bodenluft in 5 cm Tiefe auf vier unterschiedlich alten Rückegassen. RBe: Referenzmessung im Bestand. Be: Bestand, FS: Fahrspur, MS: Mittelstreifen, Se: Seitenstreifen.

Die Rückegasse, die seit fünf Jahren nicht mehr befahren wurde, zeigt signifikante Unterschiede zwischen der Referenz und der Fahrspur. Sehr deutlich zu sehen ist auch, dass die Streuung der Messwerte auf der Fahrspur sehr hoch ist, es werden Spitzenwerte bis 14.000 ppm erreicht – das ist sieben Mal höher als im ungestörten Waldboden. Auch auf dem Mittelstreifen und Seitenstreifen werden höhere CO<sub>2</sub>-

Konzentrationen als im ungestörten Bereich erreicht.

Mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur letzten Befahrung werden die CO<sub>2</sub>-Gehalte geringer und auch die Streuung nimmt ab. Nach 15 Jahren ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt auf der Fahrspur und im Seitenstreifen noch leicht erhöht. Nach 24 und 38 Jahren liegen die Werte in allen Bereichen bei 2000 ppm.

Die saure Phosphomonoesterase-Aktivität auf drei unterschiedlich alten Rückegassen zeigt Abb. 2. Fünf Jahre nach der letzten Befahrung ist die Enzymaktivität auf der Fahrspur und im Mittelstreifen deutlich geringer als im ungestörten Bereich und dem Seitenstreifen. Auf der Rückegasse, die 15 Jahre nicht befahren wurde, ist die Phosphatase-Aktivität auf dem Mittelstreifen reduziert, auf der Fahrspur hingegen auf demselben Niveau wie im Bestand. 24 Jahre nach der letzten Befahrung ist die Enzymtätigkeit auf der Fahrspur sogar höher als in den anderen Bereichen der Rückegasse.

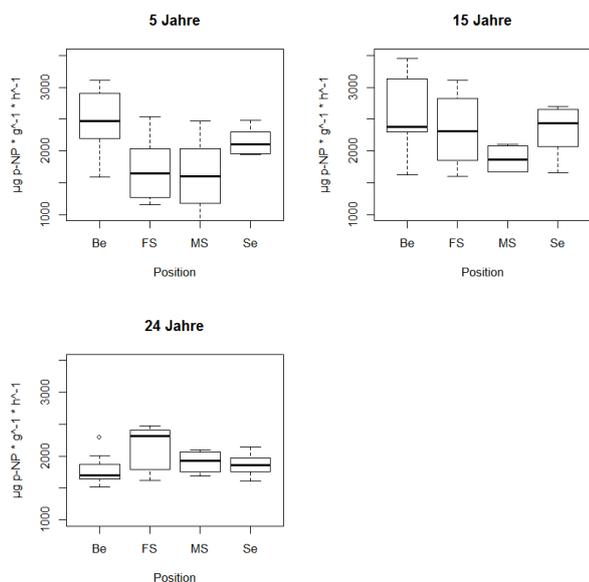


Abbildung 2: Whisker-Boxplots (Median und Quartile) für saure Phosphatase-Aktivität [ $\mu\text{g NP} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] in 5 cm Tiefe auf drei unterschiedlich alten Rückegassen. Be: Bestand, FS: Fahrspur, MS: Mittelstreifen, Se: Seitenstreifen.

## Diskussion

Die vorliegende Untersuchung wurde in einer unechten Zeitreihe durchgeführt. Alle Rückegassen wurden mehrfach befahren, wobei die Anzahl der Überfahrten unbekannt ist. Da die stärkste Bodenverdichtung bereits innerhalb der ersten Befahrungen passiert (LOEFFLER 1985), ist es möglich, die Regeneration mit einer unechten Zeitreihe zu untersuchen.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft zeigt an, dass auf diesen biologisch sehr aktiven Standorten eine Regeneration innerhalb weniger Dekaden stattfindet.

Die Messungen der Phosphatase-Aktivität deuten bereits 15 Jahre nach der letzten Befahrung keine Wurzelschädigung auf der Fahrspur mehr an, aber auf dem Mittelstreifen ist die Enzymaktivität reduziert. Möglicherweise wachsen Feinwurzeln von der Seite her wieder in die Fahrspur ein und führen somit zu einer erhöhten Enzymaktivität. Auch die Akkumulation von organischem Material in der Fahrspur mit einhergehender höherer Nährstoffmineralisierung könnte zu diesem Befund beigetragen haben. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf und andere Parameter wie z.B. der Kohlenstoffgehalt müssen hinzugezogen werden.

## Literatur

EPPINGER M, SCHACK-KIRCHNER H, HILDEBRAND EE (2002): Rückegassen als Wurzelraum. Feinwurzelzerfassung in einem Buchenbestand. *AFZ-DerWald* 10, S. 489–491.

FOERSTER T, GAERTIG T, KUHNKE F (2012): Messtechnische Möglichkeiten zur Beurteilung der Belüftungssituation von Böden über deren CO<sub>2</sub>-Gehalt. In: *Jahrbuch der Baumpflege*, 16. Ausgabe.

FREY B, KREMER J, RÜDT A, SCIACCA S, MATTHIES D, LÜSCHER P (2009): Compaction of forest soils with

heavy logging machinery affects soil bacterial community. *Eur. J. Soil Biol.* 45: 312–320.

GAERTIG T, v. WILPERT K UND SCHACK-KIRCHNER H (1999): Bodenbelüftung als Steuergröße der Feinwurzelverteilung in Eichenbeständen. *Allg. Forst u. J.-Zeitg.* 170: 81-87.

HÄUSSLING M, MARSCHNER H (1989): Organic and inorganic soil phosphates and acid phosphatase activity in the rhizosphere of 80-year-old Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] trees. *Biol. Fertil. Soils* 8: 128-133.

KANDELER E & DICK RP (2007): Soil Enzymes: Spatial distribution and function in agroecosystems. In: Benckiser und Schnell (2007): *Biodiversity in Agricultural Production Systems*, S. 263-286.

KREMER RJ (1994): Determination of soil phosphatase activity using a microplate method. *Communications in soil science and plant analysis* 25: 319-325.

LOEFFLER H (1985): Bodenschäden bei der Holzerte - Bedeutung und Erfassung. *Forst Holzwirt* 40:379–383.

MARGESIN R (1993): Bestimmung der sauren und alkalischen Phosphomonoesterase-Aktivität. In: Schinner et al. (1993): *Bodenmikrobiologische Methoden*, Berlin u.a.: Springer, S. 200-203

SCHINNER F, SONNLEITNER R (1996): *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik*, Bd. 1, Berlin u.a.: Springer.

TAN X, CHANG SX, KABZEMS R (2008): Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. *Biol. Fertil. Soils* 44: 471–479.