

# Project *brief*

Thünen-Institut für Waldökosysteme

2022/42

## Stoffliche Belastungsgrenzen von Waldökosystemen (Critical Loads) – Auswirkung von Denitrifikation und Verwitterung

Cornelius Oertel<sup>1</sup>, Juliane Höhle<sup>2</sup>, Jonas Sitte<sup>1</sup>, Mathias Hoffmann<sup>3</sup>, Matthias Lück<sup>3</sup>, Nina Jungius<sup>1</sup>, Carina Paetzel<sup>1</sup>, Henning Andreae<sup>2</sup>, Jürgen Augustin<sup>3</sup>, Nicole Wellbrock<sup>1</sup>

- Weiterhin hoher Bedarf an Denitrifikationsmessungen und Verwitterungsuntersuchungen.
- Hohe N<sub>2</sub>O-Emissionen bei gestörten Bodenproben.
- Bei ungestörten Bodenproben sind N<sub>2</sub>O-Emissionen vernachlässigbar.
- PROFILE-Modellierungen zeigen deutlich niedrigere Verwitterungsraten als verglichene Untersuchungen und Substrat-Textur-Ansatz.

### Hintergrund und Zielsetzung

Um erhöhten Stickstoff- (N) und Schwefeleinträgen (S) und deren schädigenden Einfluss auf Waldökosysteme entgegenzuwirken, wurden Critical Loads (CL) durch die Genfer Luftreinhaltekonvention vereinbart. Dabei werden Grenzwerte für die Deposition von Stickstoff und Schwefel festgelegt, die bei Überschreitung verpflichtende Emissionsminderungsmaßnahmen zum Schutz vor Versauerung und Eutrophierung der Wälder bedingen.

Die Berechnung der CL erfolgt durch empirische Untersuchungen, einfache Massenbilanzen nach dem Steady-State-Prinzip oder dynamische Modelle, die im Mapping Manual UN/ECE 2017 sowie einem nationalen Bericht dargestellt sind.

Für die Berechnung der CL sind die Prozesse Denitrifikation und Verwitterung von Bedeutung und wurden in diesem Projekt evaluiert.

Unter der Denitrifikation versteht man die Reduktion von Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) und Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) zu Lachgas (N<sub>2</sub>O), Stickstoffmonoxid (NO) und molekularem Stickstoff (N<sub>2</sub>). Die Denitrifikation führt somit zu einem Stickstoffverlust im Boden sowie zur Freisetzung klimarelevanter Spurengase.

Neben Verwitterung liefert die nasse und trockene Deposition Pflanzennährstoffe für den Boden. Die Verwitterungsrate bedingt die Pufferkapazität sowie die Fruchtbarkeit eines Bodens und ist ein Kriterium bei der Beurteilung stofflicher Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft. Der Verwitterungsprozess ist dabei die größte Senke für Protonen im Boden und beeinflusst die Sensitivität eines Ökosystems gegenüber Säureeinträgen maßgeblich.

Sowohl die Modellierung der Verwitterungsrate sowie die freigesetzten Stickstoffmengen durch die Denitrifikation sind mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies wirkt sich auf die Berechnung der CL für Versauerung und Eutrophierung aus.

In diesem Projekt haben wir Denitrifikation und Verwitterung im Hinblick auf die Berechnungsgrundlage der CL evaluiert.

### Vorgehensweise

Für den Bereich Denitrifikation haben wir die Literatur ausgewertet sowie Laborversuche zu N<sub>2</sub>O- und N<sub>2</sub>-Emissionen von Waldböden durchgeführt.

In der Literaturstudie werteten wir 325 Studien von N<sub>2</sub>O-Emissionen und 80 Studien von N<sub>2</sub>-Emissionen aus. Der Fokus lag dabei auf folgenden Kriterien: Ökosystem, Klimazone, Waldtyp, Höhenstufe, Luft-/Inkubationstemperatur, Niederschlag/Bodenfeuchte, Ton-Gehalt, pH-Wert sowie dem Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens.

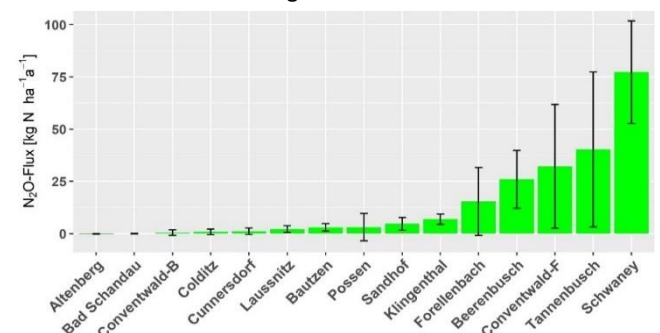


Abbildung 1: N<sub>2</sub>O-Emissionen für gestörte Bodenproben (Bodentemperatur: 20°C, Bodenfeuchtigkeit: 90 % WFPS).

Die Bodenproben für die Laborversuche entstammen 15 bundesweit verteilten Waldmonitoringstationen. Für die Analyse der N<sub>2</sub>O-, Methan-(CH<sub>4</sub>) und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Labor verwendeten wir 250 cm<sup>3</sup>-Stechzylinderproben.

Die Analysen erfolgten bei unterschiedlichen Stufen der Bodenfeuchte (70 und 90% WFPS) und der Bodentemperatur (5, 15 und 20°C). Dabei haben wir zwischen gestörten und ungestörten Proben unterschieden.

Zusätzlich wurde der Einfluss der Größen Tongehalt und N-Deposition sowie  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt auf die Emissionen untersucht.

Für die Ermittlung der Verwitterungsrate verwendeten wir die Ergebnisse einer Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) der Tonmineralischen Beratung aus den Jahren 1989 bis 2012. Mit Hilfe des bodengeochemischen Modells PROFILE von Sverdrup und Warfvinge wird die Reaktion der Minerale mit den Elementen der Bodenlösung für jeden Horizont getrennt berechnet. Dafür nutzten wir Daten für Klima, Depositionsdaten, Streufall, die Elementaufnahme durch die Vegetation, Bodenparameter sowie die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung.

## Ergebnisse

Der Vergleich der  $\text{N}_2\text{O}$ -Literaturstudien zeigt weiteren Bedarf an Denitrifikationsmessungen. Der Hauptteil der ausgewerteten Studien ist bereits mehr als 10 Jahre alt und bietet nicht die geforderte Qualität der Messmethoden. Oft ist die Studiendauer zu kurz und die Messintervalle sind zu groß, um aussagekräftige Schlussfolgerungen und Vergleiche ziehen zu können.

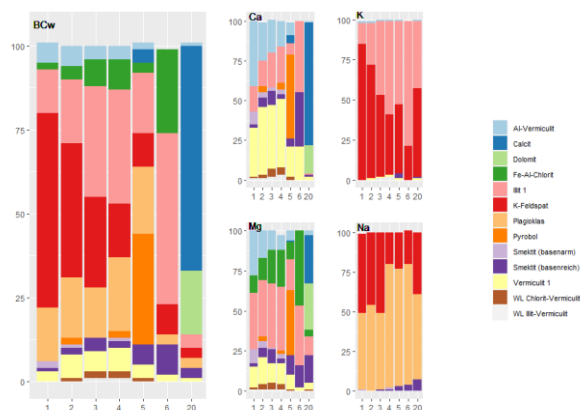
Beim Vergleich der Studien nach den eingeteilten Kriterien fällt der Mangel an Studien für einzelne Größen auf, wie z. B. dem Tongehalt von  $> 62,5\%$  (nur 2 Studien).

Die Laboruntersuchungen zur Bodenentgasung führen einzig für die Behandlungsmethode  $20\text{ }^\circ\text{C}$  und  $90\%$  WFPS bei gestörten Proben zu signifikanten  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen (Abb. 1). Hier zeigte der  $\text{NO}_3^-$ -Gehalt im Boden einen signifikant positiven Einfluss auf die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Das wird vor allem an den Standorten Conventwald im Schwarzwald nahe Frankreich sowie Tannenbusch und Schwaney in Nordrhein-Westfalen nahe den agrarintensiven Regionen in den Niederlanden deutlich (Abbildung 1). Die Emissionen der gestörten Proben können als maximales Potential der Emissionen angesehen werden. Bei Verwendung ungestörter Proben, wie sie natürlich vorkommen, liegen die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen bei unter  $1\text{ kg N ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ . Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen zeigen keine Abhängigkeit zu den  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Sie liegen für alle Standorte in den typischen Bereich für  $\text{CO}_2$ -Emissionen von Waldböden in der gemäßigten Klimazone.

Für  $\text{CO}_2$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionen können keine Abhängigkeiten zu den Einflussgrößen Tongehalt, N-Deposition, sowie  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt festgestellt werden. An allen Standorten wurde für gestörte und ungestörte Proben eine signifikante Aufnahme von  $\text{CH}_4$  gemessen.

Die Berechnung der Verwitterungsrate zeigt, dass die Verwitterungsrate mit der Verwitterungsklasse (VW) ansteigt. Bei groben Böden mit saurem (VW 1) oder intermediärem Ausgangsgestein (AG) liegt der Median wesentlich unter dem, des Substrat-Textur-Ansatzes. Der Hauptteil der untersuchten Böden (70 %) wird den Verwitterungsklassen 4 und 1 zugeordnet. Die Verwitterungsrate für die Böden mit feiner und

sehr feiner Textur (VW 6) ist nicht aussagekräftig, da ihr nur fünf untersuchte Waldböden zugrunde liegen.



**Abbildung 2: Ergebnisse der Modellierung der Verwitterungsrate mit PROFILE**

Für die Böden der Verwitterungsklassen 1 bis 4 und 6 stellen K-Feldspat, Plagioklas und Illit den größten Teil der Minerale (67-83 %) bei der Verwitterungsrate (Abbildung 2). Dabei steigt der Anteil an Illit mit zunehmender Verwitterungsklasse an, während der Anteil des K-Feldspats abnimmt. In Böden der Verwitterungsklasse 5 machen Pyrobole und in der Verwitterungsrate 20 Calcit und Dolomit den höchsten Anteil der Minerale an der Verwitterungsrate aus.

## Empfehlungen

Die Studien haben gezeigt, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen. Für die weitere Forschung leiten wir folgende Empfehlungen ab:

- Untersuchungen zu den  $\text{N}_2\text{O}$ - und  $\text{N}_2$ -Emissionen müssen unter einheitlichen Bedingungen und Mindestanforderungen, sowie unter Angabe der Mess- und Standortbedingungen erfolgen.
- Studien zur Denitrifikation müssen auf organische Böden ausgedehnt werden, da hier im Vergleich zu mineralischen Böden besonders im degradierten Zustand hohe N-Verluste zu erwarten sind.
- Weiterführende Berechnungen mit drei unabhängigen Methoden zur Abschätzung der Verwitterungsrate.

## Weitere Informationen

### Kontakt

<sup>1</sup> Thünen-Institut für Waldökosysteme  
Cornelius.Oertel@thuenen.de  
[www.thuenen.de/wo](http://www.thuenen.de/wo)

<sup>2</sup> Staatsbetrieb Sachsenforst  
Henning.Andreae@smekul.sachsen.de  
[www.sbs.sachsen.de](http://www.sbs.sachsen.de)

### Partner

<sup>3</sup> Leibnitz-Zentrum für  
Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

### Laufzeit

01.2018-03.2021

### Projekt-ID

2393

### Gefördert durch

