



## Doctoral Thesis

# Impacts of long-term, low-dose nitrogen addition on N and C dynamics in a mountain spruce forest

**Author(s):**

Krause, Kim

**Publication Date:**

2012

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007631457> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20598

# Impacts of long-term, low-dose nitrogen addition on N and C dynamics in a mountain spruce forest

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH  
for the degree of  
DOCTOR OF SCIENCE

presented by  
KIM KRAUSE

Dipl. Landschaftsökologe, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (D)  
born 14<sup>th</sup> June 1978  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Harald Bugmann, ETH Zürich, examiner  
Dr. Patrick Schleppi, Eidg. Forschungsanstalt WSL, co-examiner  
Prof. Dr. William S. Currie, SNRE, University of Michigan, USA, co-examiner

2012

---

## Summary

Human activities have drastically increased nitrogen (N) atmospheric inputs to terrestrial ecosystems such that critical loads are now exceeded in many regions of the world. These high N deposition rates are predicted to remain high, or even to increase. This implies that ecosystems are shifting from being naturally N limited to eutrophication, or even to N saturation. This process can cause serious environmental consequences.

This thesis examines the impact of chronic elevated N deposition on a mature mountain spruce forest at Alptal, Switzerland by combining a modeling study with field experiments. The main objectives were (1) to identify site-specific characteristics of the N cycle at Alptal, (2) to quantify the tree growth response to enhanced N deposition and its underlying physiological changes and, (3) to evaluate the impact of elevated N deposition and tree girdling on the fluxes of the greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O between the soil and the atmosphere. Field experiments were conducted within the Alptal experiment, a long-term low-dose N addition site, located on the northern edge of the European Alps in central Switzerland at 1200 m a.s.l. The site consists of a naturally regenerating mature *Picea abies* stand, never before fertilized.

To achieve the first objective (Chapter 2), the biogeochemical process model TRACE was adapted to the Alptal site. It is the first time that the model has been adapted to another site than that for which it was developed and calibrated for. The validation with long-term data from a <sup>15</sup>N tracer experiment identified site-specific characteristics of the N cycle at Alptal. Especially the ground vegetation layer was identified to play an important role in controlling the rate at which deposited N enters the soil pools. In addition, it was recognized that the spreading methods of <sup>15</sup>N tracers need to be considered when interpreting recovery results from labeling studies. After the calibration and validation of the model, predictions about the fate of deposited N in the ecosystem were made. The 70-year model simulation into the future suggested that the soil is able to immobilize a nearly constant fraction of 70 to 77 % of the deposited N. Additionally, the model showed that the simulated increased N deposition resulted in a relatively small elevation in C sequestration in aggrading wood, with an N use efficiency (NUE) of approximately 7 kg C per kg N added.

For the second objective (Chapter 3), stem discs for tree-ring analyses were obtained from felled mature trees growing on the experimental site. Tree-ring patterns and a dual isotope analysis ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) were used to assess the tree growth response including underlying physiological changes, to the long-term chronic N addition. Analyses showed that tree stem C sequestration increased by about 22 % with an NUE of approximately 6 kg C per kg N added. Tree-ring isotopic data ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) showed that the water use efficiency of the

trees did not change due to the N addition, whilst larger needles suggest that the forest stand leaf area index (LAI) increased in response to the additional N. Thus, these results support the view that enhanced stem growth caused by N deposition is due to an increased stand LAI more than by physiological changes, at least in forest canopies that are not yet entirely closed.

The impact of the N addition on the fluxes of the three most important greenhouse gases, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, between the soil and the atmosphere (Chapter 4) was investigated by using the closed chamber method. For this investigation, monthly gas samples were taken from permanently installed chambers. Results showed that twelve to thirteen years of N addition increased emissions of N<sub>2</sub>O and transformed the soil from a net CH<sub>4</sub> sink to a net source. Soil respiration was not influenced by N addition, although there is no statistically significant change, only a trend to a decrease, which would be supported by other ongoing process. The simulated bark beetle infestation by girdling 40 % of the tree basal area and the subsequent felling of the mature trees increased emissions of N<sub>2</sub>O and reduced CH<sub>4</sub> emissions from the soil.

In conclusion, the results from both, the modeling study and the field experiments demonstrated that the impact of elevated N deposition on tree carbon sequestration is of minor importance. With respect to climate change mitigation by forests, this study highlights the need that future investigations should focus on the allocations of assimilates to tree roots in order to better quantify the ecosystem's C balance

---

## Zusammenfassung

Menschliche Aktivitäten haben den Stickstoffeintrag in terrestrische Ökosysteme stark erhöht, so dass kritische Belastungswerte (*critical loads*) in vielen Regionen der Welt überschritten werden. Die hohen Stickstoffdepositionsraten werden in Zukunft auf einem hohen Niveau bleiben oder sogar zunehmen. Dies kann dazu führen, dass Ökosysteme, welche natürlicherweise Stickstoff (N) limitiert sind, eutrophieren oder sogar stickstoffübersättigt werden. Dieser Vorgang kann schwerwiegende Folgen für die Umwelt haben.

Diese Doktorarbeit untersucht den Einfluss anhaltender, erhöhter N-Deposition auf einen ausgewachsenen Fichtenbergwald mit Hilfe eines kombinierten Ansatzes, bestehend aus einer Modellierungsstudie sowie Feldexperimenten. Die Hauptziele waren, (1) standortspezifische Charakteristika des N-Kreislaufes im Untersuchungsgebiet ausfindig zu machen und Vorhersagen über den Verbleib des N-Eintrags zu treffen, (2) die Größenordnung der Wachstumszunahme sowie die ihr zugrundeliegenden physiologischen Veränderungen der Bäume durch die erhöhte N-Deposition zu bestimmen und (3) festzustellen, welchen Einfluss die erhöhte N-Deposition auf den Austausch der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O zwischen dem Boden und der Atmosphäre hat. Felduntersuchungen wurden im Untersuchungsgebiet Alptal in den Schweizer Voralpen auf 1200 m ü.M. durchgeführt. Hier wird seit 1995 experimentell eine andauernde, erhöhte und niedrig dosierte N-Deposition simuliert. Auf der Untersuchungsfläche stockt ein sich natürlich verjüngender, ausgewachsener *Picea abies* Bestand, der nie gedüngt wurde.

Zur Erreichung des ersten Ziels (Kapitel 2) wurde das biogeochemische, prozessbasierte Modell TRACE an das Untersuchungsgebiet Alptal angepasst. Erstmals wurde dieses Modell an einen anderen Standort angepasst als der, für den es entwickelt und kalibriert wurde. Durch die Validierung des Modells mit Hilfe einzigartiger Daten einer <sup>15</sup>N-Tracerstudie war es möglich, standortspezifische Eigenschaften des N-Kreislaufes im Alptal zu identifizieren. Das kalibrierte und validierte Modell wurde dann verwendet, um den Verbleib des eingetragenen Stickstoffs im Ökosystem vorherzusagen. Der Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und Felddaten hat gezeigt, dass die Krautschicht einen entscheidenden Einfluss darauf hat, wie schnell der eingetragene Stickstoff in den Boden gelangt. Außerdem wurde festgestellt, dass die Ausbringungsmethode des <sup>15</sup>N-Tracers beim Vergleich verschiedener Studien beachtet werden sollte. Die Modellsimulation für die nächsten 70 Jahre zeigte, dass der Boden eine konstante Rate zwischen 70 und 77 % des eingetragenen Stickstoffs immobilisiert. Zusätzlich zeigte das Modell einen geringen Einfluss des simulierten,

zusätzlichen Stickstoffs auf die Kohlenstoffspeicherung der Bäume mit einer Stickstoffeffizienz (*nitrogen use efficiency*) von ungefähr 7 kg C pro kg extra N.

Für das zweite Ziel (Kapitel 3) wurden Stammscheiben ausgewachsener Bäume des Untersuchungsgebietes für Jahrringanalysen verwendet. Jahrringmessungen und Isotopenanalysen ( $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ ) wurden durchgeführt, um die Auswirkungen des erhöhten Stickstoffs auf das Wachstum und die ihm zugrundeliegenden physiologischen Änderungen zu bestimmen. Analysen haben gezeigt, dass die Kohlenstoffspeicherung in den Stämmen um ca. 22 % zugenommen hat, was einer Stickstoffeffizienz von ungefähr 6 kg C pro kg N entspricht. Isotopendaten von  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  der Jahrringe zeigten, dass die Wassernutzungseffizienz (*water use efficiency*) der Bäume sich aufgrund der N-Zugabe nicht geändert hat. Untersuchte Blatteigenschaften lassen vermuten, dass der Blattflächenindex (LAI) des Bestandes durch die N-Zugabe zugenommen hat. Diese Resultate unterstützen die Theorie, dass ein erhöhtes Stammwachstum aufgrund erhöhter N-Deposition eher durch einen erhöhten LAI als durch physiologische Veränderungen ausgelöst wird. Dies trifft zumindest für Waldbestände zu, in denen die Kronen noch nicht geschlossen sind.

Der Einfluss der N-Zugabe auf die Flüsse der drei wichtigsten Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ , zwischen dem Boden und der Atmosphäre, (Kapitel 4) wurde anhand der Methode der geschlossenen Hauben (*closed-chamber method*) untersucht. Von diesen permanent im Feld installierten Kammern wurden monatlich Gasproben genommen. Es wurde festgestellt, dass zwölf bis dreizehn Jahre experimenteller N-Zugabe die Emissionen von  $\text{N}_2\text{O}$  aus dem Boden erhöhten und sogar bewirkten, dass der Boden von einer netto  $\text{CH}_4$  Senke zu einer Quelle geworden ist. Es wurde kein eindeutiger Effekt der N-Zugabe auf die Bodenatmung festgestellt, obwohl es Beweise von anderen Bodenprozessen gibt, welche auf eine Reduktion hinweisen. Der simulierte Borkenkäferbefall durch Ringeln und das anschließende Fällen von 40 % der Basalfläche des Bestandes, erhöhte die Bodenemissionen von  $\text{N}_2\text{O}$  und verringerte die von  $\text{CH}_4$ .

Zusammengefasst haben die Ergebnisse der Modellstudie sowie auch der Feldexperimente gezeigt, dass zusätzliche Stickstoffdeposition nur geringe Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung in Baumstämmen hat. Im Hinblick auf die Abschwächung der Klimaerwärmung durch Wald zeigt diese Studie, dass sich künftige Untersuchungen auf die Allokation von Assimilaten in die Wurzeln konzentrieren sollen, um besser den C-Haushalt von Ökosystemen bestimmen zu können.