

## Am Beispiel von Fichte und Buche

# Einfluss der Kalkung auf die Bestandesernährung

Anja Guckland, Uwe Paar, Inge Dammann, Jan Evers, Karl Josef Meiwes, Michael Mindrup

*Saure Stoffeinträge in Wälder führten zur Versauerung der Böden und zur Auswaschung von Nährstoffen. In der Folge verschlechterte sich die Nährstoffversorgung der Wälder, und Magnesiummangel [1] und Aluminiumtoxizität [2, 3] verminderten die Vitalität der Waldbäume. Um der Bodenversauerung entgegen zu wirken und damit die Nährstoffversorgung der Bäume zu verbessern, werden seit den 1980er-Jahren Waldschutzkalkungen durchgeführt. Hinweise darauf, wie sich die Kalkung auf den Ernährungszustand von Buche und Fichte auswirken, geben Ergebnisse von Langzeituntersuchungen auf Versuchsflächen.*

### Calcium- und Magnesiumgehalte

Durch die Kalkung stiegen die Ca-Gehalte sowohl in den Buchenblättern als auch in den Fichtennadeln signifikant an (Abb. 2 und 3). Dieser Anstieg war umso stärker, je mehr Kalk ausgebracht wurde und war in den Buchenblättern stärker ausgeprägt als in den Fichtennadeln. So konnten durch die Kalkung die vormals „mittleren“ Ca-Gehalte der Buchenblätter (im Mittel 5,7 g/kg) um eine Ernährungsstufe (nach [4]), bzw. bei hohen Kalkgaben (1,6 bis 2,8 t Ca/ha) um zwei Ernährungsstufen erhöht werden (Abb. 2). Die Mg-Gehalte der Buchenblätter stiegen durch die Kalkung von „mittleren“ bis „hohen“ Gehalten um ein bis zwei Ernährungsstufen auf „hohe“ bis „sehr hohe“ Gehalte (Abb. 2).

Die Fichte wies schon auf den Kontrollparzellen „mittlere“ bis „hohe“ Ca-Gehalte in den Nadeln auf (im Mittel 3,1 g/kg). Hier stiegen die Ca-Gehalte um maximal eine Ernährungsstufe. Im Gegensatz zum Ca waren die Fichtennadeln schlechter mit Mg versorgt („geringe“ bis „sehr geringe“ Gehalte). Durch die Kalkung wurden deren Mg-Gehalte im Mittel um eine Ernährungsstufe verbessert (Abb. 3).

Die Zunahme der Ca-Gehalte in den Buchenblättern nach der Kalkung korrelierte gut mit den gestiegenen Ca-Vorräten im Boden (Abb. 4a), während die Mg-Vorräte im Boden die erhöhten Mg-Gehalte der Buchenblätter nicht erklären konnten (Abb. 4b). Für die Fichte zeigt sich, dass die Mg-Gehalte in den Nadeln umso höher waren, je stärker die Mg-Vorräte im Boden nach der Kalkung anstiegen. Die gestiege-

### Versuchsflächen und Methoden

Die Bodenschutzkalkung wird seit Beginn der 1980er-Jahre in wissenschaftlichen Versuchen begleitet. Die Versuchsflächen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt bestehen jeweils aus einer ungekalkten Kontrolle und einer gekalkten Parzelle. Die hier ausgewerteten Flächen wurden in bewirtschafteten Buchen- (13 Flächen) und Fichtenbeständen (39 Flächen) angelegt. Sie befinden sich in Niedersachsen, Hessen und Schleswig-Holstein (Abb. 1) auf vorwiegend mesotrophen Standorten. Insgesamt wurden auf den Versuchsflächen 2 bis 8 t/ha Kalk ausgebracht, vorwiegend kohlen-saure Magnesiumkalke oder Konverterkalke. Die erste Kalkung erfolgte in den 1980er-Jahren mit 1 bis 5 t/ha magnesiumarmen Kalken. Zwölf Buchen- und 36 Fichtenflächen erhielten in den 1990er-Jahren nochmals 1 oder 3 t/ha magnesiumreiche Kalke. Sechs Buchen- und 12 Fichtenflächen bekamen vor oder mit der ersten Kalkung eine Phosphor (P)-Gabe von 70 bis 290 kg/ha.

Die Bäume der Versuchsflächen wurden zwischen 1986 und 2008 ein bis sieben Mal beprobt. Die Analyse der Blatt-/Nadelproben auf deren Elementgehalte erfolgte nach Druckaufschluss mittels ICP-Messung. Bodenproben wurden unabhängig von den Blatt-/Nadelproben entnommen. Die austauschbaren Kationen wurden mittels  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Extraktion und anschließender ICP-Messung bestimmt. Die Vorräte von Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Kalium (K) im Boden wurden aus deren Gehalten, der Trockenrohdichte des Feinbodens und dem Skeletgehalt bestimmt. Die Vorräte berechnet.



**Abb. 1:** Lage der Untersuchungsflächen in Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Unterschiedliche Symbole kennzeichnen Fichten- (•) und Buchenflächen (✦).

Zur Berechnung der Korrelation zwischen den Differenzen (Kalkung – Kontrolle) der Elementgehalte in den Blättern/Nadeln und den Differenzen der Elementvorräte im Boden wurden alle Daten herangezogen, bei denen die Blatt-/Nadelbeprobung und die Bodenbeprobung maximal zwei Jahre auseinander lagen. Verwendet wurden 57 Datenpaare von 19 Fichten- und 6 Buchenflächen.

A. Guckland, U. Paar, I. Dammann, J. Evers, K. J. Meiwes und M. Mindrup sind Mitarbeiter der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Umweltkontrolle, Göttingen.



**Anja Guckland**  
anja.guckland@nw-fva.de

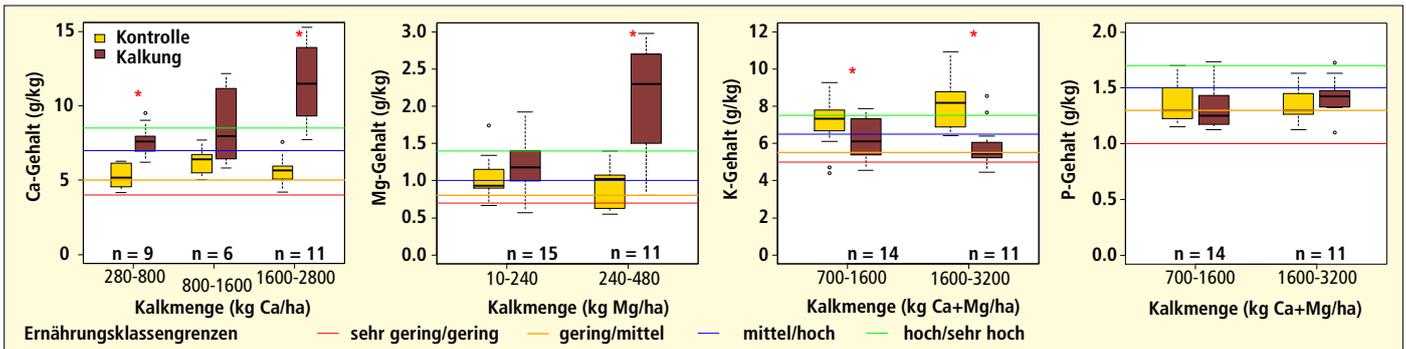


Abb. 2: Gehalte von Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Phosphor (P) in Buchenblättern nach der Ausbringung unterschiedlicher Ca- und/oder Mg-Mengen mit dem Kalk. Sternchen zeigen signifikante Unterschiede zwischen Kalkungs- und Kontrollparzellen.

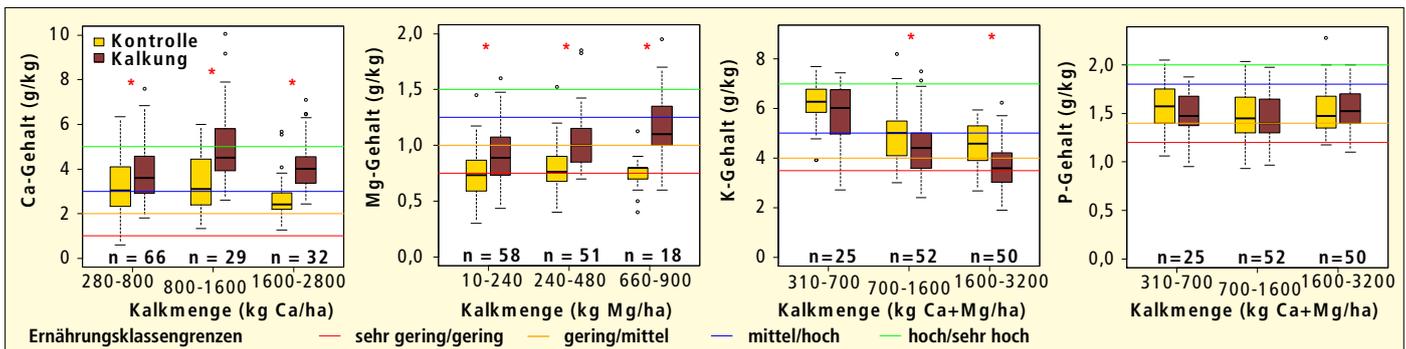


Abb. 3: Gehalte von Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Phosphor (P) in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) nach der Ausbringung unterschiedlicher Ca- und/oder Mg-Mengen mit dem Kalk. Sternchen zeigen signifikante Unterschiede zwischen Kalkungs- und Kontrollparzellen.

nen Ca-Vorräte hatten indes keinen Effekt auf die Ca-Ernährung der Fichte. Dies mag aus der unterschiedlichen Ausgangssituation hinsichtlich der Elementgehalte in den Blättern und Nadeln resultieren. Die Buchenblätter waren schlechter mit Ca versorgt als die Fichtennadeln. Es ist zu vermuten, dass die Buche einen größeren Bedarf an Ca hat und daher stärker auf ein gestiegenes Angebot reagiert. Ähnlich verhält es sich mit den Mg-Gehalten der Fichtennadeln. Aufgrund der „sehr geringen“ bis „geringen“ Mg-Gehalte ist der

Abstand zu einer optimalen Ernährung deutlich höher, was sich in einer verstärkten Aufnahme ausdrückt. Zu bemerken ist, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Ca- und Mg-Ausstattung der Böden zwischen Buchen- und Fichtenstandorten (Auflage und 0 bis 40 cm Tiefe) gab.

### Kaliumgehalte

Die Kalium (K)-Gehalte der Buchenblätter und Fichtennadeln nahmen insgesamt durch die Kalkung ab. So lagen die K-Gehalte

der Buchenblätter der Kontrollen im „hohen“ bis „sehr hohen“ Bereich und sanken durch die Kalkung auf „mittlere“ bis „geringe“ Gehalte (Abb. 2). Die K-Gehalte der Fichtennadeln der Kontrollen lagen im „mittleren“ bis „hohen“ Bereich und sanken nach der Kalkung um eine Ernährungsstufe auf „mittlere“ bis „geringe“ K-Gehalte. Lediglich Kalkgaben unter 700 kg Ca+Mg/ha hatten keinen Effekt auf die K-Gehalte der Fichtennadeln (Abb. 3). Die K-Gehalte entsprechen somit den Werten, die auch von Level-II-Flächen

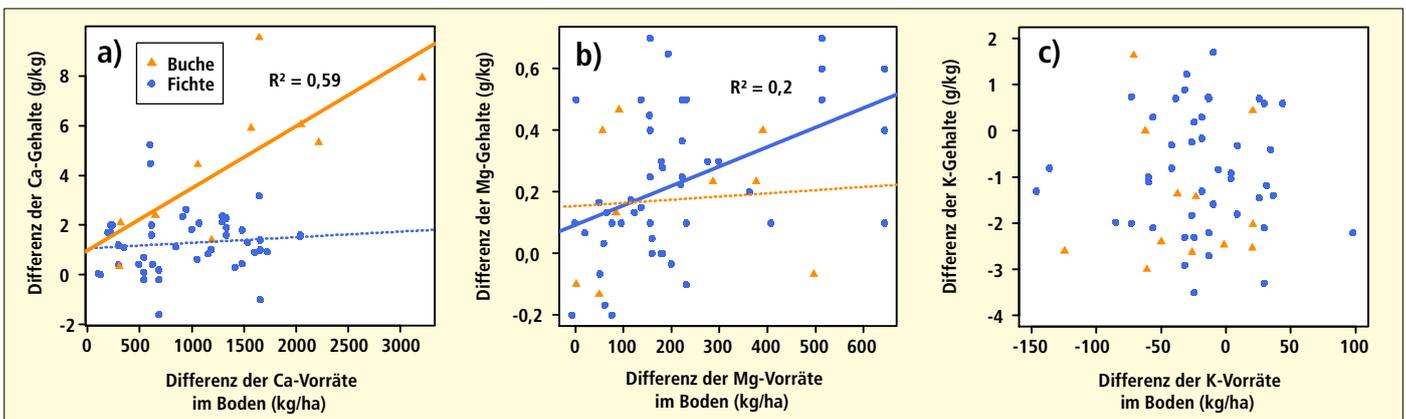


Abb. 4: Beziehung zwischen der Differenz (Kalkung-Kontrolle) der A) Calcium (Ca)-, B) Magnesium (Mg)- und C) Kaliumgehalte (K) in Buchenblättern (6 Flächen, n = 10) und Fichtennadeln (19 Flächen, n = 47) und den jeweiligen Differenzen der Vorräte im Boden (Auflage und 0 bis 40 cm Mineralboden). Durchgezogene Linien zeigen signifikante Korrelationen ( $p < 0,05$ ), gepunktete Linien zeigen nicht signifikante Korrelationen.

und Dauerbeobachtungsflächen bekannt sind [5].

Die Tendenz der K-Versorgung nach Kalkung in der Literatur ist indifferent. So wurden sowohl negative Effekte [5, 6, 7, 8] als auch keine Kalkungseffekte [9, 10] beobachtet. Die fehlende Beziehung zwischen den Differenzen der K-Vorräte im Boden und den Differenzen der K-Gehalte in den Blättern und Nadeln (Abb. 4) weist darauf hin, dass die verringerten K-Gehalte nicht auf eine verminderte Verfügbarkeit von austauschbarem K im Boden zurückzuführen sind. Vielmehr lässt sich dieser Effekt durch Ionenkonkurrenz bei der Aufnahme und der Verteilung in der Pflanze erklären. Dabei gibt es Unterschiede zwischen Buche und Fichte. So korrelierten die K-Gehalte in den Buchenblättern negativ mit den Ca-Gehalten ( $R^2 = 0,34$ ,  $p < 0,05$ ), während sie in den Fichtennadeln negativ mit den Mg-Gehalten korrelierten ( $R^2 = 0,39$ ,  $p < 0,05$ ). In den Buchenblättern kommt somit der allgemein bekannte K/Ca-Antagonismus zum Tragen [1]. Die verringerten K-Gehalte der Fichtennadeln sind dagegen auf die antagonistische Wirkung des Mg zurückzuführen [11]. Diese Unterschiede könnten wiederum aus dem oben erläuterten baumartenspezifischen Ca- bzw. Mg-Bedarf resultieren.

Als weiterer negativer Einflussfaktor auf die K-Gehalte wurde der  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt im Boden festgestellt [12]. Die durch die Kalkung geförderte Mineralisierung kann zu erhöhten  $\text{NH}_4^+$ -Gehalten im Boden und dadurch auch zu verstärkter Aufnahme durch Pflanzen führen. Leider kann dazu aufgrund fehlender Daten keine Aussage für die Kalkungsversuchsflächen getroffen werden.

## Phosphorgehalte

Die Phosphor (P)-Gehalte in den Blättern und Nadeln sind als „mittel“ bis „gering“ zu bewerten und sind vergleichbar mit denen anderer Untersuchungen [7, 13].

Es wird vermutet, dass durch die Kalkung und die damit verbundene pH-Erhöhung die Netto-P-Mineralisierung und die P-Freisetzung aus anorganischen Verbindungen steigt [14]. Dieser freigesetzte P kann im Boden jedoch wieder fixiert [15] oder von Mikroorganismen immobilisiert werden [16]. Es gibt wenige Studien, die eine verbesserte P-Versorgung nach Kalkung temperater Wälder nachweisen konnten [17]. Häufig wurde kein Kalkungseffekt beobachtet [6, 7, 13]. Auch in dieser Studie konnte kein Effekt der Kalkung auf die P-Gehalte festgestellt werden (Abb. 2, 3). Auch Versuchsflächen, die zusätzlich P-Gaben erhalten haben, weisen weder in den Buchenblättern noch in den Fichtennadeln höhere P-Gehalte auf. Dies weist darauf hin, dass sich die P-Verfügbarkeit weder durch die Kalkung noch durch eine begleitende P-Düngung verändert hat.

## Folgerung

Durch die Kalkung konnte die Ernährung von Buche und Fichte mit Ca und Mg deutlich verbessert werden. Diese verbesserte sich umso stärker, je schlechter die initiale Versorgung mit diesen Elementen war und je mehr Kalk ausgebracht wurde.

Gegenüber den positiven Effekten der Kalkung ist die verringerte Versorgung mit K als kritisch zu betrachten. Diese Problematik sollte bei der Kalkungsplanung berücksichtigt werden.

Ein Kalkungseffekt auf die P-Versorgung der Blätter und Nadeln konnte auch

nach zusätzlicher P-Düngung nicht nachgewiesen werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Pflanzenerverfügbarkeit von P im Boden.

## Literaturhinweise:

- [1] HÜTTL, R. F. (1991): Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. Freiburger Bodenkundl. Abhandlungen 28. [2] ULRICH, B.; MAYER, R.; KHANNA, P. K. (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. (Sauerländer: Frankfurt am Main). [3] ULRICH, B. (1986): Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 105, 421-435. [4] HÜTTL, R. F. (1992): Die Blattanalyse als Diagnose- und Monitoringinstrument in Waldökosystemen. Freiburger Bodenkundl. Abhandlungen 30, 31-59. [5] DAMMANN, I.; MINDRUP, M.; SCHÖNFELDER, E. (2008): Entwicklung der Kalium-, Calcium- und Magnesium-Nährstoffversorgung von ausgewählten Waldbeständen in Niedersachsen und ihre Bedeutung für die Biomassennutzung. Forst und Holz 63, 41-44. [6] WILPERT, K. v. (2003): Drift des Stoffhaushaltes im Fichte-Düngeversuch Pfalzgrafenweiler. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 174, 21-30. [7] WEIS, W.; GRUBER, A.; HUBER, C.; GÖTTLEIN, A. (2009): Element concentrations and storage in the aboveground biomass of limed and unlimed Norway spruce trees at Höglwald. European Journal of Forest Research 128, 437-445. [8] INGERSLEV, M.; HALLBÄCKEN, L. (1999): Above ground biomass and nutrient distribution in a limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies*) plantation: Part II. Accumulation of biomass and nutrients. Forest Ecology and Management 119, 21-38. [9] SIKSTRÖM, U. (2002): Effects of liming and fertilization (N,P,K) on stem growth, crown transparency, and needle element concentrations of *Picea abies* in southwestern Sweden. Canadian Journal of Forest Research 32, 1717-1727. [10] HUBER, C.; WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2006): Tree nutrition of Norway spruce as modified by liming and experimental acidification at the Höglwald site, Germany, from 1982 to 2004. Annals of Forest Science 63, 861-869. [11] SCHARRER, K.; MENGEL, K. (1960): Aufnahme und Verteilung der Kationen Ca, Mg, K und Na in der Pflanze bei variierter K- und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung. Plant Soil 12, 377-396. [12] PAAR, U. (1994): Untersuchungen zum Einfluss von Ammonium und Nitrat auf wurzelphysiologische Reaktionsmuster der Buche. Berichte des Forschungszentrums Waldökologie 115, Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen. [13] JONARD, M.; ANDRÉ, F.; GIOT, P.; WEISSEN, F.; PERRE, R.; PONETTE, Q. (2010): Thirteen-year monitoring of liming and PK fertilization effects on tree vitality in Norway spruce and European beech stands. European Journal of Forest Research 129, 1203-1211. [14] GRADOWSKI, T.; THOMAS, S. C. (2008): Responses of *Acer saccharum* canopy trees and saplings to P, K and lime additions under high N deposition. Tree Physiology 28, 173-185. [15] HUMPHREYS, F. R.; PRITCHETT, W. L. (1971): Phosphorous adsorption and movement in some sandy forest soils. Soil Science Society of America Journal 35, 495-500. [16] SERRASOLSAS, I.; KHANNA, P. K. (1995): Changes in heated and autoclaved forest soil of S.-E. Australia. II. Phosphorous and phosphatase activity. Biogeochemistry 29, 25-41. [17] KULHAVÝ, J.; MARKOVÁ, I.; DRÁPELOVÁ, I.; TRUPAROVÁ, S. (2009): The effect of liming on the mineral nutrition of the mountain Norway spruce (*Picea abies* L.) forest. Journal of Forest Science 55, 1-8.