

Was nützt die Waldkalkung?

Der Eintrag von Stickstoff- und Schwefelverbindungen in Waldökosysteme seit der Industrialisierung hat die natürlicherweise äußerst langsam ablaufende Bodenversauerung deutlich beschleunigt. Eine standortsangepasste Kalkung ermöglicht es, der fortschreitenden Bodenversauerung entgegenzuwirken. Dabei kann die Bodenzustandserhebung als ein standortdifferenzierendes Instrument zur Steuerung und Erfolgskontrolle der Kalkung dienen.



Foto: DHG

Waldkalkung aus der Luft

Erik Grüneberg, Klaus von Wilpert, Henning Meesenburg, Jan Evers, Daniel Ziche, Henning Andreae, Nicole Wellbrock

Die Bodenversauerung ist zunächst ein in den gemäßigten Breiten natürlicher, äußerst langsam ablaufender Prozess. Durch den Eintrag von Stickstoff- und Schwefelverbindungen in Waldökosysteme seit der Industrialisierung wurde jedoch das Puffervermögen der Waldböden für Säure deutlich überschritten und die Bodenversauerung um ein Vielfaches beschleunigt. Die Einträge von Schwefel haben zwar Anfang der 1990er-Jahre stark abgenommen, die Stickstoffdepositionen verharren jedoch weiterhin auf hohem Niveau. Besonders Stickstoffeinträge in Form

von Ammonium wirken versauernd auf das Ökosystem [1].

Für die ökosystemaren Funktionen des Waldes sind die Folgen der Bodenversauerung vielfältig. Führt diese ab $\text{pH} < 4,2$ zur Unterschreitung des Stabilitätsbereiches von Aluminium, werden Aluminiumionen aus den Tonmineralien freigesetzt. Darüber hinaus werden Nährelementkationen mit den hochmobilen Säureanionen Sulfat und

Nitrat und gleichzeitig toxisch wirkende Aluminiumionen mit dem Sickerwasser aus den Waldböden ausgetragen [2]. Mit zunehmender Versauerung nimmt die biologische Aktivität in Waldböden ab, da sich die Bodenfauna dem hohen Säuregrad mit nur wenigen, dominanten Arten anpasst [3]. Des Weiteren kön-

nen sich bei säureempfindlichen Baumarten die Wurzeln aus dem Mineralboden in den Auflagehumus zurückziehen. Eine nachlassende Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Sturmereignissen, Trockenperioden und anderen Klimaextremen sind die Folge [4]. Ebenso wird durch eine Reduktion der intensiv durchwurzelten Bodenzone die Versorgung der Bäume mit lebensnotwendigen Nährelementen wie Phosphor und Kalium beeinträchtigt [5]. Eine standortsangepasste Kalkung ermöglicht es, der fortschreitenden Bodenversauerung zu begegnen. Mit auf langfristigen Konzepten basierenden Kalkungen werden die bodenchemischen Zustandsgrößen im Hauptwurzelraum der standortstypischen Ausstattung wieder weitgehend angenähert [6]. Hierbei ist die Bodenzustandserhebung ein unverzichtbares, standortdifferenzierendes Instrument zur Steuerung und zur Erfolgskontrolle der Kalkung.

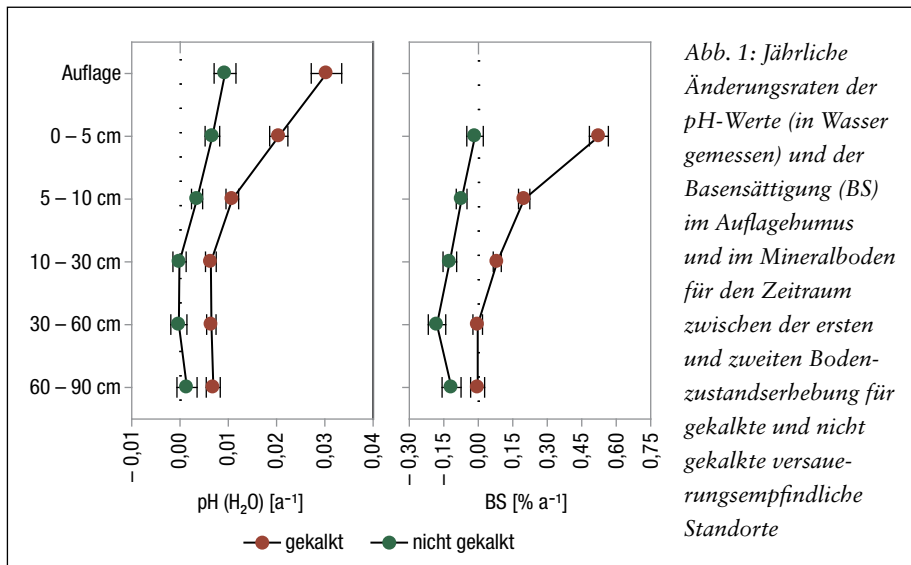
Ziele der Kalkung

Zunächst hatten die in Deutschland getätigten Kalkungen der Wälder die Mobilisierung von Stickstoff aus biologisch inaktivem Auflagehumus zur Steigerung der Wachstumsraten zum Ziel. Ab Mitte der 1980er-Jahre werden in den meisten Bundesländern Kalkungen mit den Zielen,

1. die Säurealtlasten des Bodens und aktuelle Säureeinträge zu kompensieren,
2. die Lebensbedingungen für die Bodenorganismen und Wurzelsysteme zu verbessern,
3. versauerungsbedingte Verluste von Nährkationen und Ungleichgewichte in der Waldernährung infolge zu hoher Stickstoffverfügbarkeit auszugleichen,
4. die Vitalität der Waldbestände zu verbessern,
5. die Entwicklung stabiler Mineralboden-Humusformen zu fördern sowie
6. den Schutz von Quell- und Grundwas-

Schneller Überblick

- Die Einträge von Schwefel haben seit Anfang der 1990er Jahre stark abgenommen
- Stickstoffdepositionen verharren weiterhin auf hohem Niveau, vor allem in Form von Ammonium wirken sie versauernd auf das Ökosystem
- Mit der Kalkung können Säuren im Boden kompensiert und die Versorgung mit Nährelementen erhöht werden



Grafik: E. Grüneberg

Hinsichtlich des Säure-Base-Zustands und der Nährstoffverfügbarkeit lassen sich leichte Effekte erkennen. Im Gegensatz zu den nicht gekalkten Böden zeigen gekalkte Standorte eine Zunahme der pH-Werte und der Basensättigung (Abb. 1). Mit der moderaten Veränderung der pH-Werte ist tendenziell eine Verschiebung der Anteile der Standorte an den Pufferbereichen verbunden. Dies zeigt sich durch eine leichte Zunahme der Standorte im Silikat- und CaCO_3 -Pufferbereich und einer entsprechenden Abnahme im Eisen- und Aluminium-Pufferbereich. Eine grundsätzlichere Verbesserung der Puffereigenschaften der Waldböden ist aufgrund der geringen Löslichkeit von Dolomitmalk erst nach längeren Zeiträumen und nach mehreren Wiederholungen zu erwarten. Allerdings sind bereits jetzt schon die Vorräte an austauschbarem Kalzium (Abb. 2 c) und Magnesium (Abb. 2 d) auf den gekalkten Standorten signifikant angestiegen. Auf nicht gekalkten Standorten ist weiterhin eine fortschreitende Versauerung des Unterbodens mit entsprechenden Basenverlusten festzustellen.

Deutlich wirkt sich die Kalkung auf die Stickstoff- und Kohlenstoffvorräte aus. Während eine Abnahme der Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus auf gekalkten Standorten im Vergleich zu den nicht gekalkten Standorten festgestellt wurde,

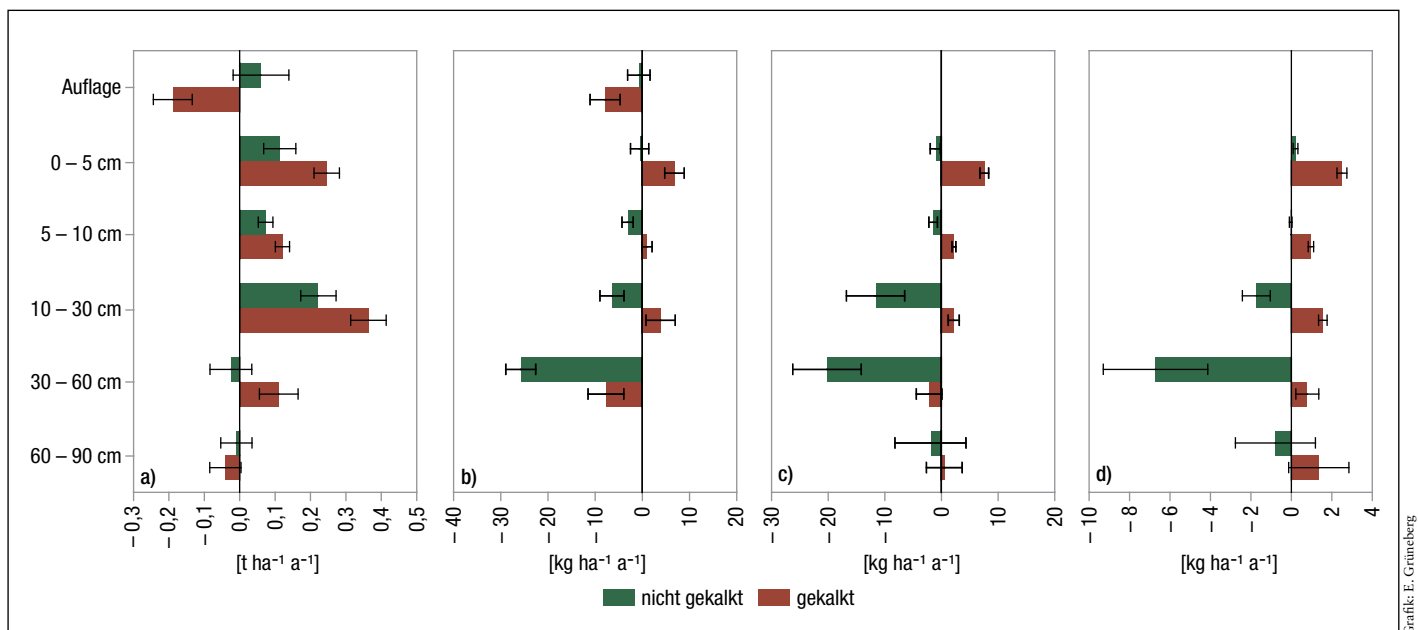
ser vor Einträgen von Schwermetallen, toxischem Aluminium und Säuren zu verbessern.

Für eine effiziente und dauerhafte Regeneration essenzieller Bodenfunktionen wurden bundeslandspezifische Konzepte zur Kalkung entwickelt, die dem standortsindividuellen Bedarf angepasst sind. Die ausgewiesenen versauerungsempfindlichen Standorte umfassen jene, die entsprechend dieser Kalkungskonzepte gekalkt werden können (in den entsprechenden Leitfäden der Bundesländer werden die zur Anwendung gekommenen Selektionsverfahren ausführlich beschrieben). Lediglich auf diesen Standor-

ten lässt sich die Wirkung der Kalkung durch den Vergleich von gekalkten und nicht gekalkten Standorten der ersten und zweiten Bodenzustandserhebung (BZE) überprüfen. Von den insgesamt 1.859 Inventurpunkten der BZE II im Wald wurden 749 Standorte als versauerungsempfindlich eingestuft. Davon sind bisher 385 Standorte mindestens einmal seit der BZE I gekalkt worden.

Auswirkungen der Waldkalkung auf den Bodenzustand

Der Prozess der Bodenversauerung konnte durch die Kalkung verlangsamt und somit die Böden entlastet werden.



Grafik: E. Grüneberg

Abb. 2: Jährliche Änderungsraten der Vorräte von Kohlenstoff (a) und Stickstoff (b) sowie von austauschbarem Kalzium (c) und Magnesium (d) im Auflagehumus und im Mineralboden für den Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Bodenzustandserhebung für gekalkte und nicht gekalkte versauerungsempfindliche Standorte

zeigt der Mineralboden auf gekalkten Standorten einen Anstieg bis ca. 60 cm (Abb. 2 a). Immerhin übersteigt im Mittel die Summe der Kohlenstoffzunahmen in den Mineralboden-Tiefenstufen den Kohlenstoffverlust im Auflagehumus. Offenbar bewirkt die Kalkung durch die erhöhte Kalziumverfügbarkeit eine Stabilisierung der organischen Substanz. Die Zunahme der pH-Werte und auch der Kalziumgehalte stimuliert die mikrobielle Aktivität und erhöht das Auftreten sogenannter Primärerzersetzer (Regenwürmer, Asseln, Milben, Springschwänze u. a.). Während eine gesteigerte mikrobielle Aktivität den Umsatz der organischen Substanz hauptsächlich im Auflagehumus beschleunigt, sorgt besonders eine erhöhte Regenwurmaktivität für eine bessere Einarbeitung abgestorbener Pflanzenteile aus dem Auflagehumus in den Mineralboden. Somit wird ein Großteil des im Auflagehumus abgebauten Kohlenstoffs in den Mineralboden umgelagert und dort angereichert. Mit der Reduzierung des im Auflagehumus gespeicherten Kohlenstoffs sinken dort auch die Stickstoffvorräte. Hingegen finden sich in gekalkten Böden keine signifikanten Stickstoffzunahmen im Oberboden; es sind eher Vorratsabnahmen im Unterboden zu verzeichnen (Abb. 2 b). Allerdings nahm auf den nicht gekalkten Standorten besonders der im Unterboden gespeicherte Stickstoff noch stärker ab, sodass die Kalkung möglicherweise den Stickstoffaustrag reduzieren konnte, z. B. durch stabilere Einbindung in die organische Substanz des Mineralbodenhumus. Die Akkumulation von Kohlenstoff durch einen reduzierten Abbau von organischer Substanz nach der Kalkung kann durch eine über längere Zeit eingeschränkte Bodenatmung erklärt werden. Verschiedene Untersuchungen berichten, dass lediglich unmittelbar nach der Kalkung die Bodenatmung erhöht war [7]. Hierfür und/oder für verbesserte Nitrifikationsbedingungen als Folge des pH-Anstiegs spricht das Auseinanderdriften von Kohlenstoff und Stickstoff, das zu einer Erhöhung des C/N-Verhältnisses im Mineralboden führt.

Die Änderungen des Bodenzustands durch Kalkung lassen sich auch in einer veränderten Artenzusammensetzung der Vegetation nachweisen. In Fichtenforsten

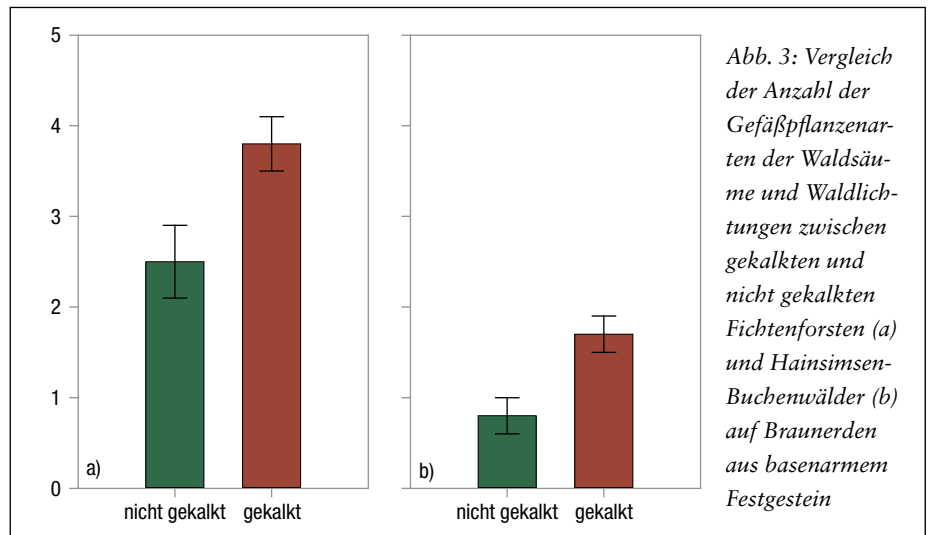


Abb. 3: Vergleich der Anzahl der Gefäßpflanzenarten der Waldsäume und Waldlichtungen zwischen gekalkten und nicht gekalkten Fichtenforsten (a) und Hainsimsen-Buchenwäldern (b) auf Braunerden aus basenarmem Festgestein

Graphik: E. Grüneberg

(Abb. 3a) und in Hainsimsen-Buchenwäldern (Abb. 3b) auf bodensauren Festgesteinen wiesen gekalkte Flächen jeweils höhere Artenzahlen auf als nicht gekalkte Flächen. Allerdings kamen auf den gekalkten Flächen gehäuft Arten der Waldsäume und Waldlichtungen vor.

Fazit

Zentrale Grundlage der Nachhaltigkeit in der Waldbewirtschaftung ist die langfristige Erhaltung der Bodenqualität einschließlich der Filter- und Pufferfunktionen des Waldbodens im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes. Die Waldbewirtschaftung muss daher in besonderem Maße darauf ausgerichtet sein, stabile Waldökosysteme zu erhalten. Dies kann nicht mehr alleine durch Waldumbau erfolgen. Als Voraussetzung für die Etablierung standortsangepasster Mischwälder müssen die im Boden gespeicherten Säuremengen aus früheren Depositionen durch eine Kalkung abgebaut werden. Hierbei wird versucht, einen naturnahen Säure-Base-Zustand und Nährelementhaushalt der Waldböden wiederherzustellen. Im Zusammenwirken zwischen Kalkung und dem vermehrten Anbau tiefwurzelnder, standortgemäßer Baumarten wird eine Stabilisierung und Vertiefung des Nährelementkreislaufes und eine biologische Aktivierung des Mineralbodens angestrebt. Die dargestellten Auswertungen haben gezeigt, dass mit der Kalkung Säuren im Boden kompensiert und die Versorgung mit Nährelementen erhöht werden können. Allerdings wird nach nur wenigen Kalkungen und geringen Dosierungen (i.d.R. ca. 3 t/ha) keine

grundsätzliche Umsteuerung des Versauerungszustandes der Waldböden erreicht. Es ist bei mehr Wiederholungen und ausreichend langem Zeitraum (30 bis 50 Jahre) durchaus möglich, naturnahe Bodenzustände anzunähern, wie Langzeituntersuchungen über den Einfluss der Kalkung belegen [6].

Literaturhinweise:

- [1] RENNENBERG, H.; GESSLER, A. (1999): Consequences of N deposition to forest ecosystems – Recent results and future research needs. *Water, Air and Soil Pollution* 116, S. 47-64. [2] ULRICH, B. (1985): Natürliche und anthropogene Komponenten der Bodenversauerung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 43, S. 159-187. [3] FRANCIS, A. J. (1982): Effects of acidic precipitation and acidity on soil microbial processes. *Water, Air and Soil Pollution* 18 (1), S. 375-394. [4] BRAUN, S.; SCHINDLER, C.; VOLZ, R.; FLUCKIGER, W. (2003): Forest damages by storm 'Lothar' in permanent observation plots in Switzerland: The significance of soil acidification and nitrogen deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 142 (1-4), S. 327-340. [5] HARTMANN, P.; BUBERL, H.; PUHLMANN, H.; SCHÄFFER, J.; TREFF-MALCHER, G. et al. (2016): Waldböden Südwestdeutschlands – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald von 1989-1992 und 2006-2008. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter. [6] SCHÄFFER, J.; GEIBEN, V.; HOCH, R.; VON WILPERT, K. (2001): Waldkalkung belebt Böden wieder. *AFZ-DerWald* 56 (21), S. 1106-1109. [7] MELVIN, A. M.; LICHTSTEIN, J. W.; GOODALE, C. L. (2013): Forest liming increases forest floor carbon and nitrogen stocks in a mixed hardwood forest. *Ecological Applications* 23 (8), S. 1962-1975

Dr. Erik Grüneberg, erik.grueneberg@thuenen.de, und Dr. Daniel Ziche arbeiten in der BZE-Arbeitsgruppe des Thünen-Instituts für Waldökosysteme in Eberswalde. Dr. Klaus von Wilpert war bis zum April 2016 als Leiter der Abteilung Boden und Umwelt der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg in Freiburg aktiv.



Dr. Henning Meesenburg leitet das Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring an NW-FVA. Dr. Jan Evers bearbeitet die BZE an der NW-FVA in Göttingen. Dr. Ing. Henning Andrae leitet das Referat Standortserkundung/Bodenmonitoring/Labor des Staatsbetriebs Sachsenforst in Graupa. Dr. Nicole Wellbrock koordiniert die bundesweiten Waldzustands- und Bodenzustandserhebungen im Wald am Thünen-Institut für Waldökosysteme (Eberswalde).