

Bodenschutzkalkungen im Wald – vitalere Bestände

Kalkungen bis zu 100 Prozent förderfähig

Die Folgen massiver atmosphärischer Säureeinträge in Waldökosysteme wurden Anfang der 80er Jahre als „Waldsterben“ bekannt. Seitdem wurde ein starker Rückgang der Schwefeleinträge verzeichnet. Inzwischen konnten die Folgen der Säureeinträge, wie starke Nährstoffverluste im Boden, sowohl durch waldbauliche Maßnahmen wie auch durch Bodenschutzkalkungen abgemildert werden. Die Ziele der Kalkung bestehen jedoch weiterhin, zeigt die Norddeutsche Forstliche Versuchsanstalt in Göttingen (NW-FVA).

Ausgehend von der historischen und aktuellen Belastungssituation des Waldes mit Luftschadstoffen werden der ökologische Nutzen und die ökologischen Risiken der Bodenschutzkalkung auf Basis aktueller Forschungsergebnisse beleuchtet.



Bodenprofil einer Braunerde mit Lössauflage über Buntsandstein, ein typisches Ausgangssubstrat in Hessen.

Foto: NW-FVA

Ursachen und Wirkungen der Bodenversauerung

Mit der Waldschadenforschung in den 1980er-Jahren gelangten die säurebildenden Stoffeinträge in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung. Seitdem wurden durch Maßnahmen der Luftreinhaltung deutliche Erfolge erzielt. Die Schwefeleinträge sind sehr stark zurückgegangen.

Der Eintrag von Stickstoff bewirkt neben der Eutrophierung von Standorten auch eine fortschreitende Versauerung des Bodens. Deshalb sind die seit den 1980er Jahren nur leicht rückläufigen Stickstoffeinträge weiterhin kritisch zu beurteilen. Je nach Waldtyp liegen die Einträge von Stickstoff um 10 kg/ha und Jahr (Buche) und 20 kg/ha (Fichte), wobei höher gelegene Regionen durch die größeren Niederschlagssummen auch höhere Stoffeinträge verzeichnen. Zusammen mit der als Altlast im Boden gespeicherten Säure können dort Versauerungsschübe ausgelöst werden.

Die veränderte Eintragsituation von versauernd wirkenden Stoffen zeichnet hinsichtlich des bodenchemischen Zustands ein differenziertes Bild. Ungekalkte, nährstoffarme Nadelwaldstandorte zeigen eine Verschlechterung der Basensättigung, Definition siehe Kasten, und damit der Nährstoffausstattung bis in die unteren Bodenschichten. Auf basenarmen Laubwaldstandorten zeigen sich jedoch auch ohne Kalkungsmaßnahmen leichte Anzeichen einer Stagnation und teilweise Erholung von Basensättigung und pH-Wert, ausgehend von einem niedrigen Niveau. Trotz dieser Anzeichen der Erholung liegt die Basensättigung auf ungekalkten, versauerungsempfindlichen Standorten in 30 bis 60 cm Bodentiefe meist unterhalb von 15 Prozent. Auch die Entwicklung der Nährstoffausstattung an Calcium und Magnesium ist kritisch zu beurteilen. Ungekalkte Buntsandsteinstandorte in Hessen haben zwischen 1990 und 2007 im Mittel etwa 50



INFO

Was bedeutet Basensättigung?

Die Basensättigung ist ein Maß für die Belegung basisch wirkender Kationen (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) an den Austauschplätzen der Bodenpartikel und stellt einen guten Indikator sowohl für den bodenchemischen Zustand als auch für die Nährstoffversorgung der Bäume dar. Für ein vitales Wurzelwachstum und eine uneingeschränkte Nährstoffaufnahme ist eine Basensättigung von mindestens 15 bis 20 Prozent im unteren Wurzelraum zwischen 30 und 60 cm notwendig. Wird dieser Wert unterschritten, ist ein signifikanter Anstieg von Aluminiumionen und ein höherer Anteil von Schwermetallen in der Bodenlösung zu erwarten. Schwermetalle und Aluminium wirken in höherer Konzentration toxisch auf Baumwurzeln und viele Bodenorganismen.

Prozent ihres Calcium- und 20 Prozent des Magnesiumvorrates verloren.

Die dargestellten Befunde machen deutlich, dass standortsangepasste Kalkungsmaßnahmen für die Unterstützung der Erholungsprozesse der Böden erforderlich sind.

Bodenschutzkalkungen haben zum Ziel, den negativen Auswirkungen anthropogen induzierter Säureeinträge entgegenzuwirken, indem sie die bodenchemischen Bedingungen nachweislich verbessern. Das führt zu einer besseren Nährstoffverfügbarkeit und einer Reduzierung depositionsbedingter Nährstoffmängel und Ungleichgewichte. Insgesamt werden durch die Bodenschutzkalkung also Vitalität und Widerstandskraft von Waldbeständen erhöht.

Die Wirkung von Kalkungsmaßnahmen

Während eine einmalige Kalkungsmaßnahme mit 3 t Dolomitkalk pro ha sich nur im Oberboden auf die Basensättigung auswirkt, zeigen Wiederholungskalkungen im Abstand von 15 bis 20 Jahren eine Tiefenwirkung bis in untere Bodenschichten. Der Vergleich zwischen gekalkten und ungekalkten hessischen Buntsandsteinstandorten zeigt eine deutliche Erhöhung der Ba-

sensättigung bis in 60 cm Bodentiefe, Grafik 1.

Die für Pflanzen mittelfristig verfügbaren Nährstoffe wie Calcium, Magnesium und Kalium werden zum einen in der Humusaufgabe gespeichert, hier sind sie durch laufende, vorwiegend mikrobielle Umsatzprozesse mit dem Kohlenstoffkreislauf assoziiert. Ein anderer Teil der austauschbaren Nährstoffe wird im Mineralboden an den Kationenaustauschern gebunden und ist daher eng mit der Basensättigung verknüpft.

Kalkungsmaßnahmen wirken sowohl auf die Calcium- als auch auf die Magnesiumvorräte. Durch die Kalkung kommt es zu einer Verlagerung der Nährstoffvorräte aus der Humusaufgabe in den Mineralboden.

Der Kronenzustand von Bäumen ist ein integraler Indikator des Gesundheitszustands eines Waldökosystems, da für den funktionierenden Stoffwechsel eine vitale Blatt- oder Nadelentwicklung notwendig ist. Verfärbungen und Nekrosen, sowie der Verlust von Blättern und Nadeln geben Hinweise auf eine mangelhafte Nährstoffsituation. Langjährige Untersuchungen zeigen für Buche und Fichte deutlich positive Effekte der Kalkung, siehe Grafik 2. Für beide Baumarten kann eine durchweg niedrigere Kronenverlichtung beobachtet werden.

Auch die Konzentration von Nährlementen in den Blättern und Nadeln ist ein Indikator der Baumvitalität. Kalkungsmaßnahmen haben – je nach betrachtetem Nährelement – unterschiedliche Wirkungen auf die Nährstoffversorgung der Waldbestände. Gekalkte Bestände zeigen deutlich verbesserte Calcium- und Magnesiumgehalte. Vor allem die Buche profitiert von Kalkungsmaßnahmen, da ihre Calcium- und Magnesiumversorgung häufiger als bei Fichte im Mangelbereich liegt.

Für die Ernährung mit Kalium zeigt sich ein anderes Bild. Kalkungsmaßnahmen führen zu abnehmender Kaliumkonzentration in den Blättern und Nadeln. Die Vorräte an Kalium im Boden werden durch Kalkung nicht beeinflusst, vielmehr ist eine verringerte Kaliumaufnahme an den Wurzeln durch konkurrierende Calcium- und Magnesiumionen für den Effekt verantwortlich. In Hessen herrscht jedoch weiterhin eine überwiegend gute Ernährungssituation mit Kalium. Kaliummangel steht im Verdacht, die Resistenz gegenüber Trockenstress zu verringern. Dies konnte in gekalkten Waldbeständen bisher nicht beobachtet werden. Im Gegenteil, die empirischen Ergebnisse zeigen, dass trotz eventueller negativer Effekte der Bodenschutzkalkung auf die

Kaliumernährung die Vitalität der Bestände verbessert wurde, siehe Grafik 2.

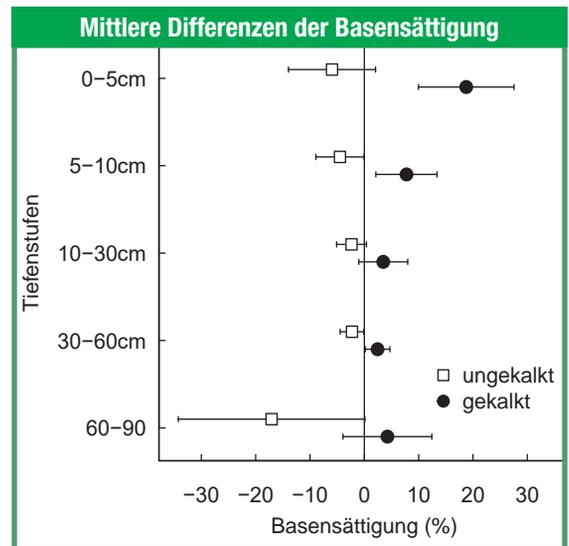
Risiken der Kalkung

Für die sachgemäße Durchführung der Bodenschutzkalkung liegen detaillierte Anweisungen und Merkblätter vor. Werden diese verbindlichen Vorgaben eingehalten, kann ein Großteil der Risiken vermieden oder zumindest minimiert werden.

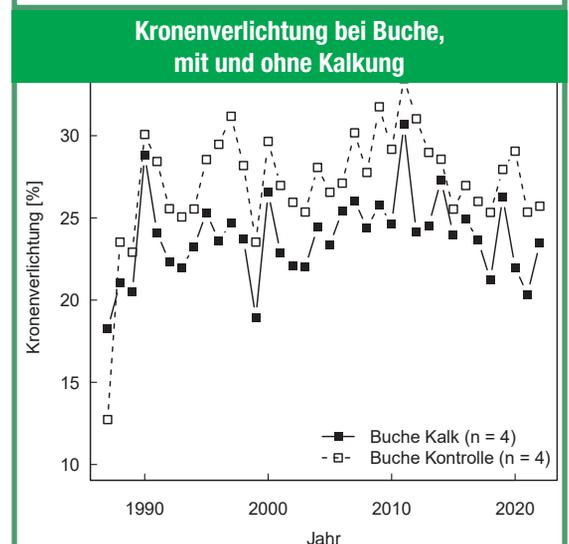
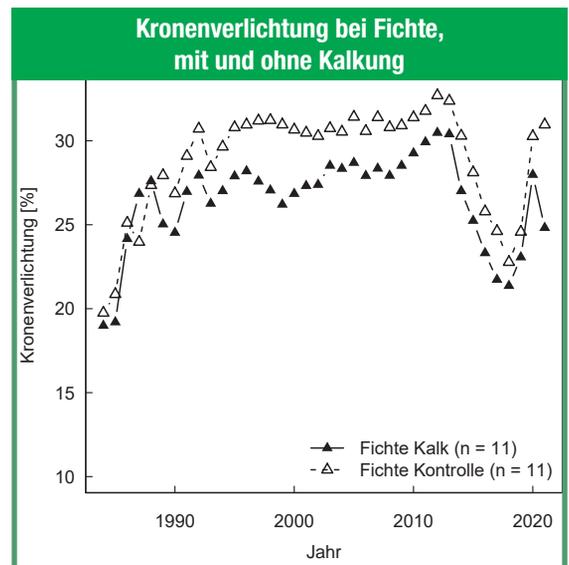
Oft werden Kalkungsmaßnahmen mit einem Humusverlust in Zusammenhang gebracht. Richtig ist, dass sich durch bessere bodenchemische Bedingungen auch die Lebensbedingungen für das Bodenleben verbessern. Damit werden die Umsatzprozesse in der Humusaufgabe angeregt. Langjährige Kalkungsversuche zeigen, dass sowohl auf ungekalkten als auch auf gekalkten Standorten ein Anstieg des Kohlenstoffvorrates in der Humusaufgabe zu beobachten ist. Erst nach einer Wiederholungskalkung im Abstand von 15 bis 20 Jahren zeigen sich im Vergleich zu ungekalkten Parzellen signifikant geringere Humusvorräte. Die gekalkten Standorte zeigen also einen geringeren Anstieg der Kohlenstoffvorräte im Humus als die ungekalkten. Demgegenüber zeigen sich auf den gekalkten Standorten tendenziell erhöhte Kohlenstoffvorräte im oberen Mineralboden, was für eine Umlagerung und somit Stabilisierung der organischen Substanz spricht. Grundsätzlich sind Humusaufgaben sehr dynamisch und reagieren zum Beispiel auf Erwärmung, Stickstoffdeposition, Bewirtschaftung, Artenzusammensetzung und Altersstruktur. Sie sind daher kein zuverlässiger Kohlenstoffspeicher.

Auf einigen Standorten kann nach Kalkungsmaßnahmen eine kurzfristige Erhöhung der Nitratkonzentration im Sickerwasser auftreten. Auslöser sind angeregte Mineralisierungsprozesse in der Humusaufgabe. Nachdem sich nach wenigen Jahren ein neues Gleichgewicht eingestellt hat, sinken die Konzentrationen wieder auf das ursprüngliche Niveau. Im Vergleich zu den hohen Nitratgehalten unter landwirtschaftlich genutzten Böden werden die beobachteten, geringfügigen Anstiege der Konzentration als unbedenklich eingestuft. Die Nitratausträge sind zudem eng mit dem Stickstoffeintrag verknüpft. In Regionen mit hohen atmosphärischen Stickstoffeinträgen wird auch grundsätzlich der Nitrataustrag gefördert.

In der Bodenvegetation kann es nach Kalkungsmaßnahmen zu Veränderungen kommen. Eine höhere Artenzahl



Grafik 1: Mittlere Differenzen der Basensättigung zwischen der ersten (1991) und zweiten Bodenzustandserhebung (2007) nach Tiefenstufen für alle ungekalkten (n=10) und gekalkten (n=28) Probestandorte in der Substratgruppe Buntsandstein in Hessen.



Grafik 2: Zeitlicher Verlauf der Kronenverlichtung auf Kalkungsversuchsflächen von Fichte (oben) und Buche (unten). Die Kalkungsmaßnahmen wurden in den 1980er, 1990er und 2010er-Jahren durchgeführt. Quelle: NW-FVA

vor allem von stickstoffliebenden Waldarten kann beobachtet werden. Durch die Verschiebung der Konkurrenzbeziehungen gehen säureanzeigende Arten tendenziell zurück. Deshalb werden oligotrophe Standorte, die extrem nährstoffarm sind, nicht gekalkt, um die typische Artenzusammensetzung nicht zu verändern. In geschlossenen, intakten Waldbeständen zeigen sich kaum Effekte. Bei Kalkungen in aufgelichteten Beständen mit hohem Lichteinfall und zusätzlich hoher Stickstoffdeposition sind negative Wirkungen auf Biodiversität und Verjüngung nicht auszuschließen.

Auch verstärkte Schäden durch Wurzelschwammbefall werden mit vergangenen Kalkungsmaßnahmen in Verbindung gebracht. Bei einer gleichmäßigen Ausbringung von 3 t kohlen-sauren Magnesiumkalks pro Hektar wurde kein erhöhtes Befallsrisiko mit Wurzelschwamm festgestellt. Dies wurde aktuell

durch Untersuchungen auf Kalkungs- und Düngungsversuchen in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt bestätigt. Eine Kombination von Düngung und Kalkung zeigte vermehrt Fruchtkörper an Stubben von Rotfichten, während eine Praxis-übliche Kalkung keine Effekte aufwies. Die potenziellen Ursachen eines verstärkten Wurzelschwammbefalls sind vielfältig und reichen von klimatischen Faktoren bis hin zum Einsatz von schweren Forstmaschinen, die zu Wurzel- und Stammverletzungen führen können.

Praktische Aspekte von Kalkungsmaßnahmen

Für die Ableitung der kalkungsbedürftigen Standorte werden das Ausgangssubstrat und der aktuelle Versauerungsstatus am jeweiligen Standort betrachtet. Kalkung ist grundsätzlich auf Standorten erforderlich, deren Böden im Hauptwurzelraum stark versauert sind, das heißt eine Basensättigung von unter 15 Prozent im unteren Hauptwurzelraum von 30 bis 60 cm Bodentiefe aufweisen und bei denen kein Ausschlussgrund für eine Kalkung vorliegt. Nach Auswertung der zweiten Bodenzustandserhebung sind dies Böden, die sich auf sauren Ausgangsgesteinen entwickelt haben wie Mittlerer und

Unterer Buntsandstein, Tonschiefer, Grauwacke, Quarzit und Granit.

Um ökologische Risiken – die mit der Kalkung einhergehen können – zu vermeiden, werden folgende Gebiete von der Kalkung ausgeschlossen: Trockene und feuchte Standorte, nährstoffreiche (eutrophe) und nährstoffarme (oligotrophe) Standorte. Die NW-FVA stellt über ein Web-Portal entsprechende Standortinformationen für alle hessischen Waldstandorte zur Verfügung unter www.nw-fva.de/BaEm. Hier ist zu beachten, dass die standörtlichen Informationen modellhaft abgeleitet wurden. Zur Absicherung empfiehlt die NW-FVA Bodenanalysen, die die Kalkungsbedürftigkeit nachweisen.

HESSENBAUER | PFÄLZER BAUER | DER LANDBOTE

LANDWIRTSCHAFTLICHES WOCHEN BLATT

Des Weiteren sind naturschutzfachlich wertvolle Flächen von der Kalkung ausgeschlossen. Die Diskussion möglicher Risiken im vorherigen Abschnitt macht deutlich, dass auch der Bestockungsgrad in die Entscheidung zur Kalkung mit einbezogen werden sollte. Besonders Kulturflächen und unbestockte oder gering überschirmte Flächen reagieren sensibel auf Kalkungsmaßnahmen und werden daher von der Kalkung ausgeschlossen. In Natura2000- und Naturschutzgebieten ist die jeweilige Schutzgebietsverordnung zu beachten. Zu Ausschlussflächen ist ein Abstand einzuhalten, damit diese nicht beeinträchtigt werden.

Ausgebracht werden 3 Tonnen pro Hektar erdfeuchte, mild wirkende kohlen-saure Magnesiumkalke per Helikopter. Chemische Analysen des Kalkmaterials durch die Lieferanten stellen sicher, dass die Vorgaben der Düngemittelverordnung eingehalten werden.

Im Rahmen der forstlichen Förderung werden Bodenschutzkalkungen gefördert, wenn dadurch eine strukturelle Verbesserung der Bodenstreu, des Bodens oder des Nährstoffhaushalts erzielt wird und damit eine Verbesserung der Widerstandskraft der Bestände erwartet werden kann. Nach der „Richtlinie für die forstliche Förderung in Hessen“ sind neben der eigentlichen

Bodenschutzkalkung auch die Bodenanalysen zur Beurteilung der Kalkungsbedürftigkeit förderfähig.

Voraussetzung für eine Förderung ist eine gutachterliche Stellungnahme, die Zweckmäßigkeit und Unbedenklichkeit der geplanten Kalkungsmaßnahme bestätigt. Bis zu 90 Prozent – im Privatwald bis 30 ha können bis zu 100 Prozent gefördert werden – der nachgewiesenen zuwendungsfähigen Ausgaben können gefördert werden.

Als Ansprechpartner für fachliche Fragen steht Felix Heitkamp unter E-Mail: felix.heitkamp@nw-fva an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt zur Verfügung. Die Beratung und Antragstellung für die forst-

liche Förderung erfolgt über die Be-willigungsstelle am Regierungspräsidium Darmstadt E-Mail: forstfoerderung@rpda.hessen.de.

Idealerweise erfolgen Kalkungen auf größeren, zusammenhängenden Flächen. Bei Kalkungsmaßnahmen im Staatsforst wird versucht, die angrenzenden Flächen von Privatwaldbesitz-

zern zu berücksichtigen. Ob ihr lokales Forstamt in nächster Zeit Kalkungsmaßnahmen plant, ist dort zu erfragen.

Weiterführende Hinweise zur Förderung sind auf der Webseite der Be-willigungsbehörde unter <https://rp-darmstadt.hessen.de> und bei der digitalen Antragstellung unter <https://agrarportal-hessen.de> verfügbar.

Dr. Felix Heitkamp, Sachgebietsleiter Nährstoffmanagement der NW-FVA; Dr. Martin Listing, Mitarbeiter im Sachgebiet Nährstoffmanagement, aus: LW Hessenbauer/ Pfälzer Bauer/Der Landbote Nr. 34/2024 vom 22. August 2024