



© R. Müller



© R. Müller

Waldkalkung

Gesundheitskur für Bäume, Böden und Trinkwasser

Die Debatte um sauren Regen und Waldsterben vor ca. 30 Jahren hat das Bewusstsein für Natur- und Umweltschutz in Deutschland nachhaltig mit geprägt. Heute findet dieses Thema in den Medien keinen breiten Raum mehr. Das bedeutet nicht, dass die Probleme gelöst und alle Altlasten beseitigt wären. Im Gegenteil: Waldkalkung ist und bleibt ein wichtiges Thema – für mehr als ein Drittel der deutschen Waldböden!

SACHINFORMATION:

Wie gesund ist der Wald?

Antworten auf diese Frage finden sich in den Waldzustandsberichten mehrerer Bundesländer. Je nach geografischer Lage und Exposition sind die Befunde zwar unterschiedlich, doch in der Summe sind die Ergebnisse eindeutig: Bundesweit sind rund 32 bis 50 Prozent der Bäume krank und etwa 33 Prozent der Waldböden sehr stark versauert. Das schränkt die natürlichen Lebensgrundlagen für Bäume, andere Waldvegetation und für viele Bodenorganismen deutlich ein. An extrem sauren Standorten liegen zu wenige Kationen (Ca, Mg, K, Na) und Basen vor. Die Versauerung der Waldböden resultiert heute zum großen Teil aus Einträgen von Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH_3), die von Industrie, Verkehr, Landwirtschaft und Haushalten in die Umwelt abgegeben (Emission) und mit

den Niederschlägen in die Böden eingetragen (Immission) werden. Demgegenüber hat Schwefeldioxid (SO_2) an Bedeutung verloren, u.a. dank der Rauchgasentschwefelung in Kraftwerken. Zu Beginn der Debatte um sauren Regen in den 1980er-Jahren war SO_2 noch einer der wichtigsten Versauerungsfaktoren; seine Altlasten tragen auch heute noch weiter zu der Schädigung der Wälder und Böden bei. Die Wälder in Deutschland „leben“ also nicht nur mit den aktuellen Einträgen, sondern auch mit den depositionsbedingten Altlasten aus den letzten siebenzig Jahren zunehmender Industrialisierung und Nutzung fossiler Energie (Öl, Kohle, Gas). Deren Dimension lässt sich an einer Zahl verdeutlichen: Der Eintrag von Säureäquivalenten liegt seit mehr als 40 Jahren bei vielen Waldstandorten über dem natürlichen Puffervermögen der Böden.

QUELLEN DER SÄUREEINTRÄGE

- » Schwefeldioxid (SO_2): v. a. aus der Verbrennung von Kohle und schwefelhaltigen Heizölen in Kraftwerken, Hochseeschiffen, Industrie und anderen stationären Verbrennungsanlagen;
- » Stickoxide (NO_x): v. a. von Kraftfahrzeugen und Verbrennungsprozessen;
- » Ammoniak (NH_3): v. a. aus der Verwendung von Wirtschafts- und Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft

LERNZIELE UND KOMPETENZEN:

Fächer: Biologie, Chemie, Erdkunde, Natur & Technik

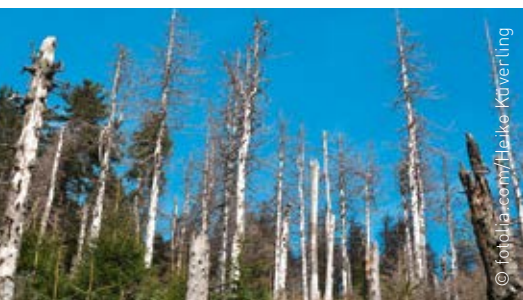
- Die Schülerinnen und Schüler
- » schauen einen Film zur Waldkalkung an und beantworten Fragen dazu;
 - » ergänzen und beschreiben Grafiken zur Bodenchemie und Wirkung von Kalk;
 - » recherchieren Pflanzenarten als Zeigerpflanzen für saure Waldböden und Beispiele von Säureschäden;
 - » beschreiben weitere Auswirkungen von Bodenversauerung auf ihre eigene Lebenswelt (Trinkwasser, Artenvielfalt).

Wirkung der Säureeinträge

Zwei Faktoren spielen bei einer sehr starken Bodenversauerung zusammen, und zwar das Ausmaß und die Qualität der nassen und trockenen Deposition (Immission) und die Pufferfähigkeit des jeweiligen Bodens als Aufnahmemedium. Die versauernde Wirkung der Einträge entfaltet sich dann in mehreren Schritten: Zunächst werden die eingetragenen Säuren (z. B. Sulfat und Nitrat) je nach Puffersystem entweder neutralisiert (basische Kationen wie Ca, Mg, K und Na) oder die Wasserstoffprotonen (H^+) lösen Kationen von Bodenpartikeln (Kationaustauscher). Sofern die Pflanzen die Kationen und Anionen nicht aufnehmen, können sie mit dem Sickerwasser aus der durchwurzelten Bodenzone in den Untergrund verlagert werden. Damit gehen diese Stoffe als Nährelemente verloren. Außerdem sinkt die Pufferkapazität für nachfolgende Einträge. Weitere versauernde Immissionen führen zu noch niedrigeren pH-Werten. Aus diesen Prozessen resultieren neben einer veränderten Ionen- und Nährstoffzusammensetzung in den Böden auch schlechtere Wachstumsbedingungen für die Pflanzen und zunehmend ungünstige Lebensbedingungen für die Mikroorganismen, die u. a. für

Umsetzungsprozesse unentbehrlich sind. Sinkt der pH-Wert weiter, werden zunehmend Säuren und toxische Metalle (z.B. Aluminium) im Boden mobilisiert, die dann mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen und die Wurzeln bzw. die Wurzelbildung schädigen oder behindern können.

Diese negativen Veränderungen beeinträchtigen also nachhaltig Bäume, die restliche Waldvegetation, Böden und Bodenorganismen sowie die Qualität der Grundwasserkörper. Sind solche Veränderungen einmal eingetreten, dann sind sie nur sehr langsam wieder umkehrbar. Vegetation und Lebewesen verlieren Vitalität und Robustheit, Boden und Wasser büßen Qualität ein. Wälder können dann nicht mehr ihre vielen ökologischen Leistungen – z.B. Sauerstoff produzieren, Niederschlagswasser aufnehmen, Waldböden vor Erosion schützen, Sickerwasser filtern und Lebensraum für vielfältigste Lebensformen bieten – erbringen.



Auf stark versauerten Böden (pH<4,0) können sich die Bäume schlechter gegen Schädlinge wehren (hier Borkenkäfer-Schaden im Harz).

Waldkalkung als wirksame Gegenmaßnahme

Seit den 1980er-Jahren ist die „regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung“ als geeignete Maßnahme etabliert, um früheren und aktuellen Einträgen von versauernden Stoffen zu begegnen. Sie soll übermäßige Säuren neutralisieren und bessere Lebensmilieus für das Bodenleben und die Wurzeln der Pflanzen schaffen. Außerdem verbessert sie spürbar die Nährstoffversorgung (z.B. Ca, Mg) für die Bäume und die übrige Waldvegetation (d.h. auch für die angesiedelten Tierarten).

Die Waldkalkung wirkt so als kontinuierliches Vorbeuge- und Heilmittel gegen die Übersäuerung der Böden. Kalk (Calciumcarbonat, CaCO_3 , und Magnesiumcarbonat, MgCO_3) liefert bei der Lösung seiner chemischen Bindung einerseits die Hydroxid-Ionen bzw. Basen (OH^-), welche die Säuren (H^+) im Boden abpuffern, und andererseits die positiv geladenen Calcium/Magnesium-Ionen (Ca^{++} Mg^{++} -Kationen). Letztere neutralisieren zwar nicht die Säure, ver-

bessern aber die Basensättigung und Nährstoffverfügbarkeit und stabilisieren die Bodenstruktur (vgl. Heft 22).

Wald-, Boden- und Wasserschutz für die Gemeinschaft

Dass die in Deutschland seit mehr als 30 Jahren durchgeführten Bodenschutzkalkungen im Wald den gewünschten Erfolg bringen, ist in mehreren aktuellen Waldzustandsberichten der Bundesländer und aktuellen Forschungsarbeiten nachzulesen. Dennoch findet die Waldkalkung in Deutschland seit einigen Jahren nicht in dem erforderlichen Umfang statt. Der anzustrebende Umfang kann pauschal wie folgt abgeleitet werden: Von rund 11 Mio. Hektar Gesamtwaldfläche in Deutschland gelten etwa 33 Prozent – also rund 3,63 Mio. Hektar – als stark kalkungsbedürftig. Drei Tonnen kohlenaurer Magnesiumkalk pro Hektar alle zehn Jahre gelten als übliche Aufwandmenge, um Säureeinträge zu neutralisieren und den pH-Wert des Bodens zu stabilisieren. Für die Aufarbeitung der Säure-Altlasten und die weitergehende Erhaltungskalkung wären also pro Jahr rund 1 Mio. Tonnen kohlenaurer Magnesiumkalk in ganz Deutschland erforderlich. Die Bodenschutzkalkung im Wald wird zum größten Teil aus Landes-, Bundes- und EU-Fördermitteln finanziert. Denn die gesamte Gesellschaft ist für die Säureeinträge in Waldökosysteme und damit für deren Kompensation oder noch besser Vermeidung verantwortlich, zumal sie auch von den weitreichenden Ökosystemleistungen eines gesunden Waldes profitiert.

Der erforderliche Förderbedarf beläuft sich in Deutschland auf ca. 90 bis 100 Mio. Euro pro Jahr. Das im Durchschnitt der letzten Jahre bundesweit verfügbare Fördervolumen für die Waldkalkung in Höhe von 10 bis 13 Millionen Euro reicht aber nur für etwa 200.000 Tonnen Kalk – also nur für ein Fünftel der kalkbedürftigen Fläche. Der Schutz von Wald, Waldboden und Wasser benötigt nach Einschätzung von Experten deshalb deutlich mehr öffentliche Unterstützung.

WAS BODENVERSAUERUNG IM WALD BEDEUTET:

- » Das Absinken des pH-Werts um 1 Einheit bedeutet eine Versauerung des Bodens um den Faktor 10. Ein Absinken des pH-Werts von 6 auf 4 bedeutet damit bereits eine 100-fach höhere H^+ -Konzentration;
- » Silikatzerstörung und Mobilisierung von Schwermetallen: Freie Cd-, Pb- und Al-Ionen hemmen das Wurzel- und Pflanzenwachstum. Über Grundwasser auch Gefahr für Menschen;
- » Säurestress: Freigesetzte toxische Al^{+++} -Ionen führen selbst bei relativ säuretoleranten heimischen Baumarten wie Buche, Eiche, Tanne, Fichte oder Kiefer zu Säurestress und eingeschränkter Nährstoffaufnahme. Die Bäume werden weniger stresstolerant und damit anfälliger für Sekundärschäden wie Schädlinge, Windbruch und Trockenheit.

METHODISCH-DIDAKTISCHE ANREGUNGEN

Nur die Lehrkraft liest den Text. Die SchülerInnen schauen den Film und bearbeiten ihn mit Fragen und weiteren Aufgaben von **Arbeitsblatt 1**. Die Jugendlichen sollen so das Problem und Lösungsansätze kennenlernen. Wenn genug Zeit vorhanden ist, messen die SchülerInnen ganz praxisnah den pH-Wert einer Waldbodenprobe (Anleitung in Heft 22).

Arbeitsblatt 2 geht genauer auf Zeigerpflanzen und Säureschäden an Bäumen ein. Außerdem zeigt es nochmal genauer, wie Kalk Säuren puffert. Wer genauer wissen möchte, wo Kalk herkommt und wie er reagiert, findet dazu eine **Grafik (Extrablatt 5)** und **Experimente** im Onlinematerial zu Heft 22.

Dass Wälder und Natur lebendig und schützenswert sind und einen (Erholungs-)Wert besitzen, erleben die Jugendlichen mit der Sinnesübung auf der **Sammelkarte** (S. 15).

LINK- UND MATERIALTIPPS

- » Anknüpfende Materialien in Heft 22 (Kalkdüngung) und zugehörigem Onlinematerial unter www.ima-lehrermagazin.de
- » Film „Kalk ist gut für Boden, Wald und Wasser“ unter www.waldkalkung.com oder [www.youtu.be/-79ufGtKQZA](https://www.youtube.be/-79ufGtKQZA)
- » Unterrichtskonzepte zu Boden und Wald (v.a. Ökologie) unter www.schulbiologiezentrum.info → Themenseite Wald
- » Unterrichtsmaterial zu Kalk allgemein unter www.kalk.de/publikationen/unterrichtsmaterial



Kalk im Wald – warum und wie?

- ① Schau dir aufmerksam den Film an und beantworte danach grob in Stichworten die Fragen zum Film, soweit du dich erinnerst.

Schau den Film dann ein zweites Mal an und ergänze deine Notizen. Formuliere nun deine Antworten aus.

- 1.1 Wofür ist ein gesunder Waldboden wichtig?
- 1.2 Wie ist der Zustand unserer Waldböden? Welche Standorte sind besonders betroffen?
- 1.3 Was sind die Folgen einer sehr starken Bodenversauerung?
- 1.4 Was ist eine Bodenschutzkalkung (im Wald)?
- 1.5 Welcher Kalk wird bei der Waldkalkung verwendet und wie viel?
- 1.6 Wie läuft die Waldkalkung üblich ab?
- 1.7 Welche positiven und negativen Auswirkungen hat sie?
- 1.8 Wer übernimmt die Organisation und Kosten?



Zusatzaufgabe

Inwiefern betrifft es auch dich und deine Mitmenschen, wenn der Waldboden sehr stark versauert ist?

Was hältst du davon, dass die Waldkalkung von öffentlichen Geldern bezahlt wird, und dass die Waldeigentümer mehr finanzielle Unterstützung dafür fordern?

- ② Im Film werden mehrere Reaktionen im (sauen) Boden angesprochen. Zeichne in der Grafik die freigesetzten Kationen ein. H^+ , Al^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , K^+



Ziel der Bodenschutzkalkung:

- » Säuren werden neutralisiert, der pH-Wert sinkt nicht weiter oder steigt sogar
- » Bodenstruktur verbessert sich
- » Nährstoffe sind besser für Pflanzen verfügbar
- » Besseres Milieu für gewünschte Bodenlebewesen und Mikroben
- » Schwermetalle werden weniger gelöst bzw. gebunden → bessere Nährstoffversorgung mit Mg und Ca
- » Grundwasser geschützt!

Chemie im Waldboden

Unsere Böden besitzen je nach Zusammensetzung und Zustand unterschiedliche Systeme, um eingetragene Säuren zu puffern. Bei sehr niedrigen pH-Werten (Aluminium- oder Eisen-Puffersystem) können neue Säureeinträge kaum noch natürlich gepuffert werden. Daher muss der Mensch dem Waldboden basisch wirkende Stoffe zuführen, um Bodenverschlechterungen zu vermeiden. Dazu dient Kalk, der auch von Natur aus an vielen (anderen) Standorten und in einigen Böden vorkommt.

① **Suche im Internet Fotos von Bäumen und Wäldern mit (Säure-)Schäden.**

Recherchiere und erkläre kurz, was mit dem Boden, den (Baum-)Wurzeln, Stämmen und/oder Blättern geschieht, wenn der pH-Wert sehr niedrig (kleiner pH 4) ist.



② **Pflanzen und Bodenlebewesen bevorzugen unterschiedliche Wachstumsbedingungen. Dazu gehört auch der angemessene pH-Wert des Bodens. Recherchiere online, welche Baumarten, Waldpflanzen und Bodenlebewesen sensibler und welche toleranter gegenüber sehr niedrigem pH-Wert sind. Nenne je 3 Beispiele.**

Linktipp: Unter <http://shortlinks.de/3ofk> findest du Material vom Schulbiologiezentrum Hannover.

③ **Beschreibe anhand der Grafik, wie der Kalk die Säuren im Boden, genauer gesagt ihre H⁺-Ionen, neutralisiert. Erläutere auch, wie der Kalk den Boden auflockert.**

