

Macht sauer wirklich lustig?

Drei Viertel der Waldböden Bayerns sind kaum versauert, aber das restliche Viertel lässt Probleme erwarten

Christian Kölling

Bodenversauerung war eines der großen Themen der letzten zwei Jahrzehnte des letzten Jahrhunderts. Im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden wurde oft auch der »Saure Regen« als Ursache genannt. Luftverunreinigungen belasten die Wälder bis heute mit Schwefel- und Stickstoffverbindungen. Wie sauer sind unsere Waldböden wirklich? Wie werden sich die Böden weiter entwickeln?

Wohl jeder bringt mit dem Begriff »Säure« den pH-Wert in Verbindung. Schon im Chemieunterricht lernt man, dass die Säurekonzentration von Lösungen mit dem pH-Wert ausgedrückt wird. Bei Böden ist es einigermaßen aufwendig, die Bodenlösung von der Bodenfestphase zu trennen und darin direkt den pH-Wert zu bestimmen. Die ersatzweise mögliche Bestimmung des pH-Wertes in einer Aufschwemmung von Boden mit einer Lösung (Suspension) hat andere Nachteile. Überdies hat sich gezeigt, dass das Gedeihen der Waldbäume nicht so sehr vom Säuregrad (pH-Wert) der Bodenlösung, sondern vielmehr von den darin enthaltenen Nährelementen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium abhängt. Diese Elemente werden im Fachjargon auch als »Basenkationen« bezeichnet, die Basenvorräte, bezogen auf einen Hektar, werden in Kilomol Ionenäquivalente pro Hektar (kmol_c/ha) angegeben. Je höher der Anteil dieser Kationen und je geringer der Anteil der »Säurekationen« Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen in der Bodenlösung ist, desto besser ist die Baumernährung gewährleistet. Weil die Gewinnung der Bodenlösung aufwendig ist, behilft man sich mit einem Bodenextrakt und bestimmt darin die Kationenanteile. Damit erfasst man die Belegung der negativ geladenen Partikeloberflächen des Austauscherkomplexes mit positiv geladenen Kationen. In Abbildung 1 ist die Belegung des Austauscherkomplexes eines typischen Waldbodens im Niederbayerischen Tertiärhügelland dargestellt. Man erkennt die unterschiedlichen Anteile der einzelnen Kationen, die sich zusammen auf 100 Prozent summieren. Aus der Veränderung der Anteile mit zunehmender Bodentiefe ergibt sich ein charakteristisches Tiefenprofil. Die Basenkationen Calcium und Magnesium nehmen mit der Tiefe zu, die Anteile der Säurekationen Aluminium und Protonen gehen zurück.

Basensättigung

Dieses komplexe Bild kann man vereinfachen, indem nicht alle acht einzelnen Kationenanteile betrachtet werden, sondern nur die Summe des Anteils der vier Basenkationen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium. Dieser Prozentwert wird auch als *Basensättigung* bezeichnet. Im Beispiel in der Abbildung 1 beträgt die Basensättigung in 30 Zentimeter Bodentiefe elf Prozent, in 60 Zentimeter steigt sie auf 60 Prozent und

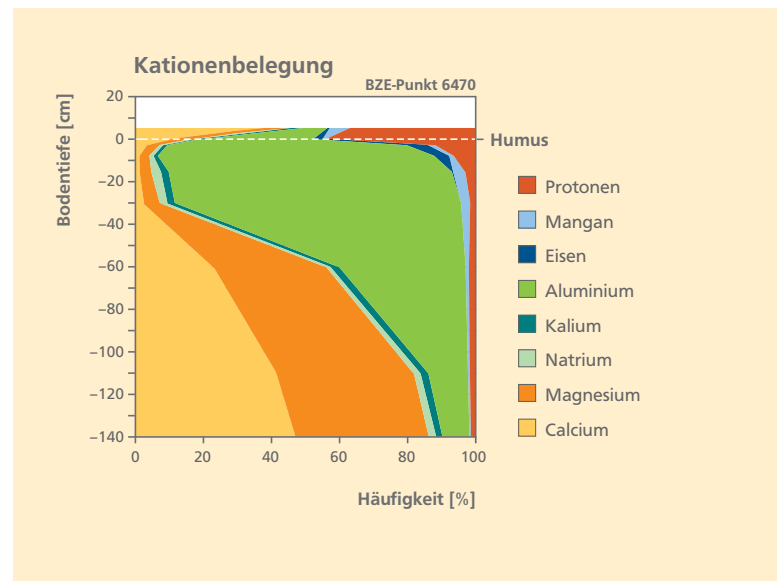
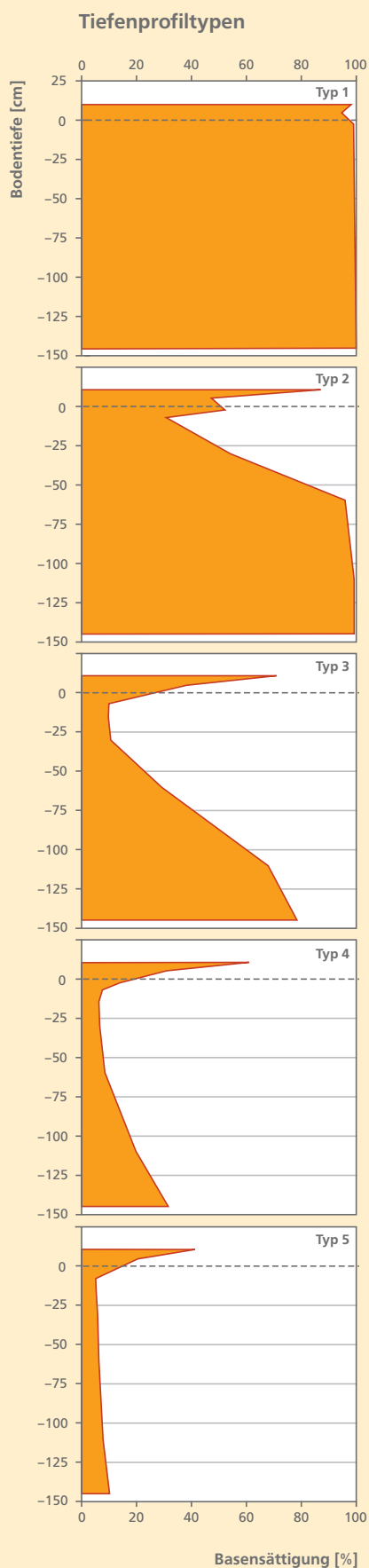


Abbildung 1: Kationenbelegung des Bodenaustauscherkomplexes am BZE-Punkt 6470 in Abhängigkeit von der Bodentiefe

bei 110 Zentimetern werden 86 Prozent erreicht. In der Vergangenheit liegende Versauerungsprozesse haben dazu geführt, dass der Oberboden mehr Basenkationen verloren hat als der Unterboden. Der Verlust an Basenkationen kann verschiedene Ursachen haben, vor allem sind dafür der Angriff der Kohlensäure (Matzner und Davis 1996) und der Bestandteile des Sauren Regens verantwortlich (Kölling 1999b), daneben aber auch die übermäßige Nutzung von Biomasse (Glatzel 1991). Mit dem Sickerwasser oder auf Grund von Biomasseexport verliert der Boden Basenkationen und an ihrer Stelle treten Säurekationen wie Aluminium. Den Verlust von Basenkationen vom Austauscherkomplex des Bodens nennt man Bodenversauerung. Sie drückt sich stets in einer Abnahme der Basensättigung aus.



Tiefenprofile

Unser Beispielsboden auf Abbildung 1 ist in einer sehr charakteristischen Weise versauert: Weisen die Humusauflagen noch Basensättigungen von über 20 Prozent auf, gehen die Werte im oberen Mineralboden auf unter zehn Prozent zurück. Im tieferen Mineralboden steigt die Basensättigung dann auf über 80 Prozent. Was bedeutet dies für das Gedeihen der Waldbäume? Ein junger Baum muss mit seinen Wurzeln in den ersten Jahren das saure Milieu des Oberbodens durchstoßen. Hier kann er wenig Calcium und Magnesium aus der Bodenlösung aufnehmen und muss stattdessen hohe Aluminiumkonzentrationen erdulden. Erst mit zunehmendem Tiefenwachstum erreichen die Wurzeln die basenreichen Horizonte des Unterbodens. Anspruchsvolle Baumarten wie Esche und Feldahorn werden ihre liebe Not mit einem solchen Boden haben, während säuretolerantere und weniger basenbedürftige Arten wie die Rotbuche ohne Probleme wachsen können. In unserem Beispiel ist ein typischer Verlauf der Basensättigung mit der Profiltiefe verwirklicht. Oben basenarm, unten basenreich, so könnte man die Verhältnisse am besten beschreiben.

Es gibt aber noch andere Verlaufsformen der Basensättigung im Bodenprofil. Man kann diese ohne Zwang fünf Typen zuweisen (Abbildung 2; Kölling et al. 1996; Kölling 1999a; Kölling und v. Wilpert 2000). Im einen Extrem ist das ganze Bodenprofil hoch basengesättigt (Typ 1), im anderen Extrem ist es durchgehend basenarm (Typ 5). Dazwischen liegen drei Übergangsformen, die sich anhand unterschiedlich mächtig versauerter Oberböden unterscheiden. Abbildung 2 zeigt die fünf Verlaufstypen für den gesamten BZE-Datensatz dargestellt. Nur 4 von 372 Böden können keinem Verlaufstyp zugeordnet werden, da es sich um Sonderfälle (Hochmoore, Felsböden) handelt.

Typ 1

27 Prozent der Waldböden Bayerns gehören zum Typ 1 (Abbildung 3). Gleichmäßig hohe Basensättigung von über 80 Prozent im gesamten Profil kennzeichnen den Typ 1. Er ist vor allem in den Kalkgebieten Bayerns wie der Fränkischen Platte, dem Jura und den Kalkalpen weitverbreitet. Böden dieses Typs setzen der Bodenversauerung einen nahezu unüberwindlichen Widerstand entgegen. Allerdings ist das Elementangebot für die Baumernährung einseitig von Calcium und Magnesium geprägt, die Ernährung mit Spurenelementen (Eisen und Mangan), Kalium sowie Phosphor kann auf diesen Standorten schnell problematisch werden. Basenbedürftige Baumarten wie Esche und Feldahorn finden auf Böden des Typs 1 optimale bodenchemische Bedingungen vor. Die Basenvorräte sind sehr hoch, 75 Prozent der Böden des Typs 1 besitzen Basenvorräte über 1.000 kmol_c/ha (Abbildung 4).

Abbildung 2: Fünf Tiefenprofiltypen der Basensättigung (Medianwerte) des BZE-Datensatzes

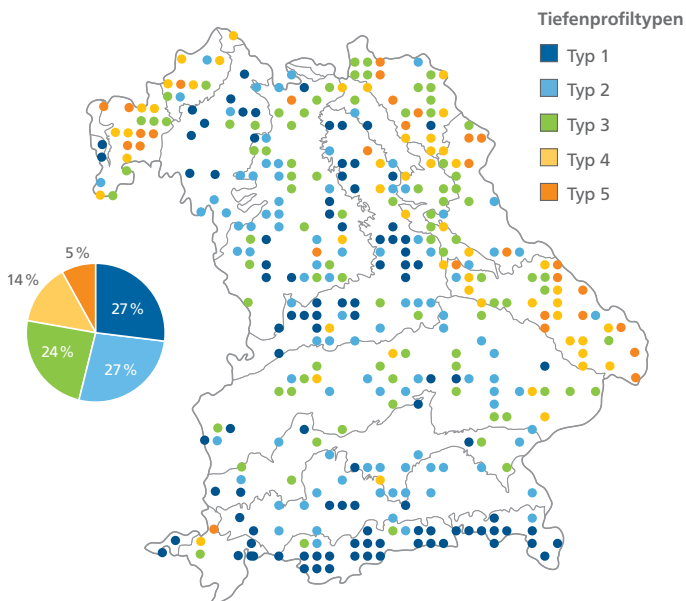


Abbildung 3: Häufigkeit und räumliche Verteilung der Tiefenprofiltypen 1 bis 5 im BZE-Datensatz

Typ 2

Ebenfalls 27 Prozent beträgt der Anteil des Typs 2, der häufig mit Typ 1 vergesellschaftet auftritt. Er besitzt alle Vorteile des Typs 1, Spurenelement-, Kalium- und Phosphormängel treten jedoch viel seltener auf. Die leichte Versauerung im Oberboden beruht häufig auf einer Überdeckung von Kalksubstraten mit einer lehmigen Deckschicht. Bodenchemisch sind auf diesen Standorten paradiesische Zustände verwirklicht. Nahezu alle Baumarten können ihren Bedarf an Nährstoffen ohne Einschränkung decken. Die Basenvorräte sind ähnlich hoch wie bei Typ 1, 75 Prozent der Böden des Typs 2 weisen Basenvorräte über $680 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ auf (Abbildung 4).

Typ 3

Auf knapp einem Viertel der Waldfläche ist Typ 3 verwirklicht (vgl. auch Abbildung 1). Ihn zeichnet stärkere Oberbodenversauerung aus. Sie resultiert häufig aus mächtigeren Deckschichten. Im Unterboden werden bei karbonatfreiem Substrat 100 Prozent Basensättigung nicht mehr erreicht. Die bodenchemischen Bedingungen sind ähnlich paradiesisch wie bei Typ 2, jedoch liegt der basenreiche Unterboden unter einer ziemlich mächtigen versauerten Decke verborgen. In ihrer Jugend haben daher manche Baumarten Schwierigkeiten, ihren Bedarf an Calcium und Magnesium zu decken. Alte und tiefwurzelnde Bäume können jedoch auch die Basenvorräte des Unterbodens nutzen. Die Basenvorräte sind zumeist hoch, über 75 Prozent der Böden des Typs 3 verfügen über Basenvorräte von mehr als $175 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ (Abbildung 4). Für basenbedürftige Baumarten wie Esche und Feldahorn reicht die bodenchemische Qualität jedoch meistens nicht aus, zu lang ist in der Jugend die »Durststrecke« bis zum Erreichen des basenreichen Unterbodens.

Typ 4

Dieser Typ kommt auf 14 Prozent der Waldfläche vor. Ihn charakterisiert eine tief reichende Bodenversauerung. Erst in über einem Meter Tiefe steigt die Basensättigung auf über 20 Prozent. Die in solch großer Tiefe schlummernden Basenvorräte können nur alte und tiefwurzelnde Bäume nutzen. Mit der Streu gelangen die Basen dann im Laufe der Jahre auf die Bodenoberfläche und werden dort Teil des Auflagehumus. Von dort sind sie dann leicht auch für junge Bäume zu erreichen. Auf diesen als »Basenpumpe« bezeichneten Mechanismus sind Bäume auf den Böden des Typs 4 besonders angewiesen. Anspruchslose Baumarten finden auf den Böden des Typs 4 recht gut ein Auskommen. Wichtig aber ist, dass eine pflegliche Forstwirtschaft die knappen Vorräte schont und die Basenpumpwirkung nicht über längere Zeit unterbrochen wird, z.B. nach Kahlhieb. Bei 75 Prozent der Böden des Typs 4 bleiben die Basenvorräte unter $100 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ (Abbildung 4).

Typ 5

Der basenärmste Typ 5 nimmt glücklicherweise nur acht Prozent der Waldfläche ein. Er ist auf die Silikatgebiete wie z. B. Spessart, Rhön, Odenwald und die ostbayerischen Grenzgebirge beschränkt. Auch in großer Bodentiefe gibt es für die Bäume wenig Calcium und Magnesium zu holen. 75 Prozent

Das Weltknäuel Mensch



Das Buch beschreibt die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur, ein Verhältnis, das so innig gedacht werden muss, dass der Autor – studierter Philosoph und Forstmann in einem – vom »Weltknäuel Mensch« spricht. Immer wieder stehen der Wald und der Umgang mit ihm im Mittelpunkt. In einem eigenen Kapitel widmet sich der Philosoph sogar speziell dem Förster.

»Das Weltknäuel Mensch« ist keineswegs eine trockene wissenschaftliche Abhandlung, sondern ein kurzweiliger Text voller bildreicher Metaphern, indem sich alles darum dreht, wie der Mensch sich und die Natur versteht. So entsteht eine faszinierende und auch literarisch wertvolle Reise, auf der der Leser den Autor begleiten darf. Besonders für die, die den Umgang mit der Natur zu ihrem Beruf gemacht haben und ihr Metier auch einmal philosophisch durchleuchten wollen, ist das Buch ein Gewinn.

johann seidl

Günter Dobler (2010)

Das Weltknäuel Mensch

Über den Zusammenhang von Mensch und Natur

BOD Norderstedt; ISBN 978-3-8391-6421-1, € 12,90

Leseproben unter www.weltknaeuel-mensch.de

der Böden des Typs 5 besitzen Basenvorräte unter $40 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ (Abbildung 4). Für anspruchslose Baumarten reicht in den meisten Fällen die Basenversorgung aus. In bestimmten Fällen können jedoch besonders bei Typ 5 Mangelerscheinungen auftreten. Maßnahmen wie die Bodenschutzkalkung oder Restriktionen bei der Biomassenutzung können hier helfen, die besonders ungünstigen chemischen Verhältnisse zu stabilisieren.

Vertreibung aus dem Paradies?

Die Analysen der BZE ergeben ein rosiges Bild der bodenchemischen Verhältnisse auf einem Großteil der Waldfläche. Über 75 Prozent nehmen derzeit die Typen 1, 2 und 3 ein. Bis auf wenige Ausnahmen kommen die Waldbaumarten mit der hier gebotenen Basenausstattung gut zurecht. Mit geschickter Baumartenwahl lassen sich Nachteile wie Spurenelementschwächen einerseits und niedrige Basensättigung im Oberboden andererseits gut bewältigen. Die bodenchemischen Sorgenkinder Typ 4 und Typ 5 verlangen größere Aufmerksamkeit. Hier kann in einigen Fällen eine Bodenschutzkalkung erforderlich werden (Stetter, S. 25–27 in diesem Heft) oder es ist Zurückhaltung bei der Nutzung, z. B. Belassen der Ernterückstände im Bestand, angeraten (Kölling, S. 28–31 in diesem Heft).

Sind die geschilderten komfortablen bodenchemischen Bedingungen nur eine Momentaufnahme der BZE und droht über fortschreitende Bodenversauerung den Waldböden Bayerns eine Verschlechterung? Um diese Frage zu beantworten, hilft eine einfache überschlägige Rechnung. Dank der jahrzehntelangen Umweltbeobachtung an den Waldklimastationen wissen wir, dass die atmosphärischen jährlichen Netto-säureeinträge in Bayern gegenwärtig höchstens bei $1 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ liegen. Bei den hohen Vorratswerten in den Tiefenprofiltypen 1, 2 und 3, wie sie aus Abbildung 5 hervorgehen, würde es bei drei Vierteln der Waldböden 100 bis über 1.000 Jahre dauern, bis sie sich auf Grund der anthropogenen Versauerung zu den ungünstigen Typen 4 und 5 weiterentwickeln. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass die Böden im Zuge der Verwitterung aus dem Gestein laufend neue Basen gewinnen und außerdem ein Teil der sauren Niederschläge zumindest vorübergehend in den Böden gespeichert wird. Am ehesten erscheinen die gering bevorrateten Böden des Typs 3 gefährdet zu sein. Nur zehn Prozent der Böden des Typs 3 weisen allerdings Basenvorräte unter $100 \text{ kmol}_c/\text{ha}$ auf. In diesem Kollektiv befinden sich neben einigen Sonderfällen (flachgründige Böden, Grundwasserböden) einige wenige »Kandidaten« für eine Bodenveränderung hin zu den ungünstigen Typen 4 und 5. In diesen seltenen Fällen würde der Säureangriff die Grenzlinie zwischen niedriger und hoher Basensättigung, die »Versauerungsfront«, im Profil nach unten verschieben, sofern nicht die Gesteinsverwitterung die sauren Niederschläge ausgleicht. Bei den gegenwärtig schon sauren Böden der Typen 4 und 5 hat ein weiterer Säureangriff hingegen schwerwiegendere Folgen. Werden die ohnehin schon grenzwertig geringen Basenvorräte weiter geschmälert, reichen sie bald für den Bedarf der Bäume nicht mehr aus. Den Typen 4 und 5 gilt daher besondere

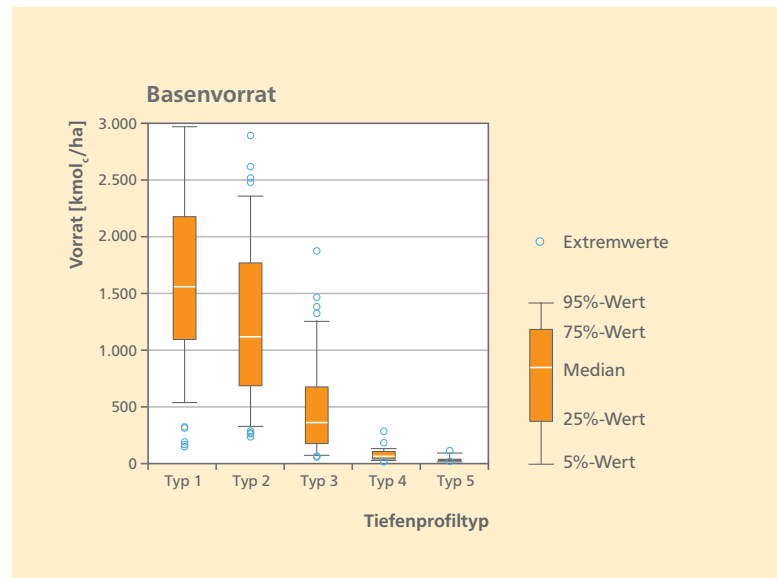


Abbildung 4: Basenvorräte und wichtige Kennwerte der Tiefenprofiltypen 1 bis 5

Aufmerksamkeit in Fragen der Luftreinhaltung, Waldernährung und Biomassenutzung. Die gute Nachricht der BZE der ausreichenden und wenig gefährdeten Basenausstattung betrifft drei Viertel der Waldfläche. Sie darf aber nicht davon ablenken, dass der Rest nach wie vor der Gefahr der Bodenversauerung auf Grund von Luftverunreinigungen und übermäßiger Nutzung ausgesetzt ist. Hier muss die Bodenversauerung weiter beobachtet werden und man wird fallweise Vorsorgemaßnahmen (z. B. Kalkung, Nutzungsregulierung) ergreifen müssen.

Literatur

- Glatzel, G (1991): *The impact of historic land use and modern forestry on nutrient relations of Central European forest ecosystems*. Fertilizer Research 27, S. 1–8
- Kölling, C. (1999a): *Ordination von Waldökosystemen nach Stoffkonzentrationen der Lösungsphase und bodenchemischen Tiefengradienten*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 162, S. 89–95
- Kölling, C. (1999b): *Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen auf die Wälder Bayerns*. Berichte aus der LWF 22, S. 1–46
- Kölling, C.; v. Wilpert, K. (2000): *Kennwerte zum Säurestatus der Bodenlösung*. Forstarchiv 71, S. 49–54
- Kölling, C.; Hoffmann, M.; Gulder, H. J. (1996): *Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen*. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 159, S. 69–77
- Matzner, E.; Davis, M. (1996): *Chemical soil conditions in pristine Nothofagus forests of New Zealand as compared to German Forests*. Plant and Soil 186, S. 285–291

Dr. Christian Kölling leitet das Sachgebiet »Standort und Bodenschutz« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Christian.Koelling@lwf.bayern.de