

# Deutlicher Rückgang der Schwermetalleinträge

Die Schwermetallgehalte der Böden werden primär durch die mineralogische Zusammensetzung der Ausgangsgesteine bestimmt. Als Folge des Auskämmeffekts von Bäumen kommt es jedoch unter Wald auch zu verstärkten atmosphärischen Schwermetalleinträgen. Diese Einträge können zu einer Überlagerung und signifikanten Erhöhung der naturbedingt in Böden vorhandenen Schwermetallgehalte führen. Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) geht den Fragen nach, ob die Reduktion der Schwermetallemissionen aus Industrie und Verkehr in den Waldböden in Deutschland nachweisbar ist, ob eine Gefährdung des Grundwassers besteht und ob Überschreitungen der Vorsorgewerte vorliegen.

*Nadine Eickenscheidt, Jens Utermann, Cihan Tarih Aydın, Norbert Bischoff, Jürgen Böttcher, Joachim Gebrmann, Nils König, Birte Scheler, Claus Florian Stange, Nicole Wellbrock*

Im Rahmen der BZE wurden die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg) und Zink (Zn) sowie das Halbmetall Arsen (As) untersucht. Kupfer und Zink gehören zu den essenziellen Spurenelementen und zeigen anders als die meisten Schwermetalle erst bei hoher Konzentration toxische Wirkungen. Die Schwermetallgehalte wurden durch Extraktion mit einer starken Säure („Königswasser“) und anschließender Bestimmung der Elemente in der Extraktionslösung ermittelt; für die meisten Elemente entspricht dies dem Schwermetallgesamtgehalt. Die Datensätze aus der BZE I (1987 bis 1993) beschränken sich bundesweit auf Untersuchungen der Schwermetallgehalte in der organischen Auflage. In der BZE II (2006 bis 2008) wurden zusätzlich an allen Probenahmeorten die Schwermetallgehalte in den ersten beiden Tiefenstufen des Mineralbodens (0 bis 5 cm, 5 bis 10 cm) analysiert. Vergleichende Untersuchungen zwischen der

BZE I und der BZE II sind somit bundesweit nur für die organischen Auflagen möglich. Aus Nordrhein-Westfalen liegen auch Schwermetallgehalte für den Mineralboden aus der BZE I vor, daher werden diese Ergebnisse exemplarisch mit einbezogen. Die Veränderungen in der Auflage sowie im oberen Mineralboden beziehen sich auf das gepaarte Stichprobenkollektiv.

## Schwermetallvorräte

Die Schwermetallvorräte der Auflage sind aufgrund der im Vergleich zum Mineralboden fehlenden geogenen Komponente meist geringer als im Mineralboden. Den geringsten Vorrat, sowohl in der Auflage als auch im Mineralboden, weisen Hg und Cd auf, die höchsten Vorräte besitzen Pb und Zn. Die Elemente Ni, Cr und As haben in der Auflage deutlich geringere Vorräte als im Mineralboden, was für Ni und Cr auf einen primär geogenen Ursprung hindeutet, während As anionisch im Boden vorliegt und somit eine rasche Verlagerung in den Mineralboden möglich ist. Die Elemente Ni, Cr, As und Zn weisen in 5 bis 10 cm die höchsten Vorräte der untersuchten Tiefenstufen auf, was (außer für As) als weiterer Hinweis auf primär geogene Herkunft gedeutet wird. Die Elemente Pb und Hg besitzen die höchsten Vorräte hingegen in 0 bis 5 cm, was auf eine deutliche anthropogene Überprägung der geogen bedingten Vorräte hindeutet. Weniger deutlich ist dieser Trend für Cd und Cu, welche im Mittel ähnliche Vorräte für 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm aufweisen. Die Schwermetallvorräte der Humusaufgabe werden in besonderem Maße von den Humusvorräten bestimmt. Dementsprechend haben geringmächtigere Humusformen (Mull, mullartiger Moder) z. B. der kalkreichen Regionen wie

Schwäbische und Fränkische Alb geringere Schwermetallvorräte als Humusformen mit mächtigen Lagen (rohhumusartiger Moder, Rohhumus), wie z. B. die der sauren Mittelgebirgsböden im Harz und Thüringer Wald.

Im Vergleich zu den Vorräten im Auflagehumus, die hauptsächlich durch die Humusmenge bestimmt sind, werden die Vorräte im mineralischen Oberboden stärker durch die Schwermetallgehalte geprägt. Für die meisten Schwermetalle (Ausnahme Cd) wird eine Zweiteilung Deutschlands sichtbar mit niedrigeren Vorräten im Norddeutschen Tiefland und höheren Vorräten in den Mittelgebirgen, dem Voralpenland und den Alpen (d. h. vor allem in Festgesteinsböden). Dabei weisen die Mineralböden der Wälder im Pfälzer Wald, Odenwald/Spessart und dem nördlichen Schwarzwald im Vergleich zu den anderen Mittelgebirgswäldern geringere Vorräte auf. Deutliche Schwermetallbelastungen finden sich insbesondere leeseitig der großen Schwerindustriezentren (insbesondere in Nordrhein-Westfalen) sowie in Regionen mit Erzbergbau, z. B. im Harz, Mansfelder Land oder Erzgebirge.

## Veränderungen zwischen der BZE I und BZE II

Der Vorrat in den Auflagen hat für alle Schwermetalle zwischen BZE I und BZE II im Mittel signifikant abgenommen. Die größte Vorratsabnahme bundesweit zeigt Pb mit -33 %, während die Abnahmen der Elemente Cd, Cr, Cu und Ni bei etwa -20 % liegen. Die Vorratsabnahme für Zn ist am geringsten (-11 %). Insgesamt übersteigt die Abnahme der Schwermetallvorräte die Abnahme der Humusvorräte in der Auflage, die im Mittel nur -2 % beträgt (vergleiche „Kohlenstoffspeichervermögen von Wald-

### Schneller Überblick

- Im Hinblick auf die Schwermetallbelastung kann allgemein von einem flächenmäßig guten Zustand der Waldböden gesprochen werden
- Aufmerksamkeit sollte dem Element Quecksilber gewidmet werden, da sich dieses Element als einziges im Boden angereichert hat

böden“ von Grüneberg et al. in dieser Ausgabe). Insbesondere in den geringmächtigen Humusformen konnte eine starke Abnahme der Vorräte beobachtet werden. Dies ist ein Hinweis auf eine Verminderung der atmosphären Schwermetalleinträge im Zeitraum zwischen BZE I und BZE II, da sich diese Humusformen seit der BZE I wahrscheinlich vollständig erneuert haben und demnach den Zustand des Schwermetalleintrags kurz vor der BZE II zeigen. Die deutliche Reduktion der atmosphären Einträge zwischen 1982 und 2014 konnte zudem auf den Versuchsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings gezeigt werden. Vor allem die Wirkung des Verbots von Pb-haltigem Kraftstoff im Jahr 1988 spiegelt sich in den Ergebnissen der BZE wider. Die beobachtete Abreicherung im Auflagehumus resultiert vermutlich primär aus verminderter Einträge bei in etwa gleichbleibender Verlagerung/Einarbeitung der Schwermetalle in den oberen Mineralboden. Die Verlagerung der Schwermetalle im Boden hängt vor allem von dessen Eigenschaften ab. Schwermetalle werden z. B. an mineralischen Oberflächen adsorbiert sowie mit Huminstoffen komplexiert. Die Mobilität und Bioverfügbarkeit hängt jedoch primär vom pH-Wert ab. Die exemplarische Auswertung der Daten von Nordrhein-Westfalen zeigt, dass sich die Schwermetallvorräte vom Auflagehumus in den mineralischen Oberboden verlagert haben, der Gesamtvorrat an Schwermetallen in diesen beiden Kompartimenten zusammen jedoch weitgehend unverändert blieb. Die Schwermetalle werden folglich im mineralischen Oberboden vergleichsweise fest gebunden. Auf absehbare Zeit ist daher wahrscheinlich keine Grundwassergefährdung zu erwarten. Als Besorgnis erregend stellt sich jedoch die Entwicklung der Hg-Vorräte in Nordrhein-Westfalen dar. Für dieses Schwermetall ergibt sich im Gegensatz zum allgemeinen Trend ein Anstieg um 18 % im oberen Mineralboden. Damit übertrifft die Anreicherung von Hg im Mineralboden deutlich den Vorratsabbau, der im Auflagehumus stattgefunden hat. Bei Hg

### Literaturhinweise:

[1] BBodSchV. (2015): 4. Vorsorgewerte für Böden nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes. <https://www.gesetze-im-internet.de/bodschvw/BUNR155400999.html>, 03.12.2016.

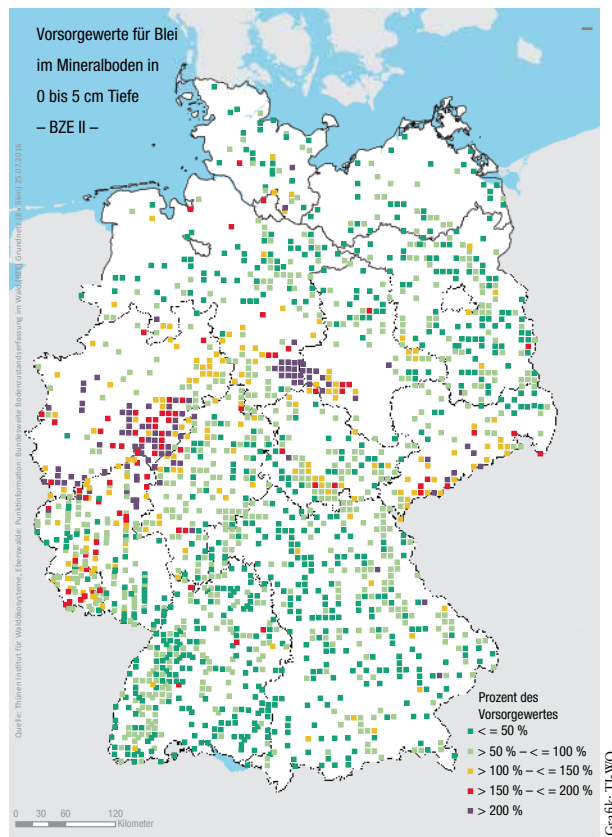


Abb. 1: Verteilung von Blei hinsichtlich Unter- bzw. Überschreitungsklassen von Vorsorgewerten im Mineralboden der Waldböden Deutschlands. Vorsorgewerte sind für Moore und Standorte mit Humusgehalten > 30 % nicht definiert, daher sind diese Standorte hier nicht dargestellt.

ist nach den Daten der BZE zum jetzigen Zeitpunkt von einem Anstieg der atmosphären Einträge auszugehen, der allerdings noch verifiziert werden muss.

### Allgemein guter Zustand

Für die Bewertung der Schwermetallgehalte in Mineralböden wird auf die im 3. Arbeitsentwurf der Novelle der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 2015) [1] vorgeschlagenen Vorsorgewerte zurückgegriffen. Vorsorgewerte sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen und/oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Es zeigt sich, dass für die meisten Schwermetalle die Gehalte in einem Großteil der Waldböden Deutschlands unterhalb der Vorsorgewerte liegen, sodass im Hinblick auf die Schwermetallbelastung von einem flächenmäßig guten Zustand der Waldböden gesprochen werden kann. Lediglich die Elemente As und Pb überschreiten die Vorsorgewerte auf 13,2 % (As) und 22,1 % (Pb) der Fläche nennenswert. Erhöhte As-Belastungen treten vor allem im Erzgebirge auf. Bleigehalte oberhalb des Vorsorgewerts zeigen insbesondere Standorte im Harz, dem

Rheinischen Schiefergebirge, dem Erzgebirge und teilweise im Thüringer Wald auf (Abb. 1). Für den Harz und das Erzgebirge können Einträge aus früheren Bergbauaktivitäten als Ursache genannt werden, während für den Thüringer Wald und das Rheinische Schiefergebirge diffuse atmosphäre Einträge ursächlich sind.

### Folgerungen

Die Ergebnisse der BZE zur Schwermetallbelastung der Waldböden sollten Anlass für eine weitere Reduktion der anthropogenen (atmosphären) Schwermetalleinträge sein. Die Notwendigkeit hierfür ergibt sich auch aus dem Umstand, dass Schwermetalle nicht biologisch abbaubar sind. Erhöhte Schwermetallgehalte gerade in Böden unter Wald, die im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden zumeist deutlich niedrigere pH-Werte aufweisen, stellen ein erhöhtes Risiko sowohl gegenüber der Biosphäre als auch im Hinblick auf die Verlagerung in Richtung des

Grundwassers dar. Insbesondere in Regionen mit einer höheren Schwermetallbelastung der Waldböden und deutlicher Bodenversauerung sollte die Bewirtschaftung der Wälder dem vorsorgenden Boden- und Gewässerschutz einen höheren Stellenwert beimessen. Aufmerksamkeit sollte außerdem dem Element Hg gewidmet werden, da sich dieses Element als einziges im Boden angereichert hat und vermutlich von einem Anstieg der atmosphären Einträge auszugehen ist.

Dr. Nadine Eickenscheidt, [nadine.eickenscheidt@thuenen.de](mailto:nadine.eickenscheidt@thuenen.de), und Dr. N. Wellbrock sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen am Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde. Dr. N. Wellbrock ist Bundesinventurleiterin für die Bodenzustandserhebung im Wald. Prof. Dr. J. Utermann leitet im Umweltbundesamt das Fachgebiet „Maßnahmen des Bodenschutzes“. C. T. Aydın ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek. N. Bischoff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Thünen-Institut für Agrarökologie, Braunschweig. Prof. Dr. J. Böttcher leitet die Arbeitsgruppe Bodenökologie des Instituts für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover. Dr. J. Gehrman ist Landesinventurleiter und Dezernent in der Naturschutzabteilung der Landesanstalt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen. N. König ist Laborleiterin und B. Scheler wissenschaftliche Mitarbeiterin an der NW-FVA, Göttingen. N. König ist seit seiner Gründung Vorsitzender des Gutachter-Ausschusses Forstliche Analytik. PD Dr. Claus Florian Stange ist Leiter des Arbeitsbereichs „Wasser- und Stoffmigration“ an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

