Heavy Metal in Bayerns Wäldern

Verteilung und Problematik von Schwermetallen in Waldböden

Alfred Schubert

Unter die im Rahmen der BZE 2 analysierten umweltwirksamen Elemente fallen auch mehrere Schwermetalle. Einige dieser Spurenelemente wie z. B. Kupfer und Zink sind essentielle Nährelemente, wirken aber bisweilen in hohen Konzentrationen toxisch. Blei und Cadmium dagegen sind für Lebewesen ab bestimmten Dosierungen und Einwirkungszeiten immer giftig. Die Eigenschaften dieser Schwermetalle unterscheiden sich und ihre Wirkung hängt nicht nur von der Konzentration ab.

Schwermetalle sind in allen Waldböden vorhanden. In Abhängigkeit von den geologischen Ausgangssubstraten, der Bodenbildung und den vom Menschen verursachten Einträgen können die Konzentrationen allerdings stark schwanken. Die einzelnen Schwermetalle zeigen daher in den Waldböden Bayerns meist charakteristische Verteilungen mit entsprechenden Tiefengradienten. Die Konzentrationen der Elemente Chrom und Nickel steigen z. B. meist vom Oberboden zum Unterboden hin an. Die Elemente Kupfer und Zink weisen in der Regel keinen Horizontbezug auf. Dagegen finden sich für Blei und Cadmium bis auf wenige Ausnahmen die höchsten Konzentrationen in den obersten Bodenhorizonten (Suttner et al. 1998).

Waldböden sind im Gegensatz zu intensiv genutzten Böden sehr naturbelassen. Stoffe, auch Schwermetalle, werden auf und in die Waldböden im Allgemeinen nur über den Luftpfad eingetragen. Die großen Oberflächen der Baumkronen wirken zusätzlich als Filter. Waldböden sind daher hervorragende »Weiser« für die Belastung mit Luftschadstoffen (Fiedler und Rösler 1988). Besonders bei der Betrachtung von Problemstoffen nehmen Böden eine zentrale Stellung ein. Sie besitzen auf Grund ihrer physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften die Fähigkeit, Stoffe zu filtern, zu speichern, umzuwandeln und abzubauen (Scheffer und Schachtschabel 1998).

Blei

Blei ist in der Regel im Vergleich zu anderen Schwermetallen von relativ geringer Toxizität, mit Ausnahme spezieller bleiorganischer Verbindungen. Der mittlere Bleigehalt der Ausgangsgesteine der Bodenbildung liegt bei 15 Milligramm pro Kilogramm (mg/kg), mit einer Spanne von 2 bis 60 mg/kg bei den unterschiedlichen Gesteinen Deutschlands. In den Böden liegt Blei in unterschiedlichen Bindungsformen mit unterschiedlicher Löslichkeit vor. Sie hängt zusätzlich vom pH-Wert ab. Blei ist im Wesentlichen sowohl stark an Eisen-, Aluminium- und Manganoxide adsorbiert als auch im Humus in metall-organischen Komplexen festgelegt. Die Löslichkeit des Bleis steigt im Boden bei sinkenden pH-Werten (ab pH-Werten unter 4,5) und bei reduzierenden Verhältnissen (Staunässe). Insgesamt ist Blei jedoch als sehr träge gegenüber Lösung und Verlagerung einzustufen. Erst bei sehr niedrigen pH-Werten und hohen Konzentrationen nehmen Pflanzen Blei auf (Scheffer und Schachtschabel 1998). Kritisch sind Oberbodenhorizonte mit überdurchschnittlichen Bleigehalten, pH-Werten kleiner vier, geringem Tongehalt und vor allem mit sehr geringem Humusanteil.

Die Bleikonzentrationen aus der BZE 2 sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Werteverteilungen über der Bodentiefe, beginnend bei der Humusauflage bis zum Unterboden/Ausgangsgestein. Die Mittellinie bildet den Tiefengradienten der Mediane in den einzelnen Bodentiefen ab. Gesäumt wird die Linie von den Wertebereichen zwischen 25 Prozent und 75 Prozent sowie 5 Prozent und 95 Prozent. Die Extremwerte sind als Punkte abgebildet. Die höchsten Werte finden sich im O_h-Horizont der Humusauflage. Die Werte nehmen sowohl nach oben (L- und O_f-Horizont der Humusauflage) als auch nach unten bis zu einer Tiefe von 60 cm hin ab und bleiben dann bis zu einer Tiefe von etwa 150 cm auf demselben Niveau. Diese Art der Tiefenverteilung zeigt, dass sich die vergleichsweise hohen Bleikonzentrationen in den Auflagen nicht mit den Bleigehalten des geologischen Ausgangs-

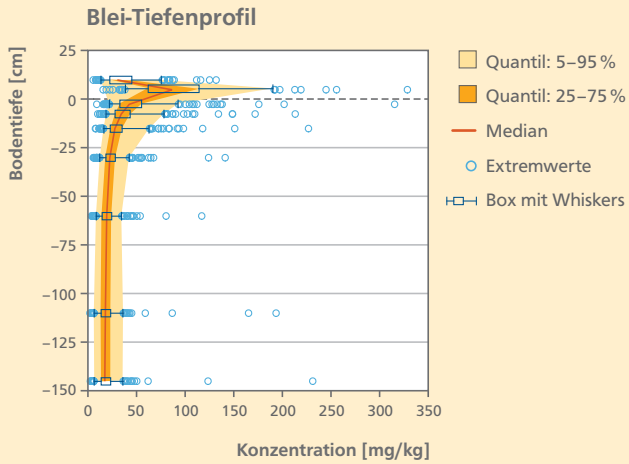

Abbildung 1: Tiefenprofil der Bleikonzentration

materials erklären lassen. Der überwiegende Teil des Bleis im Oberboden muss daher aus Einträgen stammen. Sie gelangen direkt oder anhaftend an den Oberflächen der fallenden Blätter und Nadeln auf die Bodenoberfläche. Die Streu wird im L- und O_f-Horizont relativ rasch abgebaut, das Blei reichert sich dann in den darunterliegenden Tiefenstufen in Abhängigkeit vom Humusgehalt an. Dort ist es an einem überwiegenden Teil der Inventurpunkte derzeit dauerhaft gebunden. Da die Bleieinträge dank der Luftreinhaltepolitik der letzten Jahre und Jahrzehnte gegenüber den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts stark zurückgingen, werden die Konzentrationen vor allem in der ersten Tiefenstufe in Zukunft weiter abnehmen. Ein Vergleich mit älteren Boden- und Blatt-/Nadeldaten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) wie z. B. der Waldbodeninventur (WBI = BZE 1) und des Bodendauerbeobachtungsprojekts (BDF; unveröffentlicht) gibt dazu erste Hinweise (Gulder und Kölbel 1993; Schubert 2002).

Cadmiumkonzentrationen

Im Gegensatz zu Blei ist Cadmium bereits in geringen Konzentrationen ein toxisches Element. Die mittleren Cadmiumgehalte der Ausgangsgesteine der Bodenbildung liegen bei 0,05 bis 0,1 mg/kg. In der gleichen Größenordnung liegen auch die Cadmiumgehalte unbelasteter Böden in Deutschland. Ebenso wie Blei ist Cadmium im Boden an mineralischen Komponenten adsorbiert und in organischen Komponenten komplexiert und damit teilweise festgelegt. Die Löslichkeit von Cadmium steigt bei abnehmendem pH-Wert wesentlich stärker als bei Blei (schon bei pH-Werten unter 6,5). Zudem sind Bindung und Festlegung im Bodenhumus deutlicher ausgeprägt als an den mineralischen Bodenkomponenten. Insgesamt liegen bei Cadmium in Waldböden wesentlich höhere pflanzenverfügbare Anteile vor als bei Blei. Die Pflanzen nehmen bei zunehmender Konzentration zusätzlich Cadmium auf. Das Element gehört auf Grund dieser Eigenschaften hinsichtlich der Verfügbarkeit und Verlagerung zu den mobilsten Schwermetallen (Scheffer und Schachtschabel 1998).

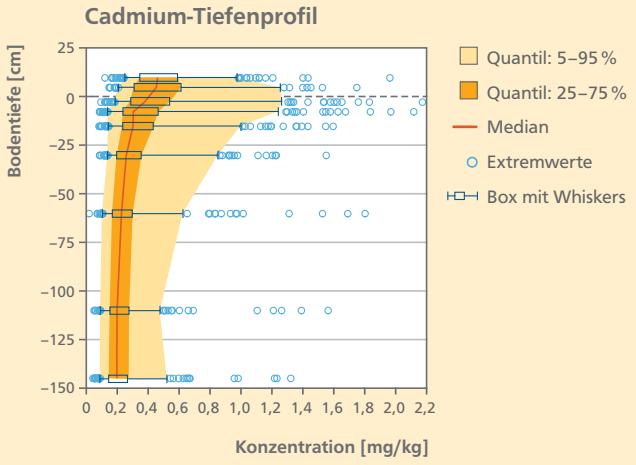

Abbildung 2: Tiefenprofil der Cadmiumkonzentration

Abbildung 2 zeigt die Cadmiumkonzentrationen in Abhängigkeit von der Bodentiefe. Auch hier nehmen die Gehalte an Cadmium von den Oberbodenhorizonten hin zu den Unterbodenhorizonten ab, allerdings nicht so ausgeprägt wie bei Blei. Zudem sind die Gehalte der Mediane in den obersten beiden Horizonten der organischen Humusauflage nahezu identisch. Das gleiche gilt für die Gehalte in den beiden untersten Tiefenstufen. Dieser Befund deutet darauf hin, dass ähnlich wie bei Blei die höheren Konzentrationen in den Auflagen und den Oberböden auf Einträge über die Luft zurückzuführen sind. Diese Verteilung ist bei Cadmium allerdings weniger deutlich ausgeprägt. Im mineralischen Oberboden fallen auch relativ zahlreiche Extremwerte auf, die deutlich über den Medianwerten der Verteilung liegen. Diese Werte stammen von Inventurpunkten, deren Böden aus Kalk- und Dolomitgesteinen entstanden sind. Das betrifft die bayerischen Wuchsgebiete Frankenalb, Oberpfälzer Jura und Alpen, hier vor allem das Berchtesgadener Land. Eine tendenzielle Abnahme der Cadmiumgehalte in den Auflagehorizonten wie bei Blei ist in der Werteverteilung der Auflagen nur schwach ausgebildet. Die

Hackschnitzel-Heizungen im Überblick

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) hat eine aktualisierte Auflage der »Marktübersicht Hackschnitzel-Heizungen« herausgegeben. Die deutlich erweiterte Marktübersicht umfasst etwa 260 Modelle von 26 Kesselherstellern in den Leistungsbereichen von elf Kilowatt bis zu circa zwei Megawatt. Die Hackschnitzel-Heizungsmodelle werden in Typenblättern detailliert vorgestellt. Zusätzlich finden sich Informationen zur Hackschnitzelerzeugung und -bereitstellung, zur Anlagentechnik und zum aktuellen Stand der europäischen Normung von Holzhackschnitzeln. Die Emissionsanforderungen der Kleinfeuerungsanlagenverordnung für Holzfeuerungen mit Leistung bis ein Megawatt sind ebenfalls berücksichtigt und erläutert. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sowie umfangreiche Adresshinweise runden die Marktübersicht ab.

Die Marktübersicht Hackschnitzel-Heizungen ermöglicht einen von den Herstellern strikt unabhängigen, neutralen Überblick über die aktuelle Marktsituation. Sie bietet eine wertvolle Entscheidungshilfe bei der Planung einer neuen oder umzustellenden Wärmeversorgung. fnr

Die Publikation kann unter *www.fnr.de* (Mediathek) kostenlos bestellt, aber auch heruntergeladen werden.

Zeitreihe der Cadmiumgehalte der Blätter und Nadeln aus dem BDF-Projekt (unveröffentlicht) zeigt über die Laufzeit hinweg zwar eine Abnahme, die aber bei weitem nicht so ausgeprägt ist wie bei Blei. Ein Grund ist sicherlich die wesentlich höhere Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium gegenüber Blei. Deshalb befindet sich ein Teil des Cadmiums im Kreislauf Boden–Pflanze–Streu–Boden. Insgesamt gesehen liegen die Cadmiumkonzentrationen in den Waldböden Bayerns überwiegend in einer durchschnittlichen Größenordnung.

Insgesamt geben die Resultate der BZE 2 zu Schwermetallen in Bayerns Waldböden, hier dargestellt an den Beispielen Blei und Cadmium, einen guten Ein- und Überblick über die bayerischen Verhältnisse. Ein Vergleich mit älteren Arbeiten der LWF (WBI und BDF) weist auf Veränderungen hin, wie sie bei den Bleikonzentrationen in den humosen Auflagehorizonten besonders deutlich sind. Dies verdeutlicht die zentrale Funktion der Humusfraktion in den Böden. Ein verstärkter Abbau des Humusvorrats in den Böden wirkt sich massiv auf ihre physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften aus. Blei und Cadmium würden aus ihren stabilen Bindungsformen freigesetzt und in tiefere Bodenhorizonte, in ungünstigen Fällen bis ins Grundwasser, verlagert werden.

Mit Vergleichsdaten des Bayerischen Geologischen Landesamtes (jetzt Landesamt für Umwelt, LfU) zu Schwermetallkonzentrationen (Suttner et al 1998) bietet sich die Chance, zusätzliche Informationen zu Bodensubstraten und Regionen Bayerns zu erhalten. Außerdem ermöglichen diese Vergleiche die Zuordnung der Werte zu den verbindlich festgelegten Konzentrationsbereichen für Problemstoffe. Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zum Bundes-Bodenschutz-Gesetz weist hier Vorsorgewerte, Prüfwerte und Maßnahmenwerte mit den jeweiligen Vorschriften aus (BMU 1998; BMU 1999).

Liebig und die Bodenfruchtbarkeit

Zeichnung: wikipedia

Der deutsche Chemiker Justus Freiherr von Liebig (* 12. Mai 1803; † 18. April 1873) gilt als Vater der Agrikulturchemie. Sein Werk »Die Grundzüge der Agricultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen« ist 1840 erschienen. Aus der zweiten Auflage stammt folgendes Zitat, das auf ein grundlegendes Problem der landwirtschaftlichen Landnutzung hinweist:

»In den Producten des Feldes wird in den Ernten die ganze Quantität der Bodenbestandtheile, welche Bestandtheile der Pflanzen geworden sind, hinweggenommen und dem Boden entzogen; vor der Einsaat ist der Boden reicher daran als nach der Ernte; die Zusammensetzung des Bodens ist nach der Ernte geändert. ... Nach einer Reihe von Jahren und einer entsprechenden Anzahl von Ernten nimmt die Fruchtbarkeit der Felder ab. Beim Gleichbleiben aller übrigen Bedingungen ist der Boden allein nicht geblieben was er war; die Aenderung in seiner Zusammensetzung ist die wahrscheinliche Ursache seines Unfruchtbarwerdens«.

Die Entfernung der Ernteprodukte vom Acker führt zur Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Die praktische Folge dieser Erkenntnis war die Einführung der mineralischen Düngung in der Landwirtschaft. In der Forstwirtschaft reagiert man auf die Erkenntnisse Liebigs eher mit einer Beschränkung der Ernteentzüge als mit Düngung. Im Gegensatz zur Landwirtschaft ist es in der Forstwirtschaft sehr schwer, die Ernährung der Waldbestände über Mineraldünger sicherzustellen. kölling

Literatur

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998): *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG).* BGBl. I, S. 502

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): *Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).* BGBl I, S. 1.554

Fiedler, H.-J.; Rösler, H.-J. (1988): *Spurenelemente in der Umwelt.* 1. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart,

Gulder, H.-J.; Kölbel, M. (1993): *Waldbodeninventur in Bayern.* Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 132

Kreutzer, K.; Foerst, K.; Gulder, H.-J. (2001): *Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns.* 2. Auflage, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. et al (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde.* 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Schubert, A. (2002): *Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen – Bodenuntersuchungen.* Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 187

Suttner, T.; Außendorf, M; Martin, W (1998): *Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns.* GLA Fachberichte, Bayerisches Geologisches Landesamt, München

Alfred Schubert bearbeitet im Sachgebiet »Standort und Bodenschutz« den Fachbereich »Bodendauerbeobachtung, Bodeninventur, Bodenzustandserhebung (BZE 2)«.
Alfred.Schubert@lwf.bayern.de