

Schwermetalle im Sickerwasser

Birte Scheler

Schwermetalle und ihre Bedeutung

Schwermetalle können durch ihre Neigung zur Akkumulation toxisch auf Pflanzen, Tiere und Menschen wirken (Scheffer & Schachtschabel 2002). In erster Linie stellen sie eine Gefahr für die Organismen der Zersetzerkette dar; krautige Pflanzen und Bäume werden erst bei höheren Belastungen geschädigt. Blei, Cadmium und Quecksilber sind für die belebte Umwelt aufgrund ihrer hohen Toxizität besonders problematisch. Die Schwermetalle Kupfer, Kobalt und Zink sind hingegen als so genannte essentielle Mikro-nährstoffe Bestandteile von Enzymen und Vitaminen und für einen gesunden Organismus notwendig (Schneider 1999, Hintermaier-

Erhard & Zech 1997). Kupfer ist beispielsweise Bestandteil eines Enzyms, das wichtig für die Heilung des Pflanzengewebes nach Verletzungen ist, Zink ist an der Bildung von Wuchsstoffen beteiligt und Kobalt regelt wahrscheinlich Prozesse in der Zellatmung (www.duenger-und-erde.de, Finck 1991). Bei erhöhter Konzentration und Bioverfügbarkeit wirken aber auch diese Schwermetalle toxisch.

Ursprung der Schwermetallbelastung

In Böden kommen Schwermetalle je nach Ausgangsgestein naturbedingt in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Durch menschliche Aktivitäten wie Verbrennungsprozesse und Güterproduktion wurden und werden teilweise große Mengen verschiedener Schwermetalle freigesetzt. Blei wurde früher dem Benzin als Antiklopfmittel zugesetzt, findet Verwendung in Akkumulatoren (v. a. Starterbatterie für Kraftfahrzeuge, Energiespeicher für E-Autos) oder als Pigment in rostschützenden Grundierungen und Farben. Cadmium ist in Batterien, älteren Energiesparlampen und Düngemitteln enthalten und findet Verwendung als Stabilisator in Kunststoffen sowie als Korrosionsschutz.

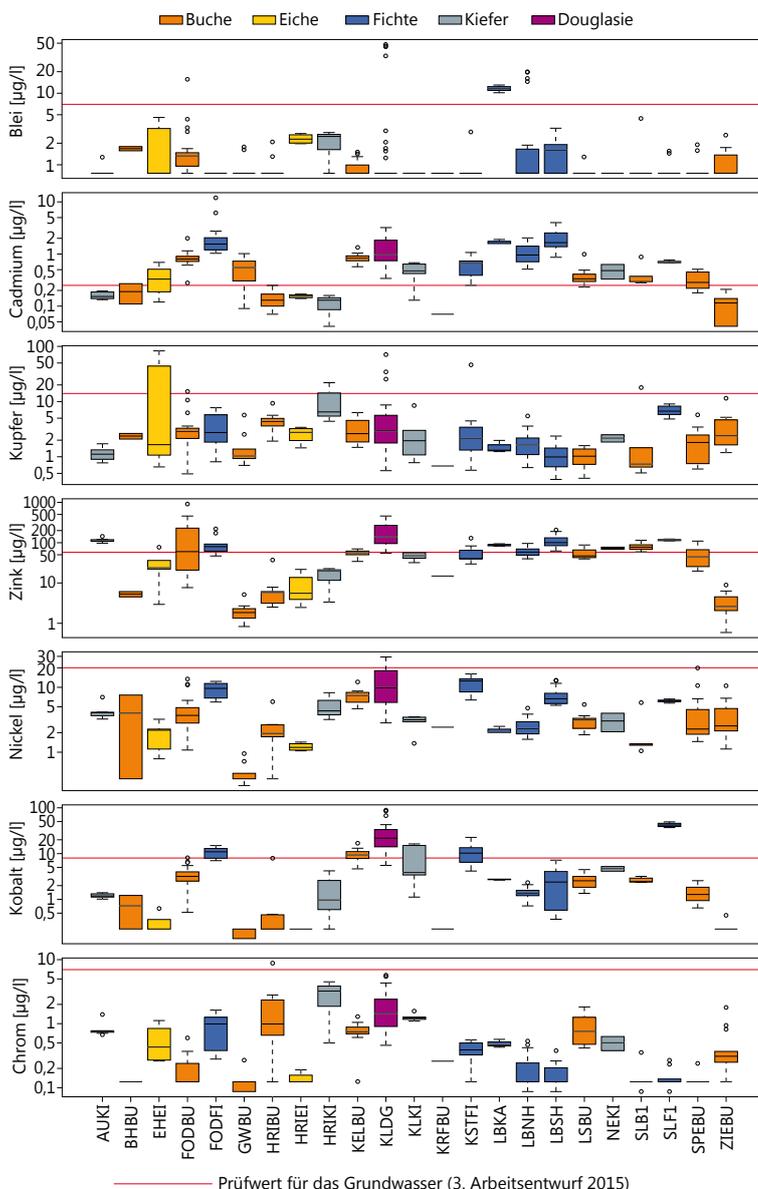
Mit dem Ferntransport in der Atmosphäre gelangen diese Stoffe als Stäube auch in Gebiete, die von den Emissionsquellen weit entfernt liegen. Durch den Auskämmeffekt der Baumkronen kommt es besonders in Waldböden zu einer Anreicherung von Schwermetallen, obwohl im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung keine Schwermetalle durch den Einsatz von mineralischen und organischen Düngern oder Pflanzenschutzmitteln in das Waldökosystem eingetragen werden.

Schwermetalle in der Bodenlösung

Schwermetalle kommen im Waldboden sowohl in schwerlöslicher Form als Carbonate, Sulfate und Sulfide als auch in leichter löslicher Form angelagert an Huminstoffe oder mineralischen Oberflächen vor. Ihre Toxizität hängt stark von der Löslichkeit ab. Geringe Säuregrade (d. h. hohe pH-Werte im Boden) und hohe Ton- und Humusgehalte tragen zur Immobilisierung von Schwermetallen bei, während in sauren sowie ton- und humusarmen Böden bereits geringe Schwermetallgehalte ökologische Beeinträchtigungen zur Folge haben können. Im Bodenwasser gelöste Schwermetalle sind besonders leicht verfügbar. Aus diesem Grund geht von ihnen eine höhere Gefährdung aus. Zudem können gelöste Schwermetalle mit dem Sickerwasser in das Grundwasser übertreten.

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings werden in den Trägerländern der NW-FVA auf ausgewählten Level II-Flächen die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung erfasst. Zusätzlich wurden 2016 bzw. 2017 auf allen Flächen des Intensiven Monitorings ein Jahr lang die Schwermetalle in der Bodenlösung unterhalb des Hauptwurzelraumes, d. h. je nach Fläche in einer Bodentiefe zwischen 60 und 400 cm, bestimmt. In der Zusammenschau mit den

Schwermetallkonzentration



Schwermetallkonzentration ($\mu\text{g/l}$) in der Bodenlösung von Intensiv-Monitoringflächen unterhalb des Hauptwurzelraums.

AUKI = Augustendorf Kiefer, BHBU = Bornhöved Buche, EHEI = Ehrhorn Eiche, FODBU = Fürth/Odenwald Buche, FODFI = Fürth/Odenwald Fichte, GWBU = Göttinger Wald Buche, HRIBU = Hess. Ried Buche, HREI = Hess. Ried Eiche, KELBU = Kellerwald Buche, KLDG = Klütze Douglasie, KLKI = Klütze Kiefer, KRFBU = Krodorf Buche, KSTFI = Königstein Fichte, LBKA = Lange Bramke Kamm Fichte, LBNH = Lange Bramke Nordhang Fichte, LBSH = Lange Bramke Südhang Fichte, LSBU = Lüss Buche, NEKI = Nedlitz Kiefer, SLB1 = Solling Buche, SLF1 = Solling Fichte, SPEBU = Spessart Buche, ZIEBU = Zierenberg Buche

Schwermetalle im Sickerwasser

Schwermetallgehalten des Bodens, die im Rahmen der im 10-jährigen Turnus stattfindenden Bodenuntersuchungen erhoben werden, konnte so ein Überblick über die Schwermetallbelastung von Waldstandorten gewonnen werden. In Abhängigkeit von der Anzahl der Bodenlösungssammler (Lysimeter) konnten pro Fläche zwischen 1 und 39 Bodenlösungsproben auf die Gehalte von Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Nickel, Kobalt und Chrom analysiert werden.

Da es für Sickerwasser keine speziellen Grenzwerte für die Schwermetallbelastung gibt, werden zur Beurteilung der Qualität der Bodenlösung die Prüfwerte für das Grundwasser herangezogen (3. Arbeitsentwurf, Anlage 9, 2015). Für die Elemente Blei und Cadmium entsprechen die Grundwasserprüfwerte den Schwellenwerten der Umweltqualitätsnorm gemäß Richtlinie 2008/105/EG.

Die Ergebnisse dieser einjährigen Messkampagne dienen der Beantwortung folgender Fragen:

- Wie hoch sind die Schwermetallkonzentrationen von Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel und Zink in der Bodenlösung von Waldböden?
- Lassen sich baumartenspezifische Belastungsunterschiede erkennen?

Blei wird stark an mineralischen Oberflächen angelagert und im Humus gebunden. Die Bodeninventuren auf den Intensiv-Monitoringflächen zeigen, dass die Bleigehalte in der oberen Bodentiefe (0-5 cm) zwischen 13 mg/kg (Lüss Buche, schwach verlehmt Sand) und 337 mg/kg (Lange Bramke Südhang, Fichte, Grauwacke) betragen, mit der Tiefe jedoch deutlich abnehmen auf Werte zwischen 1 mg/kg und 49 mg/kg. Trotz geringer Bleigehalte im Boden unterhalb des Hauptwurzelraums wurden in der Bodenlösung der Douglasienfläche in Klötze (Sachsen-Anhalt) in 100 cm Bodentiefe in vier von 39 Proben Bleigehalte zwischen 33 µg/l

und 48 µg/l gemessen. Auf den Fichtenflächen Lange Bramke im Harz wurden auf der Kammfläche in 80 cm Bodentiefe in drei Proben Bleikonzentrationen zwischen 10 µg/l und 13 µg/l und auf der Nordhangfläche in 4 von 20 Proben Bleigehalte zwischen 15 µg/l und 20 mg/l gemessen. Abgesehen von diesen Werten, welche die EU-Umweltqualitätsnorm in Höhe von 7 µg/l teilweise ganz erheblich überschritten, lag die Bleikonzentration über alle Flächen betrachtet jedoch in 95 % der Proben unterhalb der Umweltqualitätsnorm, in 68 % der Proben sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1,14 µg/l.

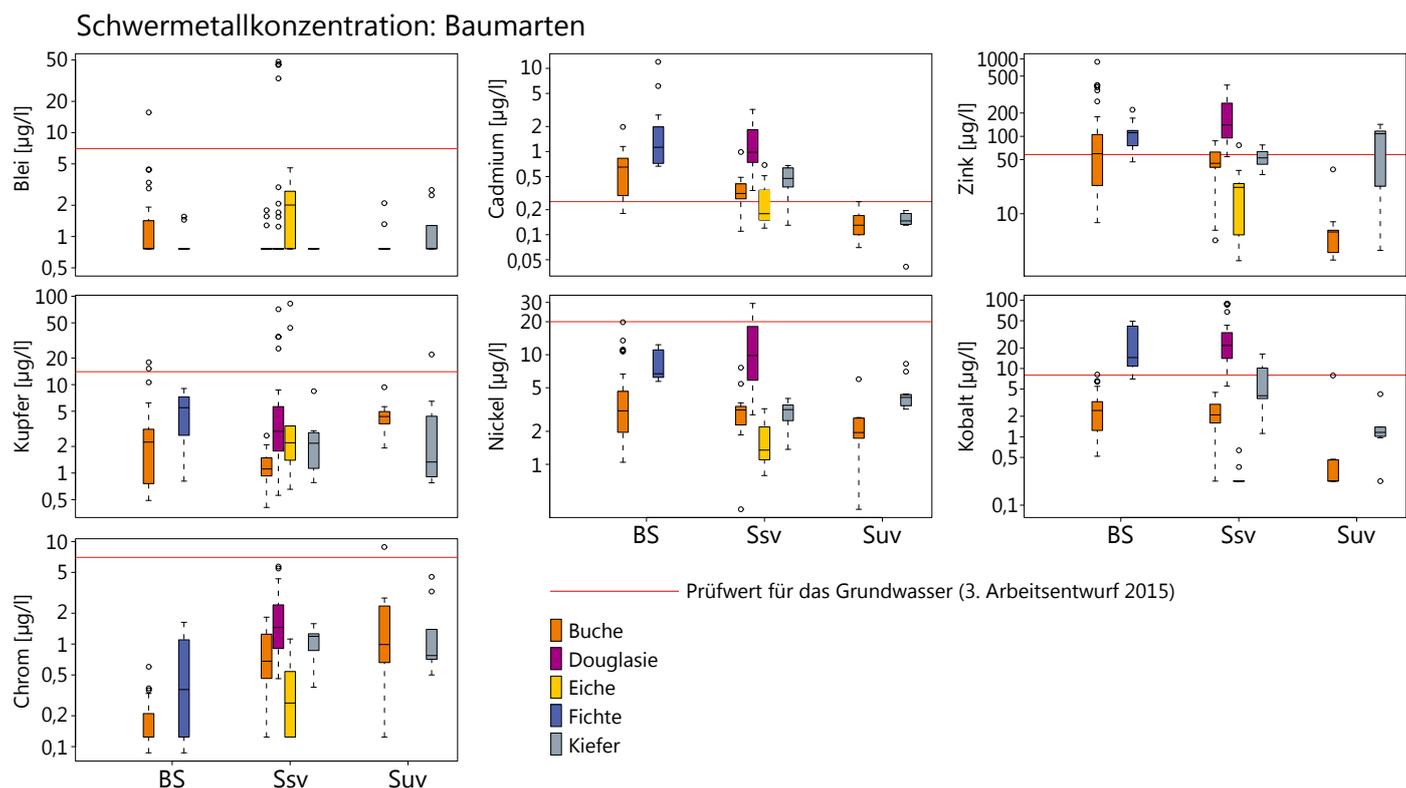
Cadmium wird im Gegensatz zu Blei nur schwach im Boden gebunden und dadurch leichter in größere Bodentiefen verlagert. Die Umweltqualitätsnorm für Cadmium beträgt 0,25 µg/l. Dieser Wert wurde jedoch nur auf fünf von 23 Flächen bei allen Proben eingehalten, auf 11 Flächen wurde er dagegen in allen Proben erheblich überschritten. Die maximale Konzentration wurde mit 12 µg/l unter Fichte in Fürth/Odenwald gemessen.

Die **Kupfer**konzentration war in 96 % der Proben geringer als 14 µg/l, dem Prüfwert für das Grundwasser. Überschritten wurde dieser Wert in 10 Proben.

Für **Zink** liegt der Prüfwert für das Grundwasser bei 58 µg/l. Auf sieben Flächen wurde der Grundwasserprüfwert in allen Proben eingehalten, auf sechs Flächen in keiner Probe. Besonders hohe Konzentrationen von über 300 µg/l wurden in Fürth/Odenwald unter Buche und in Klötze unter Douglasie gemessen.

Die **Nickel**konzentration war auf 22 von 23 Flächen in allen Proben geringer als der Prüfwert (20 µg/l); dieser wurde nur auf der Douglasienfläche in Klötze in acht von 39 Proben nicht eingehalten.

Auf 16 von 23 Flächen wurde der Prüfwert für **Kobalt** (8 µg/l) in allen Analysen unterschritten. Auffallend hohe Kobaltkonzentrationen wurden auf den Fichtenflächen Sol-



Schwermetallkonzentrationen (µg/l) in der Bodenlösung unter verschiedenen Baumarten auf den Substratgruppen Buntsandstein (BS), schwach verlehmt Sande (Ssv) und unverlehmt Sande (Suv)

Schwermetalle im Sickerwasser

ling, Königstein und Fürth/Odenwald gemessen, außerdem in Klütze unter Douglasie und im Kellerwald unter Buche.

Auf 22 von 23 Flächen lag die Konzentration von **Chrom** in allen Proben deutlich unter dem Prüfwert in Höhe von $7 \mu\text{g/l}$. Lediglich auf der Fläche Hess. Ried Buche wies eine von neun Proben eine höhere Chromkonzentration auf.

Für die Beantwortung der Frage, ob die Baumart ggf. einen Einfluss auf die Schwermetallbelastung der Bodenlösung hat, wurden die Flächen an Hand ihrer Substratgruppe zusammengefasst. Innerhalb derselben Substratgruppe wurden die Schwermetallkonzentrationen der verschiedenen Baumarten miteinander verglichen. Für die Substratgruppe Buntsandstein konnten Buche und Fichte, für die Substratgruppe schwach verlehmt Sande Buche, Eiche, Kiefer und Douglasie und bei den unverlehmt Sanden Buche und Kiefer miteinander verglichen werden. Aufgrund der geringen Flächen- und Analysenanzahl sowie der unterschiedlichen Tiefe der Probenahme geben diese Ergebnisse jedoch nur einen ersten Hinweis auf einen möglichen Baumarteneinfluss und können nicht ohne Weiteres verallgemeinert werden.

Beim Vergleich Fichte/Buche (Substratgruppe Buntsandstein, Solling und Fürth/Odenwald) ist die Konzentration von Cadmium, Kupfer, Kobalt und Chrom unter Fichte signifikant höher als unter Buche. Die Bleikonzentration hingegen war unter Buche höher als unter Fichte.

Auf den schwach verlehmt Sanden ist die Konzentration von Cadmium und Nickel unter Douglasie deutlich höher als unter den Baumarten Buche, Eiche und Kiefer, die sich bezüglich der Konzentration dieser beiden Schwermetalle nicht nennenswert unterscheiden. Bei den Konzentrationen von Zink, Kupfer, Kobalt und Chrom fällt die Douglasienfläche ebenfalls durch besonders hohe Werte auf, während sich die Bleikonzentration in der Bodenlösung von Douglasie, Buche, Eiche, und Kiefer auf schwach verlehmt Sanden nicht signifikant unterscheidet. Unter Eiche sind die Cadmium-, Zink-, Nickel-, Kobalt- und Chromwerte im Vergleich der vier Baumarten am geringsten.

Auf den unverlehmt Sanden sind die Gehalte von Zink, Nickel und Kobalt in der Bodenlösung unter Kiefer signifikant höher als unter Buche. Hinsichtlich der Blei-, Cadmium und Chromgehalte unterscheiden sich Kiefer und Buche jedoch nicht.



Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung

Foto: NW-FVA

Fazit

Aufgrund der hohen Toxizität ist eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm bei den Schwermetallen Blei und Cadmium besonders kritisch zu bewerten. Trotz hoher Einträge mit der Kronentraufe in der Vergangenheit (König et al. 2016) wurde in der Bodenlösung die Umweltqualitätsnorm für Blei nur in wenigen Proben überschritten, in 68 % der Proben lag die Konzentration sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze des Labors. Nach derzeitigem Stand ist das Risiko für eine Belastung des Grundwassers durch Bleiausträge unter Wald – mit Ausnahme der Fläche Lange Bramke Kamm – gering.

Deutlich ungünstiger stellt sich die Situation bei Cadmium dar. Obwohl die Cadmиеinträge mit der Kronentraufe ebenfalls deutlich zurückgegangen sind und die Cadmiumgehalte der Bodenfestphase (Ausnahme Göttinger Wald Buche, Tiefenstufe 0-5 cm) unter dem Vorsorgewert nach Bundes-Bodenschutzverordnung liegen, überschreitet die Cadmiumkonzentration in der Bodenlösung die Umweltqualitätsnorm auf allen Fichtenflächen, der Douglasienfläche, auf drei von fünf Kiefern- sowie sechs von zehn Buchenflächen zum Teil erheblich. Bei der Cadmiumbelastung zeigt sich ein deutlicher Baumarteneffekt. Sie ist unter Fichte (Buntsandstein) und Douglasie (schwach verlehmt Sande) höher als unter den anderen Baumarten der jeweiligen Substratgruppe. Es ist zu vermuten, dass die höheren Cadmиеinträge unter Fichte (König et al. 2016) mitverantwortlich sind für die hohen Konzentrationen im Sickerwasser dieser Baumarten. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass das Grundwasser unter Wald durch Cadmиеinträge belastet wird.

Eine Belastung des Grundwassers durch anthropogen bedingt erhöhte Austräge unter Wald ist für die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Chrom nicht zu befürchten, für Zink und Kobalt kann sie auf einigen Flächen nicht ausgeschlossen werden.



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen

Foto: O. Schwerdtfeger