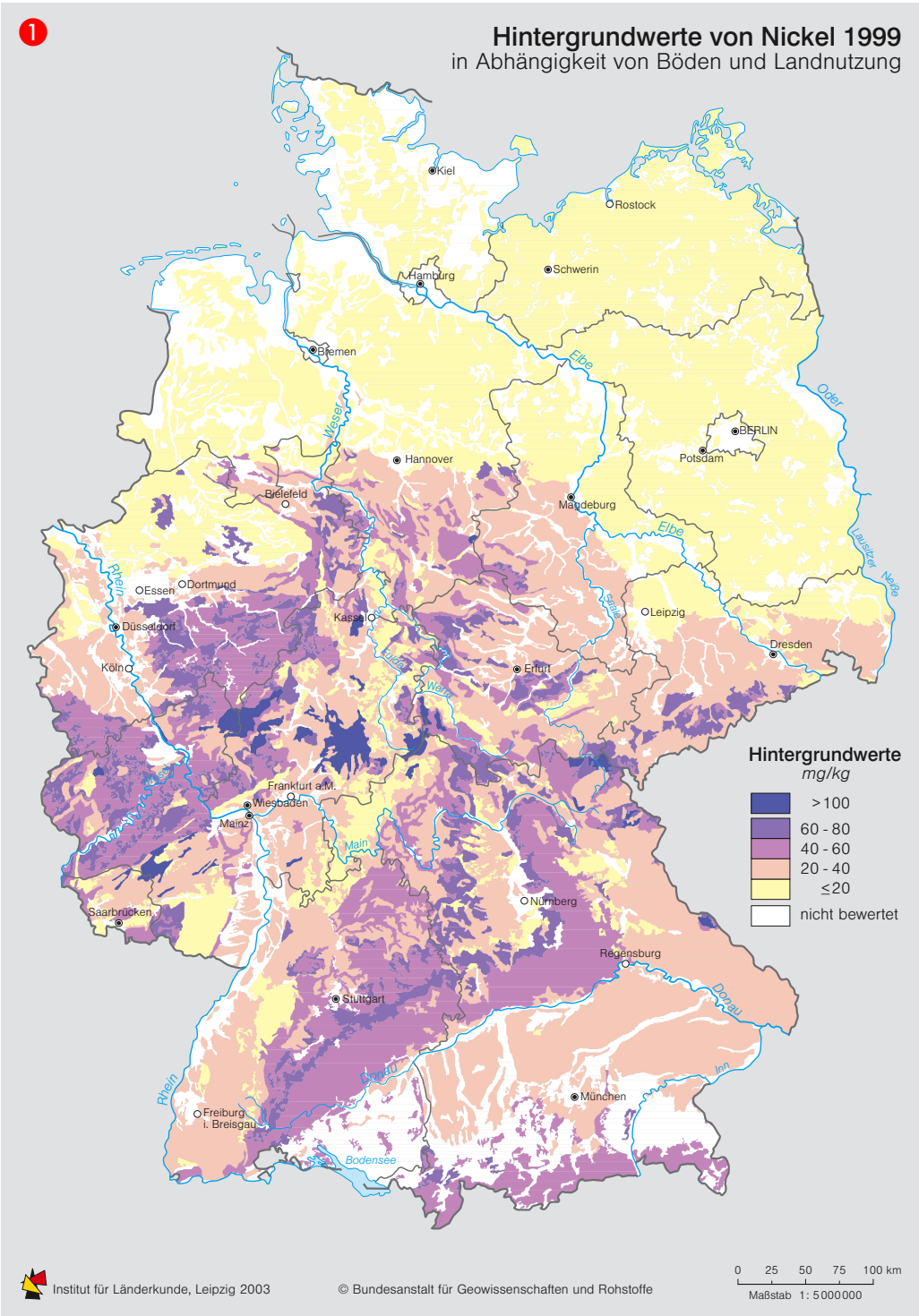
Bodenbelastung durch Schwermetalle

Jörg Völkel

In der Natur treten Metalle und metallähnliche Elemente selten ▶ gediegen sondern in Form von Erzen auf. Während die Leichtmetalle Silizium, Aluminium, Calcium, Eisen, Kalium, Magnesium und Titan mit einem Anteil von über 99% in Verbindung mit Sauerstoff die feste Erdkruste aufbauen, zählen die weiteren Metalle zu den so genannten Spurenelementen. Unter ihnen bezeichnet man Metalle, deren Dichte einen Wert von 4,5 g/cm³ überschreitet, als Schwermetalle. Während aus der Sicht des Stoffwechsels von Organismen die Schwermetalle Kupfer und Zink bis zu einer gewissen Menge zu den essentiellen Spurenelementen zählen, wirken Cadmium, Kobalt, Chrom, Quecksilber, Nickel, Blei und Selen bereits in sehr geringen Mengen toxisch. Natürlicherweise kommen sie in höherer Konzentration nur in eng begrenzten Lagerstätten vor. Vor allem infolge ▷ technogener Prozesse wie der Erzverhüttung und der industriellen Weiterverarbeitung von Verhüttungsprodukten, aber auch bei der Verbrennung fossiler Energieträger werden Schwermetalle jedoch in der Umwelt angereichert.

Der ▷ Pedosphäre als einer engräumigen, aber äußerst effektiven Schnittstelle zwischen ▷ Lithosphäre, ▷ Hydrosphäre und ▷ Atmosphäre kommt im Ökosystem die Rolle eines Puffers und eines Filters zu. Das gilt auch für Schadstoffe. Allerdings besitzen Böden nicht die Fähigkeit zur Selbstreinigung, so dass dort eine Anreicherung der über Verwitterung und Einträge zugeführten Stoffe stattfindet. Auch Schwermetalle werden in hohem Maße in den Böden gebunden. Je nach Element treten im Bodenprofil charakteristische Verteilungsmuster auf, die sich an den Bodenhorizonten orientieren 2. Denn die Fähigkeit von Böden, Schwermetalle zu immobilisieren, hängt vor allem vom physikochemischen Bodenmilieu und von der Präsenz von ▶ Adsorbenzien wie ▷ Humusstoffen und reaktionsfreudigen Eisenoxiden im Boden ab. Je nach Art des Schwermetalls variieren die biologische Verfügbarkeit innerhalb eines Bodenhorizontes und die Tiefenverteilung im gesamten Bodenprofil erheblich. Bezüglich der Bewertung einer ökotoxikologischen Relevanz einzelner Schwermetalle bedarf es daher unabhängig von den jeweils ermittelten Gesamtgehalten stets einer bodenkundlichen Standortbewertung.

1



Anthropogen freigesetzte Schwermetalle in Böden

Über den atmosphärischen Pfad werden Schwermetalle den Böden auch in industriefernen Regionen sowohl in Form trockener als auch nasser ▶ Deposition zugeführt. Vor allem die Waldgebiete ▶ kämmen Schwermetalle aus der Luft und den Niederschlägen aus. Das gilt in den organischen Auflagehorizonten der Waldböden vor allem für Blei, Cadmium und einen Teil des Zinks und Kupfers, die fast vollständig aus ▶ Immissionen stammen. Blei (Pb) zum Beispiel wird vor allem über Verbrennung ▷ fossiler Energieträger freigesetzt. Im Boden ist es ausgesprochen immobil und wird im Auflagenhumus angereichert. Hohe Jahresniederschläge von über 1400 mm und das Auskämmen von Nebel führen beispielsweise dazu, dass die durchschnittlichen Bleigehalte in den Böden auf den Höhenzügen des industriefernen und als so genanntes Reinluftgebiet bekannten Nationalparks Bayerischer Wald mit etwa 250 mg/kg um das Fünffache über den durchschnittlichen Werten der Waldböden im stadtnahen Umfeld einer Großstadt wie Regensburg liegen (642 mm Niederschlag/Jahr). Die in der Europäischen Union maximal zulässige Bleikonzentration in Böden beträgt 300 mg/kg. Innerhalb industrieller Ballungsräume und in ihrem Umfeld ist die atmosphärische Belastung jedoch weitaus höher. Für das Umfeld Bleierze verarbeitender Verhüttungsanlagen und Betrieben werden jährliche Pb-Depositionen von >10 kg/ha angegeben. In Ballungsgebieten sind es generalisiert immerhin noch 280 g/ha/a gegenüber einem bundesweit gemittelten Wert von 27 g/ha/a. Die Werte sind im langjährigen Trend stark rückläufig.

Zur atmosphärischen Deposition kommen die Verunreinigung der Gewässer und die Kontamination der Böden mit industriell, von der Landwirtschaft, durch Hausbrand und Verkehr freigesetzten oder aufgetragenen Stoffen, sowohl in heutiger als auch in historischer Zeit. In den Sedimenten der Elbauen als einem industriell besonders stark verschmutzten Fluss liegen die Gehalte an Cadmium (Cd) im Unterstrombereich der Zuflüsse von Triebisch und Mulde bei Spitzenwerten von 230 mg/kg. Die Bleigehalte von Elbsedimenten erreichen Werte von bis zu 1500 mg/kg. Für unbelastete Böden werden Cd-Werte von <0,5 mg/kg und Pb-Werte von <60 mg/kg angegeben. Verursacht durch die Auswirkungen des jahrhundertelang betriebenen Bergbaus weisen die Sedimente der Flüsse Oker und Innerste im Harzvorland Cd-Gehalte von 200 mg/kg auf. Die Bleigehalte können bis zu 4000 mg/kg betragen. Zink und Kupfer erreichen Werte von 5000 mg/kg und 650 mg/kg. Das Beispiel zeigt, dass eine Dekontamination von Flusssedimenten keineswegs ausschließlich von den aktuellen Einleitern der modernen industriellen Produktion abhängig ist. Grundsätzlich sind in allen Regionen Deutschlands mit historischem Bergbau in den Auesedimenten der Flüsse Altlasten versteckt, die durch natürliche oder künst-

Adsorbenzien – Bodenbestandteile, an die sich Stoffe anlagern

Deposition – Ablagerung, Stoffeintrag

gediegen – in Reinform

Immission – Eintrag eines verunreinigenden Stoffs in die (Reinst)Luft

Moldanubikum – westlicher Teil des böhmischen Grundgebirges, bestehend aus metamorphen und magmatischen Gesteinen mit geringmächtiger Sedimentbedeckung

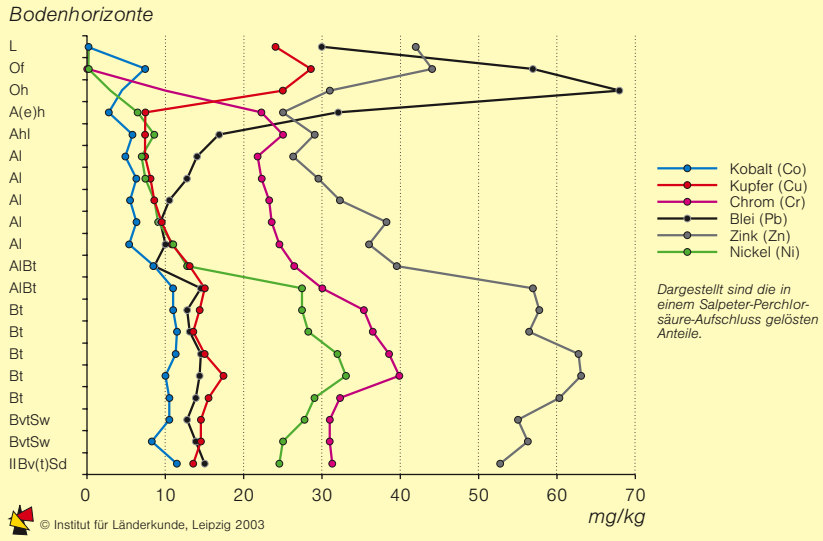
Olivin – meist oliv- bis flaschengrünes ▷ Silikat in magmatischen und metamorphen Gesteinen

Saxothuringikum – Grundgebirge im Bereich der ▷ variskischen Gebirgsbildung von den Nordvogesen bis Thüringer Wald, Erzgebirge und Sudeten

Serpentinit – metamorphes olivinreiches Gestein

ultrabasisches Gestein – magmatisches Gestein mit einem Gehalt an Kieselsäure von unter 45% SiO_2

2 Tiefenverteilung von Schwermetallen
Einfluss bodenbildender Prozesse am Beispiel einer Parabraunerde aus Niederbayern, Raum Deggendorf



liche Verlagerungen der Uferränder jederzeit wieder freigesetzt werden können.

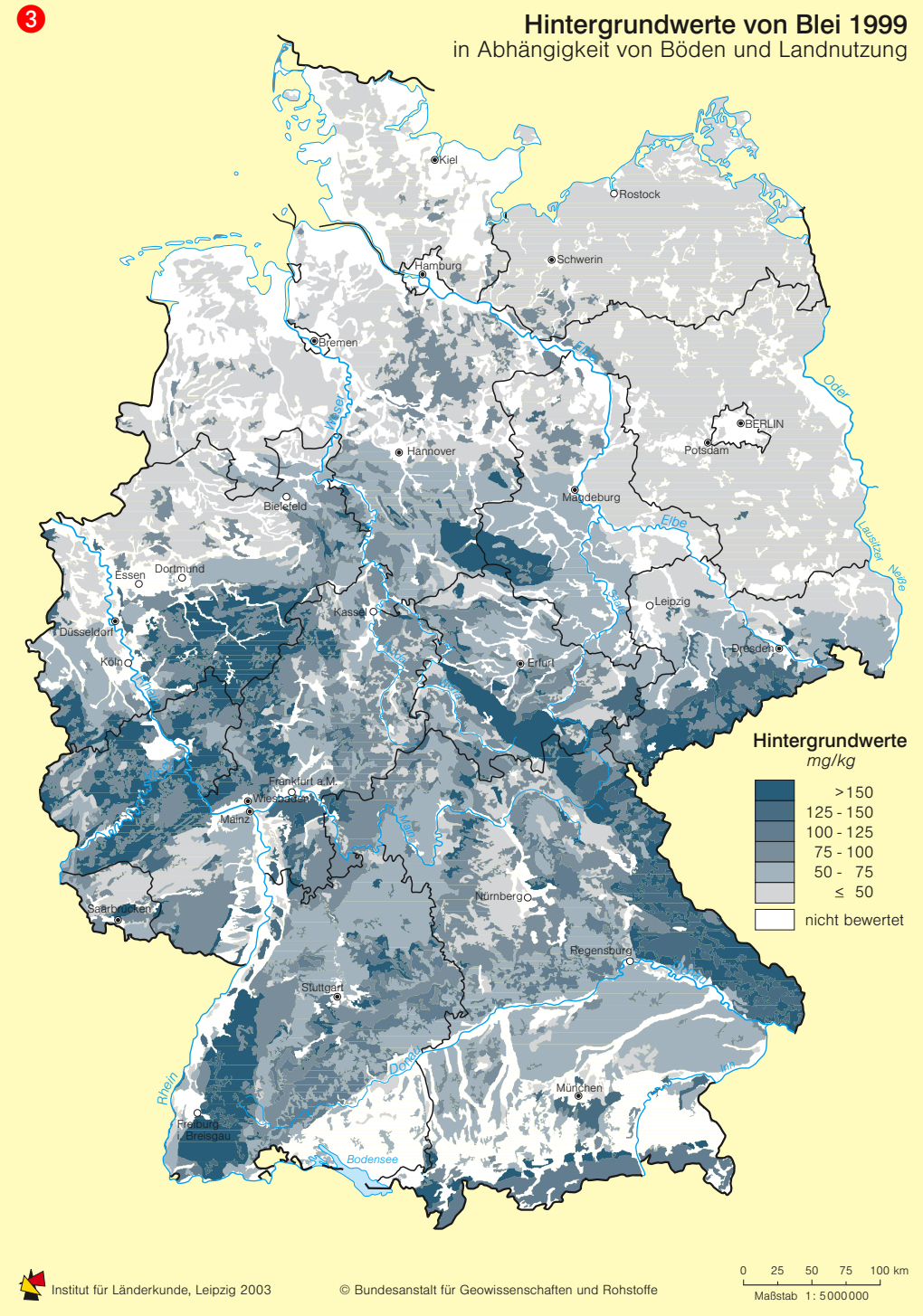
Bekannt für ihre Befrachtung mit Schwermetallen sind Klärschlämme. Sie enthalten unter anderem erhebliche Mengen an Cadmium, welches den Böden zudem auch über Dünger und den Kfz-Verkehr (vor allem Reifenabrieb und Dieselöl) zugeführt wird. Die Klärschlammverordnung gibt das Maß an Gehalten unterschiedlicher Schwermetalle vor, die in industriellen Reststoffen, welche der Umwelt wieder zugeführt werden sollen, enthalten sein dürfen. Dazu zählen die überall als Rückstände der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlämme, von denen in Deutschland jährlich insgesamt etwa 60 Mio. Tonnen (BMU 2002) anfallen, bezogen auf ein Trockensubstanzvolumen von 5%. Industrieschlämme und kommunaler Kompost sind hier nicht einbezogen. Die nach Ausfaulung und Trocknung verbleibenden Mengen wurden vor dem Jahre 2001 zu etwa 37% in der Landwirtschaft vor allem aufgrund hoher Organikanteile und weiterer Hauptbestandteile in Form von Stickstoff, Kalium, Calcium, Magnesium und Phosphor zur Bodenverbesserung eingesetzt. Der Herkunft des Klärschlamms entsprechend variieren die Schwermetallkonzentrationen erheblich, weshalb eine ständige Überprüfung erforderlich ist. Im Falle zu hoher Schadstoffgehalte müssen auch Klärschlämme auf geeigneten Deponien eingelagert werden, was für Industrieschlämme generell gilt.

Im Falle industrieller Produktions- und Altlastenstandorte können Schwermetalle in besonders hoher Konzentration in Böden auftreten. Ein Beispiel einer räumlich eng begrenzten Schwermetallkontamination der Böden vor allem mit hochgiftigem Quecksilber (Hg) und Antimon (Sb) ist der 1985 aufgrund einer behördlichen Anordnung stillgelegte Standort der Chemischen Fabrik Marktredwitz (CFM) in der Oberpfalz. Seit 1837 wurden dort unterschiedlichste chemische Verbindungen hergestellt, im Rahmen der Produktion von Pflanzenschutzmitteln neben elementarem Quecksilber nahezu alle bekannten anorganischen und organischen Quecksilberverbindungen. Neben dem Betriebsgelände selbst wurden auch das Umfeld, wozu das Stadtgebiet von Marktredwitz zählt, und die angrenzenden Vorfluter erheblich kontaminiert. Die durchschnittlichen Konzentrationen an Quecksilber im Boden lagen im Umfeld bei 27,64 mg Hg/kg Trockensubstanz (TS) mit Belastungsspitzen von 2,4 g Hg/kg TS, dabei in der Regel in hochmobiler Bindungsform. Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) gibt für Quecksilber als Hintergrundwert in nicht belasteten Böden eine Spannbreite von 0,05 bis 0,5 mg Hg/kg TS an. Die Sanierung dieses Standortes konnte 1996 abgeschlossen werden.

Allgemeine Hintergrundwerte von Schwermetallen in Böden

Auch auf natürliche Weise reichern Böden Schwermetalle an, allerdings in weitaus geringerem Maße als durch menschliche Einflüsse. Diese Gehalte resultieren vor allem aus der Verwitterung der bodenbildenden Sedimente und Gesteine im Zuge der Bodenentwicklung. Im Gegensatz zu anthropogen freigesetzten Schwermetallen werden diese daher als ▷ geogen bezeichnet. Deren jeweilige Gehalte sind stark von der

3 Hintergrundwerte von Blei 1999
in Abhängigkeit von Böden und Landnutzung



chemischen Beschaffenheit der Boden bildenden Substrate abhängig. Sie variieren daher in charakteristischer Art und Weise mit dem ▷ lithologischen Bau der naturräumlichen Einheiten. In Verbund mit der Nutzung einer Landschaft (Forst, Grünland, Acker, Dauerkulturen, Siedlungs- und Industriefläche) bilden sie Hintergrundwerte, deren deutschlandweite Darstellung sich auf die bodenökologisch besonders relevanten humosen Oberbodenhorizonte bezieht. Das Beispiel Blei verdeutlicht – losgelöst von anthropogenen Einträgen – den hohen Einfluss, welchen die Gesteine auf die Schwermetallgehalte in Böden nehmen. Die Grundgebirgseinheiten in Deutschland wie Rheinisches Schiefergebirge, ▶ Saxothuringikum, ▶ Moldanubikum, der Schwarzwald und der Harz treten ausnahmslos über erhöhte Gehalte hervor 2. Das Beispiel des Harzes lässt zudem lithologisch bedingte Verteilungsmuster innerhalb einer naturräumlichen Einheit erkennen. Ein Gegenbeispiel ist Nickel, welches auf den ersten Blick am allerwenigsten einen Zusammenhang mit den das Bodensubstrat stofflich mitbestimmenden Gesteinen erkennen lässt 3. Zwar sind auf der Karte teilweise auch naturräumliche Einheiten kraft des Einflusses ihrer Gesteinstypen auf die Schwermetallgehalte der Böden erkennbar. Auch wird das Vorkommen ultrabasischer Gesteine mit hohen Olivingehalten sowie von Serpentiniten klar nachgezeichnet. Bayerischer Wald und Oberpfälzer Wald als Teile der kristallinen Grundgebirgsprovinz des Moldanubikums setzen sich indes beispielsweise nicht von den lithotypisch völlig anders gearteten ▷ Lockersedimenten des südbayerischen Raumes ab, dessen bodenbildende Substrate aus ▷ quartär- und ▷ tertiärzeitlichen Lockersedimenten bestehen.◆