GeoBerichte 7

LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE

Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen

Teil 2: Schwermetalle, organische Belastungen und Säurebildner

Niedersachsen

GeoBerichte 7

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen

Teil 2: Schwermetalle, organische Belastungen und Säurebildner

HEIKE FORTMANN, MARION GUNREBEN,
BERND KLEEFISCH, HENNING MEESENBURG,
KARL-JOSEF MEIWES, DETLEF MERKEL,
JÜRGEN SCHNEIDER & KARL SEVERIN

Hannover 2007

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-3667

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

Version: 25.09.2007

Redaktion: Ricarda Nettelmann
e-mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelabbildungen: Nadelwald (Quelle: Bilddatenbank des LBEG, Copyright: LBEG),
Elbtalaue: Lenzener Wische, UNESCO-Biosphärenreservat „Flusslandschaft Elbe" in Brandenburg (Quelle: Bilddatenbank des LBEG, Copyright: S. Sörgel),
Schwermetallausträge (Kupfer) aus Bergbauhalde im Harz (Foto: A. Larm).

ISSN 1864–7529

GeoBer.	7	S. 3 – 64	28 Abb.	8 Tab.	Anh.	Hannover 2007

Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen
Teil 2: Schwermetalle, organische Belastungen und Säurebildner

HEIKE FORTMANN, MARION GUNREBEN, BERND KLEEFISCH, HENNING MEESENBURG,
KARL-JOSEF MEIWES, DETLEF MERKEL, JÜRGEN SCHNEIDER & KARL SEVERIN

Kurzfassung

Die bisherigen rechtlichen Regelungen im Bodenschutz haben auf Bundes- und Landesebene ihren deutlichen Schwerpunkt im nachsorgenden Bodenschutz, vor allem im Umgang mit Altlasten. Vor diesem Hintergrund haben die für Niedersachsen zuständigen Fachbehörden vom Niedersächsischen Umweltministerium den Auftrag erhalten, ein Bodenqualitätszielkonzept aus Sicht der Bodenschutzvorsorge zu erarbeiten, welches – ausgehend von den Bodenbelastungen – Qualitätsziele und –standards für Böden formuliert.

Bodenqualitätsziele sind Vorgaben für den vorsorgenden Schutz der Böden, dienen also unter anderem der Erhaltung der natürlichen Bodenfunktionen. Bodenqualitätsstandards sind die konkreten, in der Regel messbaren Bewertungsmaßstäbe zur Bestimmung von Schutzwürdigkeit, Belastung und angestrebter Qualität von Böden.

Ein erster Teil des Bodenqualitätszielkonzeptes Niedersachsen mit den Teilen Erosion und Versiegelung ist 2003 zum nichtstofflichen Bodenschutz erschienen (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE 2003).

Der nun vorliegende zweite Teil umfasst die stofflichen Bodenbelastungen durch Schwermetalle, organische Schadstoffe und Säurebildner. Dargestellt wird die Belastungssituation in Niedersachsen und die Ableitung von Qualitätszielen und –standards. Für Schwermetalle und organische Schadstoffe gibt es dazu Vorgaben im Bodenschutzrecht (BBODSCHG 1998, BBODSCHV 1999). Für die Bodenversauerung werden u. a. die so genannten Critical Loads zur Bewertung herangezogen. Aus der Gegenüberstellung der Qualitätsstandards mit den tatsächlichen Belastungen wird dann jeweils der Handlungsbedarf für Bodenschutzmaßnahmen dargestellt.

Inhalt

1 Einführung und Zielsetzung 5

2 Bodenqualitätsziele und –standards als Bewertungskriterien eines vorsorgenden Bodenschutzes 6

3 Schwermetalle 8

3.1 Einleitung 8
3.2 Bodenqualitätsziele und –standards 8
3.2.1 Bodenqualitätsziele für Schwermetalle 8
3.2.2 Bodenqualitätsstandards für Schwermetalle 9
3.2.3 Darstellung des Ist-Zustandes niedersächsischer Böden 10
3.3 Handlungsempfehlungen/ Maßnahmen 16
3.3.1 Bodenauftrag 17
3.3.2 Klärschlamm und Wirtschaftsdünger 17
3.3.3 Anbauempfehlungen im Hinblick auf Lebensmittel- und Futtermittelqualität 17

4 Organische Schadstoffe 19

4.1 Einleitung 19
4.2 Bodenqualitätsziele und Bodenqualitätsstandards 19
4.2.1 Bodenqualitätsziele für organische Schadstoffe 19
4.2.2 Bodenqualitätsstandards für organische Schadstoffe 19
4.3 Darstellung des Ist-Zustandes niedersächsischer Böden 21
4.3.1 Hintergrundbelastung 21
4.3.2 Bodenbelastung an repräsentativen Standorten 26
4.4 Handlungsempfehlungen 32

5 Säurebildner 33

5.1 Ist-Zustand der Bodenversauerung in Niedersachsen 33
5.1.1 Grundlagen 33
5.1.2 Säureeintrag 34
5.1.3 Bodenbelastungen 38
5.1.3 Bodenbelastungen 38
5.2 Qualitätsziele und Qualitätsstandards für die Versauerung von Waldböden 41
5.2.1 Critical Loads 41
5.2.2 Basensättigung 45
5.3 Handlungsempfehlungen 47
5.3.1 Kalkung 47
5.3.2 Waldbauliche Maßnahmen 48
5.3.3 Dokumentation des Zustandes der Waldböden in Niedersachsen 48

6 Literatur 49

7 Anhang 54

1 Einführung und Zielsetzung

Durch die Verabschiedung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ist seit 1998/99 erstmals das Umweltmedium Boden unter eigenen gesetzlichen Schutz gestellt worden. Bedenkt man, dass das Kerngesetz für das Wasser (Wasserhaushaltsgesetz) bereits aus dem Jahr 1957 und das für die Luft (Bundes-Immissionsschutzgesetz) aus dem Jahr 1974 datiert, wird deutlich, dass das Schutzgut Boden lange im Bereich der Umweltgesetzgebung nachrangig berücksichtigt worden ist. Durch das In-Kraft-Treten des niedersächsischen Landes-Bodenschutzgesetzes am 1. 3. 1999 wurde die Umsetzung der Bodenschutzgesetzgebung für das Land Niedersachsen sichergestellt. Durch die Verabschiedung des Bundes- und Landes-Bodenschutzgesetzes ist (z. B. durch Regelungen für Stoffeinträge) in erster Linie eine verbesserte Regelung des nachsorgenden Bodenschutzes, d. h. der Altlasten und der schädlichen Bodenveränderungen, eingetreten.

Um darüber hinaus einen vorsorgenden Bodenschutz sowohl im Hinblick auf stoffliche als auch auf nichtstoffliche Belastungen zu ermöglichen, ist es notwendig, weitergehende Schutzziele und Bewertungsmaßstäbe zu schaffen.

Vor diesem Hintergrund sind die Fachbehörden für Bodenschutz in Niedersachsen vom Niedersächsischen Umweltministerium beauftragt worden, operationale Bodenqualitätsziele zu entwickeln, die am Prinzip der Vorsorge ausgerichtet sind. Nach Auflösung der Landesämter für Ökologie und Bodenforschung wird diese Arbeit ab 2006 vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) als Fachbehörde für Bodenschutz weitergeführt.

In einem ersten Teil sind 2003 ressortübergreifend Bodenqualitätsziele für Bodenerosion und Bodenversiegelung ausgearbeitet und für den Vollzug empfohlen worden (vgl. Abb. 1).

Abb. 1: Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen, Teil 1.

Im nun vorliegenden zweiten Teil des Bodenqualitätszielkonzeptes sind Bodenqualitätsziele und –standards für Schwermetalle, organische Schadstoffe und Säurebildner ausgearbeitet worden. Die Arbeiten wurden unter Federführung des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie erstellt. Beteiligt waren die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA Nordwest) und die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), denen an dieser Stelle herzlich für die erfolgreiche Zusammenarbeit gedankt sei.

Das Bodenqualitätszielkonzept hat empfehlenden Charakter. Zielebene sind sowohl die öffentliche Verwaltung aller Planungsebenen (z. B. Landkreise, Kommunen), aber auch die land- und forstwirtschaftliche Beratung sowie Institutionen und Organisationen, die sich mit der Bewertung und Umsetzung von Bodenschutz-Fragestellungen in Planungs- und Genehmigungsprozessen auseinander setzen (z. B. Planungs- und Beratungsbüros).

2 Bodenqualitätsziele und –standards als Bewertungskriterien eines vorsorgenden Bodenschutzes

Wie bereits im Teil 1 des Bodenqualitätszielkonzeptes Niedersachsen ausgeführt (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE 2003), sind Bodenqualitätsziele Vorgaben für den vorsorgenden Schutz und die Erhaltung der Bodenfunktionen sowie für die Abwehr schädlicher Bodenveränderungen und ihrer Auswirkungen auf die Bodenfunktionen. Die dazu nötige Beschreibung der Bodenqualität kann neben physikalischen, chemischen und biologischen Angaben ggf. auch den zeitlichen Verlauf einer Maßnahme umfassen. Bodenqualitätsziele charakterisieren einen Zustand der Bodenqualität, den es in einem bestimmten Zeitraum zu erreichen, zu bewahren, wiederherzustellen oder nicht zu überschreiten gilt.

Bodenqualitätsstandards sind konkrete Bewertungsmaßstäbe zur Bestimmung von Schutzwürdigkeit und angestrebter Qualität von Böden, indem sie für bodenrelevante Parameter Ausprägung, Messverfahren und Rahmenbedingungen festlegen.

Bodenqualitätsziele (BQZ) und Bodenqualitätsstandards (BQS) können auf der Ebene der Funktionen (Lebensraum-, Regelungs-, Archiv- und Kulturfunktion sowie Produktionsfunktion) oder auch für verschiedene Belastungsfaktoren abgeleitet werden. Für die Erstellung des Bodenqualitätszielkonzeptes Niedersachsen werden die Ziele und Standards anhand der Hauptbelastungsfaktoren im stofflichen und nichtstofflichen Bereich formuliert.

Für die Ableitung von Bodenqualitätszielen und -standards gelten folgende Regeln (vgl. auch ENQUETE-KOMMISSION 1997):

- Bodenqualitätsstandards sollen sowohl quantitative Angaben über die Belastungsminderung enthalten als auch über die Zeit, innerhalb derer sie erreicht werden soll.
- Stoffeinträge in die Böden dürfen deren Belastbarkeit nicht überschreiten.
- Das Zeitmaß anthropogener Einträge und Eingriffe muss in einem ausgewogenen Zeitmaß zu den natürlichen Prozessen stehen, die für das Reaktionsvermögen der Böden relevant sind.

Für einen wirksamen Vollzug ist es notwendig, dass Bodenqualitätsziele auf allen Planungsebenen greifen und Bodenschutzstrategien verursachernah angesetzt werden können.

Bodenschutzkonzepte bestehen aus einem Grundlagen- und einem Maßnahmenteil. Sie dokumentieren die Problemsituation des Schutzgutes Boden in einem durch administrative Grenzen bestimmten Raum (MOSIMANN 1993).

Die Hauptziele von Bodenschutzkonzepten sind die Bestandsaufnahme der Bodenprobleme und -belastungen, die Formulierung langfristiger Schutzziele, die Skizzierung des gesetzlichen und technischen Handlungsbedarfs, das Aufzeigen von Lösungsansätzen und Einzelmaßnahmen sowie die Darstellung von Instrumentarien zum Vollzug (vgl. MOSIMANN 1993).

Bodenschutzkonzepte und auch -programme wurden von einigen Bundesländern entwickelt, so z. B. in Niedersachsen (vgl. NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1990), Schleswig-Holstein (vgl. MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND FORSTEN DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN 1996) und Baden-Württemberg (vgl. MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG 1985). Die Ansätze solcher Schutzkonzepte sind jedoch vergleichsweise unverbindlich und müssen für den Vollzug weiter konkretisiert werden.

Analog zu Umweltqualitätszielkonzepten können Bodenqualitätszielkonzepte definiert werden: Sie haben die Aufgabe, bodenbezogene Qualitätsziele für einen Raum zusammenzustellen, zu systematisieren, ggf. Zielhierarchien aufzustellen und den Bezug zu Instrumenten und Maßnahmen herzustellen.

Beispiele für bereits in Anwendung befindliche landesweite Bodenqualitätszielkonzepte liegen außerhalb Niedersachsens noch nicht vor. Im vorliegenden Teil 2 des niedersächsischen Bodenqualitätszielkonzeptes wird mit dem Ziel, eine multifunktionale Bodennutzung zu gewährleisten, zunächst die Belastungssituation der Böden in Niedersachsen analysiert. Darauf aufbauend werden im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes nachhaltige Qualitätsziele und -standards abgeleitet. Mit dem Bodenqualitätszielkonzept sollen einheitliche Bewertungsgrundlagen für die Böden Niedersachsens geschaffen werden.

Zur Stellung des Bodenqualitätszielkonzeptes im Rahmen des Bodenschutzes in Niedersachsen vgl. Abbildung 2.

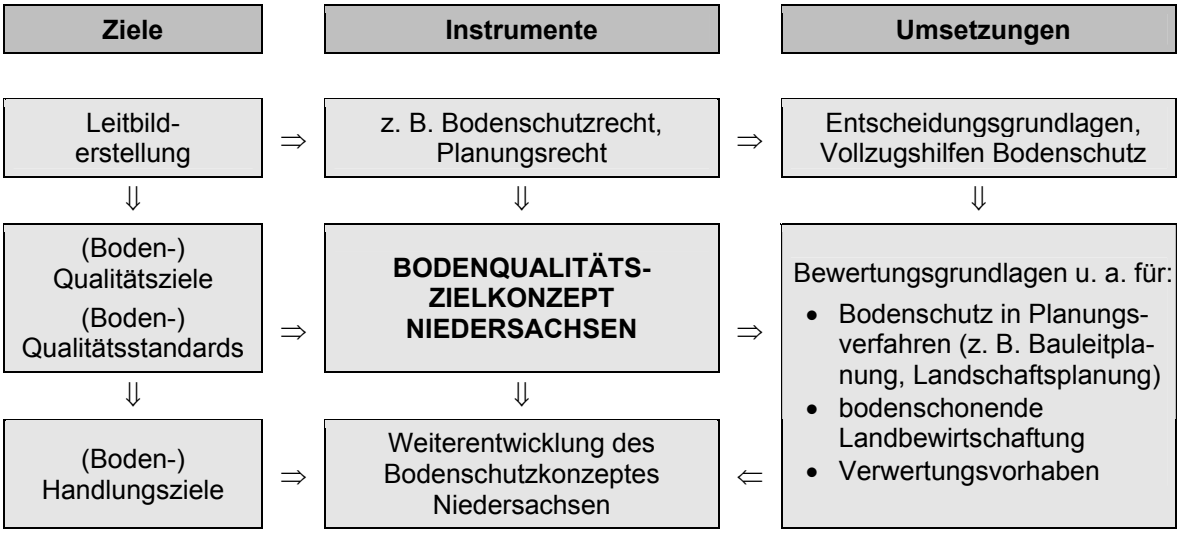

Abb. 2: Stellung des Bodenqualitätszielkonzeptes im Rahmen des Bodenschutzes in Niedersachsen.

3 Schwermetalle

3.1 Einleitung

Die stoffliche Zusammensetzung von Böden ist u. a. auf die unterschiedlichen Bestandteile der Locker- bzw. Festgesteine sowie deren Verbreitung an der Erdoberfläche zurückzuführen. Da die Erdoberfläche durch das Vorkommen von Gesteinen unterschiedlicher Lithogenese geprägt ist, variieren auch die Anteile der Metalle mit dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung. Das Vorkommen der Metalle ist jedoch nicht nur an deren natürliche Entstehungsbedingungen gebunden. Auch anthropogen initiierte Verbrennungs- und Produktionsprozesse haben dazu beigetragen, Metallverbindungen vermehrt in den Boden einzutragen.

Sind Metalle wie Eisen, Kupfer oder Zink als Spurenelemente für Menschen, Tiere und Pflanzen lebenswichtig, können sie dem gegenüber in höheren Konzentrationen Gefahren hervorrufen. Wo in der Vergangenheit Schwermetalle verstärkt durch industrielle Prozesse freigesetzt und im Boden angereichert wurden, kann sich eine Gefährdung für Schutzgüter wie Wasser, Flora, Fauna oder den Menschen ergeben.

Um der Gefahr der zusätzlichen Stoffanreicherung zu begegnen und Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern, hat der Gesetzgeber für eine Reihe von Schwermetallen, z. B. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel oder Quecksilber Bodenqualitätsstandards geregelt und Vorgaben für deren Anwendung erlassen (vgl. ENQUETE-KOMMISSION 1998, Bundes-Bodenschutzgesetz (BBODSCHG) 1998 bzw. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBODSCHV) 1999).

3.2 Bodenqualitätsziele und –standards

3.2.1 Bodenqualitätsziele für Schwermetalle

Umweltqualitätsziele dienen dem nachhaltigen Erhalt der Funktionsfähigkeit des jeweiligen Umweltmediums und beschreiben i. d. R. die Zustände oder Eigenschaften des Mediums.

Allgemein werden für die Erarbeitung von Umweltqualitätszielen

- der wissenschaftliche Kenntnisstand hinsichtlich qualitativer und quantitativer Ursache-Wirkungs-Beziehungen sowie
- die auf den Umweltzustand bezogenen gesellschaftlichen Wertvorstellungen als Grundlage für deren Ableitung herangezogen.

Da Böden im Ökosystem eine zentrale Stellung einnehmen und eine endliche, nicht erneuerbare Ressource darstellen, soll diese Ressource durch Verminderung von nutzungs- und immissionsbedingten Beeinträchtigungen geschützt werden. Dieser Anspruch ist im Bundes-Bodenschutzgesetz formuliert, wo in § 1 die Forderung erhoben wird, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte soweit wie möglich vermieden werden (BBODSCHG 1998).

Bodenbelastungen durch Schwermetalle sollen soweit wie möglich verhindert bzw. vermindert werden. Dort, wo bereits erhebliche Bodenbelastungen bestehen, sollen den Boden belastende Nutzungen/Stoffeinträge vermieden bzw. vermindert werden.

Abb. 3: Qualitätsziel für Bodenbelastungen mit Schwermetallen.

Entsprechend der im BBodSchG formulierten Ziele werden in der BBodSchV die Qualitätsstandards, so auch die Standards für Schwermetalle in Böden, geregelt.

Grenzwerte zu Schwermetalleinträgen liegen darüber hinaus auch in anderen Rechtsbereichen (z. B. Düngemittelrecht, Abfallrecht) vor.

3.2.2 Bodenqualitätsstandards für Schwermetalle

Die Qualitätsstandards für Schwermetalle in Böden von Deutschland sind seit 1999 in der Bodenschutz- und Altlastenverordnung des Bundes geregelt. Mit der Verabschiedung dieser Standards ist es gelungen, für das Umweltmedium Boden bundesweit einheitliche Regelungen zu vereinbaren.

Die Regelungen sehen drei Wertebereiche vor: Neben Vorsorgewerten werden Prüf- bzw. Maßnahmenwerte als Werte zur Gefahrenabwehr definiert.

Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen ist nach § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist in der Regel zu besorgen, wenn

- „Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die Vorsorgewerte für Metalle, PCB und PAK überschreiten, oder“
- „eine erhebliche Anreicherung von anderen Schadstoffen erfolgt, die aufgrund ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden, fortpflanzungsgefährdenden oder toxischen Eigenschaften in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Bodenveränderungen herbeizuführen.“

Tab. 1: Vorsorgewerte für Metalle (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss).

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm/Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						

Die Anwendung der Vorsorgewerte hat vor dem Hintergrund folgender fachlicher Eckpunkte zu erfolgen (vgl. BBODSCHV 1999):

1. Vorsorgewerte werden nach den Hauptbodenarten unterschieden.
2. Stark schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/Schluff zu bewerten.
3. Bei den Vorsorgewerten der Tabelle 1 ist der Säuregrad der Böden wie folgt zu berücksichtigen:
   - Bei Böden der Bodenart Ton mit einem pH-Wert von < 6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm/Schluff.
   - Bei Böden der Bodenart Lehm/ Schluff mit einem pH-Wert von < 6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Sand.
   - Bei Böden mit einem pH-Wert von < 5,0 sind die Vorsorgewerte für Blei entsprechend den ersten beiden Anstrichen herabzusetzen.
4. Die Vorsorgewerte der Tabelle 1 finden für Böden und Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von mehr als acht Prozent keine Anwendung. Für diese Böden können die zuständigen Behörden ggf. gebietsbezogene Festsetzungen treffen.

Eine schädliche Bodenveränderung besteht nicht bei Böden mit naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen allein auf Grund dieser Gehalte, soweit diese Stoffe nicht durch Einwirkungen auf den Boden in erheblichem Umfang freigesetzt wurden oder werden.

Zusätzlich zu den Vorsorgewerten hat der Gesetzgeber bei den Schwermetallen verfügt, dass bei Überschreitung des jeweiligen Vorsorgewertes eine Zusatzbelastung über alle Eintragspfade bis zur Höhe festgesetzter jährlicher Frachten (vgl. Tab. 2) zulässig ist.

Tab. 2: Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade (in Gramm je Hektar).

Element	Fracht [g/ha a]
Blei	400
Cadmium	6
Chrom	300
Kupfer	360
Nickel	100
Quecksilber	1,5
Zink	1 200

Als Qualitätsstandard für die Belastung der Böden mit Schwermetallen werden die Vorsorgewerte nach BBodSchV herangezogen.

Abb. 4: Qualitätsstandards für Schwermetalle – Vorsorgewerte.

3.2.3 Darstellung des Ist-Zustandes niedersächsischer Böden

Für Niedersachsen sind Informationen zu aktuellen Schwermetallgehalten im Boden in unterschiedlichen Aussagegenauigkeiten verfügbar. Es existieren sowohl landesweite Informationen zu Hintergrundwerten in Böden (vgl. SCHNEIDER 1999, 2000; LABO 2003) als auch detaillierte, z. T. parzellenscharfe Informationen zu ausgewählten Projektgebieten (vgl. u. a. HAMMERSCHMIDT & SCHNEIDER 1995, GÄBLER & SCHNEIDER 2000, SEVERIN et al. 2003).

Die klein- und mittelmaßstäbigen landesweiten Informationen wurden Mitte der 90er Jahre erarbeitet, um auf Grundlage der Hintergrundwerte für Schwermetalle und den in der Diskussion befindlichen Werten zu Bodenqualitätsstandards eine Einschätzung der Belastungssituation vornehmen zu können.

Hintergrundwerte sind gemäß der Definitionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO 2003) repräsentative Werte für Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe. Sie kennzeichnen Stoffkonzentrationen in nicht spezifisch belasteten Böden, die durch den geogenen Grundgehalt und die ubiquitär/diffuse Zusatzbelastung charakterisiert werden. Der geogene Grundgehalt entspricht dabei dem Stoffbestand eines Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein, ggf. Vererzungen und der pedogenetisch beeinflussten Umverteilung (Anreicherung oder Verarmung) von Stoffen in Böden ergibt.

Das Konzept zur Ermittlung der Hintergrundwerte für Schwermetalle in den Böden Niedersachsens sah vor, Schwermetalldaten, die aktuell in einer Datenbank im Fachinformationssystem Boden (FISBo) des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®) beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) vorgehalten werden, substratspezifisch und nutzungsdifferenziert auszuwerten (SCHNEIDER 1999).

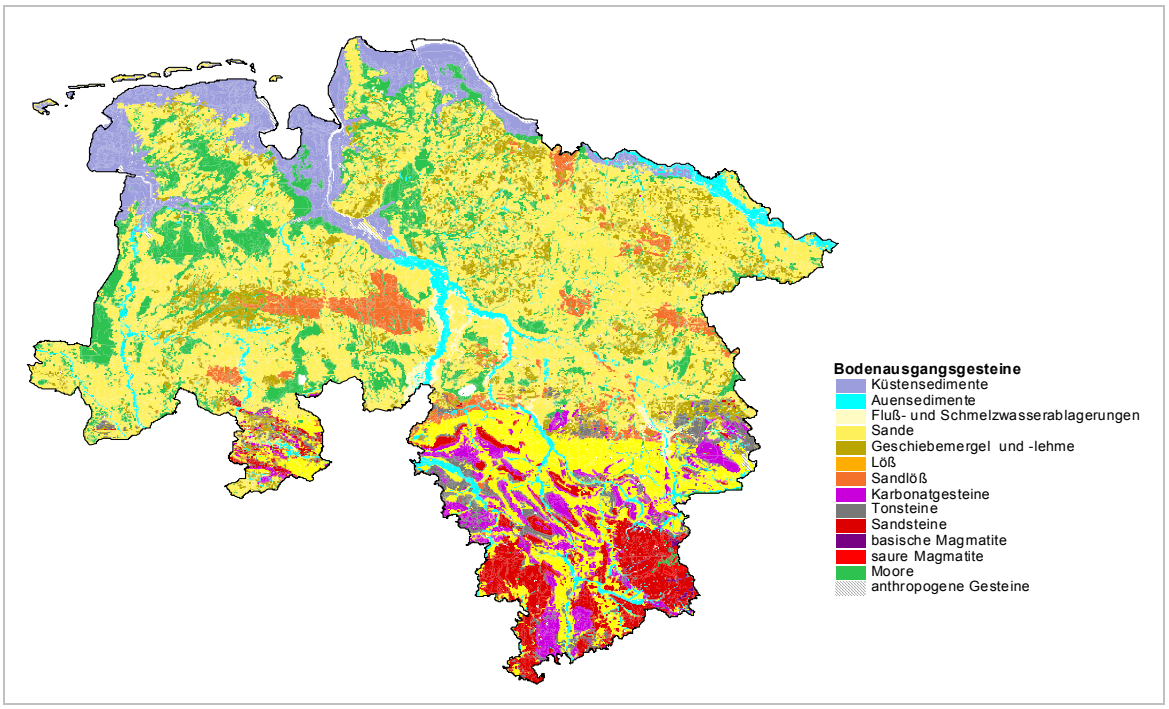

Abb. 5: Karte der Bodenausgangsgesteine (SCHNEIDER 1999).

Die substratspezifische Auswertung der Hintergrundwerte für Schwermetalle basiert auf einer Überlagerung und Verschneidung der Probenahmestellen mit einer Karte der Bodenausgangsgesteine (vgl. Abb. 5). Diese enthält Aussagen zur räumlichen Verbreitung der Bodenausgangsgesteine im Maßstab 1 : 500 000 (BAG 500) und ist inhaltlich auf die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 50 000 (BÜK 50) abgestellt. Durch die statistische Auswertung der Probenkollektive pro Bodenausgangsgestein konnten Hintergrundwerte für Schwermetallgehalte in Sedimenten des Gezeitenbereichs, der Terrassen- und Schotterablagerungen, der Sande und mächtiger sandiger Deckschichten, der Geschiebelehme/-mergel, der Lösse, der Sandlösse, der Sandsteine und der Moore ermittelt werden.

Für die Ermittlung nutzungsdifferenzierter Hintergrundwerte für Schwermetalle in niedersächsischen Böden wurden weiterhin die im ATKIS® (Amtliches-Topographisch-Kartographisches Informationssystem) vorhandenen Landnutzungsinformationen (hier: Ackerland, Grünland, Forst) in die Auswertung einbezogen. In Tabelle 3 sind exemplarisch für niedersächsische Sande substratspezifische und nutzungsdifferenzierte Hintergrundwerte dokumentiert, die ergänzend durch tiefenbezogene Auswertungen charakterisiert sind.

Tab. 3: Schwermetallgehalte niedersächsischer Sandböden und mächtiger sandiger Deckschichten (vgl. LABO 2003).

Schwermetallgehalte (Königswasser-extraktion)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg/kg]						
Acker – Oberboden							
Probenzahl (n) keine Gebietsdifferenzierung (Typ 0)	65	33	68	22	68	69	66
50. Perzentil	0,1	7	7	0,06	2	15	19
90. Perzentil	0,3	12	12	0,12	6	22	31
Grünland – Oberboden[1)]							
Probenzahl (n) keine Gebietsdifferenzierung (Typ 0)	71	62	77	60	61	71	71
50. Perzentil	0,2	9	7	0,07	2	22	36
90. Perzentil	0,4	22	13	0,21	5	43	67
Forst – Oberboden							
Probenzahl (n) keine Gebietsdifferenzierung (Typ 0)	52	44[1)]	53	31[1)]	53	53	43
50. Perzentil	0,2	5	7	0,03	4	38[2)]	17
90. Perzentil	0,5	8	19	0,18	11	90[2)]	38
Unterboden – ohne Nutzungsdifferenzierung							
Probenzahl (n) keine Gebietsdifferenzierung (Typ 0)	136	36	159	26	148	139	142
50. Perzentil	0,1	3	2	0,02	4	5	10
90. Perzentil	0,2	5	5	0,06	7	8	17
Untergrund – ohne Nutzungsdifferenzierung							
Probenzahl (n) keine Gebietsdifferenzierung (Typ 0)	79	< 20	54	< 20	56	50	54
50. Perzentil	0,1	-	1	-	3	4	7
90. Perzentil	0,2	-	3	-	6	7	13

[1)] SCHNEIDER (1999)

[2)] Daten durch Probenkollektiv aus dem Stadtwald Hannover dominiert

Die in 2003 publizierten Auswertungen zeigen für Niedersachsen folgende Sachverhalte:

- Ackerböden weisen i. d. R. durch eine regelmäßige Bodenbearbeitung (Pflügen) und die damit verbundene Mischung (Verdünnung) die geringsten Schadstoffgehalte auf.
- In Grünlandböden werden die Schwermetalle hingegen im obersten Bodenhorizont angereichert. Dies bedingt die im Vergleich z. T. höheren Gehalte als in den Ackerböden.
- Forststandorte weisen durch den Auskämmeffekt der Vegetation z. T. erhöhte Stoffeinträge auf (z. B. Blei und Cadmium für Sandböden).

Es bleibt festzuhalten, dass die substratspezifisch differenzierten Hintergrundwerte für die Mehrzahl der niedersächsischen Lockergesteine keine auffälligen Überschreitungen der bodenartenspezifischen Vorsorgewerte zeigen, diese zum Teil sogar deutlich unterschreiten. Für Sande unter Grünland- bzw. Forstnutzung und Sedimente im Gezeitenbereich unter Grünlandnutzung gilt dies nicht uneingeschränkt.

Wesentliche Schwermetallanreicherungen sind in Niedersachsen im Einflussbereich bergbaulicher Aktivitäten und aus Gebieten bekannt, die durch Einträge über den Luftpfad betroffen waren. In den Flussauen im Harz und Harzvorland haben die bergbaulichen Aktivitäten und die damit einhergehenden Aufbereitungsprozesse und Stoffeinträge dazu geführt, dass die Böden in diesen Gebieten heutzutage als belastete Standorte in Erscheinung treten. So sind z. B. in den Auenbereichen der Oker, der Innerste oder der Söse z. T. erheblich mit Schwermetallen belastete Auenböden anzutreffen. In konkreten Untersuchungen zu dieser Problematik (vgl. NLFB 1995, GÄBLER & SCHNEIDER 2000) wurde nachgewiesen, dass die Belastungen räumlich, elementspezifisch und horizontspezifisch differenziert sind.

Vergleichbare Aussagen zum Ist-Zustand der Boden-Belastung mit Schwermetallen lassen sich in Niedersachsen auch auf Grundlage weiterer Teilkollektive ableiten, die im FISBo des NIBIS® gespeichert sind. Dabei handelt es sich einerseits um Analysendaten, die auf Grundlage des Boden-Dauerbeobachtungsprogrammes von Niedersachsen (KLEEFISCH & KUES 1997) erstellt wurden und andererseits um Schwermetallgehalte niedersächsischer Ackerböden, die im Zusammenhang mit der Klärschlammverordnung bestimmt wurden (MERKEL 1997). Letztere Zusammenstellung beruht auf ca. 27 000 Analysen aus drei Untersuchungsjahren und stellt die Fortschreibung einer nur einjährigen Bestandsaufnahme für die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO 1995) dar.

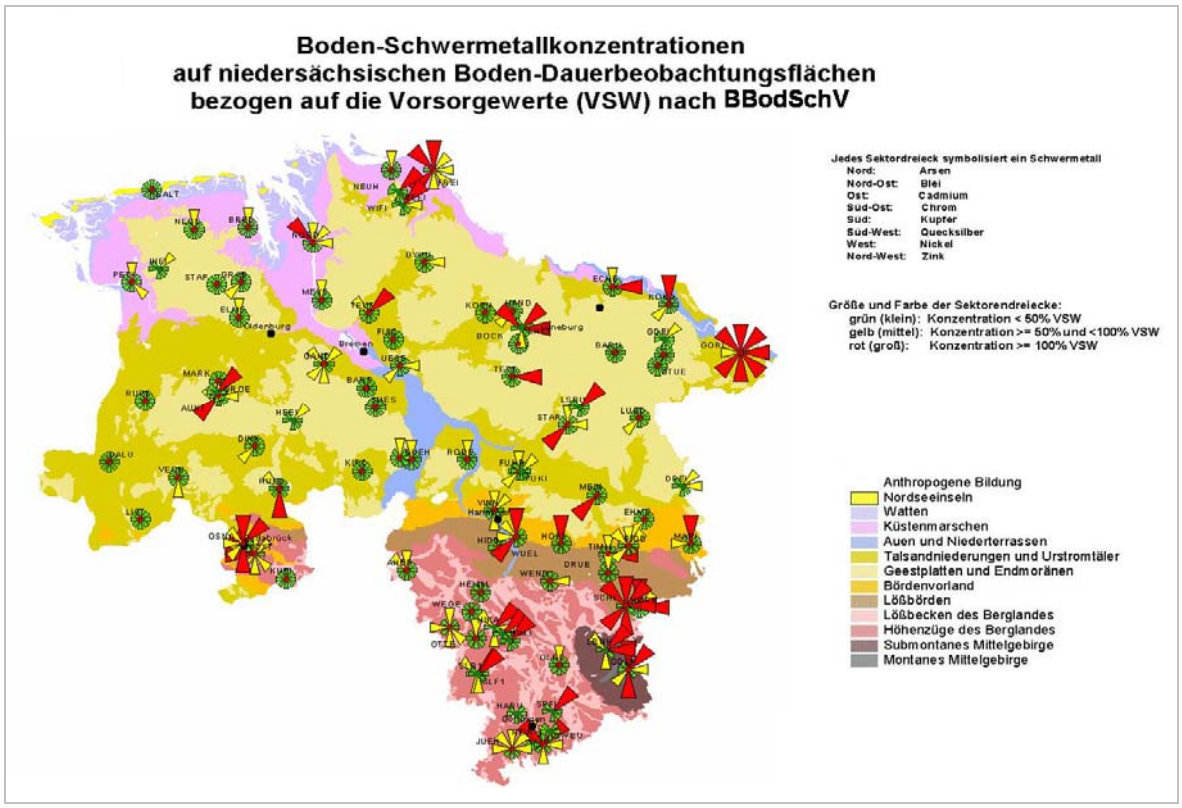

Abb. 6: Boden-Schwermetallkonzentrationen niedersächsischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen, bezogen auf die Vorsorgewerte (VSW) nach Bundes-Bodenschutzverordnung. Für Arsen liegt kein VSW vor, verwendet werden hier die Werte eines Vorschlages de Umweltbundesamtes aus dem Jahre 1996. Bewertet ist die Schadstoffkonzentration im jeweils maximal belasteten Bodenhorizont (Mineralboden und Humusauflage), die Probennahme erfolgt in den Jahren 1991 bis 2004 (Karte erstellt von KLEEFISCH & MEESENBURG, 11/2005).

Im Gegensatz zu den Hintergrundwerten, für die punktuelle Belastungsschwerpunkte nicht berücksichtigt werden (vgl. SCHNEIDER 1999, LABO 2003, MERKEL 2005), sind im Kollektiv der Boden-Dauerbeobachtungsflächen auch belastete Standorte enthalten. Das Konzept zum Boden-Monitoring-Programm sieht vor, in Niedersachsen insgesamt 90 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) einzurichten und zu überwachen, um auf Basis der repräsentativ ausgewählten Flächen Bodenveränderungen feststellen und, soweit möglich, Ursachen und Auswirkungen prognostizieren zu können. Der Anspruch der Repräsentativität bringt es mit sich, dass bei der Auswahl neben geowissenschaftlichen Kriterien wie Bodenverhältnissen, geologischen Verhältnissen, Klima- bzw. Witterungsverhältnissen auch anthropozentrische Kriterien wie typische Bodennutzungen und typische Belastungsfaktoren (z. B. Einträge über den Luft- oder den Wasserpfad) berücksichtigt wurden.

Annähernd 50 % der Bodendauerbeobachtungsflächen für Niedersachsen repräsentieren deshalb Siedlungsgebiete, Immissionsgebiete oder Auengebiete mit belasteten Sedimenten. Die Verteilung der BDF bzw. das Ergebnis des Abgleichs „Vorsorgewert für Schwermetalle“ versus „Belastungssituation“ lässt sich an Abbildung 6 ablesen, da dort Sektoren rot dargestellt sind, sobald die ermittelten Schwermetallgehalte der Böden die Vorsorgewerte nach BBodSchV übersteigen.

Beim Versuch der Zuordnung der auffälligen Sektoren zu vermeintlichen Belastungsursachen stellt man fest, dass das Vorkommen an Areale gebunden ist, die durch besondere Immissionssituationen und die damit verbundenen Stoffeinträge über den Wasserpfad und den Luftpfad bekannt sind. Räumliche Auswertungen zu Bodendaten, die auf dem Gesamtdatenbestand des Fachinformationssystems Boden beruhen und damit über das Datenkollektiv Boden-Dauerbeobachtung hinausgehen, bestätigen dieses Ergebnis (vgl. Abb. 7 bzw. Abb. 8).

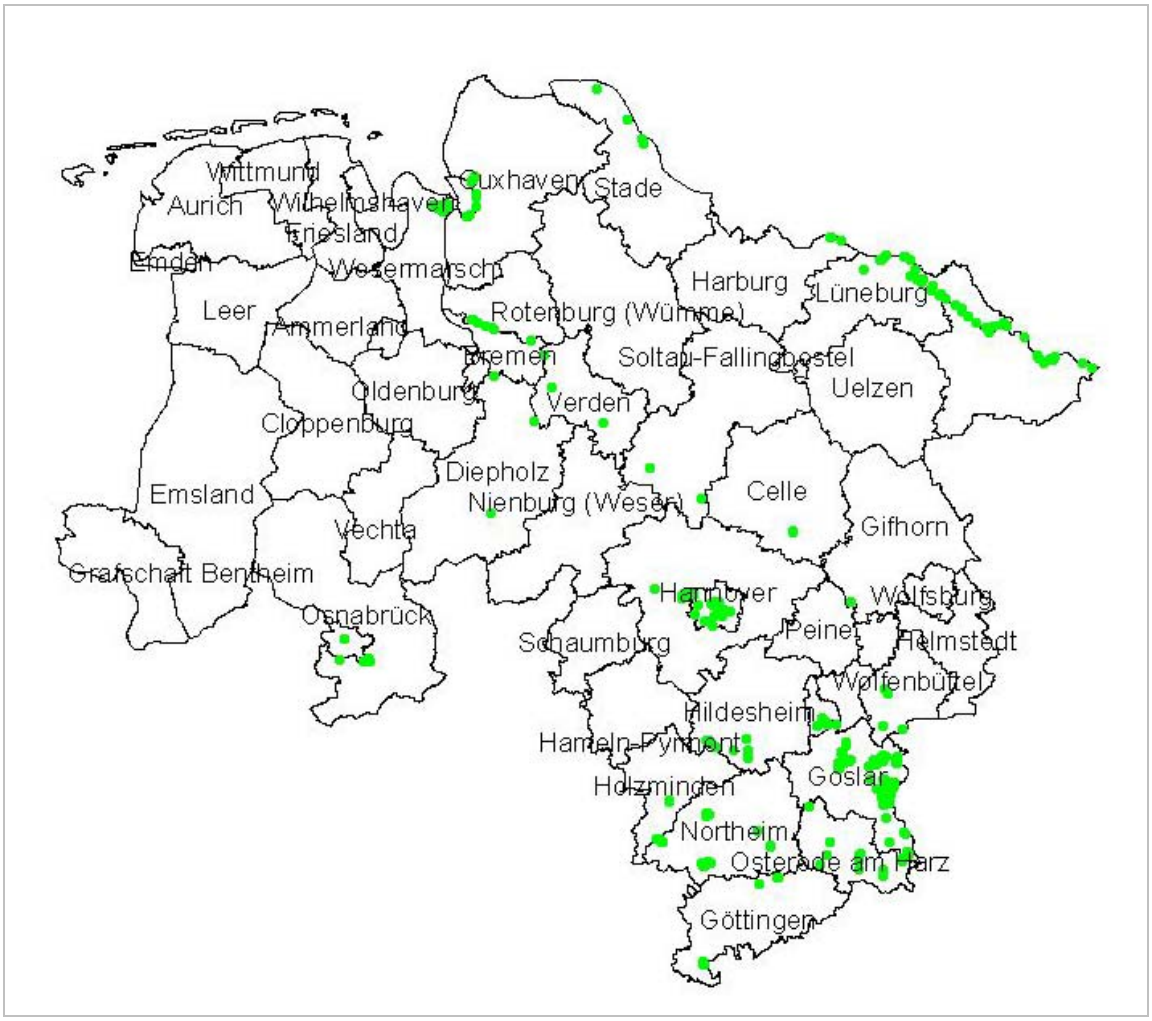

Abb. 7: Lagepunkte mit Überschreitungen der Vorsorgewerte Cadmium und Blei für Sand, Lehm/Schluff und Ton.

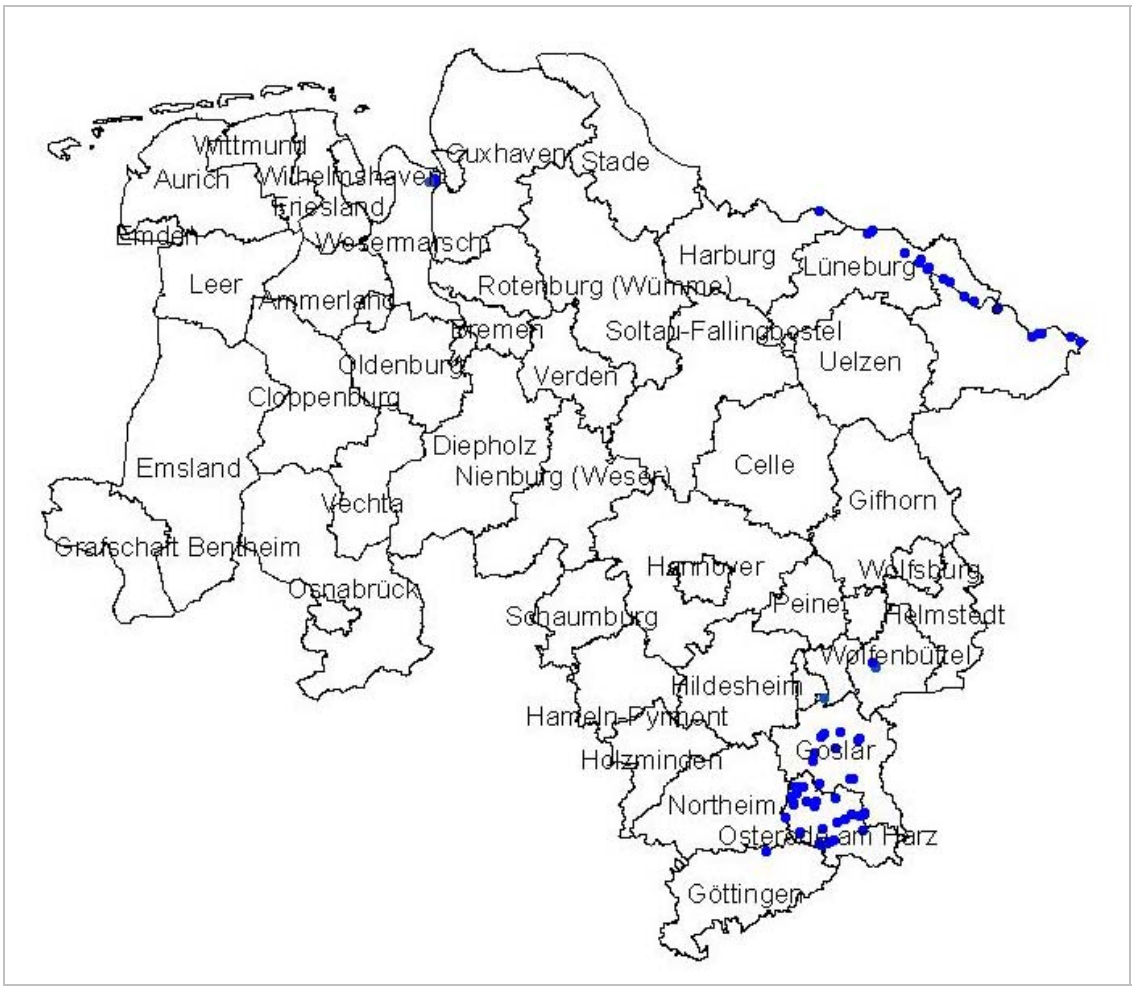

Abb. 8: Lagepunkte mit Überschreitungen der Maßnahmenwerte für Cadmium für Grünland.

Obwohl lokale Kontaminationen für die Ermittlung von Hintergrundgehalten explizit ausgeschlossen werden (s. o), sind gerade diese Datenbestände als Indizien für Bodenbelastungen wertvoll. Aktuelle Auswertungen für das Niedersächsische Umweltministerium bestätigen, dass eine Überschreitung sowohl der bodenartenspezifischen Vorsorgewerte als auch nutzungsdifferenzierter Prüf- bzw. Maßnahmenwerte (vgl. Abb. 8) in Niedersachsen im Wesentlichen auf Gebiete beschränkt ist, die durch Einträge über den Luft- bzw. Wasserpfad gekennzeichnet sind.

3.3 Handlungsempfehlungen/ Maßnahmen

Die folgenden Handlungsempfehlungen/Maßnahmen beziehen sich darauf, den vorgestellten Bodenqualitätsstandards Rechnung zu tragen und damit der gesetzlichen Forderung nach einer nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen bzw. der Abwehr schädlicher Bodenveränderungen Folge zu leisten.

3.3.1 Bodenauftrag

Das Auf- und Einbringen von Bodenmaterialien ist prinzipiell zulässig, wenn die fachlichen und rechtlichen Vorgaben eingehalten werden. So ist im Zuge von Bodenauftragsmaßnahmen u. a. sicherzustellen, dass keine schädlichen Bodenveränderungen hervorgerufen werden, dass Bodenfunktionen nachhaltig gesichert werden und die Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis eingehalten werden. Bodenauftrag ist nicht angeraten, wenn das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu besorgen ist, z. B. wenn Schadstoffgehalte im Boden die Bodenqualitätsstandards für Schwermetalle (vgl. Tab. 1) überschreiten oder eine erhebliche Anreicherung anderer Schadstoffe erfolgt, die zwar nicht als Vorsorgewerte geregelt sind, jedoch auf Grund ihrer toxischen, kanzerogenen oder weiterer negativer Eigenschaften die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze gefährden.

Bei landwirtschaftlicher Folgenutzung wird die Vorsorgepflicht für das Auf- und Einbringen von Bodenmaterialien dahingehend spezifiziert, dass in der neu entstandenen durchwurzelbaren Bodenschicht die Schadstoffgehalte 70 % der Bodenqualitätsstandards für Schwermetalle (vgl. Tab. 1) nicht überschreiten dürfen. Um dieses Ziel auch dann verwirklichen zu können, wenn in dem aufzutragenden Material die bodenartenspezifischen Vorsorgewerte überschritten werden, müssen die entsprechenden Mengen klar begrenzt werden. Kann dieses sichergestellt werden, wird neben den Bodenqualitätsstandards für Schwermetalle auch der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft und dem vorsorgenden Verbraucherschutz Rechnung getragen.

Neben den prinzipiellen Anforderungen sind natürlich auch Ausnahmen von der Regel zulässig und sinnvoll, so z. B. in Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten, wo hinsichtlich des Bodenqualitätszielstandards für Schwermetalle (lediglich) sicherzustellen ist, dass insbesondere die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird.

3.3.2 Klärschlamm und Wirtschaftsdünger

In der Diskussion über mögliche Schwermetallanreicherungen der Böden wird häufig an erster Stelle die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung genannt. Inzwischen, d. h. seit Inkrafttreten der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) im Jahr 1992, haben die Gehalte der Klärschlämme an Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber stark abgenommen und liegen im Bereich der Vorsorgewerte für Böden. Bezieht man die Cadmiumgehalte auf die jeweiligen Gehalte an dem Pflanzennährstoff Phosphor, sind die Frachten geringer, als bei einer vergleichbaren Düngung mit Komposten oder den meisten mineralischen Phosphordüngern. Eine Anreicherung von Schwermetallen im Boden ist aus heutiger Sicht am ehesten im Falle von Kupfer und Zink, über die Düngung mit Klärschlamm sowie Schweinegülle zu erwarten. Ein wirksames Regulativ für die Begrenzung der Schwermetallfrachten ist neben der Verringerung der Schwermetallgehalte über die Festsetzung von Grenzwerten die strikte Ausrichtung der Düngermengen am tatsächlichen Düngebedarf (MERKEL 2005).

3.3.3 Anbauempfehlungen im Hinblick auf Lebensmittel- und Futtermittelqualität

Der Umgang mit schwermetallbelasteten Böden im Rahmen der Lebensmittel- bzw. Futtermittelerzeugung berührt mehrere unterschiedliche Rechtsbereiche. Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat in einem Merkblatt grundsätzliche Empfehlungen zusammengestellt (s. Anhang).

In der Bundes-Bodenschutzverordnung sind Bodenwerte für den Anbau von Nutzpflanzen auf Acker und Grünland sowie in Nutzgärten aufgeführt, bis zu deren Erreichen die Pflanzenqualität bzw. die Vermeidung von Wachstumsbeeinträchtigungen eingehalten wird (vgl. Tab. 9 und 10 im Anhang). Für Grünlandwerte werden im Bodenschutzrecht Maßnahmenwerte zur Gewährleistung der futtermittelrechtlich begründeten Pflanzenqualität aufgeführt. Bei Überschreitung dieser Maßnahmenwerte kommen zur Gefahrenabwehr auf landwirtschaftlichen Flächen vorrangig Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Betracht.

Im Lebensmittelrecht legt die EU-Kontaminantenverordnung unter anderem für Cadmium, Blei, Quecksilber und Dioxine Höchstgehalte für verschiedene pflanzliche Lebensmittel fest (Tab. 4).

Zur Beurteilung der Eignung von Futtermitteln sind unter anderem die Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen entsprechend der Futtermittelverordnung heranzuziehen. Dort werden für Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Dioxine Höchstgehalte vorgegeben (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Verordnung (EG-Nr. 1881/2006) zur Festsetzung der Höchstgehalte für Cadmium und Blei in Lebensmitteln; Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln, EG-Richtlinie 2002/32/EG (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT 2002).

Element	**Erzeugnis**	**Höchstgehalt bei Lebensmitteln in mg/kg Frischgewicht, bei Futtermitteln in mg/kg bei 12 % Feuchte**
Cadmium	**Lebensmittel**	
	Getreide, ausgenommen:	0,10
	– Kleie, Keime, Weizen und Reis	0,20
	Futtermittel	
	Futtermittelausgangserzeugnisse pflanzlichen Ursprunges	1,0
Blei	**Lebensmittel**	
	Getreide, Hülsengemüse und Hülsenfrüchte	0,20
	Futtermittel	
	Futtermittelausgangserzeugnisse, ausgenommen:	10,0
	– Grünfutter	30,0

Auf Flächen mit erhöhten Schadstoffgehalten muss der Landwirt pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstofftransfers vom Boden in die Nutzpflanze prüfen und im Falle von bereits vorliegenden oder zu erwartenden Überschreitungen der Höchstgehalte nach Lebens- und Futtermittelrecht Maßnahmen ergreifen.

Geeignete Maßnahmen zur Minimierung des Schadstoffübergangs vom Boden in die Nutzpflanze sind zum Beispiel (vgl. Anhang):

- Optimierung des pH-Wertes,
- Düngung mit Wirtschaftsdünger (anstatt mit P-haltigen Düngemitteln),
- spezielle Anbauempfehlungen für den Getreideanbau sowie den Obst- und Gemüseanbau,
- verschmutzungsarme Grundfutterernte und Grünlandmanagement.

Weitergehende Hinweise sind im Anhang zusammengestellt.

4 Organische Schadstoffe

4.1 Einleitung

Organische Schadstoffe, die in den Böden Niedersachsens in unterschiedlichen Konzentrationen festzustellen sind, stammen in der Regel aus anthropogenen Quellen bzw. anthropogen initiierten Prozessen. Auffällige Gehalte chlorierter Kohlenwasserstoffe können z. B. durch industrielle Produktionsprozesse, Leckagen oder aus der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln resultieren. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) können u. a. auf unvollständige Verbrennungsprozesse zurückgeführt werden, und auch der Eintrag von Dioxinen und Furanen ist fast immer an industrielle Emissionen gebunden. Die organischen Schadstoffe sind im Boden vergleichsweise langlebig und stehen angesichts ihrer giftigen, Erbgut verändernden, Frucht schädigenden oder Krebs erzeugenden Eigenschaften oft im Mittelpunkt des Interesses.

4.2 Bodenqualitätsziele und Bodenqualitätsstandards

Von zentraler Bedeutung für den stofflichen Bodenschutz und damit auch für den Schutz der Böden vor der Belastung mit organischen Schadstoffen sind das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV). Das Bundes-Bodenschutzgesetz fordert die nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung der Funktionen des Bodens. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen sind ggf. zu sanieren, und darüber hinaus ist Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen.

4.2.1 Bodenqualitätsziele für organische Schadstoffe

Qualitätsziele für organische Belastungen sind in einer Reihe von grundsätzlichen Empfehlungen begründet. So fordert der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT BODENSCHUTZ (2000) die weitgehende Vermeidung von Schadstoffanreicherungen im Boden. Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages hat die Vermeidung oder fortlaufende Verringerung des Eintrages problematischer Stoffe empfohlen, damit Vorsorge gegen Gefahren getroffen und künftig ein Gleichgewicht zwischen dem Stoffeintrag und den Regelungsfunktionen des Bodens erreicht wird (ENQUETE-KOMMISSION 1998). Neben der Vermeidung anthropogener Stoffeinträge steht die Forderung nach einer Unterbindung von Stoffeinträgen in den Boden bei vorhandenen Belastungen im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Bodenbelastungen durch organische Schadstoffe sollen soweit wie möglich verhindert bzw. vermindert werden. Dort, wo bereits erhebliche Bodenbelastungen bestehen, sollen den Boden belastende Nutzungen/ Stoffeinträge vermieden bzw. vermindert werden.

Abb. 9: Qualitätsziele für Bodenbelastungen mit organischen Schadstoffen.

4.2.2 Bodenqualitätsstandards für organische Schadstoffe

Seit 1999 werden in der Bundes-Bodenschutzverordnung für einige organische Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen Qualitätsstandards bundeseinheitlich geregelt, auf die sich vorliegendes Bodenqualitätszielkonzept beschränkt:

- Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Sie stammen aus der industriellen Produktion und können bei technischen Havarien lokal in den Boden eingetragen werden. Ubiquitär erfolgt der Eintrag aber über den Luft- und Wasserpfad.
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) werden größtenteils durch Verbrennungsprozesse in die Umwelt freigesetzt. Dies betrifft sowohl die industriespezifische Aufbereitung fossiler Energieträger, aber auch Hausbrand, Verkehr etc. Der Eintrag in den Boden geschieht vornehmlich über den Luftpfad und über partikelgebundene Stoffeinträge. Lokal erhöhte

Konzentrationen können z. B. in Böden festgestellt werden, auf die größere Aschenmengen ausgebracht wurden (Köhlerplätze, Osterfeuer etc.). Im Boden werden die PAK an die organische Substanz gebunden und weisen nur eine geringe Mobilität auf. Unter den weit über 100 PAK gibt es eine Reihe von sehr giftigen und krebserregenden Stoffen (vgl. LITZ 1990).

- Zu den bekanntesten PAK zählt das Benzo(a)pyren (B(a)P). Dabei handelt es sich um einen aromatischen Kohlenwasserstoff, der z. B. im Steinkohlenteer vorkommt.

Mit der Verabschiedung der BBodSchV ist es – zumindest für diese drei Stoffe bzw. Stoffgruppen – erstmals gelungen, für das Umweltmedium Boden bundesweit einheitliche Standards zu verabschieden. Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen nach § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist in der Regel zu besorgen, wenn

1. Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die Vorsorgewerte (vgl. Tab. 5) überschreiten, oder
2. eine erhebliche Anreicherung von anderen Schadstoffen erfolgt, die aufgrund ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden, fortpflanzungsgefährdenden oder toxischen Eigenschaften in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Bodenveränderungen herbeizuführen.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV sind unter Berücksichtigung ökotoxikologischer Aspekte abgeleitet und grenzen den für alle Wirkungspfade und Bodenverhältnisse geltenden Bereich unbedenklicher Schadstoffkonzentrationen (Unbedenklichkeitsbereich) in Böden vom Bereich der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung (Besorgnisbereich) ab (vgl. LABO 2003).

Tab. 5: Vorsorgewerte nach BBodSchV für organische Stoffe (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden).

Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB_6)	Benzo(a)pyren	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK_{16})
Humusgehalt > 8 %	0,1	1	10
Humusgehalt ≤ 8 %	0,05	0,3	3

Im Vergleich zu den Schwermetallen (vgl. Kapitel 3) fällt auf, dass von der Vielzahl der organischen Schadstoffe nur eine geringe Parameteranzahl geregelt ist. Zur Bewertung weiterer organischer Schadstoffe können u. a. die Ableitungen und Berechnungen von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden-Mensch herangezogen werden.

Als Qualitätsstandard für die Belastung der Böden mit organischen Schadstoffen werden die Vorsorgewerte nach BBodSchV herangezogen.

Abb. 10: Qualitätsstandards für organische Belastungen – Vorsorgewerte.

4.3 Darstellung des Ist-Zustandes niedersächsischer Böden

Die Einschätzung der Bodenbelastungssituation für die organischen Schadstoffe in Niedersachsen gestaltet sich vergleichsweise schwierig. Zwar existieren relevante Datenbestände im Fachinformationssystem Boden des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®) beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, doch sind diese – nicht zuletzt bedingt durch die z. T. recht erheblichen Analysenkosten – deutlich weniger umfangreich als beispielsweise die Anzahl der Schwermetallbefunde.

Eine zusammenfassende Auswertung der Messwerte wurde u. a. bisher nicht durchgeführt, da sich ein Teil der vorliegenden Analysewerte auf unterschiedliche Untersuchungszeiträume bezieht und somit eine unmittelbare Vergleichbarkeit (verschiedene Laboratorien, z. T. abweichende Untersuchungsverfahren, z. T. unterschiedliche Beprobungstiefen) nicht in jedem Fall gegeben ist. Dies liegt auch darin begründet, dass die Verfahrensstandardisierung im Bereich Schwermetalle gut 10 bis 15 Jahre früher erfolgte, als im Bereich der Organika.

Zur Kennzeichnung der landesweiten Bodenbelastung mit organischen Schadstoffen wird deshalb der unter weitestgehend einheitlichen Bedingungen erhobene Teildatenbestand von niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) herangezogen. Im Rahmen dieses Monitoringprogramms werden alle 10 Jahre insgesamt 90 repräsentativ ausgewählte Standorte des Landes nach nutzungsbezogener, einheitlicher Methodik beprobt und bezüglich ihrer Belastung an organischen Schadstoffen untersucht (KLEEFISCH & KUES 1997).

4.3.1 Hintergrundbelastung

Die in Tabelle 6 aufgeführten Hintergrundwerte niedersächsischer Böden beschreiben repräsentativ die Stoffkonzentrationen von nicht spezifisch belasteten Böden (vgl. LABO 2003), die über das Spektrum der gesetzlich geregelten Qualitätsstandards hinausgehen. Sie kennzeichnen daher die landesweite Hintergrundbelastung durch den ubiquitären, diffusen Eintrag von organischen Schadstoffen in die Böden.

Tab. 6: Hintergrundwerte für organische Schadstoffe in niedersächsischen Böden, Erhebungszeitraum 1991 – 2004. Für die dunkler hinterlegten Stoffgruppen liegen Vorsorgewerte in der BBodSchV vor (Quelle: Landwirtschaftlich genutzte Böden: LABO 2003, eigene Auswertungen des LBEG, Forstböden: FORTMANN & MEESENBURG 2007).

a) PCB und PAK

		PCB	PAK_{16}	B(a)P	Flu	BbFA	BkFA	BghiP	Ipyr
		[µg/kg]							
Acker Oberboden[1)]									
Probenzahl (n)		24	24	24	24	24	24	24	24
Typ A[2)]	**50. P.**	0	315	21	54	28	30	14	23
	90. P.	13	781	73	95	108	77	35	48
Probenzahl (n)		168	156	156	160	160	160	160	160
Typ B[3)]	**50. P.**	2	125	7	14	19	10	9	10
	90. P.	2	199	19	36	49	29	19	21
Grünland Oberboden[4)]									
Probenzahl (n)		43	40	40	38	38	38	38	38
Typ B[3)]	**50. P.**	0	248	14	23	21	10	15	21
	90. P.	5	595	48	120	117	67	59	66
Forst Humusauflage L/Of-Lage									
Probenzahl (n)		85	47	85					
Typ B[3)]	**50. P.**	22	763	60					
	90. P.	56	1944	427					
Forst Humusauflage Oh-Lage									
Probenzahl (n)		69	40	67					
Typ B[3)]	**50. P.**	18	3 107	200					
	90. P.	57	10 928	800					
Forst Oberboden[5)]									
Probenzahl (n)		173	93	173					
Typ B[3)]	**50. P.**	< 12	171	9					
	90. P.	< 12	1 254	108					

Abkürzungen

PCB: Summe der 6 polychlorierten Biphenyle (PCB_6) nach BALLSCHMITER (1988)
PAK_{16}: Summe PAK_{16} nach EPA-Liste
B(a)P: Benzo(a)pyren
Flu: Fluoranthen
BbFA: Benzo(b)fluoranthen
BkFA: Benzo(k)fluoranthen
BghiP: Benzo(g.h.i.)perylen
Ipyr: Indenopyren

Anmerkungen

[1)] Probenahme: 0 – 20 cm
[2)] Gebietstyp Typ A: „urban“ (Kreistypen 1 und 5 nach BFLR (1992), kreisfreie Städte über 100 000 Einwohner)
[3)] Gebietstyp Typ B: „ländlich“ (Kreistypen 3, 4, 6, 7, 8 und 9 in Regionentyp I, II und III nach BFLR (1992))
[4)] Probenahme: ohne Moorböden, Probennahmetiefe: 0-10 cm ohne Wurzelfilz, PAK_{16} und B(a)P: 0-10 cm
[5)] Probenahme: Mineralboden 0 – 10 cm

Tab. 6 (Fortsetzung).

b) HCB und HCH

		HCB	HCH	α-HCH	β-HCH	δ-HCH	γ-HCH
		[µg/kg]					
Acker Oberboden[1)]							
Probenzahl (n)		196	96	196	196	96	196
	50. P.	< 2	0	< 2	< 2	< 2	< 2
	90. P.	6	7	< 2	< 2	< 2	2
Grünland Oberboden[2)]							
Probenzahl (n)		48	32	48	48	32	48
	50. P.	< 2	0	< 2	< 2	< 2	< 2
	90. P.	2	2	< 2	< 2	< 2	< 2
Forst Humusauflage L/Of-Lage							
Probenzahl (n)		85	85	85	85		85
	50. P.	4	13	< 2	3		5
	90. P.	28	56	5	11		32
Forst Humusauflage Oh-Lage							
Probenzahl (n)		67	67	67	67		67
	50. P.	2	5	< 2	< 2		< 2
	90. P.	11	23	4	9		13
Forst Oberboden[3)]							
Probenzahl (n)		173	173	173	173		173
	50. P.	< 2	< 6	< 2	< 2		< 2
	90. P.	< 2	6	< 2	3		< 2

Abkürzungen

HCB: Hexachlorbenzol

HCH: Hexachlorhexan (Summe (α-, β-, δ-, γ-HCH (Lindan))

Anmerkungen

[1)] Probenahme: 0 – 20 cm

[2)] Probenahme: 0 – 10 cm ohne Wurzelfilz, ohne Moorböden

[3)] Probenahme: Mineralboden 0 – 10 cm

Tab. 6 (Fortsetzung).

c) DDT, DDD und DDE

		DDT	DDD	DDE
		[µg/kg]		
Forst Humusauflage L/Of-Lage				
Probenzahl (n)		85	85	85
	50. P.	9	< 2	4
	90. P.	98	12	14
Forst Humusauflage Oh-Lage				
Probenzahl (n)		67	67	67
	50. P.	14	< 2	5
	90. P.	136	11	20
Forst Oberboden[1)]				
Probenzahl (n)		173	173	173
	50. P.	< 2	< 2	< 2
	90. P.	6	< 2	3

Abkürzungen

DDT: 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan

DDD: 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan

DDE: 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethen

Anmerkungen

[1)] Probenahme: Mineralboden 0 – 10 cm

d) Dioxine und Furane (PCDD/PCDF, mit Gebietsdifferenzierung)

		PCDD/F[5)]
		I-Teq [ng/kg]
Acker Oberboden[1)]		
Probenzahl (n)		20
Typ A[2)]	**50. P.**	2,85
	90. P.	3,72
Probenzahl (n)		170
Typ B[3)]	**50. P.**	1,20
	90. P.	2,60
Grünland Oberboden[4)]		
Probenzahl (n)		54
Typ B[3)]	**50. P.**	3,95
	90. P.	7,54

Anmerkungen

[1)] Probenahme: 0 – 20 cm

[2)] Gebietstyp Typ A: „urban“ (Kreistypen 1 und 5 nach BFLR (1992), kreisfreie Städte über 100 000 Einwohner)

[3)] Gebietstyp Typ B: „ländlich“ (Kreistypen 3, 4, 6, 7, 8 und 9 in Regionentyp I, II und III nach BFLR (1992))

[4)] Probenahme: 0 – 10 cm ohne Wurzelfilz, ohne Moorböden

[5)] Elementwerte < Nachweisgrenze sind auf 0 gesetzt

Da bei organischen Schadstoffen eine geogene Herkunft auszuschließen ist, kann im Gegensatz zu den Schwermetallen auf die Differenzierung nach Ausgangsgesteinen verzichtet werden. Wichtig ist jedoch die Differenzierung von Acker-, Grünland- und Waldstandorten, da die aus der Atmosphäre eingetragenen Schadstoffe durch das Pflügen der Ackerstandorte in die Krume eingearbeitet werden und somit zu niedrigeren Schadstoffkonzentrationen im Oberboden führen. Auf Grünland- und Waldstandorten fehlt diese Durchmischung mit dem Ergebnis einer größeren Stoffakkumulation in den Oberböden bzw. in der Humusauflage der Waldböden.

Weiterhin wird durch die vorgenommene Gebietsdifferenzierung berücksichtigt, dass aus den höheren Emissionsraten in Verdichtungsräumen im Allgemeinen höhere Schadstoffkonzentrationen resultieren als in ländlichen Gebieten. Bei kleinen Stichprobenumfängen wurde auf eine Gebietsdifferenzierung verzichtet. Bei den Waldstandorten wurde keine Gebietsdifferenzierung vorgenommen, da sie ausschließlich in Reinluftgebieten fern ab von Ballungsräumen liegen.

Eine Bewertung der Hintergrundbelastung kann beispielhaft für die nach BBodSchV geregelten Parameter PAK_{16}, B(a)P und PCB_6 vorgenommen werden (vgl. Abb. 11). In praktisch allen Fällen liegen die Hintergrundbelastungen der Böden deutlich unter dem Qualitätsstandard des Vorsorgewertes der BBodSchV. Einzige Ausnahme bilden die Oh-Horizonte der Humusauflage in Waldböden, deren PAK_{16}-Konzentrationen den Vorsorgewert rechnerisch überschreiten. Bei der Interpretation dieses Befundes ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Vorsorgewerte der BBodSchV primär für mineralische Feinböden entwickelt wurden und eine Anwendung auf die Humusauflage von Waldböden nicht ohne weiteres möglich ist. Gleichwohl zeigen die Befunde, dass von allen Böden Niedersachsens die Humusauflagen der Waldböden Hintergrundbelastungen erreichen, die in die Nähe des Besorgnisbereiches rücken. Von daher verlangt die weitere Schadstoffentwicklung in der Humusauflage von Waldböden eine intensive Beobachtung (vgl. auch FORTMANN & MEESENBURG 2007).

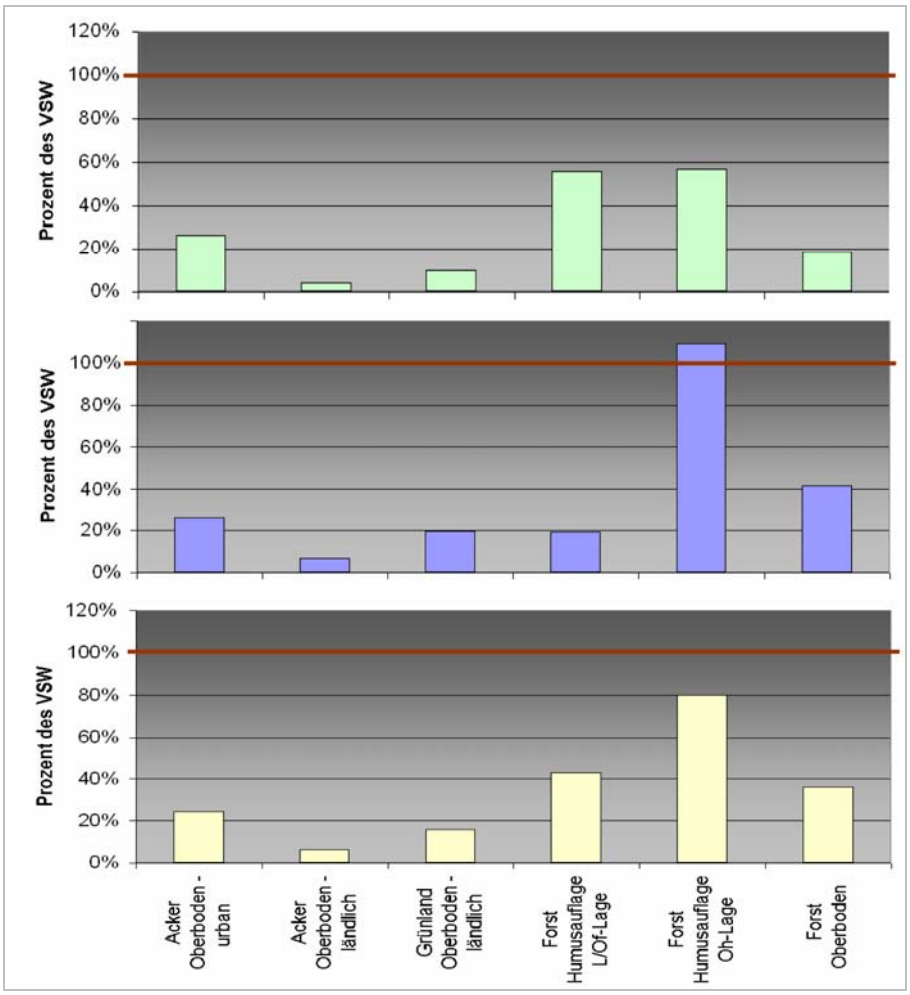

Abb. 11: Vergleich der niedersächsischen Hintergrundwerte mit Vorsorgewerten (VSW) nach BBodSchV; dargestellt sind die Werte des 90. Perzentils nach Tab. 6a.

4.3.2 Bodenbelastung an repräsentativen Standorten

Die Auswahl der oben erwähnten 90 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) erfolgte nach den Kriterien der Boden-, Nutzungs- und Belastungsrepräsentanz: Neben einer Auswahl repräsentativer Bodenformen unter verschiedener Nutzung wurden BDF in verschiedenen typischen Belastungssituationen eingerichtet (Stoffeinträge aus Luft- und Wasserpfad und Bewirtschaftung), an denen die Hintergrundbelastung überschritten wird. In ihrer Gesamtheit repräsentieren damit die Befunde der 90 BDF das Spektrum der Bodenbelastung niedersächsischer Böden (KLEEFISCH & KUES 1997, NLFB 2005).

Die Bewertung der nachgewiesenen Schadstoffkonzentrationen erfolgt hier – je nach Verfügbarkeit von Qualitätsstandards – unter Bezug auf verschiedene Referenzwerte.

Belastung mit PCB_6, PAK_{16} und Benzo(a)pyren

Für die Gruppe PCB_6, PAK_{16} und Benzo(a)pyren gibt die BBodSchV Qualitätsstandards in Form der Vorsorgewerte vor (vgl. Tab. 5). Diese werden daher in Abbildung 12 und Abbildung 13 als Referenzwert für die Bewertung der Bodenbelastung auf den land- und forstwirtschaftlichen BDF herangezogen. Bewertet wird die Schadstoffkonzentration im jeweils maximal belasteten Bodenhorizont (Mineralböden und Humusauflage).

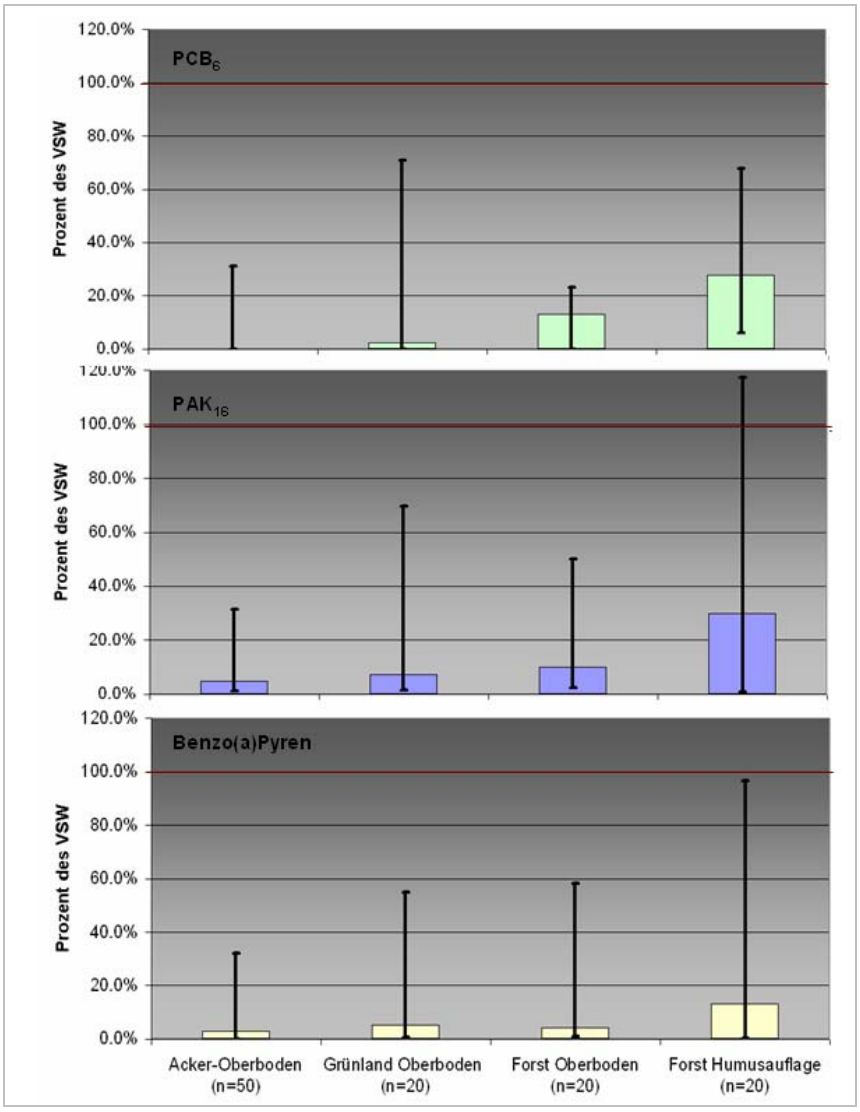

Abb. 12: Spektrum der Bodenkonzentrationen von PCB_6, PAK_{16} und Benzo(a)pyren auf 90 niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Relation zu den Vorsorgewerten (VSW) der BBodSchV (vgl. Tab. 5). Dargestellt ist neben dem Median der Minimum- und Maximumwert aller BDF einer Standortgruppe.

Es zeigt sich, dass auf keiner der landwirtschaftlich genutzten BDF die Vorsorgewerte (VSW) überschritten werden. Die häufigsten Konzentrationswerte liegen deutlich unterhalb der Hälfte des Vorsorgewertes. Die höchsten Konzentrationen finden sich auf der im Wendland gelegenen BDF Gorleben im Überschwemmungsbereich der Elbe. Hier wird aufgrund des Eintrags schadstoffhaltiger Elbsedimente die Hälfte des Vorsorgewertes für PCB_6, PAK_{16} und B(a)P überschritten. Die größte PCB-Konzentration findet sich auf einer im innerstädtischen Bereich von Osnabrück gelegenen immissionsbelasteten Parkfläche, hier werden 70 % des VSW erreicht.

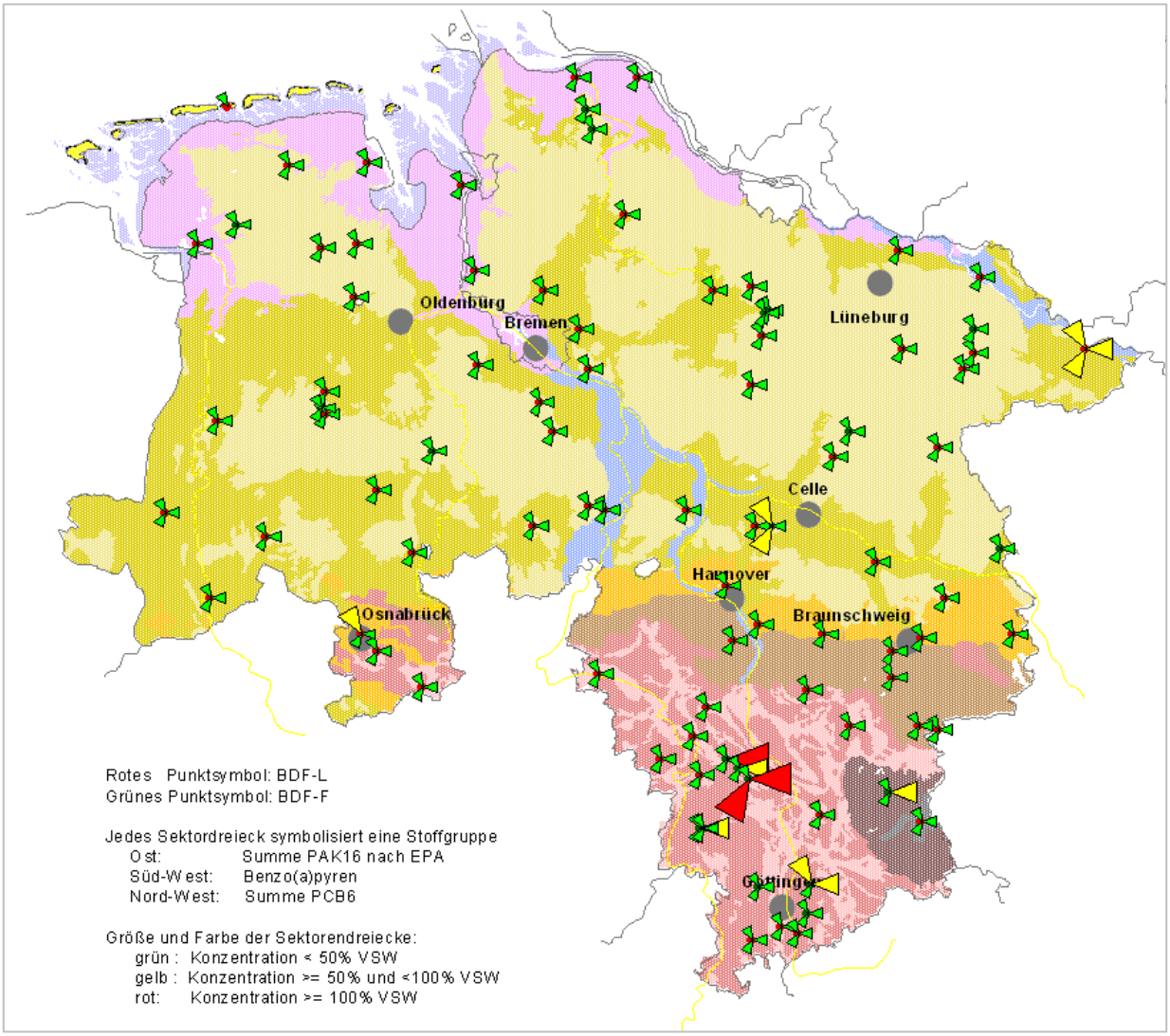

Abb. 13: PCB_6, PAK_{16} und Benzo(a)pyren in den Böden den land- und forstwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF-L und BDF-F) im Vergleich zu den gesetzlich geregelten Vorsorgewerten nach BBodSchV. Bewertet ist die Schadstoffkonzentration im jeweils maximal belasteten Bodenhorizont (Mineralboden und Humusauflage), die Probennahme erfolgte in den Jahren 1991 bis 2004.

In allen Forstböden finden sich entsprechend den Befunden zur Hintergrundbelastung die höchsten Stoffkonzentrationen in der Humusauflage, wobei Nadelwaldstandorte tendenziell höhere Konzentrationen aufweisen als Laubwaldstandorte (vgl. FORTMANN & MEESENBURG 2007).

An zwei mit Fichten bestockten Standorten im Hils (Hilskamm und Hilsmulde) überschreiten die Stoffkonzentrationen der Humusauflage die PAK_{16}-VSW der BBodSchV, wobei am Standort Hilsmulde auch der Benzo(a)pyren-VSW überschritten wird. An vier weiteren Waldstandorten wurde die Hälfte des PAK_{16}-VSW überschritten, an zwei weiteren Standorten die Hälfte des Benzo(a)pyren-VS-Wertes. Der PCB_6-VSW wird in der Humusauflage der Waldböden nicht überschritten. Die höchsten PCB_6-Konzentrationen finden sich auf zwei Kiefernstandorten im südniedersächsischen Bergland und im niedersächsischen Tiefland. Hier liegen die Befunde oberhalb der Hälfte des Vorsorgewertes.

Alle Oberbodenkonzentrationen (in 0 – 10 cm Tiefe) liegen auf den Waldstandorten unterhalb der VSW, mit zwei Ausnahmen sogar unterhalb der Hälfte der VSW. Nur auf einem Buchenstandort im Solling werden – vermutlich

aufgrund von historischer Köhleraktivität auf dieser Fläche – die Hälfte des PAK_{16}-VS-Wertes und auf einer kiefernbestandenen Fläche in der Nordwestdeutschen Tiefebene die Hälfte des Benzo(a)pyren-VS-Wertes überschritten.

Belastung mit Dioxinen und Furanen

Neben den Stoffen, für die die BBodSchV bereits Bodenqualitätsstandards in Form von Vorsorgewerten (vgl. Kapitel 4.2.2) vorgibt, sind weitere organische Schadstoffe für die Umwelt von Belang, wie z. B. Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD), kurz Dioxine, und Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF), kurz Furane, die zu den giftigsten anthropogenen Substanzen gehören. Sie gelten als unerwünschte Nebenprodukte industrieller Produktion und können in der Chlorchemie oder durch Verbrennungsprozesse (Müllverbrennung, Kabelverschwelung etc.) freigesetzt werden. Dioxine und Furane werden in der Regel über den Luftpfad, den Wasserpfad oder Partikel gebunden (z. B. Kieselrot) in den Boden eingebracht.

In Niedersachsen liegen Untersuchungen zum Vorkommen von Dioxinen und Furanen durch eine Reihe regionaler Untersuchungen vor (vgl. u. a. MÜLLER et al. 1992, SCHULZ et al. 1993, SEVERIN et al. 2003).

Im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung werden auf landwirtschaftlich genutzten Standorten kontinuierliche Untersuchungen zur Belastung der Böden mit Dioxinen und Furanen durchgeführt. In der Regel sind die Belastungen gering, wobei auch hier der Verdünnungseffekt der Bodenbearbeitung auf Ackerstandorten zu niedrigeren Konzentrationen führt als auf Grünlandstandorten (vgl. Abb. 14).

Die maximale Ackerbodenkonzentration auf BDF tritt mit 18,8 [ng/kg] I-Teq[1] im immissionsbelasteten Schwerindustriegebiet Peine-Salzgitter auf. Alle andern Ackerstandorte weisen Konzentrationen < 5 [ng/kg] I-Teq auf.

Der insgesamt höchste Wert auf BDF ist mit 294,8 [ng/kg] I-Teq im Überschwemmungsbereich der Elbtalaue unter Grünlandnutzung zu verzeichnen. Hier ist es – wie auch in anderen Bereichen der Elbaue (s. u.) – durch langjährigen, hochwasserbedingten Schadstoffeintrag aus dem Industrierevier um Bitterfeld/Wolfen bzw. dem Einzugsgebiet der Mulde zu z. T. deutlichen Dioxinanreicherungen in den Böden gekommen.

[1] I-Teq: Internationale Toxizidätsäquivalente nach NATO/CCMS.

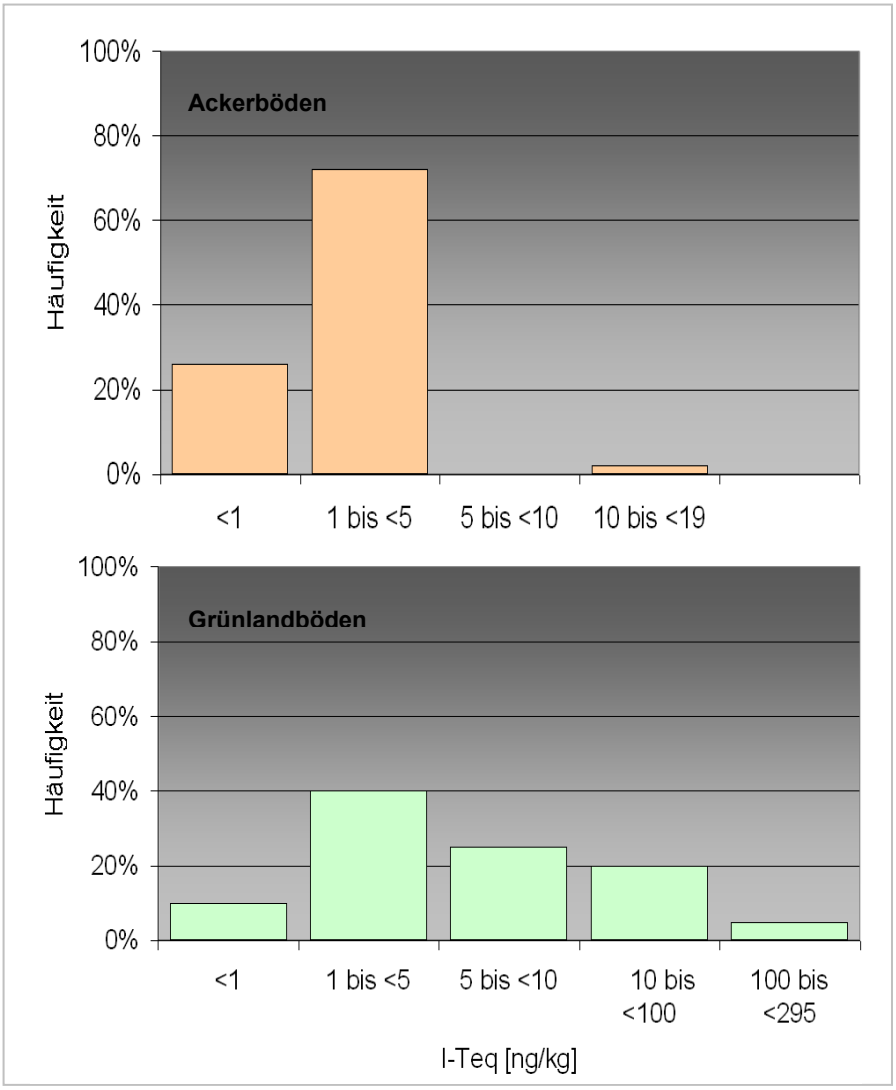

Abb. 14: Wertespektrum der Dioxin-/Furankonzentrationen in den Oberböden von 70 niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen; die Probennahme erfolgte in den Jahren 1994 bis 2002, Angaben in I-Teq (internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO/CCMS).

Für Dioxine und Furane sind in der BBodSchV keine Vorsorgewerte festgelegt, die für das Bodenqualitätszielkonzept übernommen werden konnten. Als Referenzwert der Bodenbelastung wurden zur Darstellung der regionalen Belastungsunterschiede in Abbildung 15 auch aus diesem Grund die Hintergrundwerte des ländlichen Raumes (vgl. Tab. 6d) herangezogen.

Als gesetzlicher Standard für Dioxine und Furane sind lediglich die Maßnahmewerte der BBodSchV benannt. Maßnahmewerte sind jedoch im Gegensatz zu den Vorsorgewerten, die den Bereich unbedenklicher Schadstoffkonzentrationen vom Besorgnisbereich abgrenzen, Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Nutzung in der Regel bereits von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind (vgl. LABO 2003).

Die nutzungsdifferenzierten Maßnahmewerte sind darüber hinaus lediglich für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke festgelegt. Für die im belasteten Überschwemmungsbereich der Elbtalaue dominierende landwirtschaftliche Grünlandnutzung existieren keine Festlegungen hinsichtlich der Dioxingehalte in der BBodSchV.

Die im Rahmen von konkreten Untersuchungen (vgl. SCHULZ et al. 1993, SEVERIN et al. 2003) festgestellten Dioxinbelastungen im Boden reichen in Teilgebieten an die Maßnahmenwerte für Kinderspielflächen heran.

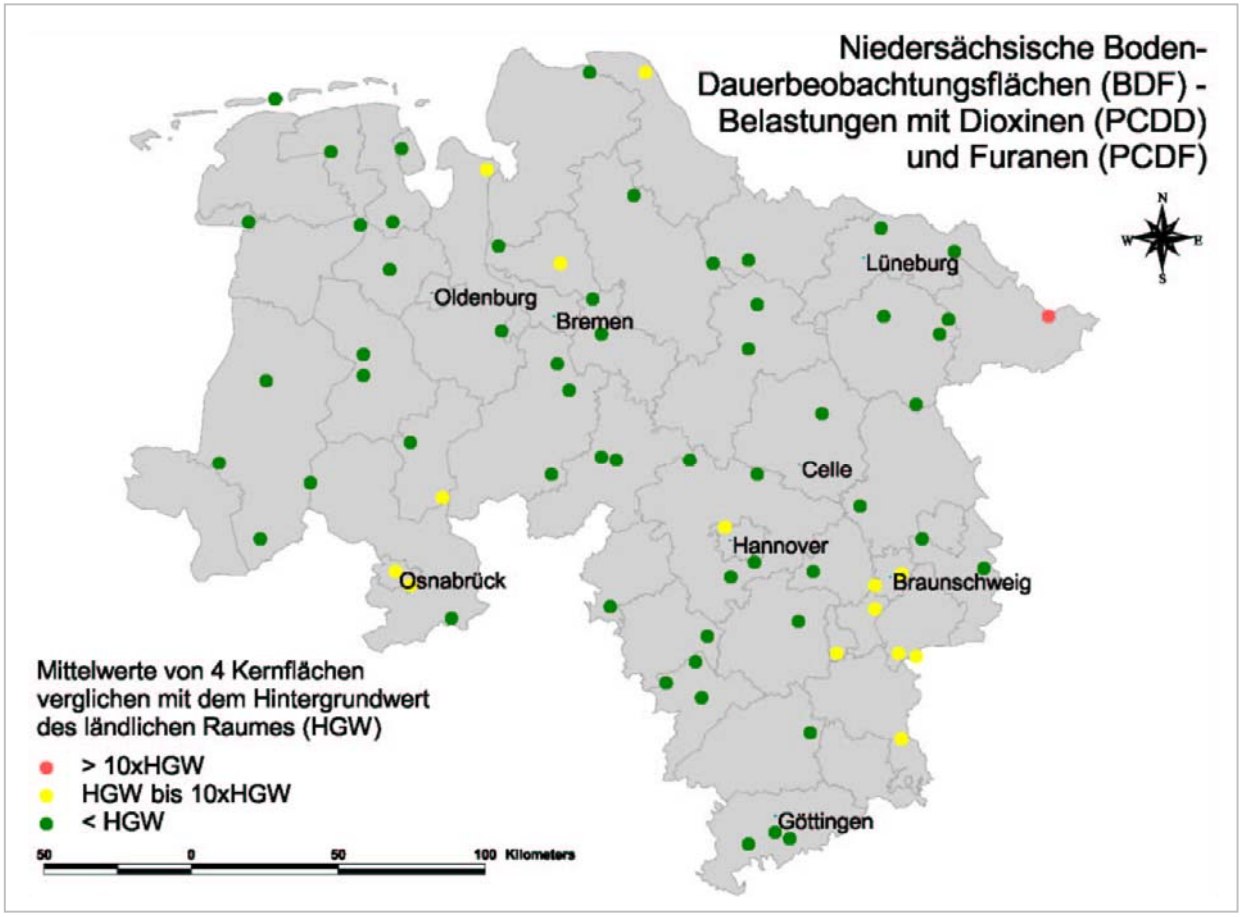

Abb. 15: Bodenbelastungen mit Dioxinen und Furanen auf niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen, bezogen auf die Hintergrundwerte des ländlichen Raumes (vgl. Tab. 6); die Probennahme erfolgte im Zeitraum zwischen 1994 und 2002.

Pestizide DDT, HCB, HCH (Lindan) in Waldböden

Die Belastung niedersächsischer Waldböden mit DDX (DDT und Metabolite DDD, DDE) liegt im oberen Bereich, diejenige von Lindan (γ-HCH) und HCB über anderweitig publizierten Gehalten. DDX, HCB und HCH sind im Boden des überwiegenden Anteils der niedersächsischen BDF-F nachweisbar (80 – 100 %). Böden unter Nadelbäumen, insbesondere unter Fichten sind meist höher mit DDX und HCB belastet als Böden unter Laubbäumen. Nur HCH konnte gleich häufig und in ähnlichen Konzentrationen unter Laub- und Nadelbaumbeständen gefunden werden. Insgesamt ist die Belastungssituation mit HCB, HCH und DDX sehr unterschiedlich.

Eine Verlagerung in größere Tiefen und damit potenzielle Gefährdung des Grundwassers ist für HCB und Lindan auszuschließen. DDX werden jedoch bis in größere Tiefe (50 cm) verlagert. Dabei ist das Ausmaß von den bodenchemischen Verhältnissen abhängig. Diese

Stoffe sind in Moor- und Sandböden besonders verlagerungsgefährdet. In Moorböden erhöhen Fulvo- und Huminsäuren die Löslichkeit von DDX. DDX wurden auf immerhin 25 % der Flächen in den Mineralboden bis in maximal 50 cm Tiefe verlagert, wobei die Verlagerbarkeit auf alle drei Isomere zutrifft.

Abnehmende Konzentrationen und Vorräte konnten bei fast allen hier untersuchten Stoffen bei 9 – 10 Jahre auseinander liegenden Inventuren gefunden werden (drei Flächen, zwei Inventuren, Zeitraum 1994 – 2004). So nahmen die Konzentrationen und Vorräte beim HCB um 10 – 70 %, bei den HCH um 50 – 90 % und beim DDT um 90 % ab. Die abnehmenden Konzentrationen aller untersuchten Stoffe sind auf Ausbringungsverbote zurückzuführen. In gut gepufferten Böden mit hoher mikrobieller Aktivität erfolgt der Abbau dieser Stoffe wesentlich schneller als in Böden mit hoher Azidität und geringer biologischer Aktivität.

4.4 Handlungsempfehlungen

Die PAK- und PCB-Bodenkonzentrationen landwirtschaftlich genutzter Böden liegen in Niedersachsen in aller Regel deutlich unterhalb der Vorsorgewerte der BBodSchV. Dies gilt sowohl für die Böden in Verdichtungsräumen wie auch im ländlichen Raum.

Der langjährige diffuse Eintrag von Schadstoffen in Waldböden hat zu einer Anreicherung dieser Stoffe in der Humusauflage der Böden geführt. Für die PAK_{16}-Konzentrationen muss davon ausgegangen werden, dass die Vorsorgewerte der BBodSchV in einigen niedersächsischen Wäldern überschritten werden. Die Frage, ob diese Anreicherung zukünftig anhält oder durch Abbauprozesse kompensiert wird, bedarf auch weiterhin einer intensiven Beobachtung.

In Gebieten mit erhöhten Bodenbelastungen an Dioxinen und Furanen, wie zum Beispiel in der Elbtalaue, empfehlen sich ggf. Anpassungen hinsichtlich der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzung. Die Landwirtschaftskammer Hannover hat ein Merkblatt zur Bewirtschaftung der Elbaußendeichsflächen erstellt, das allen betroffenen Betrieben zur Verfügung steht. Das Merkblatt enthält allgemeine Empfehlungen für die Beweidung, die Heu- und Silagegewinnung und die Grünlandpflege, deren Einhaltung das Risiko einer Schadstoffanreicherung in Futter- und Lebensmitteln vermindern soll, um den gesetzlichen Anforderungen des Futter- und Lebensmittelrechts gerecht zu werden.

5 Säurebildner

Bei der Besiedlung der Landschaft durch den Menschen wurden die besseren Böden in landwirtschaftliche Nutzung genommen; die schlechteren Böden wurden mit Wald belassen. Solange Holz der einzige Rohstoff für Energie und ein wichtiger Werkstoff war, wurden die Wälder häufig übernutzt, was im Mittelalter zu einer dramatischen Verschlechterung der ohnehin negativ ausgelesenen Waldböden führte. Darüber hinaus wurden mit der Streunutzung dem Waldboden Nährstoffe entnommen, um sie den Ackerböden zuzuführen. Die Folge davon war eine starke Bodenversauerung und Nährstoffverarmung der Waldböden. Erst mit dem Ersatz von Holz durch fossile Energieträger, der Verwendung von Mineraldüngern in der Landwirtschaft und der Verfügbarkeit neuer Werkstoffe war die Voraussetzung geschaffen, den Holzbedarf zu senken und die Waldbewirtschaftung besser dem Nährstoffnachlieferungsvermögen der Böden anzupassen.

Die Nutzung fossiler Energieträger und die damit verbundene Industrialisierung und Entwicklung in der Landwirtschaft waren für die Erholung der Waldböden sehr wichtig. Andererseits stellen diese Entwicklungen jedoch für die Waldböden auf anderem Wege eine Belastung dar. Durch den verstärkten Gebrauch fossiler Energieträger, den Einsatz von Hochtemperatur-Verbrennungsprozessen (Automotoren) sowie hohen Einsatz von Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft sind die Emissionen säurebildender Stoffe und deren luftgetragener Transport und Eintrag in die Waldböden übermäßig hoch. Darüber hinaus ist aus der Tendenz zu vermehrter Nutzung des Holzes als Energieträger eine in Zukunft vermehrt ablaufende Bodenversauerung zu erwarten.

Angesichts der Probleme, die mit der Versauerung der Waldböden verbunden sind, werden Qualitätsziele formuliert, an denen sich die Luftreinhaltepolitik sowie die Waldbewirtschaftung orientieren sollen.

5.1 Ist-Zustand der Bodenversauerung in Niedersachsen

5.1.1 Grundlagen

Unter Bodenversauerung wird der Rückgang der Säureneutralisierungskapazität im Boden verstanden, also des Vermögens, Säuren zu puffern. Die Säureneutralisierungskapazität charakterisiert neben anderen Merkmalen den Säure-Base-Zustand des Bodens. Ein weiteres Kennzeichen des Säure-Base-Zustandes sind die im Boden wirksamen Säuren (z. B. Kohlensäure, Salpetersäure). Einen Hinweis darauf liefern der pH-Wert des Bodens und sein Verhältnis zu der Stärke der im Boden vorhandenen Säuren (PRENZEL 1985).

In Abhängigkeit vom Vorkommen verschiedener Säure puffernder Substanzen (Karbonat, Silikat, Aluminium-Oxid, Eisenoxid) können in belüfteten Böden verschiedene Puffersysteme unterschieden werden (s. Tab. 7). Sie können im Rahmen der Bodenentwicklung teilweise oder vollständig durchlaufen werden. Angetrieben wird diese Entwicklung durch das Wirksamwerden der verschiedenen Säuren (Protonenquellen), wobei durch die Wirkung von Schwefelsäure und von Stickstoffverbindungen (Ammonium, Salpetersäure) der Boden stark versauern und niedrige pH-Werte erreichen kann. Ökotoxikologisch bedeutsam ist das Auftreten von Aluminium und Schwermetallen in der Bodenlösung, das im sauren Bereich (Aluminiumpufferbereich) erfolgt und dort von der Höhe der Anionenkonzentration (Chlorid [Cl], Sulfat [SO_4], Nitrat [NO_3]) abhängig ist. Erhöhte Schwermetall- und Aluminiumgehalte wiederum wirken auf verschiedene Organismengruppen in Böden toxisch. Die erhöhte Auswaschung von Pflanzennährstoffen (Calcium [Ca], Magnesium [Mg] und Kalium [K]) kann Nährstoffmangel oder -ungleichgewichte verursachen. Grund- oder Oberflächenwässer können durch die Versauerung in ihrer Qualität als Lebensraum für Organismen oder für die Trinkwasserversorgung beeinträchtigt werden.

Tab. 7: Säurepufferbereiche in belüfteten Böden nach ULRICH (1987).

pH-Wert	**8,6 – 6,2**	**6,2 – 5,0**	**5,0 – 4,2**	**4,2 – 3,8**	**< 3,8**
Pufferbereich	Kohlensäure-Karbonat	Kohlensäure-Silikat	Starke Säure-Austauscher	Starke Säure-Al-Oxid	Starke Säure-Fe-Oxid
Protonenquellen	Wurzel- u. Zersetzeratmung		Nitrifikation	NH_4-Aufnahme SO_2-Emission org. Substanz	
Pufferreaktion	Kalklösung	Silikat-verwitterung	Kationen-austausch	Tonmineral-verwitterung, Lösung von Al-Oxid	Lösung von Oxiden
Pufferkapazität	groß	mittel	klein	groß	mittel
Pufferrate	hoch	gering – mittel	gering	hoch	hoch
Zusammen-setzung der Bodenlösung	hohe Gehalte von Ca^{2+} und HCO_3^-	niedrige Gehalte von Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ und HCO_3^-	variable Gehalte von NO_3^-, Cl^- und SO_4^{2-} Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, $Al(OH)_n^{3-n}$	Al^{3+}	Fe^{3+}

5.1.2 Säureeintrag

Die Höhe der luftbürtigen Säureeinträge ist von den Emissionsschwerpunkten, den vorherrschenden Luftströmungen, den Ausbreitungseigenschaften der verschiedenen Stoffe und den Rezeptoreigenschaften der Ökosysteme abhängig. So ist mit höheren Depositionsraten in der näheren Umgebung und im Lee von Emittenten zu rechnen. Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxide (NO_x) werden über weite Strecken transportiert, während Ammoniak (NH_3) aufgrund seiner hohen Löslichkeit in Wasser verhältnismäßig schnell aus der Atmosphäre entfernt wird und damit einem weniger weiten Transport unterliegt. Wälder weisen aufgrund ihrer hohen Filterwirkung meist die höchsten Depositionen auf. Dabei haben immergrüne Nadelbaumbestände normalerweise eine höhere Filterleistung als sommergrüne Laubwälder. In exponierten Kammlagen werden höhere Depositionsraten beobachtet als in geschützten Tallagen.

In Niedersachsen ist die Höhe der Säureeinträge vor allem von der Niederschlagsmenge, der Waldverteilung, der Verteilung der Baumarten sowie der Bestandesstruktur abhängig. Beispielsweise sind die Einträge in die Wälder des südniedersächsischen Berglandes und im Harz besonders hoch, weil außer den höheren Niederschlägen auch oftmals Fichtenbestände anzutreffen sind, die eine besonders hohe Filterleistung aufweisen. Im Gegensatz dazu sind die Depositionen im ostniedersächsischen Tiefland relativ gering, weil hier die Niederschläge gering sind und häufig lichte Kiefernbestände vorherrschen, die zudem meist relativ jung und dem entsprechend niedrig sind. Besonders hohe Eintragsraten von Ammonium (NH_4) sind in den Gebieten mit intensiver Viehhaltung und Ausbringung von organischen Düngern zu finden (GAUGER et al. 2002). Derartige Gebiete sind in Niedersachsen vor allem der Weser-Ems-Raum und das Elbe-Weser-Dreieck.

Seit Beginn der Industrialisierung bis in die sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts nahmen die Säureeinträge überall in Mitteleuropa stark zu. Stickstoff und Schwefel sind die wichtigsten aus der Atmosphäre eingetragenen Säurebildner. Während noch in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts Schwefeleinträge die atmosphärische Stoffdeposition dominierten, haben mittlerweile die Stickstoffeinträge eine größere Bedeutung. Durch die Implementierung von Luftreinhaltemaßnahmen ist in den letzten Jahrzehnten ein Rückgang der Schwefelemissionen zu verzeichnen. In Niedersachsen konnte auf verschiedenen forstlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen seit Beginn der achtziger Jahre ein Rückgang der Schwefel-Deposition um mehr als 80 % beobachtet werden.

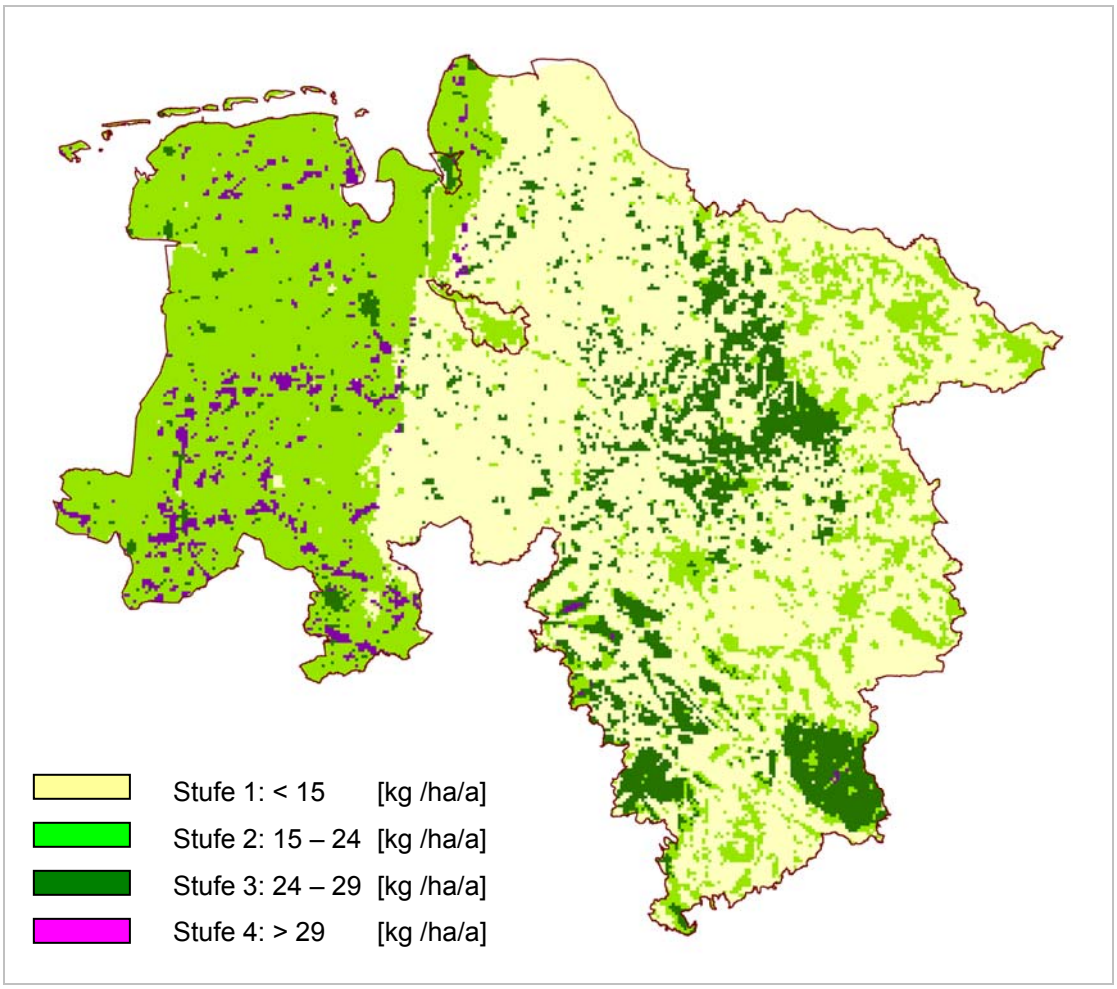

Abb. 16: Atmosphärischer Schwefeleintrag in Niedersachsen im Jahr 1999 (GAUGER et al. 2002).

Abbildung 16 zeigt die räumliche Verteilung des atmosphärischen Schwefeleintrags in Niedersachsen (GAUGER et al. 2002). Die mit einheitlicher Farbe ausgewiesenen großen Flächen (sozusagen der Hintergrund) stellen die in erster Linie landwirtschaftlich genutzten Flächen dar. Es zeigt sich ein von Westen nach Osten abnehmender Gradient der luftbürtigen Schwefeleinträge auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Durch höhere Schwefeleinträge herausgehoben sind die Waldflächen sowie Stadtregionen, wie die von Hannover, Braunschweig oder Bremen. In den Wäldern liegen die ausgewiesenen Schwefeleinträge zwischen 24 und 29 kg/(ha*a). Im westlichen Niedersachsen liegen die Schwefeleinträge im Wald zwischen 29 und 35 kg/(ha*a).

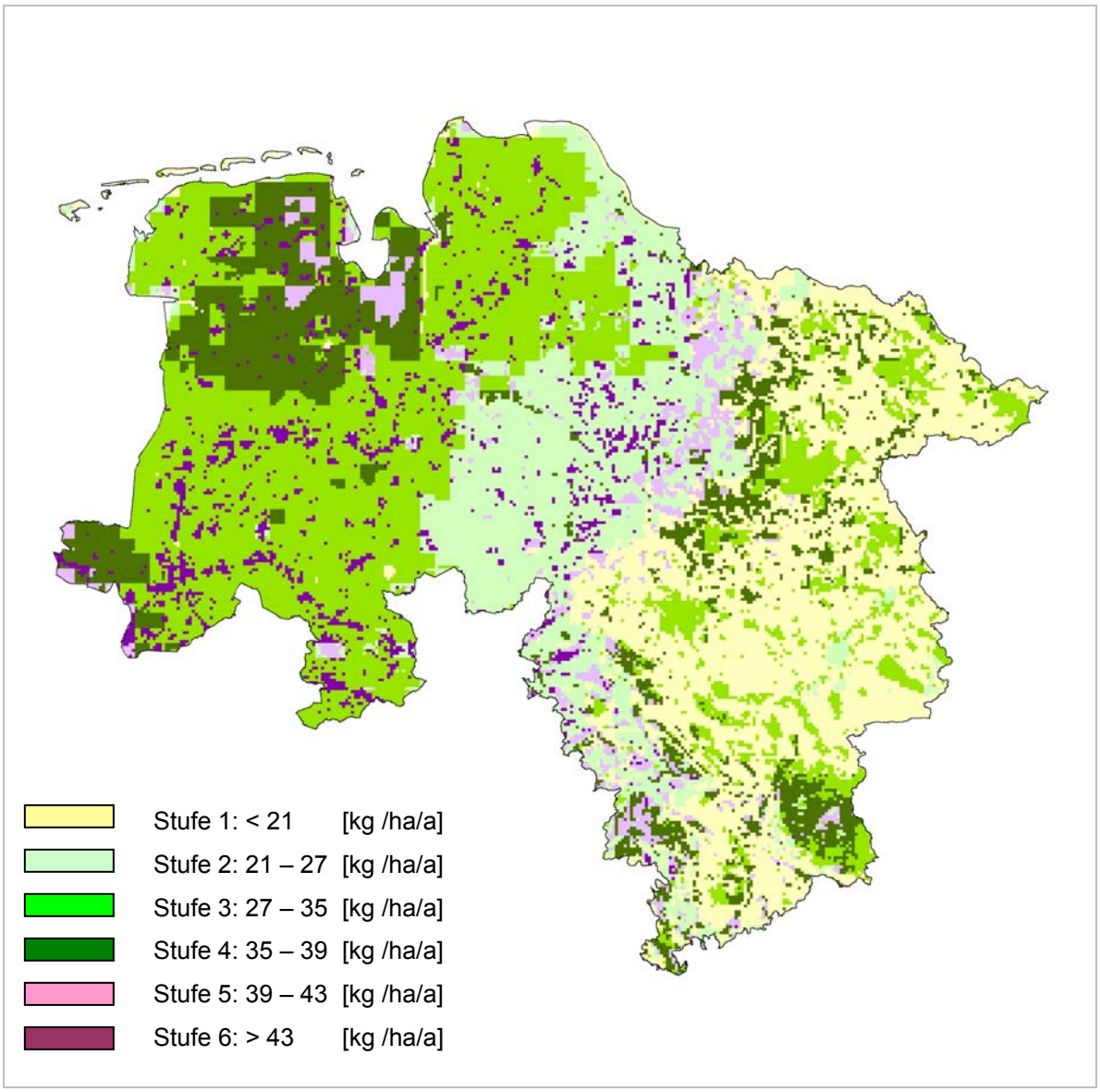

Abb. 17: Atmosphärischer Stickstoffeintrag in Niedersachsen im Jahr 1999 (GAUGER et al. 2002).

Abbildung 17 zeigt die räumliche Verteilung des atmosphärischen Stickstoffeintrags in Niedersachsen. Der Wald und bebaute städtische Flächen sind durch höhere Stickstoffeintragsraten aus dem vorzugsweise landwirtschaftlich genutzten Umland hervorgehoben. Es gibt einen deutlichen West-Ost-Gradienten. Die höchsten Stickstoffeinträge gibt es in den Wäldern des westlichen und mittleren Niedersachsens. Auch im südniedersächsischen Bergland sind die Stickstoffeintragsraten hoch. Für den Holzzuwachs benötigen die Wälder lediglich 5 – 15 kg N/ha.

Bei den zu den Säure-Depositionen beitragenden Stickstoff-Verbindungen sind dagegen bisher nur leichte Rückgänge zu verzeichnen. Insgesamt haben die Säureeinträge seit Beginn der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts um mehr als 50 % abgenommen.

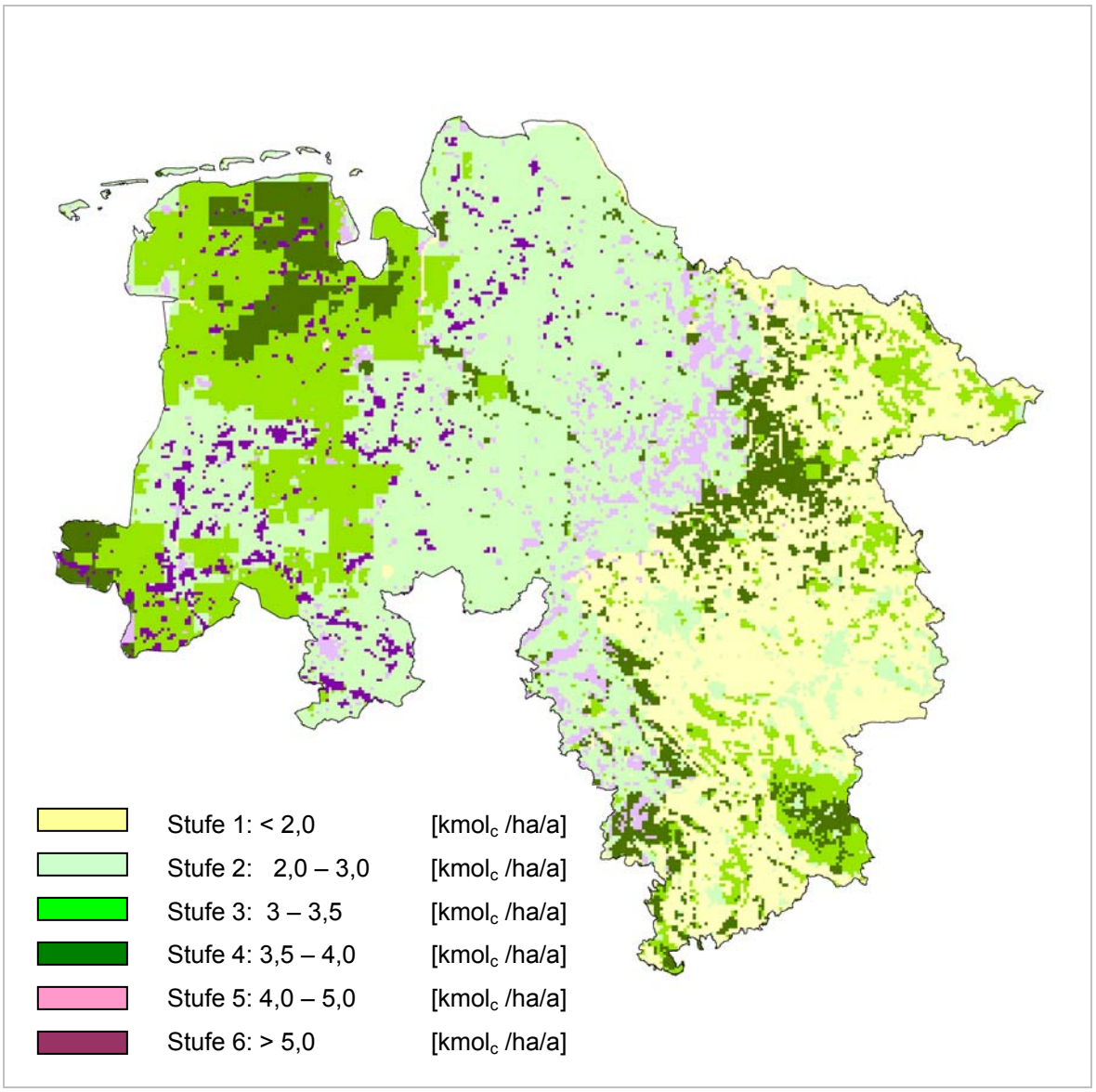

Abb. 18: Luftbürtiger Säureeintrag in Niedersachsen im Jahr 1999 (GAUGER et al. 2002).

Abbildung 18 zeigt die räumliche Verteilung des luftbürtigen Eintrags an Säure (potenzieller Netto-Säureeintrag, GAUGER et al. 2002) Die Ähnlichkeit der räumlichen Verteilung des Säureeintrags zur Verteilung des Stickstoffeintrags weist auf die Bedeutung des Stickstoffs für die Säurebelastung hin.

5.1.3 Bodenbelastungen

Als Folge der Säureeinträge sind viele Böden stark versauert und vor allem an den Nährstoffen Calcium und Magnesium verarmt. Die Bodenversauerung betrifft vorwiegend Waldböden und andere Böden naturnaher Ökosysteme mit silikatischem Ausgangsmaterial. Landwirtschaftlich genutzte Böden werden – wenn notwendig – gekalkt, um möglichst optimale Produktionsbedingungen zu ermöglichen.

Informationen über den Versauerungszustand niedersächsischer Waldböden liegen aus der 1990/91 durchgeführten Bodenzustanderhebung im Walde und von den forstlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen vor. Die Bodenzustandserhebung gibt einen flächenrepräsentativen Überblick über den Zustand der Waldböden in Niedersachsen (vgl. BÜTTNER 1997).

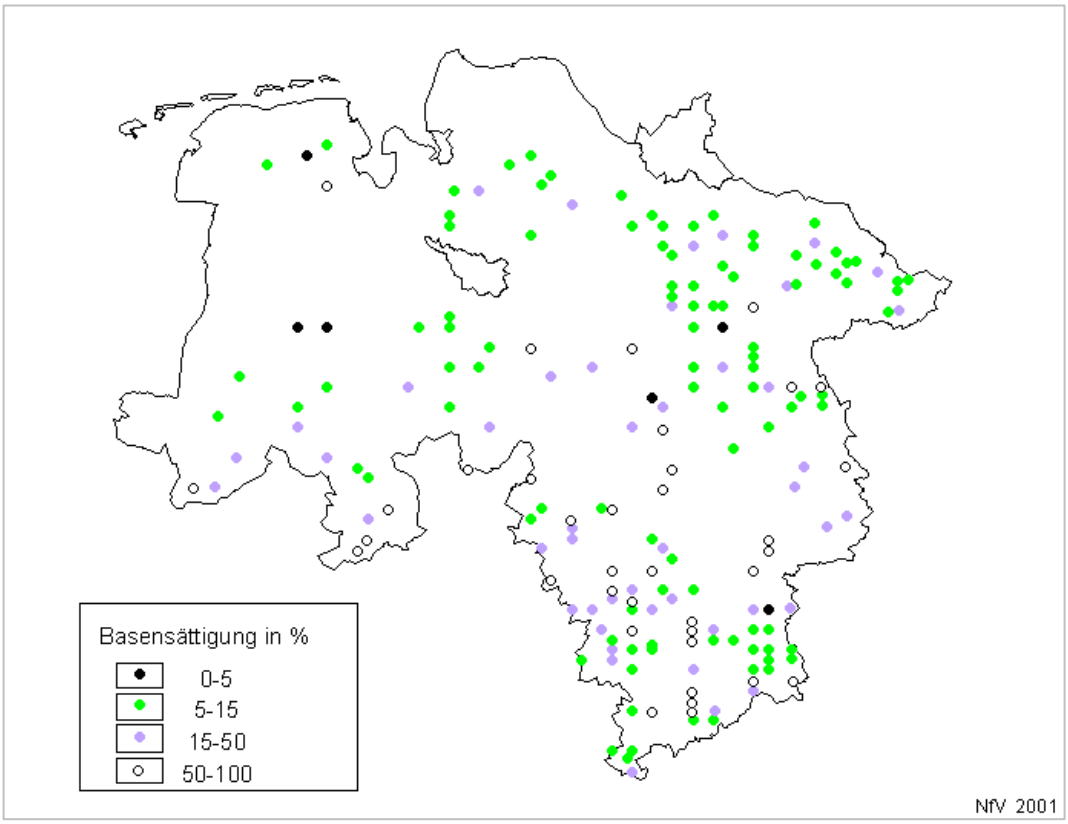

Abb. 19: Basensättigung am Kationenaustauscher in 0 – 60 cm Tiefe an den Stichprobenpunkten der Bodenzustandserhebung 1990/91 im Wald.

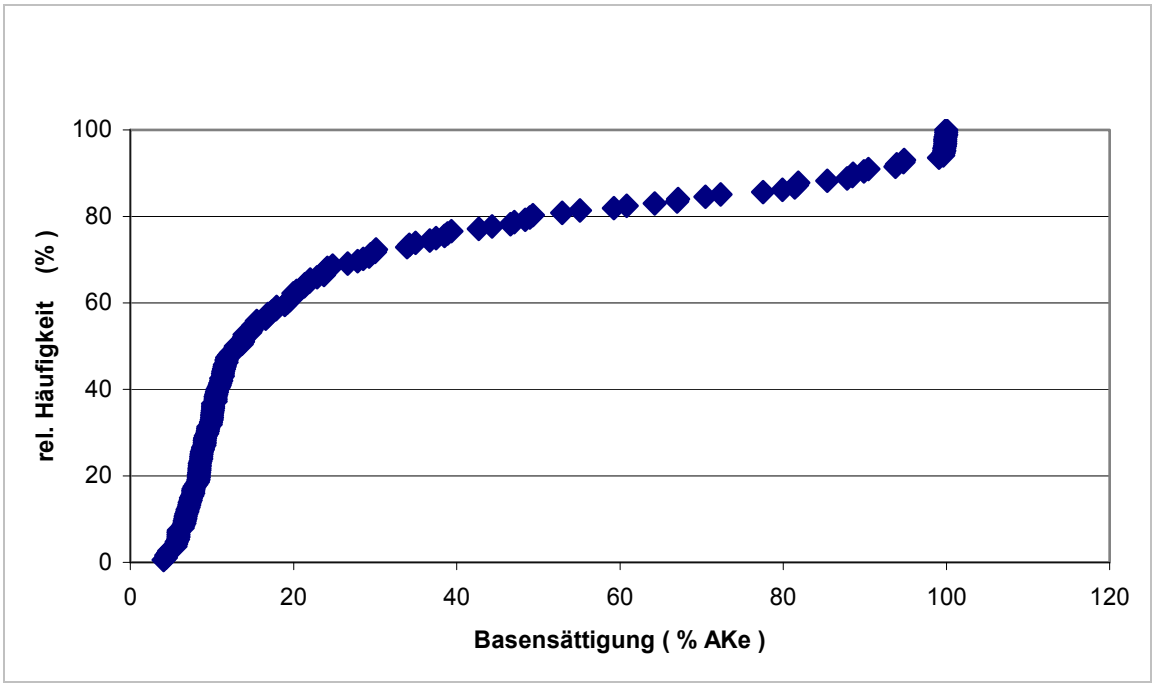

Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Basensättigung (0 – 60 cm Tiefe) der Bodenzustandserhebung 1990/91 in Niedersachsen.

Ein wichtiger Kennwert zur Beschreibung der Bodenversauerung ist die Basensättigung am Kationenaustauscher. Dies ist das Verhältnis der basischen Kationen (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium) zur Austauschkapazität. Nach den Erhebungen der Bodenzustandserhebung liegt in etwa 60 % der Fälle die Basensättigung am Austauscher bei weniger als 15 % der effektiven Kationenaustauschkapazität (Abb. 20). Bei etwa zwei Drittel der Waldböden muss man damit rechnen, dass im Bodenwasser Aluminium-Ionen in höheren Konzentrationen vorhanden sind. Auf ca. 40 % der Fläche liegt die Basensättigung sogar unter 10 %. Böden mit einer Basensättigung von unter 15 % gelten als stark versauert und weisen auf ein erhöhtes Risiko von Aluminiumtoxizität für die Baumwurzeln mit den entsprechenden Folgen für die Stabilität der Waldbestände hin. Auch im Hinblick auf die Versauerung des Grundwassers kommt dem Säure-Base-Zustand der ungesättigten Zone eine besondere Bedeutung zu.

An der forstlichen Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lange Bramke im Harz wurde als Folge des luftbürtigen Säureeintrages innerhalb weniger Jahre ein Rückgang der Basensättigung beobachtet, der besonders deutlich im Unterboden ausgeprägt war (Abb. 21).

Die Reduktion der Säureeinträge in den letzten zwei Jahrzehnten hat zu einer Verringerung der Aluminiumkonzentrationen im Bodenwasser geführt, eine Erholung der Böden im Sinne einer Erhöhung der Calciumkonzentrationen in der Bodenlösung (Abb. 22) oder des Ca : Al-Verhältnisses hat nicht stattgefunden. Die Erholung wird unter anderem durch die Remobilisierung von zwischengespeicherten Sulfaten und durch eine erhöhte Säurebelastung aufgrund abnehmender Retentionsfähigkeit für Stickstoff verzögert.

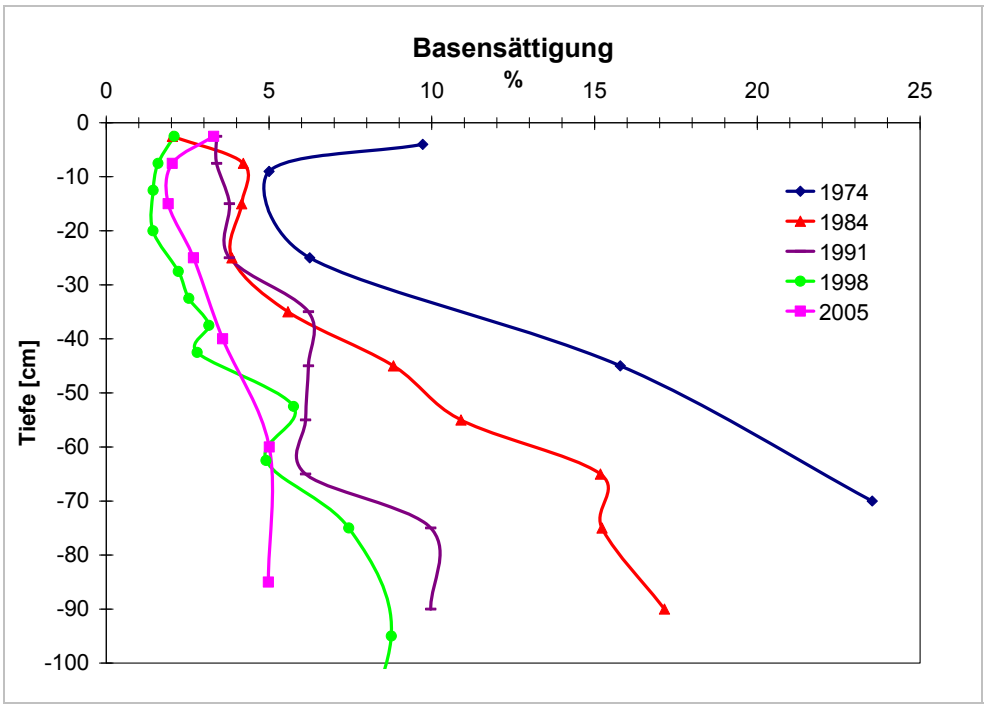

Abb. 21: Tiefenfunktionen der Basensättigung an der Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lange Bramke im Harz zu verschiedenen Zeitpunkten.

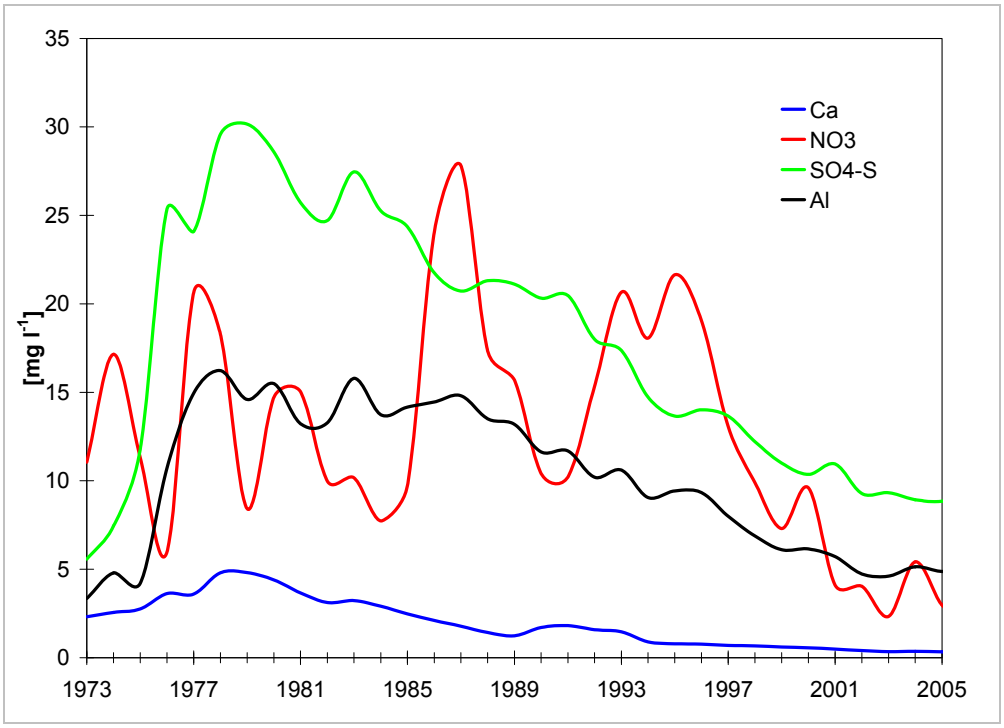

Abb. 22: Zeitreihen der Konzentrationen von Calcium (Ca), Nitrat (NO_3-N), Sulfat-Schwefel (SO_4-S) und Aluminium (Al) im Bodenwasser der forstlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsfläche Solling, Fichte.

Die eingetragenen Mengen an Stickstoff übersteigen weit den Bedarf der Bäume für die Bildung des Holzzuwachses, und sie gehen zum Teil weit über die Speicherkapazität der Waldböden hinaus. Man spricht von einer Stickstoffsättigung der Böden. Den überschüssigen Stickstoff geben die Böden mit dem Sickerwasser als Nitrat oder gasförmig (z. B. als Lachgas) an die Atmosphäre ab. Diese Abgabe von überschüssigem Stickstoff durch die Böden ist langfristig unvermeidlich, da sie nur eine begrenzte Speicherkapazität haben. Durch diese Abgabe von Stickstoff wird auch die Sickerwasserqualität beeinflusst, weil das Wasser mit Nitrat belastet ist. Die Atmosphäre wird darüber hinaus mit stickstoffhaltigen Treibhausgasen belastet.

5.2 Qualitätsziele und Qualitätsstandards für die Versauerung von Waldböden

Waldböden, vor allem solche aus silikatischem Ausgangsmaterial, sind in der Regel sensibler gegenüber der Belastung mit Säuren als landwirtschaftlich genutzte Böden, da landwirtschaftlich genutzte Böden aus Gründen der Gefügestabilität regelmäßig gekalkt werden und damit ohnehin im Rahmen der guten landwirtschaftlichen Praxis ausreichend basische Stoffe erhalten.

Angesichts der Probleme, die mit der Versauerung der Waldböden verbunden sind, werden im Folgenden Qualitätsziele und –standards formuliert, die als Empfehlungen u. a. an die Waldbewirtschaftung sowie an die Luftreinhaltung gerichtet sind.

In Bezug auf die Säurebelastung von Waldböden ist ein chemischer Bodenzustand anzustreben, bei dem das Risiko von säurebedingtem Stress auf Organismen niedrig ist. Säurebedingter Stress wird durch in saurem Milieu freigesetzte Metalle, vor allem durch Aluminium, erzeugt.

- Die Qualitätsziele lassen sich mittels chemischer Bodenanalysen wie auch mit Hilfe von Modellen, die auf der Basis von chemischen Gesetzmäßigkeiten den bodenchemischen Zustand beschreiben, definieren. Chemische Bodenanalysen dienen vor allem zur Charakterisierung einzelner Standorte (vgl. Kapitel 5.2.2).
- Biogeochemische Modelle mit regionaler Ergebnisdarstellung sind geeignet, für den mittleren Planungsmaßstab Qualitätsziele und deren Erreichen zu charakterisieren. Für die Politikberatung im Bereich der Luftreinhaltung wurde das Konzept der Critical Loads, der kritischen Belastungsgrenzen, für Säure entwickelt, das einen kritischen Eintrag von Säuren definiert, ab dem unter Gleichgewichtsbedingungen in Waldböden kritische Zustände auftreten. Die kritischen Zustände werden anhand von bodenchemischen Indikatoren (z. B. pH-Wert) beschrieben, für die kritische Grenzen (Critical Limits) definiert werden. Ob die kritischen Belastungsgrenzen überschritten werden, wird mit Hilfe von biogeochemischen Modellen laufend überprüft, um den Verpflichtungen aus der europäischen Luftreinhaltekonvention (UN-ECE) nachzukommen. Wegen der sachgerechten, regionalen Beschreibung des Bodenzustandes und seiner laufenden Aktualisierung sind die Critical Loads der Waldböden für Säure ein sinnvolles und operationales Instrument zur Definition angestrebter Belastungsgrenzen der Waldböden (vgl. Kapitel 5.2.1).

5.2.1 Critical Loads

Die Ermittlung der Critical Loads erfolgt mit geochemischen Modellen, mit denen die Säure bildenden und Säure verbrauchenden Prozesse quantitativ gegeneinander aufgerechnet werden. Säure bildende Prozesse sind der luftbürtige Eintrag von Schwefel und Stickstoff, der Entzug von Alkalinität aus dem Boden durch Nutzung des Waldes sowie der Verlust an Alkalinität mit dem Sickerwasser. Als säureverbrauchender Prozess wird die Freisetzung „basischer“ Kationen (Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium) durch Verwitterung, die Denitrifikation und der zulässige Austrag an Azidität mit dem Sickerwasser berücksichtigt. Die Böden puffern über die Verwitterung der Minerale Säure ab. Die Raten der Säurepufferung sind von der Art und Menge der verwitternden Minerale abhängig. Bei den Critical Load-Berechnungen werden folgende bodenchemische Indikatoren und zugeordnete kritische Werte betrachtet (nach HETTELINGH & DE VRIES 1991):

- ein pH-Wert in der Bodenlösung von < 4,0,
- eine Säureneutralisierungskapazität in der Bodenlösung von < 300 $\mu mol_c\ l^{-1}$,
- eine Aluminiumkonzentration von > 200 $\mu mol_c\ l^{-1}$,
- ein Verhältnis von basischen Kationen (BC) zu Aluminium von < 1,0 der Bodenlösung.

Die Überschreitung der kritischen Belastung (Critical Load exceedance) gibt an, um wie viel die Böden zu hoch belastet werden bzw. um wie viel die Säurebelastung verringert werden muss, damit die Böden in den unkritischen Bereich kommen.

Wie bereits erläutert, werden die Critical Loads im Rahmen der Luftreinhaltepolitik zur Beurteilung der Belastbarkeit der Böden durch Säureeintrag aus der Atmosphäre benutzt (UMWELTBUNDESAMT 1996). Dabei werden die Ergebnisse der Critical Load-Berechnungen auf Karten im mittleren Kartenmaßstab dargestellt. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind für Fragen der langfristigen regionalen Planung, wenn sie in einem ähnlichen Maßstab erfolgt, nutzbar (vgl. Abb. 23).

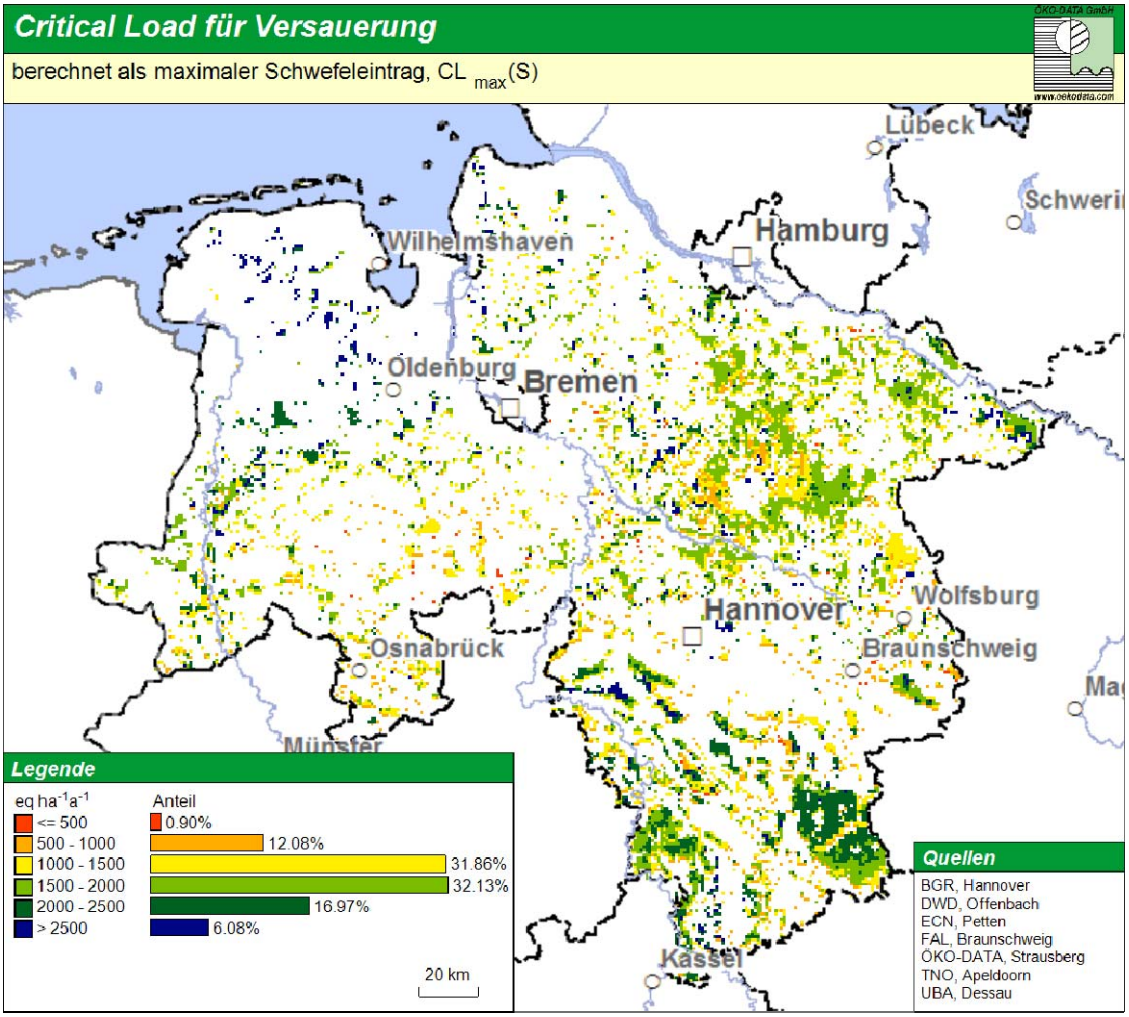

Abb. 23: Critical Load für Säure in Niedersachsen.

Die maximale kritische Belastungsgrenze (Critical Load) für Säure liegt in Niedersachsen mit Werten von mehr als 2 $kmol_c$ ha^{-1} a^{-1} am höchsten im Bereich Weser-Ems und in den Mittelgebirgslagen von Harz und Solling. Die geringsten Werte der kritische Belastungsgrenze (Critical Load) für Säure in Niedersachsen finden sich in den Waldböden im niedersächsischen Tiefland, da hier die Säurepufferung durch Mineralverwitterung sehr gering ist.

Überschreitungen der Critical Loads

Die berechneten kritischen Belastungsgrenzen (Critical Loads) können mit den aktuellen Säureeinträgen verglichen werden, und es kann die Überschreitung (Critical Load exceedance) berechnet werden. Diese gibt an, ob und um wie viel die Belastungsgrenzen (Critical Loads) derzeit überschritten werden. Daraus kann abgeleitet werden, wo Emissionsreduzierungen am dringendsten und wirkungsvollsten sind.

Auf den niedersächsischen forstlichen Boden-Dauerbeobachtungsflächen werden alle wesentlichen Größen für die Berechnung der Critical Loads direkt gemessen. Dabei wurden standortspezifische Critical Loads zwischen 0,4 und 2,6 kmol ha^{-1} a^{-1} Säureäquivalente ermittelt (BECKER et al. 2000). Im Mittel der Jahre 2000 – 2004 wurden diese mit Ausnahme von Standorten mit karbonathaltigen Böden durch die aktuellen Säureeinträge überschritten (MEESENBURG & MEIWES 2001; Abb. 24). Dabei traten Überschreitungsraten bis zu 2,4 kmol ha^{-1} a^{-1} Säureäquivalente auf. Um die Critical Loads einzuhalten, müssten an diesen Standorten die Depositionen um 34 kg ha^{-1} a^{-1} N oder 38 kg ha^{-1} a^{-1} S reduziert werden. Da Schwefeleinträge von 38 kg ha^{-1} a^{-1} oder mehr in Niedersachsen nicht mehr vorkommen, ist in jedem Fall eine deutliche Verringerung der Stickstoffeinträge erforderlich.

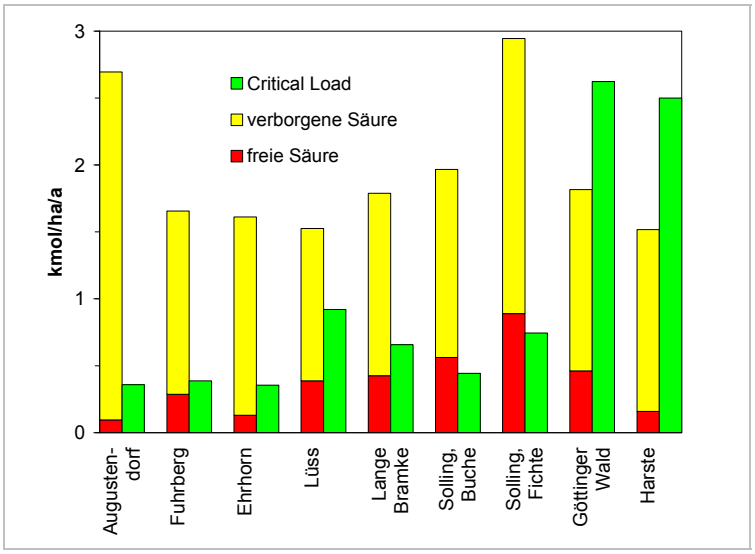

Abb. 24: Aktuelle Säuredeposition (Mittel 2000 – 2004) und Critical Loads für Säure an forstlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (Die Überschreitung der Critical Loads wird aus der Differenz zwischen Gesamt-Säuredeposition und Critical Load ermittelt, Gesamt-Säuredeposition differenziert in freie Säure (= H+-Deposition) und verborgene Säure (= Gesamt-Säuredeposition - H+-Deposition).).

Abbildung 25 zeigt die räumliche Verteilung der Überschreitung der Critical Loads in Niedersachsen. Diese Informationen gelten für den mittleren Planungsmaßstab, also für größere Areale. Die Karte der Überschreitungen der Critical Loads für Niedersachsen zeigt, dass vor allem im Harz, im Weser-Bergland und im Raum Weser-Ems die Böden stark mit Säure belastet sind und dass hier besonders gravierender Handlungsbedarf besteht (zu den Handlungsempfehlungen siehe auch Kapitel 5.3).

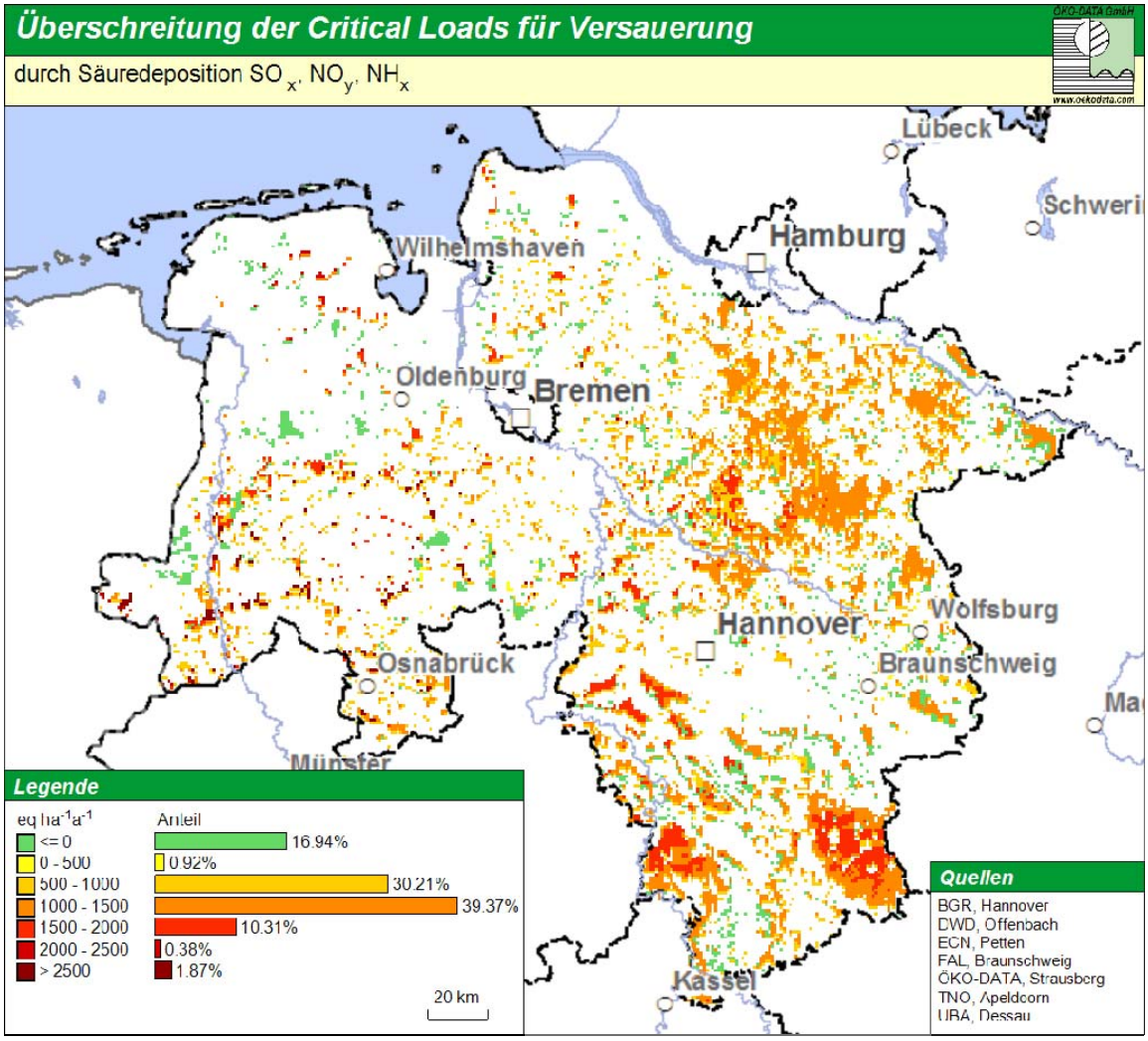

Abb. 25: Überschreitung der Critical Loads in Niedersachsen (Bezugsjahr 1999).

Im Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen wird als Qualitätsstandard hinsichtlich der Critical Loads vorgeschlagen, die Critical Loads für Säure nicht zu überschreiten (Abb. 26).

Mittelfristig sollen die Critical Loads für Säure in Niedersachsen an allen Orten nicht durch die aktuellen Säureeinträge überschritten werden.

Abb. 26: Qualitätsstandard für Säurebildner – Critical Loads.

Damit die Böden ausreichend geschützt sind, müssen die luftbürtigen Einträge von Schwefel und vor allem von Stickstoff bis unter die Schwelle der Critical Loads für Säure verringert werden. Dabei erholen sich versauerte Böden nicht sofort, es dauert zum Teil viele Jahrzehnte, bis sie aufgrund der natürlichen Pufferprozesse entsauern. Ähnlich, wie die Critical Loads mit einen biogeochemischen Modell, das den Gleichgewichtszustand beschreibt, berechnet werden, kann die Länge der Erholungsphase eines Bodens mittels ähnlicher Modelle, die zusätzlich die zeitliche Entwicklung darstellen, berechnet werden.

In welchem Zustand sich ein Boden aktuell befindet, muss mittels chemischer Analysen festgestellt werden. Die daraus ableitbaren Kenngrößen und Qualitätsziele werden im Folgenden erläutert.

5.2.2 Basensättigung

Der bodenchemische Zustand wird in Bezug auf Organismen, insbesondere auf Pflanzen, dann als kritisch betrachtet, wenn ein hohes Risiko besteht, dass deren Wachstums- und Entwicklungsprozesse gestört werden. Da die Pflanzen über die Bodenlösung mit dem Boden im Austausch stehen, lassen sich für Organismen kritische Bodenzustände durch die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung kennzeichnen. Wichtige Kenngrößen sind pH-Wert, Säureneutralisierungskapazität (Alkalinität) und Aluminium-Stresskennwerte (Al-Konzentrationen in der Bodenlösung, Verhältnis von „basischen" Kationen zu Aluminium). Die Bodenlösung zu untersuchen ist allerdings sehr aufwändig und erfolgt deshalb nur in Intensiv-Untersuchungen. Zudem unterliegt die Zusammensetzung der Bödenlösung starken saisonalen und episodischen Schwankungen, was ihren Indikatorwert für mittel- und langfristige Aussagen einschränkt.

Daher ist es erforderlich, auch die feste Bodensubstanz zur Indikation des Bodenzustands heranzuziehen. Diese steuert u. a. über den Austausch von Kationen an Tonmineralen und organischer Substanz die Zusammensetzung der Bodenlösung. Man kann also aus der Untersuchung der austauschbaren Kationen Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Bodenlösung ziehen und kritische Zustände der Belegung des Kationenaustauschers benennen. In Abbildung 27 ist als Beispiel für die Beziehung von Bodenfestphase und Lösungsphase die Abhängigkeit der Aluminium-Konzentration (Al^{3+}) von der Basensättigung dargestellt. In der chemischen Analytik von Waldböden ist routinemäßig die Bestimmung der Austauscherbelegung üblich. Wegen ihres starken Einflusses auf die Zusammensetzung der Bodenlösung werden die Qualitätsziele für versauerte Waldböden an Kennwerte zur Austauscherbelegung geknüpft. Sie werden im Folgenden dargestellt.

Tonminerale und organische Substanz des Bodens haben negative Ladungsplätze, an die aufgrund elektrostatischer Kräfte positiv geladene Kationen gebunden werden. Sie können gegen andere Kationen, die sich in der Bodenlösung befinden, ausgetauscht werden. Die Summe der austauschbaren Kationen oder die Summe der negativen Ladungen an Tonmineralen und Humus wird als Kationenaustauschkapazität bezeichnet. Je höher die Austauschkapazität eines Bodens ist und je mehr so genannte „basische" Kationen (M_b-Kationen: Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) sich am Austauscher befinden, desto elastischer reagiert der Boden auf Versauerung. Hohe Elastizität bedeutet, dass der Boden bei einer Säurebelastung nachgibt, danach aber wieder in seine alte Position zurückkehrt. Bei einem Versauerungsschub kann beispielsweise der pH-Wert kurzfristig absinken. Bei einem Boden mit hoher Elastizität steigt dann der pH-Wert wieder auf den alten Wert an.

Als Basensättigung wird das Verhältnis von „basischen" Kationen zur effektiven Austauschkapazität (Ake) bezeichnet. Sie ist ein wichtiger Indikator für die Elastizität des Bodens gegenüber Versauerung und wird wie folgt definiert:

$$BS \text{ (in \% Ake)} = Na^+ + K^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+} / Ake \text{ (in mol / mol * 100)}$$

Unter der effektiven Austauschkapazität versteht man die Summe der austauschbaren Kationen, die mit einer ungepufferten Salzlösung extrahiert werden können.

Die Bewertung der Basensättigung richtet sich nach dem Auftreten von Aluminium in der Bodenlösung (Abb. 27). Unterhalb einer Basensättigung von 20 % ist mit höheren Aluminiumkonzentrationen in der Bodenlösung zu rechnen. Der Bildung von Klassen unterschiedlicher Basensättigung, wie sie in der Forstlichen Standortskartierung benutzt wird (s. Tab. 8), liegt die Tatsache zugrunde, dass mit zunehmender Basensättigung in der Bodenlösung die Verhältnisse der Aluminiumkonzentrationen steigen, was zu einer Beeinträchtigung und Schädigung der Funktionen der Wurzelsysteme führt. Bei einer sehr geringen Austauschkapazität (< 5 $\mu mol_c\ g^{-1}$), die im Wesentlichen auf geringe Gehalte an Tonmineralen und an organischer Substanz zurückzuführen ist, ist die Pufferkapazität gegenüber Säuren insgesamt sehr gering. Mit zunehmender Versauerung gehen die Gehalte an austauschbarem Magnesium zurück. Die Bewertung der Magnesiumgehalte erfolgt in Anlehnung an die

forstliche Standortskartierung nach dem Schema in Tabelle 8.

Eine Basensättigung von 20 % ist ausreichend, damit säuretolerante Baumarten keinem Risiko von Säuretoxizität ausgesetzt sind (ULRICH 1995). Bei nicht säuretoleranten Baumarten, wie den Edellaubhölzern, sind die Anforderungen an die Basensättigung höher. Sie sollte z. B. bei Ahorn und Esche oberhalb von 30 % liegen (WEBER & BAHR 2000).

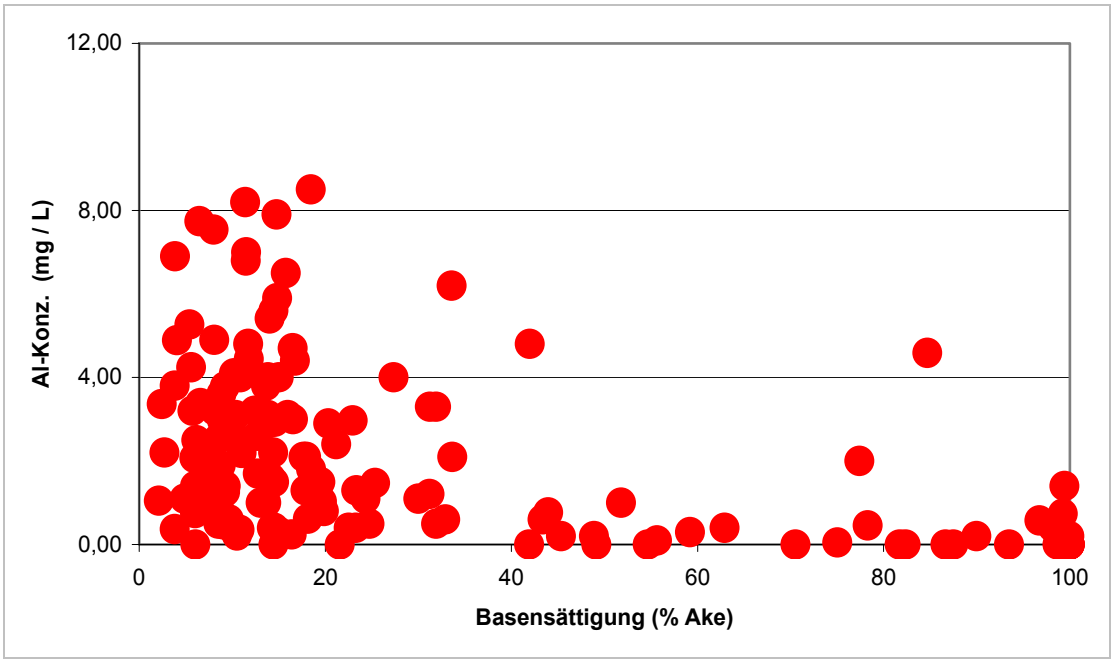

Abb. 27: Aluminiumkonzentrationen in der Gleichgewichts-Bodenlösung als Funktion der Basensättigung an den Punkten der niedersächsischen Bodenzustandserhebung.

Tab. 8: Bewertung der Elastizität der Waldböden bezüglich des Risikos von Säuretoxizität im humusarmen Mineralboden (Basensättigung) und bezüglich der Versorgung der Böden mit austauschbarem Kalium und Magnesium (in Anlehnung an ULRICH et al. 1984 und ARBEITSKREIS FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG 2003).

Elastizität	Kalium-Anteil an Ake [%]	Magnesium-Anteil an Ake [%]	Basensättigung* [% der Ake]	
sehr gering	< 1	< 1	< 5	basenarm
gering	1 – 2	1 – 2	5 – 15	
mäßig			15 – 30	mittel
mittel	2 – 4	2 – 4	30 – 50	
mäßig hoch			50 – 70	basenreich
hoch	4 – 8	4 – 8	70 – 85	
sehr hoch	> 8	> 8	> 85	

* gilt nicht für Ah-Horizont

Die austauschbaren Kationen werden mittels einer 1 N NH_4Cl-Lösung aus dem Boden extrahiert. Die Kationenaustauschkapazität ermittelt man aus der Summe der austauschbaren Kationen. Wenn der Boden carbonathaltig ist, wird die Extraktion mit einer gepufferten BaCl-Lösung durchgeführt (MEHLICH 1953).

Zielzustand der Basensättigung (BS) in Böden ist eine Basensättigung von mindestens 20 % (Abb. 28). In diesem Zustand ist die Aluminiumkonzentration in der Bodenlösung für säuretolerante Pflanzen vernachlässigbar klein.

In niedersächsischen Waldböden wird eine Basensättigung von mindestens 20 % angestrebt.

Abb. 28: Qualitätsstandard für Basensättigung.

Mit diesem bodenchemisch definierten Zielzustand wird impliziert, dass er mit einem bodenbiologischen Zustand verknüpft ist, der sich in einer Ausbildung geringmächtiger Humusauflagen äußert.

Von der Definition dieses Zielzustandes sind solche Standorte ausgeschlossen, die aus kulturhistorischen Gründen oder Naturschutzbelangen in ihrem aktuellen Säure-Base-Zustand verbleiben sollen.

5.3 Handlungsempfehlungen

Als Maßnahme gegen die Versauerung von Böden ist in erster Linie eine Reduzierung der Säureeinträge anzustreben. Wenn dies nicht im erforderlichen Umfang oder im gewünschten Zeitrahmen möglich und wenn eine Erholung der stark versauerten Böden in absehbarer Zeit nicht erreichbar ist, müssen auch andere Möglichkeiten erwogen werden. In Frage kommen insbesondere die Ausbringung von basischen Substanzen oder in beschränktem Maße waldbauliche Maßnahmen zur Regeneration der Böden. Als basische Substanzen werden bevorzugt karbonatische Substanzen (Kalk), aber auch andere Gesteinsmehle oder Holzaschen eingesetzt.

5.3.1 Kalkung

Karbonate eignen sich durch ihre hohe Säureneutralisierungskapazität und ihrer milden Reaktion. Bei der Bodenschutzkalkung im Wald wird der Kalk in der Regel oberflächig auf dem Boden ausgebracht.

Ziel der Bodenschutzkalkung im Wald ist die Minderung des Risikos von Säuretoxizität, die Reduktion von Aluminium- und Schwermetallmobilität und die Kompensation säurebedingter Nährstoffverluste. Es sollen die aktuellen und die in der Vergangenheit erfolgten Säureeinträge neutralisiert und eine weitere Bodenversauerung unterbunden werden. Angestrebt wird ein Zustand, in dem vernachlässigbar geringe Aluminiumgehalte in der Bodenlösung auftreten. Dazu ist es erforderlich, dass Kalkungsmaßnahmen, die in der Regel mit 3 t/ha ausgeführt werden, im Laufe der Zeit wiederholt werden.

In Niedersachsen wurden in den letzten 20 Jahren über 300 000 ha gekalkt. Damit sind die meisten kalkungsbedürftigen Waldflächen mindestens einmal gekalkt worden. Stark säurebelastete Gebiete wurden bei der wiederholten Kalkung bevorzugt behandelt. Wiederholungskalkungen erfolgen in Zukunft differenziert nach standörtlichen und belastungsspezifischen Gegebenheiten. Es werden ausschließlich magnesiumhaltige Kalke verwendet, um insbesondere die verbreitet mangelhafte Magnesiumernährung der Waldbestände zu verbessern.

Durch die Kalkungen wird eine weitere Versauerung der Waldböden gebremst. Die langsam löslichen Kalke bewirken eine Erhöhung der Basensättigung. Damit wird das Risiko erhöhter Aluminiumtoxizität vermindert. Die Ernährung der Bäume wird durch die Zufuhr von Magnesium und Calcium mit dem Kalk insgesamt verbessert. Damit verringert sich für die Bäume das Risiko von verminderter Vitalität infolge Bodenversauerung. Die Lebensbedingungen für höhere Organismen im Waldboden verbessern sich, so dass sich die natürlichen Stoffkreisläufe wieder schließen können. Für die Tiefenwirkung der Kalkungen im gesamten Wurzelraum ist es notwendig, dass im Laufe der Zeit ausreichend hohe Kalkmengen dem Boden zugeführt werden. Dies erfolgt durch die zeitlich wiederholte Kalkung mit 3 t Kalk pro ha.

Im Einzelfall kann die Waldkalkung in Verbindung mit verbessertem Licht- und Wärmeangebot zu unerwünscht starker Begünstigung nitrifizierender Bakterien führen. In der Humusauflage angereicherte Kohlen- und Stickstoffmengen werden freigesetzt, jedoch von den Pflanzen auf Grund des Überangebotes nicht benötigt. In der Folge besteht das Risiko erhöhter Nitratausträge ins Grundwasser. Durch eine ordnungsgemäße Forstwirtschaft werden die hierfür erforderlichen Randbedingungen – Kahlschlag oder starke Holzeinschläge – jedoch weitgehend vermieden. Daher kann es nur im Einzelfall, z. B. nach Sturmwürfen oder nicht sachgemäßer Holznutzung, zu diesen Nachteilen kommen. Ausbringungsart und Ausbringungszeitpunkt der Kalke werden so gewählt, dass vor allem die empfindliche Bodenfauna nicht beeinträchtigt wird.

5.3.2 Waldbauliche Maßnahmen

Waldbauliche Maßnahmen zielen auf die Verminderung externer oder ökosysteminterner Säureeinträge und die Wiederherstellung möglichst geschlossener Stoffkreisläufe. Durch die Wahl von Baumarten mit geringer Filterwirkung können die externen Säureeinträge beschränkt werden. Ökosystemintern wird Säure durch die Akkumulation von basischen Nährelementen in der Biomasse gebildet. Mit der Beschränkung auf nährstoffarme Holzsortimente bei der Ernte kann ein Großteil der in der Biomasse gespeicherten Basen dem Boden wieder zugeführt werden. Allerdings wird für den in Zukunft vermehrten Einsatz des regenerativen Energieträgers Holz (nährstoffreiches Schwachholz) ein Kompromiss zwischen Klimaschutzwirkung und Anforderung an die nachhaltige Nutzung des Waldbodens gefunden werden müssen.

Durch die Einbringung von tief wurzelnden (Laub-)Baumarten können Basenvorräte im Unterboden besser erschlossen werden und über den internen Stoffkreislauf an die Bodenoberfläche gebracht werden (Basenpumpe). Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass im Unterboden nicht versauertes Substrat vorhanden ist. Im niedersächsischen Tiefland, das hauptsächlich von sandigen altpleistozänen Böden geprägt ist, wie auch im südniedersächsischen Bergland kommen häufig versauerte Substrate im Unterboden und im Wurzel erreichbaren Untergrund vor (MEIWES et al. 1993), so dass der Regeneration der Oberböden mit dieser Maßnahme Grenzen gesetzt sind.

5.3.3 Dokumentation des Zustandes der Waldböden in Niedersachsen

Mit der Formulierung der Bodenqualitätsziele ist die Frage verbunden, ob diese Ziele erreicht sind bzw. wie weit der aktuelle Zustand der Böden von diesen Zielen entfernt ist. Dazu stehen in Niedersachsen verschiedene Beobachtungsprogramme zur Verfügung. Der Versauerungszustand der Waldböden und seine zeitliche Veränderung wird im Rahmen des Programms der Boden-Dauerbeobachtungsflächen und der Bodenzustandserhebung untersucht. Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen sind auf wenigen repräsentativen Standorten eingerichtet und dienen der intensiven Beobachtung von Bodenveränderungen und der sie steuernden Prozesse (KLEEFISCH & KUES 1997). Die Bodenzustandserhebung erfasst Bodenveränderungen auf einem systematischen Raster (8 x 8 km). Die erste Erhebung, die speziell auf die Bodenversauerung ausgerichtet war, fand 1990/91 statt (BÜTTNER 1997). Die zweite Erhebung wird in den Jahren 2006 – 2008 durchgeführt; auch bei dieser Erhebung stellt die Bodenversauerung eine zentrale Fragestellung dar. Darüber hinaus werden im Rahmen der forstlichen Standortskartierung chemische Bodenanalysen durchgeführt, mit denen die Feldaufnahmen der Kartierung unterstützt werden; diese Daten sind jedoch auch geeignet, Informationen über den Versauerungszustand der Böden und dessen zeitliche Veränderungen abzuleiten.

6 Literatur

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortsaufnahme. – 6. Aufl., 352 S.; Eching (IHW-Verlag).

BALLSCHMITER, K. (1988): Polychlorbiphenyle: Chemie, Analytik und Umweltchemie. – Analytiker Taschenbuch **7**: 393 – 432.

BAYERISCHE AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (Hrsg.) (1994): Leitbilder - Umweltqualitätsziele - Umweltstandards. – Laufen.

BBODSCHG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz). – BGBl I, G 5702, Nr. 16 vom 17.3.1998: 502 – 510.

BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. – BGBl I, Nr. 36 vom 12.3.1998: 1554 – 1583.

BECKER, R., BLOCK, J., SCHIMMING, C.-G., SPRANGER, T. & WELLBROCK, N. (2000): Critical Loads für Waldökosysteme: Methoden und Ergebnisse für Standorte des Level II-Programms. – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.).

BFLR - BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (1992): Materialien zur Raumentwicklung. – Heft **47**; Bonn.

BLOCK, J. & MEIWES, K.-J. (2000): Verwendung von Indikatoren für Aluminiumstress im Rahmen des Level II-Programms. – Forstarchiv **71**: 44 – 48.

BOLT, G. H. & BRÜGGENWERT, M. G. M. (1976): Soil chemistry. – Developement in Soil Sci. **5A**; Amsterdam (Elsevier).

BRUNOTTE, J., WEISSBACH, M., ROGASIK, H., ISENSEE, E. & SOMMER, C. (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. – Zuckerrübe **49**, H 1: 34 – 40.

BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1987): Maßnahmen zum Bodenschutz. – Beschluss des Bundeskabinetts vom 08.12.1987; Bonn.

BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1992): Bericht der Bundesregierung über die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. – Dokumente Umweltpolitik; Bonn.

BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. – Entwurf eines umweltpolitischen Strukturprogramms; Bonn.

BUNDESMINISTERIUM DES INNERN (BMI) (Hrsg.) (1985): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. – Bundestags-Drucksache 10/2977; Bonn.

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BMELF) (2000): Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystemen-Dauerbeobachtungsflächen. – Arbeitskreis C der Bund-/Länder-Arbeitsgruppe Level II, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten; Bonn.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMVEL) (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. – Bonn.

BÜTTNER, G. (1997): Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) in Niedersachsen 1990 – 1991. – Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. **122**; Göttingen.

CHAMEN, T., ALAKUKKU, L., PIRES, S., SOMMER, C., SPOOR, G., TIJINK, F. & WEISSKOPF, P. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction. A review. Part 2. Equipment and field practices. – Soil Tillage Res. **73**.

CRONAN, C. S. & GRIGAL, D. F. (1995): Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems. – J. Environ. Qual. **24**: 209 – 226.

DIEZ, T. & WEIGELT, H. (1997): Bodenstruktur erkennen und beurteilen. – Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (Hrsg.): Sonderdruck dlz agrarmagazin, 2. geänderte Auflage; München.

DIN 19682 (1998): Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges. – Deutsches Institut für Normung, DIN 19682-10; Berlin (Beuth).

DIN 19688 (2001): Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit und Verdichtungsempfindlichkeit von Böden. − Deutsches Institut für Normung, DIN-Vornorm 19688; Berlin (Beuth).

DVWK (1995): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil 1: Mechanische Belastbarkeit. – DVWK-Merkblatt **234**; Hennef (ATV-DVWK).

DVWK (2002): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil 3: Methoden für eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung. – ATV-DVWK-Merkblatt **901**; Hennef (ATV-DVWK).

EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2001): Verordnung EG-Nr. 466/2001 der Kommission vom 8. März 2001 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften **L 77/1** vom 16.03.2001.

EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2002): Richtlinie 2002/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, **L 140** vom 30.5.2002, S. 10.

ENQUETE-KOMMISSION (1997): Konzept Nachhaltigkeit. Fundamente für die Gesellschaft von morgen. Zwischenbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages. – In: Zur Sache **1**/97, Deutscher Bundestag (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit; Bonn.

ENQUETE-KOMMISSION (1998): Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages. – In: Zur Sache **4**/98, Deutscher Bundestag (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit; Bonn.

FORTMANN, H. & MEESENBURG, H. (2007): Organische Schadstoffe in Waldböden Niedersachsens - Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. – GeoBerichte **4**: 91 S., 53 Abb., 29 Tab.; Hannover (LBEG).

GÄBLER, H. E. & SCHNEIDER, J. (2000): Assessment of heavy-metal contamination of floodplain soils due to mining and mineral processing in the Harz Mountains, Germany. – Environmental Geology, Volume **39**, Issue 7: 774 – 782.

GAUGER, TH., ANSHELM, F., SCHUSTER, H., DRAAIJERS, G. P. J., BLEEKER, A., ERISMAN, J. W., VERMEULEN, A. T. & NAGEL, H.-D. (2002). Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Teile 1 und 2. – Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Inst. f. Navigation, Univ. Stuttgart.

GUNREBEN, M., DAHLMANN, I. & THARSEN, J. (2003): Bodenversiegelung. – In: Nachhaltiges Niedersachsen **23**: 30 – 41.

HAMMERSCHMIDT, U. & SCHNEIDER, J. (1995): Ermittlung und Bewertung der flächenhaften Schwermetallbelastung im Boden in einem durch industrielle Immissionen geprägten Raum (Stadt Nordenham). – Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. **76**/II: 1053 – 1057.

HARRACH, T. (1984): Lockerungsbedürftige Böden einfach und sicher erkennen. – In: Bodenfruchtbarkeit in Gefahr?, Arbeiten der DLG **179**; Frankfurt (DLG).

HETTELINGH, J. P. & DE VRIES, W. (1991): Mapping Vademecum. – National Institute of Public Health and Environmental Protection, Coordination Centre for Effects; Bilthoven, The Netherlands.

HORN, R., LEBERT, M. & BURGER, N. (1991): Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Böden als Pflanzenstandort auf der Grundlage von Labor- und in-situ-Messungen. – In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.): Mechanische Belastbarkeit von Böden Bayerns. – Materialien **73**.

KLEEFISCH, B. & KUES, J. (Koord.) (1997): Das Bodendauerbeobachtungsprogramm von Niedersachsen. Methoden und Ergebnisse. – Arb.-H. Boden 1997/**2**: 3 – 108, 40 Abb., 38 Tab., 1 Anl.; Hannover (NLfB).

KLEEFISCH, B. & MEESENBURG, H. (2005): Datenzusammenstellung 11/2005. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie und Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt; [Unveröff.].

KÖSTER, W. & MERKEL, D. (1985): Schwermetalluntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Böden und Pflanzen in Niedersachsen. – Landwirtschaftskammer Hannover.

KTBL (Hrsg.) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz. – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V, Arbeitspapier **266**; Münster-Hiltrup (Landwirtschaftsverlag).

KUES, J., EBERL, CHR., HILDESBRANDT, E., HILLER, D., KÖLLING, CHR., MATZNER, E., MEIWES, K.-J. & WOLFF, B. (2000): Ökochemische Charakterisierung von Waldböden als Pflanzenstandort und als Bestandteil des Wasserkreislaufes. Vorschläge des Bundesverbandes Boden für die Ableitung von Schutzkategorien und Schutzmaßnahmen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes. – In: ROSENKRANZ, D., EINSELE, G. & HARRESS, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden. – Kennziffer 3650; Berlin.

LABO - BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. – Umweltbundesamt; Berlin.

LABO - BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2003): Hintergrundwerte für organische und anorganische Stoffe in Böden. – 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. In: ROSENKRANZ, D., EINSELE, G. & H.-M. HARRESS (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Kennziffer 9006; <http://www.labo-deutschland.de/>.

LEBERT, M., BRUNOTTE, J. & SOMMER, C. (2003): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. – Abschlussbericht Förderkennzeichen (UFOPLAN) **200 71 245**, Umweltbundesamt; Berlin.

LEBERT, M. & BÖKEN, H. (2004): Vermeidung von Bodenverdichtungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen - Anforderungen an Vorsorge und Gefahrenabwehr. – Bodenschutz **2**/2004: 36 – 43.

LEBERT, M. & SCHÄFER, W. (2005): Verdichtungsgefährdung niedersächsischer Ackerböden. – In: Bodenschutz **2**/2005: 42 – 46; Berlin.

LITZ, N. (1990): Organische Verbindungen. – In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes; Landsberg (Ecomed).

LROP (1994): Gesetz über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen, Teil I. – Nds. GVBl: 130.

MEESENBURG, H., RADEMACHER, P. & MEIWES, K.-J. (1998): Stoffeintrag über atmogene Depositionen in verschiedene Ökosysteme Niedersachsens und deren Auswirkungen. – Arb.-H. Boden 1998/**1**: 67 – 77, 6 Abb., 1 Tab.; Hannover (NLfB).

MEESENBURG, H. & MEIWES, K.-J. (2001): Säurehaushalt und Critical Loads. – In: 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen; Hannover.

MEHLICH, A. (1953): Principles underlying the practice of determining cation and anions properties and pH of soils. – J. Assos. Off. Agric. Chem. **36**: 445 – 457, zitiert in: TOMAS, G. W. (1982), in: PAGE, A. L. (Ed.): Methods of soil analysis, Part 2. – Agronomy **9**, 2nd edn.: 159 – 165.

MEIWES, K.-J., MERINO, A. & FORTMANN, H. (1993): Untersuchung der Versauerung in Bohrprofilen von Meßstellen des Grundwassergütemeßnetzes (GÜN) des Landes Niedersachsen. – Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Göttingen, Reihe **B 34**, 1 – 86.

MERKEL, D. (1997): Ableitung von Hintergrundwerten der Schwermetallgehalte niedersächsischer Ackerböden durch Auswertung der Analysen nach AbfKlärV. – Agribiol. Res. **50**, 279 – 287.

MERKEL, D. (2005): Prognose der Schwermetallanreicherung im Boden bei Düngung mit Klärschlamm. – KA-Abwasser, Abfall **52**: 1359 – 1363.

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (1985): Bodenschutzkonzept Baden-Württemberg. – Stuttgart.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND FORSTEN DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1996): Ziele und Strategien des Bodenschutzes in Schleswig-Holstein. – Bodenschutzprogramm; Kiel.

MOSIMANN, T. (1993): Bodenschutzkonzepte. – In: Geogr. Rundschau **45**; Braunschweig.

MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. erweiterte und ergänzte Auflage, Arb.-H. Boden 2004/**2**, 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLfB).

MÜLLER, U., HENNINGS, V. & HORN, A. (1992): Hintergrundbelastung von niedersächsischen Böden mit polychlorierten Biphenylen und polychlorierten Dibenzodioxinen/Dibenzofuranen. – Wasser und Boden **9**: 571 – 576.

NIEDERSÄCHSISCHES INNENMINISTERIUM (MI) (1994): Landesraumordnungsprogramm 1994 (LROP). – Hannover.

NIEDERSÄCHSISCHES INNENMINISTERIUM (MI) (1995): Automatisiertes Liegenschaftsbuch. – Hannover.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (NLÖ) (Hrsg.) (2003): Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen. Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. – Nachhaltiges Niedersachsen **23**; Hildesheim.

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (ML) (1990): Bodenschutzkonzept Niedersachsen. – Hannover.

NLFB - KUES, J., HINDEL, R., GÄBLER, H. E., HAMMERSCHMIDT, U. & SCHNEIDER, J.: (1995): Bodenuntersuchungsprogramm Talauen des Harzes. – Archiv-Bericht NLfB **114 296**; Hannover (NLfB).

NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.) (2005): Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen – Standortbeschreibung und Baseline. – ACCESS-Anwendung auf CD-ROM; Hannover (NLfB).

PRENZEL, J. (1985): Verlauf und Ursache der Bodenversauerung. – Z. dt. Geol. Ges. **136**: 293 – 302.

RENGER, M. (1970): Über den Einfluss der Dränung auf das Gefüge und die Wasserdurchlässigkeit bindiger Böden. – Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. **11**: 23 – 28.

RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. – In: Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung **15**: 148 – 160; Berlin (Parey).

SCHÄFER, W., SEVERIN, K., MOSIMANN, T., BRUNOTTE, J., THIERMANN, A. & BARTELT, R. (2003): Bodenerosion durch Wasser und Wind. – In: Nachhaltiges Niedersachsen **23**: 13 – 29.

SCHNEIDER, J. (1999): Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Schwermetallbelastung in den Böden der Talauen des Harzes und des Harzvorlandes. Schwermetalle in einem städtischen Belastungsraum. – Arb.-H. Boden 1999/**2**, 24 S., 3 Abb., 4 Tab., 3 Karten; Hannover (NLfB).

SCHNEIDER, J. (2000): Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden Niedersachsens. – In: Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden. – UBA-Texte **49**/00: 156 – 160.

SCHNEIDER, J. (2005): Hinweise zur Entnahme und zur Beurteilung von Bodenproben im Rahmen der Ermittlung von Dioxingehalten. – Geofakten **17**, 6 S., 3 Abb., 4 Tab.; Hannover (NLfB).

SCHULZ, J. M., SCHNEIDER, J., KUES, J. & PREHN, H.-J. (1993): Niedersächsischer Untersuchungsbericht zur Bodenbelastung durch Dioxine im Überschwemmungsbereich der Elbe, Bd. 1 und 2. – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.); Hannover.

SEVERIN, K., HAAREN, J. V., HEUER, H. J., SCHNEIDER, J., KAMPUES, J. & SCHULZ, A. J. (2003): Untersuchungsbericht 2003 – Ermittlung der Belastung von Boden und Aufwuchs mit PCDD und PCDF sowie Schwermetallen in den Überschwemmungsflächen der Elbtalauen und in weiteren niedersächsischen Flussauen. – [Unveröff.].

SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. − Grundl. d. Landtechnik **5**: 49 – 63.

SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. – Bodenschutz **1**: 12 – 16.

SOMMER, C. & BRUNOTTE, J. (2003): Lösungsansätze zum Problembereich Bodenschadverdichtungen in der Pflanzenproduktion. – Landnutzung und Landentwicklung **44**: 220 – 228.

SVERDRUP, H. & WARFVINGE, P. (1993): The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca + Mg + K)/Al ratio. – Reports in ecology and environmental engineering **2**: 1 – 177.

UBA (Hrsg.) - LEBERT, M., BRUNOTTE, J. & SOMMER, C. (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. – Texte Umweltbundesamt **46**-04; Berlin.

ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **144**: 289 – 305.

ULRICH, B. (1987). Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. – Ecological Studies **61**: 11 – 49.

ULRICH, B. (1995). Der ökologische Bodenzustand: seine Veränderung in der Nacheiszeit, Ansprüche der Baumarten. – Forstarchiv **66**: 117 – 127.

ULRICH, B., MEIWES, K.-J., KÖNIG, N. & KHANNA, P. K. (1984): Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden. – Forst- und Holzwirt **38**, Heft 11: 278 – 286.

ULRICH, B. & MALESSA, V. (1988): Tiefengradienten der Bodenversauerung. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **152**: 81 – 84.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1996): Manual on methodologies on mapping critical loads and geographical aerea where they are exceeded. – Texte **71**/96.

VDLUFA (1998): Kriterien unweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL). – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.); Darmstadt.

WEBER G. & BAHR, B. (2000): Wachstum und Ernährungszustand junger Eschen (Fraxinus excelsior L.) und Bergahorne (Acer pseudoplatanus L.) auf Sturmwurfflächen in Bayern in Abhängigkeit vom Standort. Forstw. Cbl. **119**, 177 – 192.

WERNER, D. & PAUL, R. (1999): Kennzeichnung der Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. – Wasser und Boden **51** (12): 10 – 14.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ (WBB) (2000): Wege zum vorsorgenden Bodenschutz. Fachliche Grundlagen und konzeptionelle Schritte für eine erweiterte Boden-Vorsorge. – Gutachten für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Berlin.

7 Anhang

Merkblatt (Stand: Juni 2007)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Oldenburg, 15.06.2007

Anbauempfehlungen für schwermetallbelastete Böden zur Gewährleistung der Lebensmittel- und Futtermittelqualität

1 Rechtliche Grundlagen

Bodenschutzrecht

In der Bundes-Bodenschutzverordnung sind Prüfwerte für den Anbau von Nutzpflanzen auf Acker und Grünland sowie in Nutzgärten aufgeführt, bei deren Unterschreitung die Pflanzenqualität bzw. die Vermeidung von Wachstumsbeeinträchtigungen noch eingehalten wird (Tabelle 1).

Für Cadmium auf Ackerland sowie weitere Schadstoffe in Grünlandböden werden zusätzlich Maßnahmenwerte zur Gewährleistung der futtermittelrechtlich begründeten Pflanzenqualität aufgeführt (Tabellen 1 und 2). Bei Überschreitung dieser Maßnahmenwerte kommen zur Gefahrenabwehr auf landwirtschaftlichen Flächen gemäß § 5 Absatz 5 Bodenschutzverordnung vorrangig Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Betracht. Diese Maßnahmen sind im Einvernehmen mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde zu ergreifen.

Tabelle 1: Prüf- und Maßnahmenwerte nach § 8 Absatz 1 Satz 2 Nr. 1 und 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und in Nutzgärten zur Einhaltung der Pflanzenqualität (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden).

Stoff	**Ackerbau, Nutzgarten**		
	Methode [1]	**Prüfwert**	**Maßnahmenwert**
Arsen	KW	200 [2]	–
Cadmium	AN	–	0,04 / 0,1 [3]
Blei	AN	0,1	–
Quecksilber	KW	5	–
Thallium	AN	0,1	–
Benzo(a)pyren	–	1	–

[1] Extraktionsverfahren für Arsen und Schwermetalle: AN = Ammoniumnitrat, KW = Königswasser

[2] Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg/kg Trockenmasse

[3] Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder bei Anbau stark cadmiumanreichernder Gemüsearten gilt als Maßnahmenwert 0,04 mg/kg Trockenmasse; ansonsten gilt als Maßnahmenwert 0,1 mg/kg Trockenmasse

Tabelle 2: M a ß n a h m e n w e r t e nach § 8 Absatz 1 Satz 2 Nr. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze auf Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Arsen und Schwermetalle im Königswasserextrakt).

Stoff	**Grünland Maßnahmenwert**
Arsen	50
Blei	1 200
Cadmium	20
Kupfer	1 300/200 [1)]
Nickel	1 900
Quecksilber	2
Thallium	15
Polychlorierte Biphenyle (PCB_6)	0,2

[1)] Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert 200 mg/kg Trockenmasse.

Lebensmittelrecht

Zur Beurteilung der Pflanzenqualität ist die Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln („Neue EU-Kontaminantenverordnung“) heranzuziehen. Diese „EU-Kontaminantenverordnung“ legt unter anderem für Cadmium, Blei, Quecksilber und Dioxine Höchstgehalte für verschiedene pflanzliche Lebensmittel fest (Tabelle 3).

Tabelle 3: Verordnung (EG-Nr. 1881/2006) zur Festsetzung der Höchstgehalte für Cadmium und Blei in Lebensmitteln; Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln, EG-Richtlinie 2002/32/EG.

Element	**Erzeugnis**	**Höchstgehalt bei Lebensmitteln in mg/kg Frischgewicht, bei Futtermitteln in mg/kg bei 12 % Feuchte**
Cadmium	**Lebensmittel**	
	Getreide,	0,10
	ausgenommen:	
	– Kleie, Keime, Weizen und Reis	0,20
	Futtermittel	
	Futtermittelausgangserzeugnisse pflanzlichen Ursprunges	1,0
Blei	**Lebensmittel**	
	Getreide, Hülsengemüse und Hülsenfrüchte	0,20
	Futtermittel	
	Futtermittelausgangserzeugnisse,	10,0
	ausgenommen:	
	– Grünfutter	30,0

Nach Artikel 1 Absatz 1 der neuen EU-Kontaminantenverordnung dürfen die in der Verordnung genannten Lebensmittel nur in Verkehr gebracht werden, wenn ihr Gehalt an Kontaminanten die aufgeführten Höchstgehalte nicht übersteigt. Dabei gelten die Höchstgehalte für die essbaren Teile der Lebensmittel. Die Höchstgehalte sind auch von Erzeugnissen einzuhalten, die als Zutaten bei der Herstellung zusammengesetzter Lebensmittel verwendet werden. Somit besteht ein Verdünnungsverbot.

Futtermittelrecht

Als Bewertungsmaßstab für die Eignung von Futtermitteln sind unter anderem die Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen nach Futtermittelverordnung Anlage 5 heranzuziehen. Dort werden u. a. für Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Dioxine Höchstgehalte vorgegeben, welche den Höchstgehalten der EU-Richtlinie 2002/32/EG vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung entsprechen (Tabelle 3).

Das aktuell geltende Futtermittelrecht lässt keine Verdünnung durch Verschneidung von Futtermitteln und keine Überschreitung der Höchstgehalte im Falle der Futterverwertung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb mehr zu.

Pflichten des Nahrungs- und Futtermittelproduzenten bzw. -unternehmers

Der Landwirt als Nahrungs- und Futtermittelproduzent muss die Einhaltung der Höchstgehalte nach Lebens- und Futtermittelrecht eigenverantwortlich sicherstellen.

Die Verpflichtung ergibt sich aus den rechtlichen Bestimmungen nach Lebens- und Futtermittelrecht.

§ 5 Absatz 3 der Verordnung über Höchstgehalte an Schadstoffen in Lebensmitteln vom 19. Dezember 2003 in der Bekanntmachung vom 5. Juli 2006

Nach § 58 des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuches wird bestraft, wer gegen die Verordnung EG-Nr. 1881/2006 verstößt, indem er vorsätzlich oder fahrlässig

- ein dort genanntes Lebensmittel in den Verkehr bringt, dessen Gehalt an Kontaminanten einen dort aufgeführten Höchstgehalt übersteigt,
- ein Erzeugnis, dessen Gehalt an Kontaminanten die Höchstgehalte übersteigt, als Zutat bei der Herstellung zusammengesetzter Lebensmittel verwendet oder
- ein Erzeugnis, bei dem die Höchstgehalte eingehalten werden, mit einem solchen mischt, bei dem die Höchstgehalte überschritten werden.

Entsprechendes gilt auch für Futtermittel, deren Gehalte an Kontaminanten die Höchstwerte übersteigen. Solche Futtermittel dürfen nicht an Tiere verfüttert werden, die der Lebensmittelgewinnung dienen.

Verantwortung des Futtermittelunternehmers (VO-EG-Nr. 178/2002, Artikel 20)

Erhält ein Futtermittelunternehmer (z. B. Landwirt) durch Analysenergebnisse oder auf anderem Wege Kenntnis darüber, dass sein Futtermittel bei Kontaminanten die Höchstgehalte übersteigt, hat er die zuständige Behörde davon zu unterrichten, selbst wenn die Vernichtung des Futtermittels beabsichtigt ist.

Konsequenzen für den Landwirt

Um Verstöße gegen die lebens- und futtermittelrechtlichen Pflichten zu vermeiden, sind auf Flächen mit erhöhten Schadstoffgehalten pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstofftransfers vom Boden in die Nutzpflanze zu prüfen und im Falle von bereits vorliegenden oder zu erwartenden Überschreitungen der Höchstgehalte nach Lebens- und Futtermittelrecht Maßnahmen zu ergreifen (Verordnung (EG) 178/2002 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde der Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit; Verordnung (EG) 183/2005 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene; Verordnung (EG) 852/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 29. April 2004 über Lebensmittelhygiene; Verordnung (EG) 853/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs; Verordnung (EG) 1881/2006 DER KOMMISSION vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, 8. Verordnung zur Änderung futtermittelrechtlicher Verordnungen vom 24. Juni 2005; Bekanntmachung der Neufassung der Futtermittelverordnung vom 24. Mai 2007, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 22, ausgegeben zu Bonn am 31. Mai 2007).

2 Allgemeiner Hintergrund – Wissensstand

Der Übergang von Schwermetallen vom Boden in die Pflanze erfolgt vor allem über zwei Pfade:

1. Systemische Aufnahme: Die Schwermetalle werden über die Wurzeln aufgenommen und in den verschiedenen Pflanzenorganen angereichert.
2. Verschmutzung durch anhaftenden Boden auf den Pflanzenoberflächen.

Für den jeweiligen Kontaminationspfad entscheidend sind die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle und die Pflanzenart. Mobile Elemente, wie zum Beispiel Cadmium und Zink, werden überwiegend über die Wurzeln aufgenommen und in den einzelnen Pflanzenorganen akkumuliert. Die Pflanzenverfügbarkeit wird bei diesen Elementen in starkem Maße auch vom Boden-pH-Wert beeinflusst. Arsen und Blei sind dagegen weniger mobil im Boden und werden deshalb im geringeren Umfang über die Wurzeln in die Pflanzen aufgenommen.

Einige Pflanzen zeigen ein starkes und andere dagegen ein geringes Aufnahmevermögen von Schwermetallen. Cadmium wird zum Beispiel von Weizen stark, von Roggen dagegen weniger stark aufgenommen. Beim Weizen bestehen darüber hinaus sortenspezifische Unterschiede im Aneignungsvermögen.

Bei Nahrungspflanzen ist die systemische Aufnahme von besonderer Bedeutung. Die Verschmutzungen von Nahrungspflanzen sind dagegen von untergeordneter Bedeutung, da anhaftender Boden in der Regel durch Putzen, Waschen und Schälen weitestgehend entfernt wird. Im Gegensatz zu Nahrungspflanzen ist die Kontamination von Schwermetallen bei Futterpflanzen vor allem durch Verschmutzung mit anhaftendem Boden der wichtigste Übergangspfad, die systemische Aufnahme ist dagegen von untergeordneter Bedeutung.

Ein bedeutender Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Bereich des Harzvorlandes und der Flusstäler der Harzflüsse sowie der Elbe kann aufgrund geogener Ursachen als auch anthropogener Ursachen erhöhte Gehalte an Schwermetallen aufweisen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Landwirtschaftlich genutzte Böden mit Schwermetallbelastungen in Niedersachsen.

Anthropogene Belastungen	
Hohe Belastungen	
Harz, Harzrand (einschließlich Immissionsgebiet Harlingerode) (Cd, Zn, Pb, As)	ca. 2 000 ha
Innerstetal (Cd, Pb), Okertal südlich von Braunschweig (Cd, Pb, Cu)	ca. 5 000 ha
Außendeichgebiet der Elbe (Cd, As, Hg, Cu)	ca. 5 000 ha
Geringe Belastungen	
Flusstäler Westharz, Oker nördlich Braunschweig, Leine, Aller, Weser (Cd, Pb, Zn)	ca. 20 000 ha
Geogene Belastungen	
Verwitterungsböden aus Kreide, Harzraum (Cd, Zn)	ca. 20 000 ha

nach KÖSTER & MERKEL 1985

In den landwirtschaftlich genutzten Böden Niedersachsens ist Cadmium als kritischstes Schwermetall für die landwirtschaftliche Lebens- und Futtermittelerzeugung anzusehen, da der Grenzwert für dieses Schwermetall relativ niedrig und die Bioverfügbarkeit hoch ist (s. auch Tabelle 5).

Tabelle 5: Bedeutung von Schadelementen für Lebens- und Futtermittel.

Element	Bedeutung für die Landwirtschaft in Niedersachsen	Bemerkungen
Arsen	• sehr niedriger Grenzwert für Futtermittelausgangsstoffe (2 mg/kg TM) • für Lebensmittel kein Grenzwert	• mittlere systemische Aufnahme (d. h. durch die Wurzel) • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Cadmium	• Grenzwerte für Futtermittelausgangsstoffe und Lebensmittel können erreicht werden • Probleme besonders bei Brotgetreide (Weizen, Roggen)	• leichte systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Blei	• hoher Grenzwert für Grünfutter (30 mg/kg TM) wird kaum erreicht • im Verhältnis zum Vorkommen im Boden sehr niedrige Grenzwerte für Lebensmittel, welcher erreicht werden kann	• kaum systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden
Quecksilber	• Grenzwert für Futtermittelausgangsstoffe (0,10 mg/kg TM) wird selten erreicht • spielt für die Landwirtschaft in Niedersachsen keine Rolle	• kaum systemische Aufnahme • bei Futtermitteln Verschmutzung durch anhaftenden Boden

In den Abbildungen 1 und 2 wird der Einfluss der Cadmium-Bodengehalte (Ammoniumnitratauszug, Königswasserauszug) auf den Cadmiumgehalt im Weizenkorn dargestellt. Ab 0,04 mg/kg Cadmium im Boden im Ammoniumnitratauszug bzw. 3 mg/kg Cadmium im Boden im Königswasserauszug werden die Grenzwerte der Kontaminantenverordnung überschritten. In einem Übergangsbereich unterhalb dieser Bodenwerte muss jedoch bereits mit Überschreitungen der Grenzwerte nach Kontaminantenverordnung gerechnet werden.

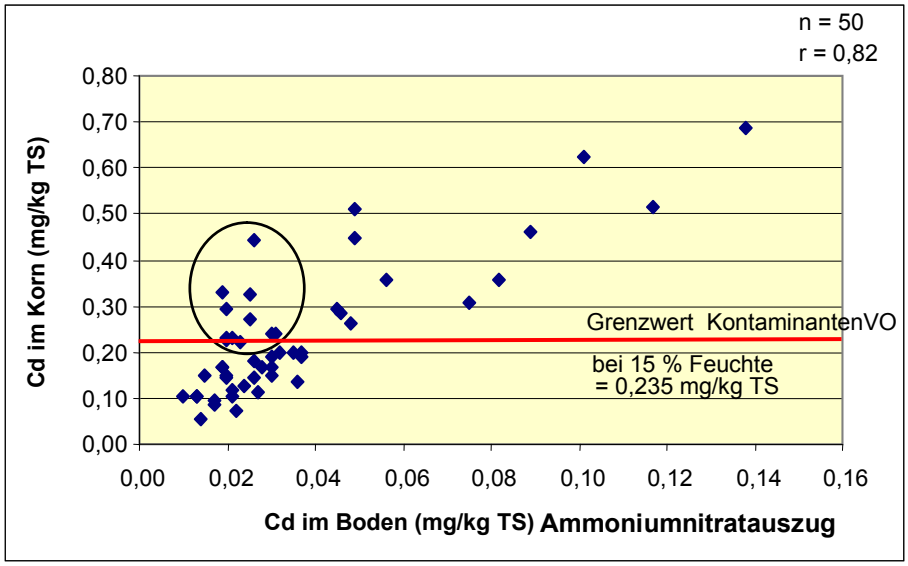

Abbildung 1: Zusammenhang von Cadmium im Boden und Cadmium im Weizenkorn, 2002, Lößböden, Landkreis Goslar, Ammoniumnitratauszug.

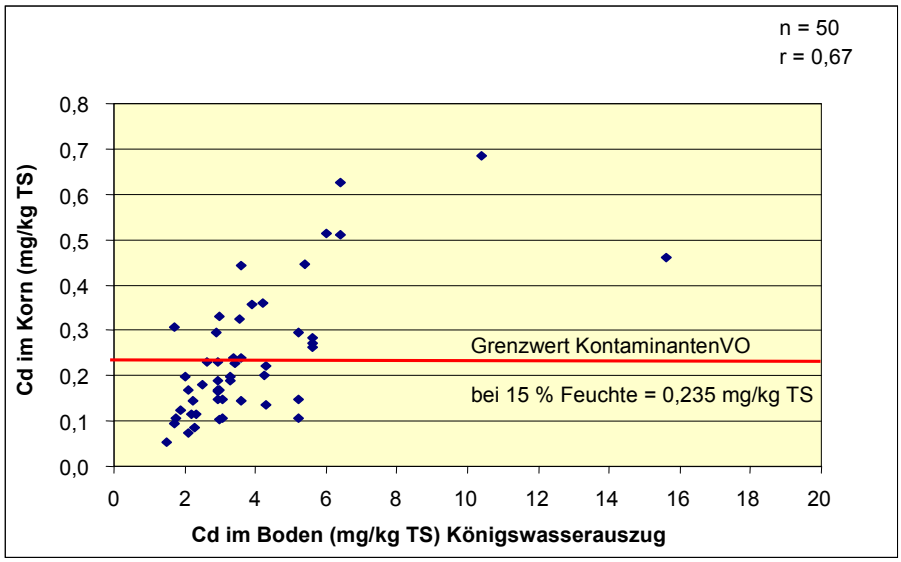

Abbildung 2: Zusammenhang von Cadmium im Boden und Cadmium im Weizenkorn, 2002, Lößböden, Landkreis Goslar, Königswasserauszug.

3 Handlungsempfehlungen für die Nutzung schwermetallbelasteter Böden

Aus Gründen des Verbraucherschutzes ist der Eintrag von Schadstoffen in die Nahrungskette (Boden – Pflanze – Tier – Mensch) zum Schutz der menschlichen und tierischen Gesundheit so gering wie möglich zu halten. In dieser Hinsicht müssen Bewirtschafter von Acker- und Grünlandflächen sowie Nutzer von Haus- und Nutzgärten durch geeignete Maßnahmen den Schadstoffübergang vom Boden in die Nutzpflanze minimieren. Dieses kann insbesondere erfolgen durch:

Optimierung des pH-Wertes

Den größten Einfluss auf die Mobilität von Schwermetallen, vor allem von Cadmium, hat der pH-Wert des Bodens.

Auf schluffigen, lehmigen und tonigen Ackerböden sollte der pH-Wert mindestens 7,2, auf Grünlandböden mit gleichen Bodenarten 6,5 bis 6,7 betragen und ist durch entsprechende Erhaltungskalkungen aufrechtzuerhalten.

Eine Kalkung trägt auf z. B. Sandböden mit geringen Ziel-pH-Werten wirksamer zur Verringerung der Schwermetallmobilität bei als auf Böden mit hohen Ziel-pH-Werten (Lößböden, Tonböden).

Die Böden sollten regelmäßig, etwa alle drei Jahre, auf ihren pH-Wert untersucht werden.

Die Düngungsempfehlungen zur Kalkung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sind dabei zu beachten.

Düngung

Schwermetalle (Cadmium, Arsen) werden u. a. mit P-haltigen Düngemitteln sowie Sekundärrohstoffdüngern zugeführt.

Zur Verminderung der Schwermetallzufuhren auf Standorten mit erhöhten Schwermetallgehalten sollte daher zur Deckung des Phosphat-Düngebedarfes der Düngung mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft der Vorzug gegeben werden.

Anbauempfehlungen

Getreideanbau

Bei besonders hohen Bleigehalten im Boden kann der sehr niedrige Lebensmittelhöchstwert für Blei bei Getreide überschritten werden. Die verschiedenen Getreidearten und -sorten unterscheiden sich praktisch nicht im Bleiaufnahmevermögen.

Die einzelnen Getreidearten weisen ein unterschiedliches Cadmiumaufnahmevermögen auf: Das Aufnahmevermögen von Weizen ist erheblich höher als das von Roggen. Wird bei Brotweizen durch Untersuchungen eine Überschreitung des Höchstgehaltes nach Lebensmittelrecht festgestellt, kann ein Ausweichen auf Roggen oder Gerste sinnvoll sein. Kritische Cadmiumgehalte im Boden für den Getreideanbau sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Kritische Cadmiumgehalte (Königswasserauszug) in Böden des Vorharzraumes sowie der Flusstäler der Harzflüsse und der Elbe (bei ausreichender Kalkversorgung).

Anbau	kritischer Cd-Gehalt
Backweisen, Triticale	2 mg/kg Boden
Roggen und Gerste zur Lebensmittelerzeugung	3 mg/kg Boden
Futtergetreide	10 mg/kg Boden

Für den Getreideanbau bedeutet dies:

- Bei Cadmiumgehalten über 10 mg/kg im Boden (Königswasserauszug) darf kein Anbau von Getreide mit dem Ziel der Lebensmittelherstellung erfolgen. Ein Anbau von Futtergetreide ist nur nach Prüfung der Schwermetallgehalte im Futtergetreide möglich.
- Bei Cadmiumgehalten von 3 – 10 mg/kg im Boden soll kein Anbau von Weizen und Wintertriticale zum Zwecke der Lebensmittelherstellung erfolgen. Beim Anbau von Winterroggen und Wintergerste zum Zwecke der Lebensmittelherstellung sind insbesondere die Cadmiumgehalte vor dem Inverkehrbringen zu überprüfen. Der Anbau von Futtergetreide ist möglich.
- Bei Cadmiumgehalten von 2 – 3 mg/kg im Boden ist der Anbau von bestimmten Winterweizensorten zum Zwecke der Lebensmittelherstellung möglich.

  Vor dem Inverkehrbringen des Weizens als Lebensmittel sollte jedoch eine Cadmiumuntersuchung zur Absicherung durchgeführt werden.

  Der Anbau von Futtergetreide ist möglich.

  Der Anbau von Wintertriticale und Wintergerste ist möglich für die Lebensmittelherstellung.

  Vor dem Inverkehrbringen sollte jedoch bei beiden Getreidearten Cadmium untersucht werden.

  Der Anbau von Winterroggen zum Zwecke der Brotherstellung ist möglich.
- Beim Cadmiumgehalt im Boden von unter 2 mg/kg Boden ist der Anbau aller Getreidearten zum Zwecke der Lebensmittelherstellung möglich.

Sortenabhängige Schwermetallaufnahme

Durch die Wahl bestimmter Weizensorten kann insbesondere im Bereich von 2 – 3 mg/kg Cadmium im Boden (Königswasserauszug) die Cadmiumaufnahme im begrenzten Umfang beeinflusst werden. Eine Liste mit „Weizensorten mit geringer Cadmiumaufnahme“ hält die Landwirtschaftskammer Niedersachsen bereit.

Obst- und Gemüsebau

Hinweise zur Eignung verschiedener Kulturen für den Anbau in schwermetallbelasteten Gebieten gibt Tabelle 7.

Tabelle 7: Empfehlungen für Gartenbau – Erwerbsgartenbau, Kleingarten bei unterschiedlich belasteten Böden.

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
Starke Anreicherung (> 0,5 mg Cd/kg TS; > 0,05 mg Cd/kg FS)	**Schwache Anreicherung** (0,2 – 0,5 mg Cd/kg TS; 0,02 – 0,05 mg Cd/kg FS)	**Keine Anreicherung** (< 0,2 mg Cd/kg TS; < 0,02 mg Cd/kg FS)
	zusätzlich zu Spalte 1:	zusätzlich zu Spalte 1 und 2:
Möhren	Radieschen	Kartoffeln
Schwarzwurzeln	Rote Beete	Kopfkohl
Sellerie	Porree	Wirsing
Spinat	Kopfsalat	Chinakohl
Pflücksalat	Eissalat	Blumenkohl
	Feldsalat	Erbsen
	Grünkohl	Bohnen
	Rosenkohl	Tomaten
		Obst

Futtererzeugung auf Grünland

In Gebieten mit hohen Schwermetallgehalten im Boden bestimmt die Verschmutzung der Pflanzen mit anhaftendem Boden den Schwermetallgehalt des Futters. Gegenmaßnahmen sind eine verschmutzungsarme Grundfutterernte und ein auf eine Verminderung der Schadstoffaufnahme abgestimmtes Grünlandmanagement (Tabelle 8).

Tabelle 8: Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung bei der Grundfutterernte und beim Grünlandmanagement.

Grünlandmanagement

- Demobilisierung der Schadstoffe durch Kalkung, auf pH > 6,5 – 6,7.
- Bei überständigem Aufwuchs im Herbst Nachmahd; tief schneiden, nicht verfüttern.
- Grünlandpflege vor Vegetationsbeginn, Nachsaat.
- Keine Überweidung durch Anpassung der Besatzdichte.
- Keine Beweidung bei aufgeweichten Böden.
- N-, P-, K-Düngung nach guter fachlicher Praxis, bevorzugt mit Wirtschaftsdünger.

Heu- und Silagegewinnung

- Schnitthöhe über 8 cm; im Herbst Pflegeschnitt (Nachmahd).
- Heu- und Silagegewinnung nur von dichten und hohen Grasbeständen und nur bei trockenem Wetter.
- Keine Mahd und keine weitere Ernte bei aufgeweichten Böden.
- Schonende Arbeitsweise durch Beachtung der Mähwerkeinstellung und Fahrgeschwindigkeit.
- Verminderung des Bodenkontaktes durch schonendes Wenden und Schwaden und möglichst wenige Arbeitsgänge; ggf. Mähaufbereiter einsetzen.
- Möglichst keine Aufnahme von Wurzelfilz durch hohe Einstellung der Pick-up.

4 Verantwortung des Landwirtes

Der Landwirt bzw. Erzeuger ist gesetzlich verpflichtet, eigenverantwortlich die Einhaltung der Höchstgehalte nach Futtermittel- und Lebensmittelrecht sicherzustellen.

Im Rahmen der Eigenkontrolle kann der Erzeuger durch eine Vor-Ernte-Untersuchung den Cadmiumgehalt im Korn bestimmen lassen. Damit kommt der Erzeuger seiner Pflicht zur Eigenkontrolle nach Lebensmittel- und Futtermittelrecht nach.

Vor-Ernte-Untersuchung von Getreide

Das Kontrollergebnis liefert einen Anhaltspunkt, ob eine Überschreitung des Höchstgehaltes für Lebens- oder Futtermittel vorliegt.

Es sollten vorrangig Flächen mit begründetem Verdacht auf eine Überschreitung der Lebensmittel- und Futtermittelgrenzwerte beprobt werden.

Ein begründeter Verdacht besteht, wenn

- die Cadmiumgehalte über 0,04 mg Cadmium/kg Boden im Ammoniumnitratextrakt bzw. über 2 mg Cadmium/kg Boden im Königswasserextrakt liegen,
- erhöhte Gehalte in vorangegangenen Getreideernten festgestellt wurden.

Die Probenahme für die Vor-Ernte-Untersuchung von Getreide wird durch den Landwirt oder durch einen von ihm beauftragten, anerkannten Probenehmer ab dem Stadium der Teigreife (EC 85) vorgenommen.

Die gewonnene Getreideprobe soll von einem von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen empfohlenen, anerkannten Untersuchungslabor (z. B. LUFA Nord-West) analysiert werden.

Dr. Karl Severin
Geschäftsbereich Landwirtschaft
Telefon: 0511 3665-1296

E-Mail: karl.severin@lwk-niedersachsen.de

Autoren

Koordination/Zusammenfassung

- Dr. Marion Gunreben
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.3 „Landwirtschaft und Bodenschutz, Landesplanung“,
  Stilleweg 2, 30655 Hannover

Kapitel 1: Einleitung und Zielsetzung

- Dr. Marion Gunreben
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.3 „Landwirtschaft und Bodenschutz, Landesplanung“,
  Stilleweg 2, 30655 Hannover

Kapitel 2: Bodenqualitätsziele und -standards als Bewertungskriterien eines vorsorgenden Bodenschutzes

- Dr. Marion Gunreben
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.3 „Landwirtschaft und Bodenschutz, Landesplanung“,
  Stilleweg 2, 30655 Hannover

Kapitel 3: Schwermetalle

- Dr. Jürgen Schneider
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.3 „Landwirtschaft und Bodenschutz, Landesplanung“,
  Stilleweg 2, 30655 Hannover

- Dr. Detlef Merkel
  ehemals
  LUFA Nordwest,
  Finkenborner Weg 1A, 31787 Hameln.

- Dr. Karl Severin
  Landwirtschaftskammer Niedersachsen,
  Geschäftsbereich Landwirtschaft,
  Fachbereich 3.1.11,
  Johannssenstraße 10, 30159 Hannover

Kapitel 4: Organische Schadstoffe

- Dr. Bernd Kleefisch
  ehemals
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.4 „Boden- und Grundwassermonitoring“,
  Friedrich-Mißler-Str. 46/50, 28211 Bremen

- Heike Fortmann
  Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
  Abteilung Umweltkontrolle,
  Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring,
  Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

- Dr. Jürgen Schneider
  Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,
  Referat L 3.3 „Landwirtschaft und Bodenschutz, Landesplanung“,
  Stilleweg 2, 30655 Hannover

Kapitel 5: Säurebildner

- Dr. Karl-Josef Meiwes
  Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
  Abteilung Umweltkontrolle,
  Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring,
  Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

- Dr. Henning Meesenburg
  Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
  Abteilung Umweltkontrolle,
  Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring,
  Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

Anhang: Anbauempfehlungen für schwermetallbelastete Böden im Hinblick auf Lebensmittel- und Futtermittelqualität

- Dr. Karl Severin
  Landwirtschaftskammer Niedersachsen,
  Geschäftsbereich Landwirtschaft,
  Fachbereich 3.1.11,
  Johannssenstraße 10, 30159 Hannover

ISSN 1864 – 7529