

Bodenzustand in Deutschland

zum „Internationalen Jahr
des Bodens“



52,3

Prozent

der Flächen in Deutschland werden
landwirtschaftlich genutzt

13,4

Prozent

der Flächen in Deutschland
sind Siedlungs-
und verkehrsflächen

2,4

Prozent

sind Wasserfläche

30,2

Prozent

der Flächen in Deutschland
werden forstwirtschaftlich
genutzt

Bodenzustand in Deutschland

zum „Internationalen Jahr
des Bodens“ 2015



In einer Handvoll
Boden leben mehr
Lebewesen als es Menschen
auf der Erde gibt. Recycelt
wird alles was schmeckt:
vor allem Pflanzenreste und
Rückstände von Bodentieren
und Mikroorganismen. Das
Ergebnis sind Nährstoffe
und frischer Humus.



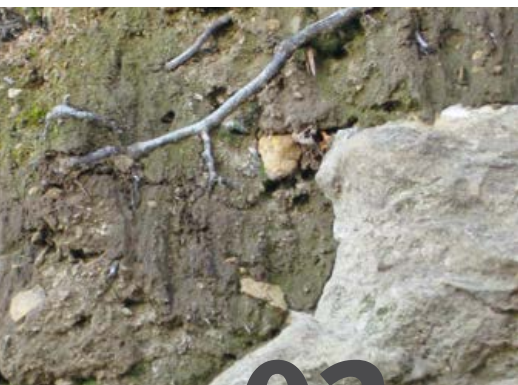
2015

Internationales
Jahr des Bodens

Inhalt

01

Seite 4
Vorwort



02

Seite 6 Die Böden Deutschlands

- 2.1 Bodenbildung durch die Eiszeit beeinflusst **Seite 6**
- 2.2 Vorkommen unterschiedlicher Böden in Deutschland **Seite 9**
- 2.3 Bodenkarten **Seite 11**

03

Seite 12

Boden- und Flächennutzung

- 3.1 Flächennutzung in Deutschland **Seite 13**
- 3.2 Entwicklung der Flächennutzung **Seite 13**
- 3.3 Konkurrenz in der Bodennutzung **Seite 16**

04

Seite 18 Schadstoffe in Böden

- 4.1 Einführung **Seite 18**
- 4.2 Einträge von Schadstoffen in Böden **Seite 20**
- 4.3 Stofflicher Bodenzustand **Seite 30**

05

Seite 46

Bodenstruktur – Erosion und Verdichtung

- 5.1 Bodenerosion durch Wasser **Seite 46**
- 5.2 Bodenverdichtung durch Maschinen **Seite 53**



06

Seite 60 Organische Bodensubstanz

- 6.1 Status der Humusgehalte in Deutschland **Seite 61**
- 6.2 Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte im Wald zwischen 1990 und 2006 **Seite 63**
- 6.3 Dränierte organische Böden – Hotspot für Treibhausgasemissionen **Seite 64**

07

Seite 68 Biodiversität in Böden



10

Seite 86

Programme zur Erfassung des Bodenzustands

- 10.1 Die Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland **Seite 86**
- 10.2 Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE Wald) **Seite 87**
- 10.3 Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE Landwirtschaft) **Seite 89**
- 10.4 Die Umweltprobenbank des Bundes **Seite 90**
- 10.5 Länderaktivitäten **Seite 91**



08

Seite 70

Klimawirkungen in und auf Böden

- 8.1 Bodenfeuchte **Seite 70**
- 8.2 Bodentemperatur **Seite 73**
- 8.3 Windgeschwindigkeit **Seite 75**
- 8.4 Flächenhafte Aussagen zu klimabedingten Veränderungen des Bodenzustands **Seite 77**
- 8.5 Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser **Seite 77**



11

Seite 92

Boden in globaler Perspektive



09

Seite 84
Altlasten

12

Seite 94

Quellenverzeichnis

13

Seite 97
Glossar

(01) Vorwort – Wir haben Boden gut zu machen!

Obwohl wir uns so gut wie immer auf ihm aufhalten, nehmen wir den Boden oft nicht mehr wahr. Dabei erfüllt Boden eine Reihe ganz wesentlicher Funktionen: Er ist zum Beispiel Wasserspeicher und -filter sowie unentbehrliche Produktionsgrundlage der Land- und Forstwirtschaft. Ohne die maximal einige Dezimeter mächtige fruchtbare Erde wäre kein Leben auf dem Land möglich. Es ist also kein Zufall, dass wir unseren Planeten als „Erde“ bezeichnen, ebenso wie die über Jahrhunderte bis Jahrtausende gewachsene, komplexe Struktur aus anorganischem und organischem Material. Vor allem in den europäischen Böden gehen Veränderungen sehr langsam vor sich.



*Maria Krautzberger
Präsidentin des
Umweltbundesamtes*

Zugleich hat der Boden ein „Gedächtnis“: Wenn wir ein Bodenprofil ausgraben, wird nicht nur die Kraft der Temperaturen, des Wassers und der Bodenlebewesen deutlich; auch das menschliche Wirken der Vergangenheit wird sichtbar. Im Unterschied zur Luft oder zum Wasser, denen man eher ansieht, ob sie belastet sind, ist dem Boden allerdings eine Schädigung auf den ersten Blick oft nicht zu erkennen. Boden muss ausgegraben werden, damit sein Zustand analysiert und dokumentiert werden kann.

Vielleicht liegt es daran, dass Böden meist erst dann in unsere Wahrnehmung gelangen, wenn ihre Zerstörung unübersehbar ist: So kennt jeder aus seiner Umgebung Böden, die bebaut oder versiegelt wurden. So sind die riesigen Staubstürme im Westen der USA, der „Dust bowl“, nicht vergessen. So sind die Bilder der Bodendegradation in Afrika, Asien oder auch in Südeuropa jedem bekannt.

Doch die Böden bedroht nicht nur deren fehlerhafte Nutzung; aus den zahlreichen Nutzungsmöglichkeiten der Böden ergeben sich vielfältige Konkurrenzen: Sie dienen als Grundlage für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion, als Standort für Energie- oder Industriepflanzen, als Siedlungs-, Verkehrs- und Energiefläche oder sie werden ausgehoben, um Rohstoffe zu fördern oder genutzt, um Abfälle zu deponieren. Zunehmend erkannt wird auch seine Funktion für den Klimaschutz. So ist im Boden *humus* mehr Kohlenstoff gespeichert als in unseren Wäldern. Böden spielen damit eine tragende Rolle im Ökosystem und sind eine essenzielle Lebensgrundlage, die wir schützen müssen.

Dennoch hat außer Landwirten, Förstern und Wissenschaftlern unsere *urbane* Gesellschaft den Kontakt zum Boden und das Wissen über den Boden verloren. David Montgomery hat in seinem – 2010 auf Deutsch veröffentlichten – Buch „Dreck“ dargestellt, wie eine Zerstörung der Böden und falsches Bodenmanagement zum Zusammenbruch ganzer Kulturen führen können. Dies beschreiben auch die Autoren J. Diamond und S. Vogel in ihrem Buch „Kollaps:

Warum Gesellschaften überleben oder untergehen“ (2011) eindrücklich.

Die Vereinten Nationen haben das Jahr 2015 zum „Internationalen Jahr des Bodens“ ausgerufen. Dies bietet eine große Chance, die Themen „Boden und Bodenschutz“ mehr in das Bewusstsein der Bürgerinnen und Bürger zu tragen. Es ist höchste Zeit, gemeinsam mit vielen anderen im Internationalen Jahr des Bodens die Aufmerksamkeit auf diese zentrale Lebensgrundlage zu lenken.

Wie also steht es um den Boden in Deutschland? Die Antwort ist nicht einfach, denn der Boden ist als lebender Organismus ein komplexes Gebilde aus Gesteinen, *Humus*, Bakterien, Pilzen, Bodentieren, Nähr- und Schadstoffen. Das macht die Bewertung von menschlichen Einwirkungen auf die Bodenfunktionen schwierig.

Es gibt allerdings bereits viele Informationen über den regionalen und lokalen Bodenzustand. Wir haben die verfügbaren Informationen zu einigen aus unserer Sicht wichtigen Themen zusammengetragen – nicht zuletzt, um den Boden wieder mehr in das Blickfeld zu rücken. Die meisten dieser Ergebnisse entstammen der Zusammenstellung von Daten der Bundesländer oder vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und dem Umweltbundesamt (UBA) finanzierten Forschungsprojekten. Das Kapitel zu den Böden Deutschlands stammt aus der Feder von Kollegen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Das Thünen-Institut hat uns Beiträge zu Bodenkohlenstoffänderungen im Wald, zu kohlenstoffreichen Böden und zu den von ihnen durchgeführten Untersuchungsprogrammen der Bodenzustandserhebung geliefert. Teile des Kapitels „Klimawirkungen“ stammen vom Deutschen Wetterdienst. Dies macht deutlich:

Eine Anzahl von Kolleginnen und Kollegen aus unterschiedlichen Behörden und mit unterschiedlichen Berufen kümmern sich um die Böden in Deutschland. Denn Boden ist vielfältig, aufregend und spannend.

Maria Krautzberger

Präsidentin des Umweltbundesamtes

(02) Die Böden Deutschlands

Die Böden Deutschlands sind vergleichsweise jung. Ihre Zusammensetzung zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom Gestein oder den *Sedimenten*, aus denen sie sich entwickelt haben. Das heißt, die Verbreitung der Gesteine spiegelt sich in der Verbreitung der unterschiedlichen *Bodentypen* wider. Für die Entstehung der Böden in Deutschland war die Verbreitung der Gletscher während der letzten *Eiszeit* bis vor etwa 10.000 Jahren prägend.

2.1 Bodenbildung durch die Eiszeit beeinflusst

Die Böden Deutschlands (vgl. Abb. 2.1) haben eine wichtige Prägung durch die vor etwa 12.000 Jahren zu Ende gegangene *Eiszeit* erhalten, in der Gestein zu Lockermaterial verwitterte und eine großräumige Verlagerung der Gesteine und *Sedimente* stattfand. Die aus Skandinavien nach Norddeutschland und aus den Alpen ins Vorland fließenden Eismassen zerrieben das mitgeführte Gestein und hinterließen flächenhaft frisches Gesteinsmaterial (*Geschiebemergel*

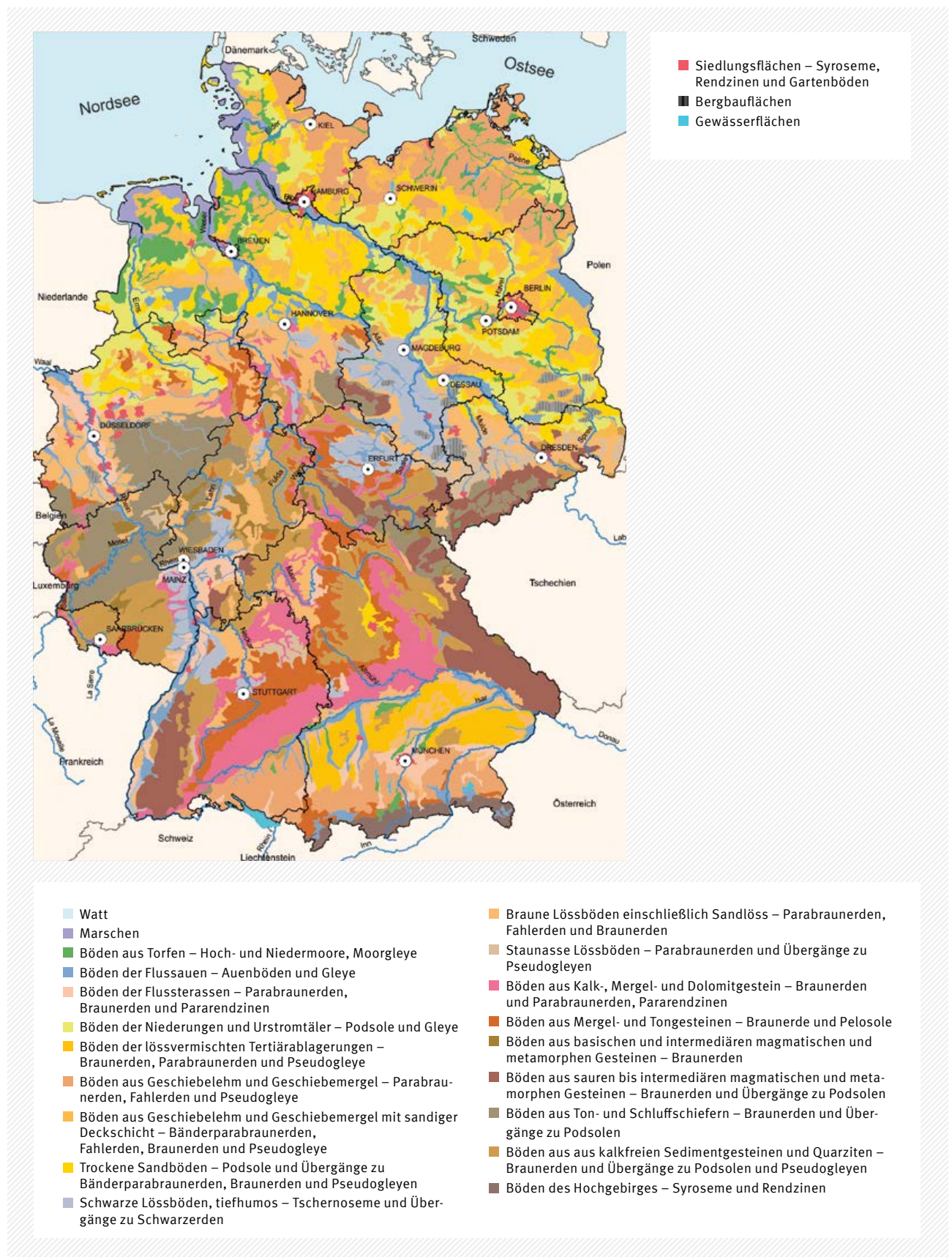
Bis aus Gestein ein Boden wird braucht es viel Zeit und die Hilfe vieler Faktoren.

und Schmelzwassersande, Deckenschotter im Alpenvorland) – Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Die Schmelzwässer verlagerten diese in breiten, verwilderten Flussbetten und bildeten Terrassen, die bis heute an zahlreichen Flussläufen erkennbar sind. Von hier aus, wie auch aus den *Moränen* der Gletscher selbst, wurde der Staub während der winterlichen Trockenzeit vom Wind fortgetragen und in der Landschaft als *Löss* oder *Flugsand* abgesetzt. Nahe des jeweiligen Auswehungsorts *sedimentierten* die gröberen Körner und die größeren Mengen, in größerer Entfernung und in höher gelegenen Landschaftsteilen die feineren Körner in geringermächtigen Schichten. Im nicht vereisten Gebiet führte intensive Frostsprengung zur Bildung großer Mengen Schutt und Gesteinsstaub. Teilweise wurde auch hier ein *Lössschleier* abgelagert, der bei Schneeschmelze an den Hängen in das anstehende, ebenfalls durch Frost zerkleinerte Material durch Bodenfließen in die Böden eingearbeitet wurde. Nach dem Ende der *Eiszeit* bildeten sich mit Ansteigen des Meeresspiegels die Böden des Küsten*holozäns* an Nord- und Ostsee. Viele *Moore* entstanden erst im Laufe unserer heutigen *Warmzeit*. Die Bach- und Flusstäler wurden nach den mittelalterlichen Rodungen in den Mittelgebirgen durch verstärkte *Bodenerosion* verschüttet und die Flussauen entstanden.

Ausgehend von den Faktoren der Bodenbildung (vgl. Abb. 2.2) laufen die unterschiedlichsten Vorgänge im Boden ab. Sie gestalten und verändern das Bodenprofil (vgl. Abb. 2.3) und sind die Grundlage für eine systematische Gliederung der Böden. Je nach Art und Abfolge der gebildeten *Bodenhorizonte* werden *Bodentypen* (vgl. Abb. 2.4) unterschieden. Zwischen vielen

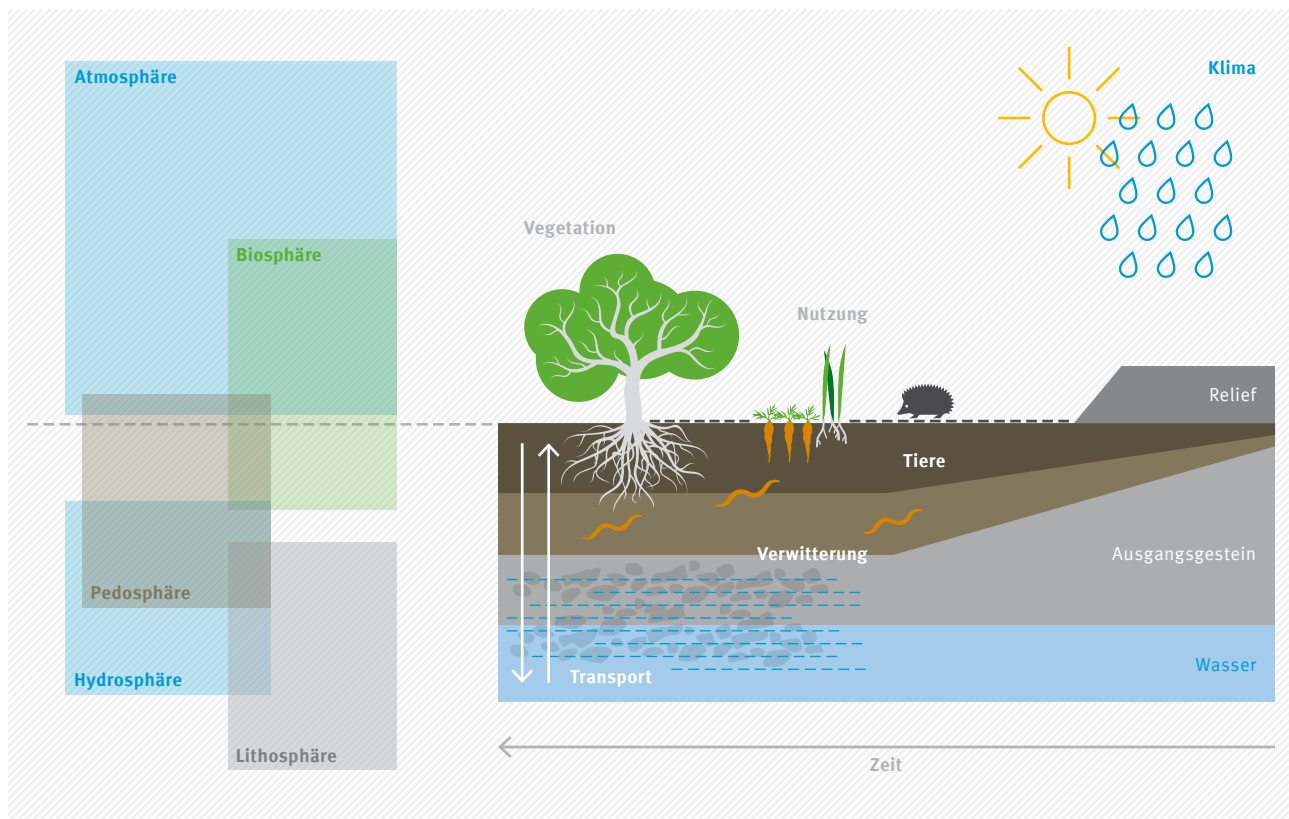


Abbildung 2.1

Bodenübersichtskarte von Deutschland

Quelle: BÜK5000 V3.0, © BGR, Hannover, 2005. Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Boden entsteht aus dem Zusammenwirken vieler Faktoren



Quelle: Stephan Marahrens / Umweltbundesamt

Typen gibt es Übergänge, und ein Typ kann während der Bodenentwicklung aus dem anderen hervorgehen.

Gestein zerfällt bei der *Verwitterung* in unterschiedlich große Körner. Man unterscheidet mit abnehmender Korngröße Sand, *Schluff* und *Ton*. Lehm ist ein Gemisch aus diesen dreien. Die Korngrößenverteilung eines Bodens bestimmt den Wasserhaushalt des Bodens. Ein weiterer Aspekt ist der Gehalt an chemischen Elementen, insbesondere der Alkali- (u.a. Natrium, Kalium) und Erdalkalimetalle (u.a. Magnesium, Calcium). Sie spielen für die Nährstoffversorgung der Pflanzen und bei der Pufferung von Substanzen, die als *Säuren* auf den Boden wirken, eine wichtige Rolle.

In einem engen Zusammenhang zum Gestein steht oft auch das *Relief*, das sich im Laufe der Erdgeschichte ausgebildet hat und beispielsweise durch Transportvorgänge an der Bodenoberfläche bis in die Gegenwart zur Differenzierung der Bodendecke beiträgt. Man spricht von

Bodenerosion, wenn die Böden an den Hängen gekappt werden und sich in den Senken und an den Talflanken sogenannte Kolluvien bilden.

Neben dem Gestein beeinflusst das Klima die Bodenentwicklung in hohem Maße. Wasser ist bei allen Vorgängen im Boden das entscheidende Lösungs- und Transportmittel. Das Wasserangebot und die Temperatur sind wichtige Faktoren für die Geschwindigkeit, in der chemische Prozesse ablaufen. Wie viel Regen oder Schnee fällt, wie viel Wasser durch den Boden sickern kann oder in welchem Maße es in seinen Poren gespeichert wird, steuert die Art und Geschwindigkeit der weiteren Bodenentwicklung.

Tiefwurzelnde Pflanzen, vor allem Bäume, beziehen Nährstoffe aus dem Untergrund, die mit dem Laubfall oder Absterben der Pflanze auf und in den Boden gelangen. Tiere durchmischen den Boden – vom Regenwurm bis zum Maulwurf – und tragen nach ihrem Tod selbst zur *Humusbildung* bei. Bakterien und

Pilze sind an vielen Vorgängen des Zersetzens und Umwandels beteiligt, die ohne sie in weit geringerem Maße stattfinden würden.

Unter dem Einfluss des Menschen, durch Nutzung und Bearbeitung des Bodens, werden die Böden zunehmend verändert. Beispiele sind *Bodenverdichtung*, *Bodenversiegelung* oder Belastungen durch *Schwermetalle*, organische Verbindungen sowie den Einsatz mineralischer und organischer Düngemittel. Der Einfluss des Menschen beschränkt sich auf einen relativ kurzen Zeitraum, hat aber deutliche Spuren hinterlassen und vollzieht sich oft mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit als die natürliche Bodenbildung. Diese Tatsache ist eine der Hauptursachen, die eine Erfassung und Beschreibung des Bodenzustands in immer kürzeren Zeiträumen erfordert.

2.2 Vorkommen unterschiedlicher Böden in Deutschland

Am verbreitetsten ist in Deutschland die *Braunerde*, die einen verbrauchten und verlehnten Unterbodenhorizont aufweist (vgl. Abb. 2.1). Sandigeres und damit gröberes Ausgangssubstrat führt zu nährstoffärmeren Varianten, dasselbe gilt für kieselssäurereiche („saure“) Ausgangsgesteine. Wo noch weniger Nährstoffe im Ausgangsmaterial enthalten sind oder die Nährstoffe durch große Niederschlagsmengen und sandiges Substrat sehr schnell ausgewaschen werden können, bilden sich *Podsole*. In ihnen wird insbesondere Eisen zusammen mit dem sauren Humus aus dem Oberboden in den Unterboden verlagert und kann dort zu steinharten Zementierungen führen.

Wo mehr Nährstoffe verfügbar sind und das Substrat nicht sandig, sondern mehr *schluffig* und *tonreicher* ist, kommt es dagegen bei ausreichenden Niederschlägen zur Verlagerung von kleinsten Bodenpartikeln (*Ton*) in den Unterboden. In den niederschlagsreicheren Gegenden bilden sich eher *Parabraunerden*, in den trockeneren Gebieten mit mehr sommerlichen *Starkregenereignissen* durch stärkere *Tonverlagerung* *Fahlerden*. In sandigeren Substraten werden auch *Tonbänder* im Unterboden gebildet, diese Böden heißen *Bänderparabraunerden*.

Bei noch geringeren Niederschlägen und kälteren Wintern bildet sich in Böden aus *Löss* kein

Unterbodenhorizont aus. Diese Böden haben einen sehr mächtigen, dunklen Oberboden, der durch die Anreicherung organischer Substanz und durch das Wühlen bodenbewohnender Tiere entsteht. Sie werden *Schwarzerden* (Tschernoseme) genannt.

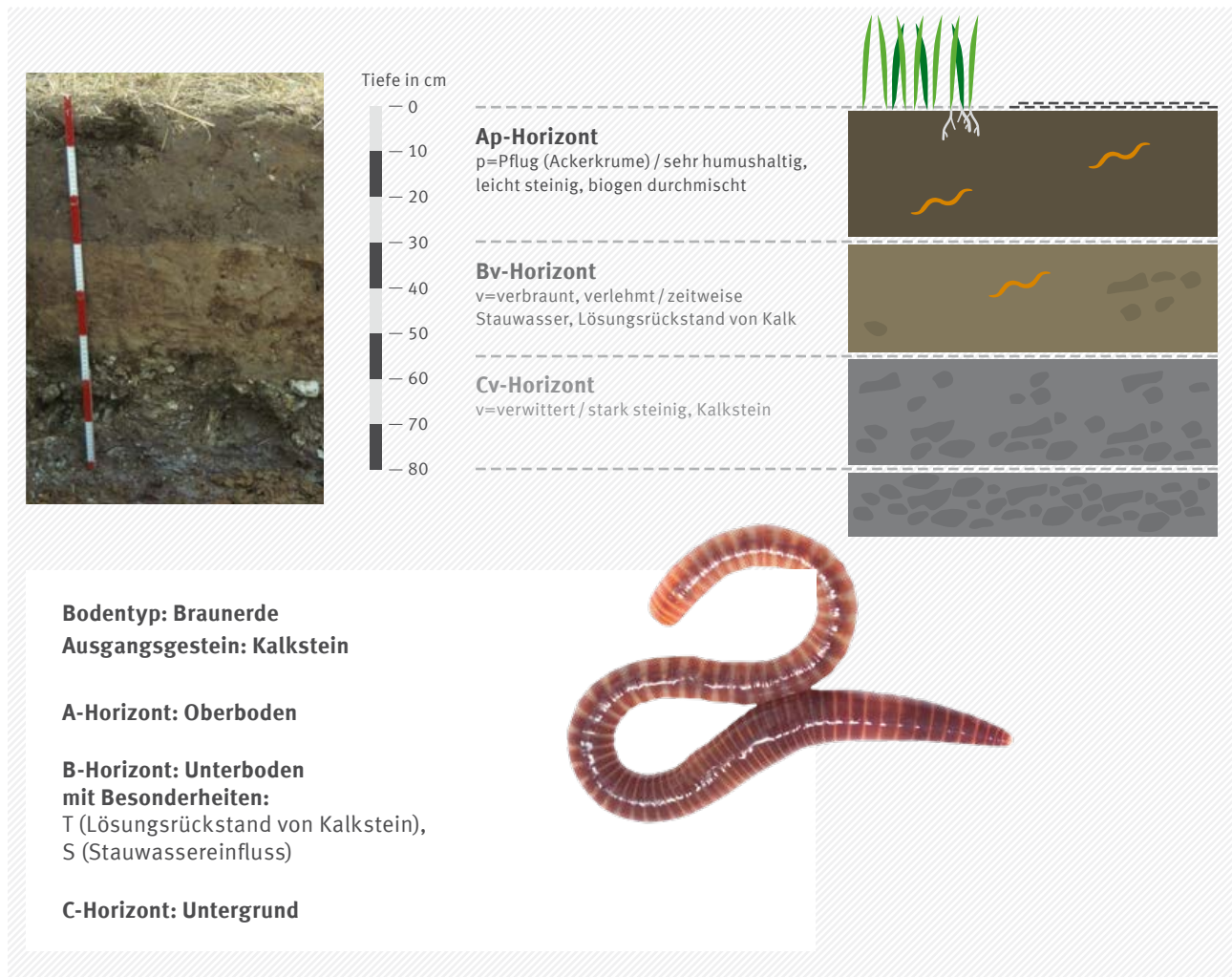
Sehr tonreiches Ausgangsmaterial der Bodenbildung, zum Beispiel aus der *Verwitterung* von *Kalksteinen*, bei der nur die *tonigen* Bestandteile zurückbleiben, führt zur Bildung von *Pelosoilen* und *Kalksteinbraunlehen*.

Wo die Zeit für die Ausbildung eines vollständigen Bodenprofils noch nicht ausgereicht hat (zum Beispiel auf Hochflutsedimenten der Flusstäler), wo es zu trocken für die *Verbraunung* ist oder fortwährender Bodenabtrag (*Erosion*) die weitergehende Bodenbildung verhindert, wie im Hochgebirge, finden sich ebenfalls Böden ohne Unterbodenhorizonte. Je nach Ausgangsgestein – fest oder locker, stärker oder weniger stark kieselssäurehaltig – und je nach Kalkgehalt unterscheidet man *Ranker*, *Regosole*, *Rendzinen* und *Pararendzinen*. Hat sich noch nicht ein Mal ein deutlicher *Humushorizont* ausbilden können, spricht man von *Sysrosemen* und *Lockersysrosemen*.

Maulwürfe sind die größten Mitbewohner im Boden. Alle Bodenlebewesen zusammen kümmern sich ständig um die Struktur und das Nährstoffangebot des Bodens.



Das Bodenprofil mit seinen Horizonten



Quelle: Stephan Marahrens / Umweltbundesamt

Immer dort, wo z. B. tonige Schichten ein züiges Versickern des Regenwassers verhindern, staut sich das Wasser im Boden. Dadurch kommt es zu einer Umverteilung des Eisens und Mangans, so dass gebleichte und rostfleckige *Horizonte* entstehen. Diese Böden nennt man Stauwasserböden (*Pseudogleye*). Ähnliche Auswirkungen hat auch von unten in den Boden hineinreichendes Grundwasser. Die aus Grundwassereinfluss resultierenden Böden sind *Gleye*. Je nachdem, wie stark der Grund- oder Stauwassereinfluss ist, bilden sich auch Übergangsformen mit fast allen oben genannten *Bodentypen*.

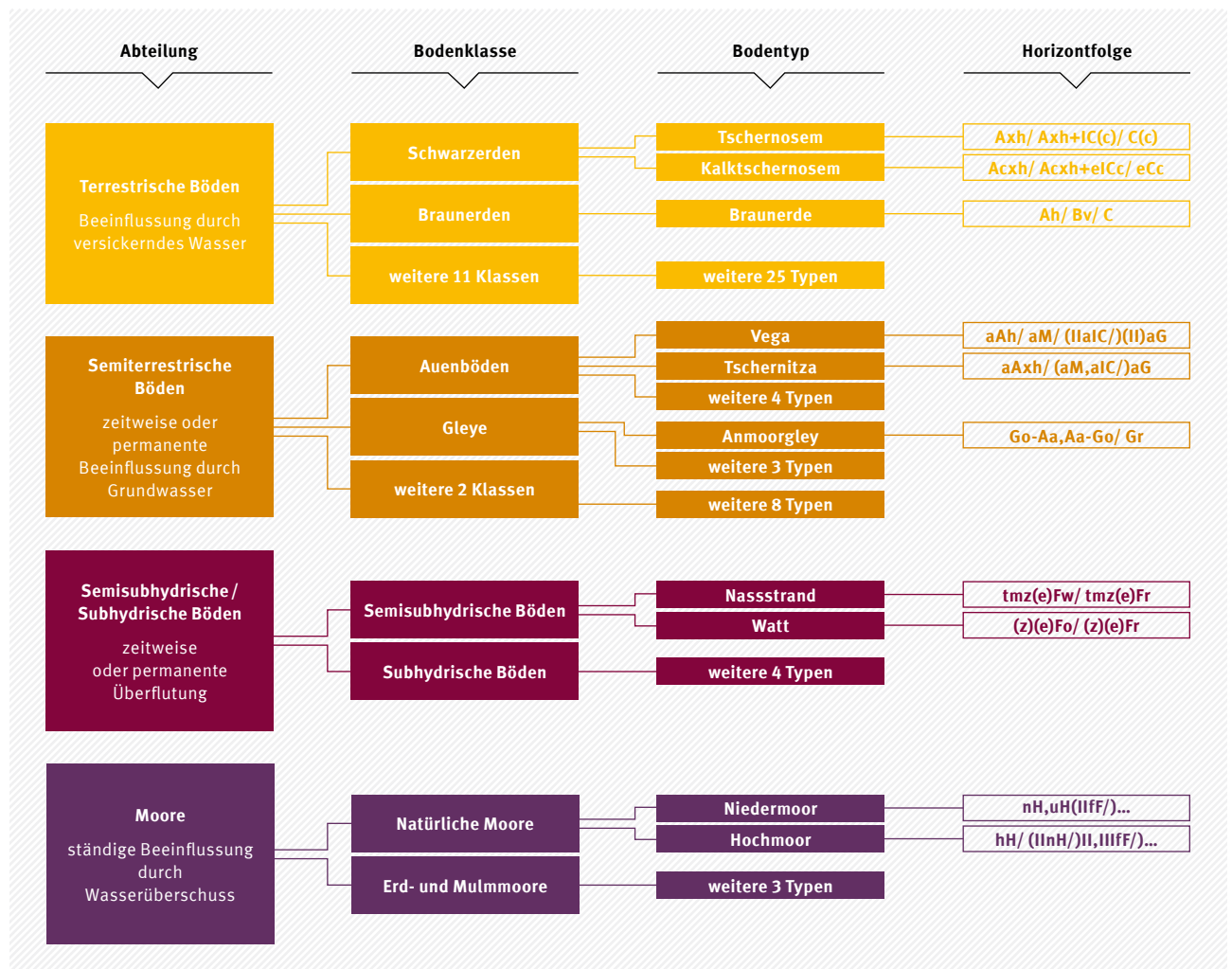
Eine Sonderform sind die an der Nordseeküste durch Eindeichung gewonnenen Böden, die zwar auch grundwasserbeeinflusst sind, aber

aufgrund ihres aus dem Meer stammenden Ausgangsmaterials eine ganz eigene Dynamik haben, in der Salze, Kalk und Schwefel eine wichtige Rolle spielen. Man spricht bei diesen Böden von den *Marschen*. Heute noch meerwasserüberflutete Böden sind die *Wattböden* und Strände. Durch Grund- wie Überflutungswasser beeinflusste Böden der Flusstäler sind die *Auenböden*. Sie bilden sich in dem vom Fluss bei Hochwässern abgesetzten *Sediment*.

Besondere Bildungen sind die Hoch- und Niedermoore. Der Torf, aus dem diese Böden bestehen, wird von der hier wachsenden *Vegetation* selbst gebildet. Mineralische Bodenteilchen, in denen sich die bisher genannten Böden entwickeln, enthalten die eigentlichen *Moorhorizonte* nur in sehr geringem Maße oder

Abbildung 2.4

Die Systematik der Böden in Deutschland



Quelle: Ad-hoc-AG Boden (2005)

gar nicht. Hochmoore bilden sich allein durch Niederschlagswasser. Sie entstehen nur im regenreicheren Westdeutschland bzw. in den höheren Gebirgslagen. Weil mit den Niederschlägen natürlicherweise nur wenig Nährstoffe eingetragen werden, handelt es sich um extrem nährstoffarme Standorte. Niedermoores hingegen bilden sich in nassen Niederungen unter dem Einfluss von Grund- und Quellwasser, z. B. in verlandenden Seen, und können nährstoffreich sein.

2.3 Bodenkarten

Die Verbreitung der Böden im Gelände wird in der bodenkundlichen Landesaufnahme durch die Staatlichen Geologischen Dienste der Bun-

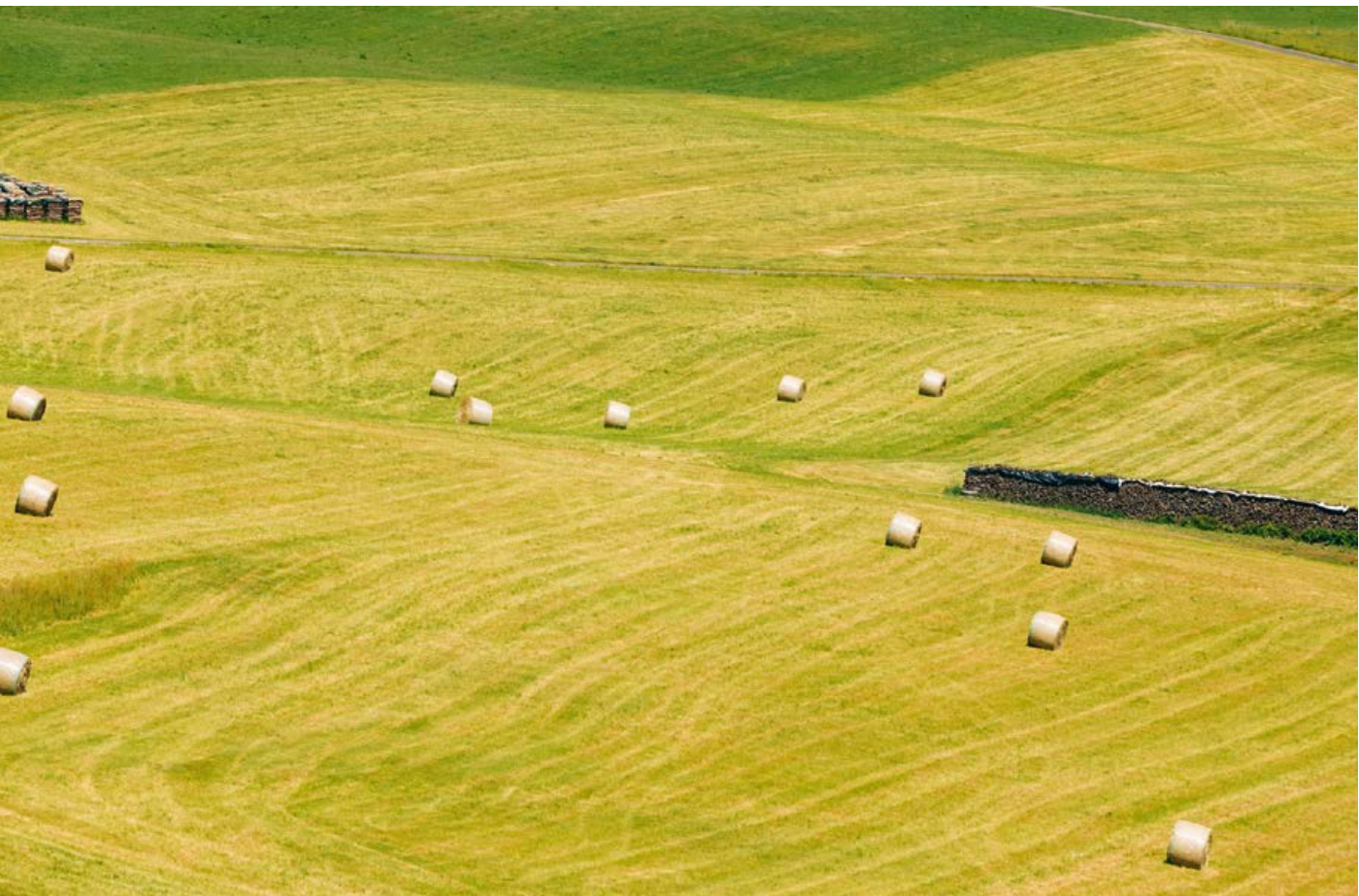
desländer in unterschiedlichen Maßstäben kartiert. Da die Böden oft sehr kleinräumig wechseln, werden in den Karten in der Regel typische Bodengesellschaften dargestellt (vgl. Abb. 2.1). Für die Maßstabsebene der Bundesrepublik liegen verschiedene Übersichtskarten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) vor.



Einen Überblick über bundesweite Bodenkarten vermittelt der Kartendienst geoviewer.bgr.de oder die Website der staatlichen geologischen Dienste der Bundesländer www.infogeo.de

(03) Boden und Flächennutzung

Der Boden erfüllt zahlreiche Funktionen. Diese Dienstleistungen sind frei Haus und machen den eigentlichen Wert des Bodens aus. Neben den Pflanzen und Tieren profitiert wesentlich der Mensch davon. Sauberes Wasser und gesunde Lebensmittel sind nur mit gut funktionierenden Böden zu haben. Das tägliche Brot ist für Menschen in Deutschland selbstverständlich. Etwa die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Folglich ist die Landwirtschaft Hauptakteur der Bodennutzung. Weil Boden sehr begehrt ist konkurriert die Landwirtschaft mit anderen Flächennutzungen. Immer dann, wenn Boden unter Beton oder Asphalt verschwindet, stehen seine Dienstleistungen nicht mehr zur Verfügung. Diese Entwicklung gilt es im Blick zu behalten.



Auch wegen des globalen Bevölkerungsanstiegs müssen wir fruchtbare Böden erhalten. Intakte Grünlandböden speichern außerdem viel klimarelevanten Kohlenstoff.

3.1 Flächennutzung in Deutschland

Deutschland hat eine Fläche von insgesamt 357 138 km². 52,3 % davon sind landwirtschaftliche Nutzfläche (vgl. Abb. 3.1). Seit Mitte der Neunziger Jahre hat die landwirtschaftliche Nutzfläche um 4,4 Prozent abgenommen.

Landwirtschaftliche Nutzflächen befinden sich vor allem in Bayern und Niedersachsen, aber auch zu großen Teilen in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Große zusammenhängende Waldflächen liegen besonders in den Gebieten der Mittelgebirge. Das Bundesland mit der prozentual höchsten Waldfläche ist Rheinland-Pfalz (42%) (vgl. Abb. 3.2 und 3.3).

3.2 Entwicklung der Flächennutzung

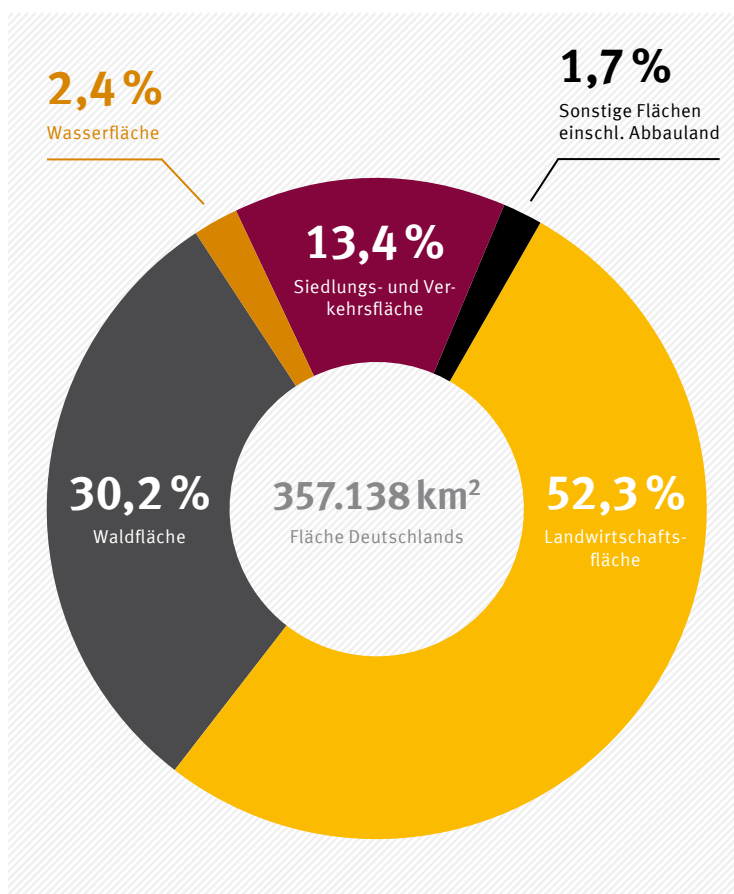
Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland hat in den Jahren 2008 bis 2011 insgesamt um 2,5 % oder 1.182 Quadratkilometer zugenommen. Das entspricht rechnerisch einem täglichen Anstieg von 81 Hektar (ha) oder etwa 116 Fußballfeldern. Der tägliche Flächenverbrauch hat sich gegenüber dem letzten Berechnungszeitraum verlangsamt. Er betrug im Jahr 2007 – 2010 noch 87 ha pro Tag (vgl. Abb. 3.4). Die Bundesregierung hält an dem Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie fest, im Jahr 2020 nur noch 30 ha/Tag in Anspruch zu nehmen. Dazu sind jedoch von Bund, Ländern und Kommunen weitere Anstrengungen nötig.

Eine Möglichkeit, das Problem besser darzustellen, ist die Aufteilung des 30-ha-Zieles auf die Bundesländer. Die Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt hat dazu einen Vorschlag gemacht (KBU 2009) (vgl. Abb. 3.5).

Zur Reduzierung des Flächenverbrauchs hat sich das Umweltbundesamt bei der Novellierung des BauGB vor allem dafür eingesetzt, dass Siedlungsentwicklung künftig vorrangig durch Innenentwicklung erfolgen soll. Die Inanspruchnahme von Landwirtschafts- oder Waldflächen wird zudem im novellierten Baugesetzbuch (BauGB) an die Bedingung geknüpft, dass zuvor anhand von Baulücken- und Brachflächenkatastern nachgewiesen wird, dass im Innenbereich keine geeigneten Flächen verfügbar sind.

Abbildung 3.1

Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2011)



Quelle: DESTATIS 2012

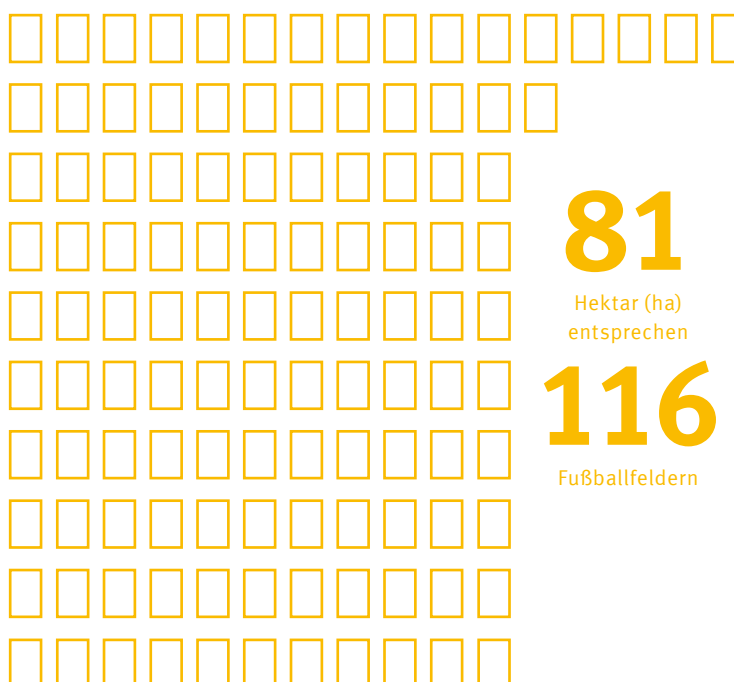
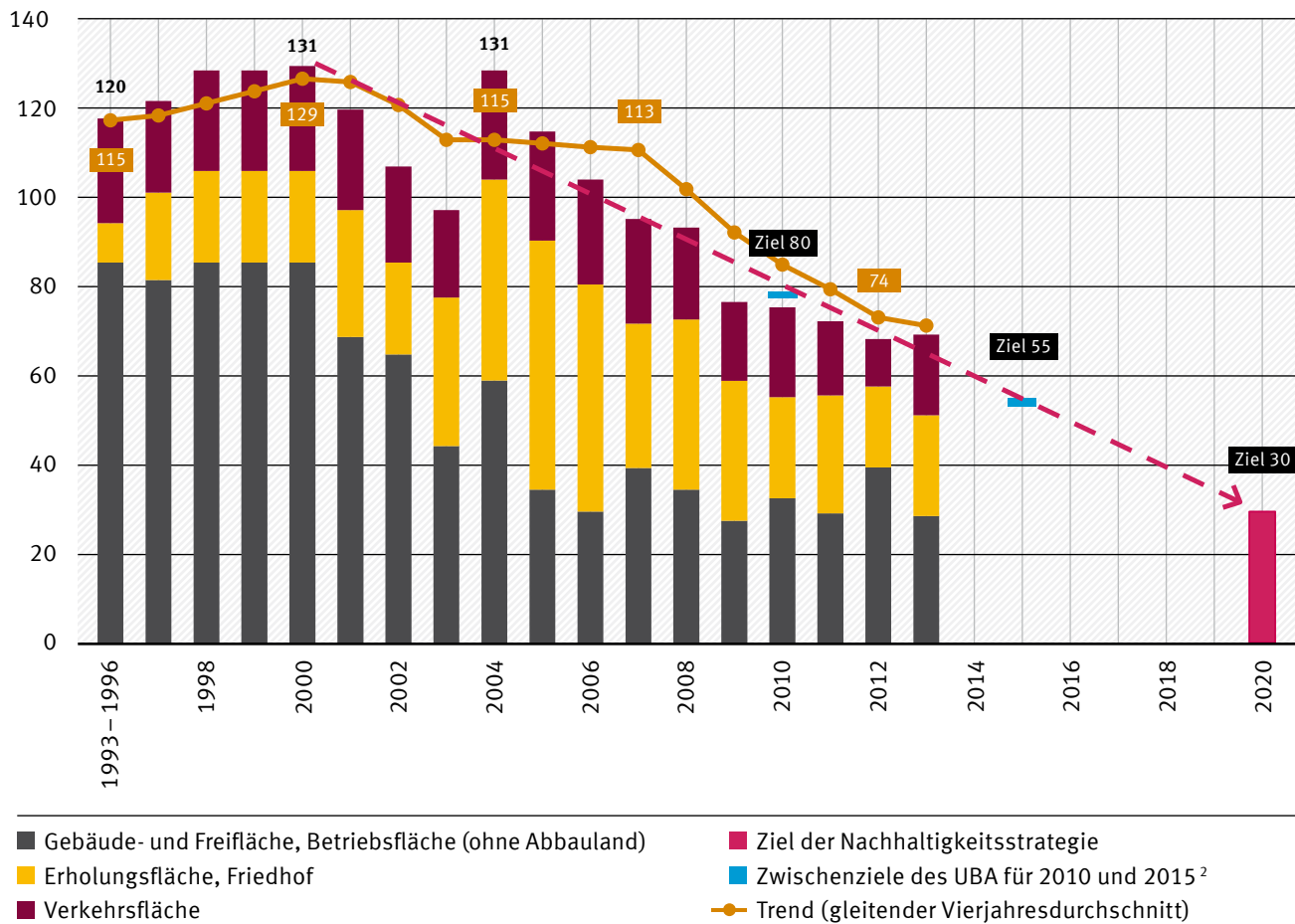


Abbildung 3.2

Anstieg der Siedlungs- und VerkehrsflächeHektar pro Tag¹

¹ Die Flächenerhebung beruht auf der Auswertung der Liegenschaftskataster der Länder. Aufgrund von Umstellungsarbeiten in den amtlichen Katastern (Umschlüsselung der Nutzungsarten im Zuge der Digitalisierung) ist die Darstellung der Flächenzunahme ab den Jahr 2004 verzerrt.

² Das UBA hat Zwischenziele für das Ziel der Bundesregierung für das Jahr 2020 (30 ha/Tag) vorgeschlagen: 80 ha/Tag im Jahr 2010 und 55 ha/Tag im Jahr 2015.

Quelle: Statistisches Bundesamt 2014, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2009

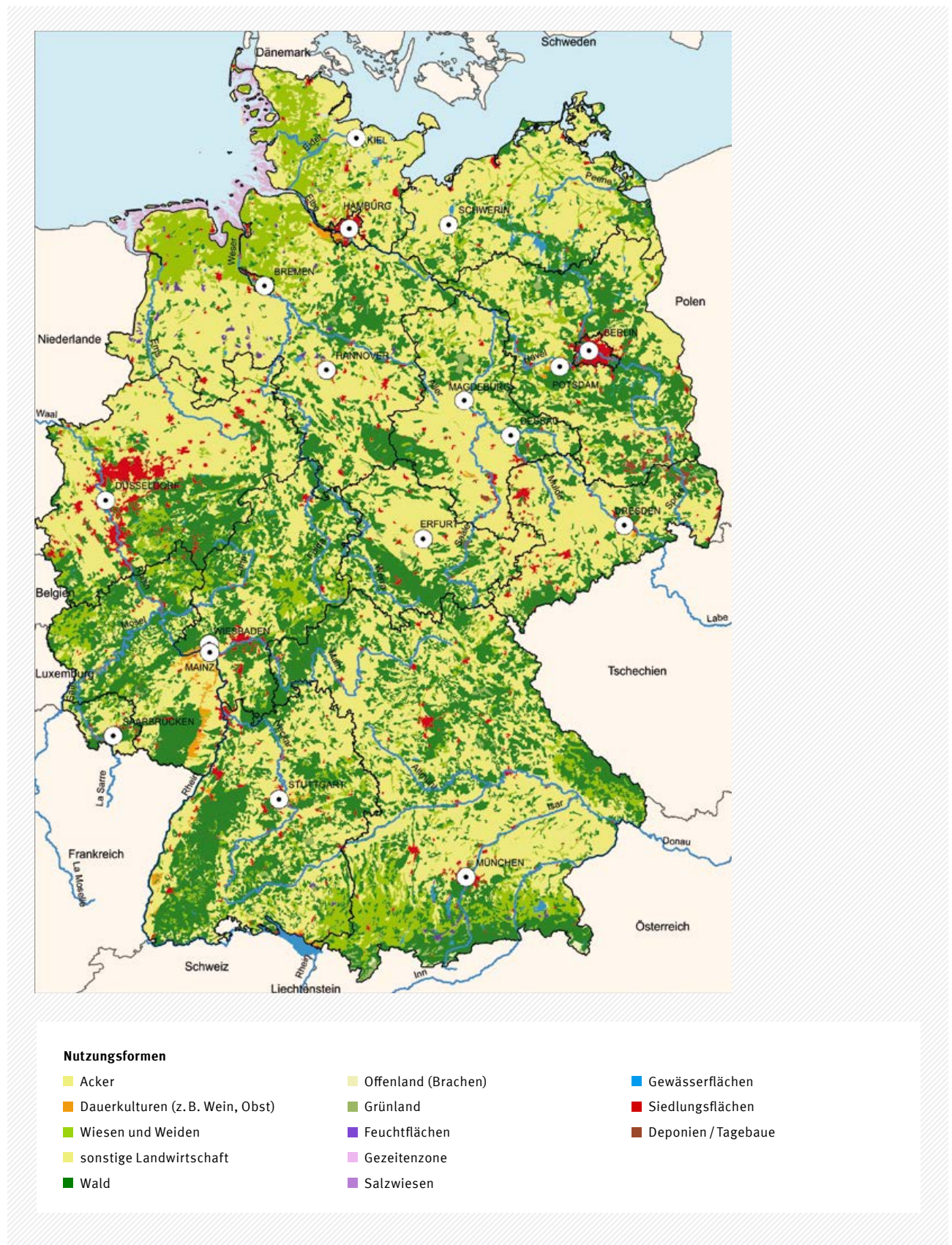
Künftig ist es auch erforderlich, Steuern und Subventionen konsequent darauf auszurichten, die Innenentwicklung, das Recyceln von vorge-nutzten Flächen und die Sanierung und Ertüch-tigung der bestehenden Gebäude zu fördern. Das gilt für die Gestaltung der Grundsteuer und der Grunderwerbsteuer und für eine Umgestaltung bzw. Abschaffung der Pendlerpauschale. Das gilt aber auch für die Förderprogramme der KfW zum Wohnungsbau sowie für alle Subventionen zur Förderung des Wohneigentums sowie für Förderprogramme zur Schaffung gewerbenaher Infrastruktur und die Förderprogramme für den ländlichen Raum, wie GAK und ELER.

Mittelfristig sollen neue Instrumente zur Eindäm-mung des Flächenverbrauchs entwickelt werden. Das Umweltbundesamt fördert nach einer Pilot-

studie (Bizer et al., 2012) einen bundesweiten Modellversuch im Rahmen eines Planspiels. Der Handel mit Flächenzertifikaten könnte es erlau-ben, zum einen das 30-Hektar-Ziel der Bundes-regierung exakt einzuhalten und den verblei-benden Flächenverbrauch dahin zu lenken, wo er den meisten Nutzen stiftet, wobei das Geld für den Kauf von Zertifikaten dorthin fließt, wo es am sinnvollsten eingesetzt werden kann.

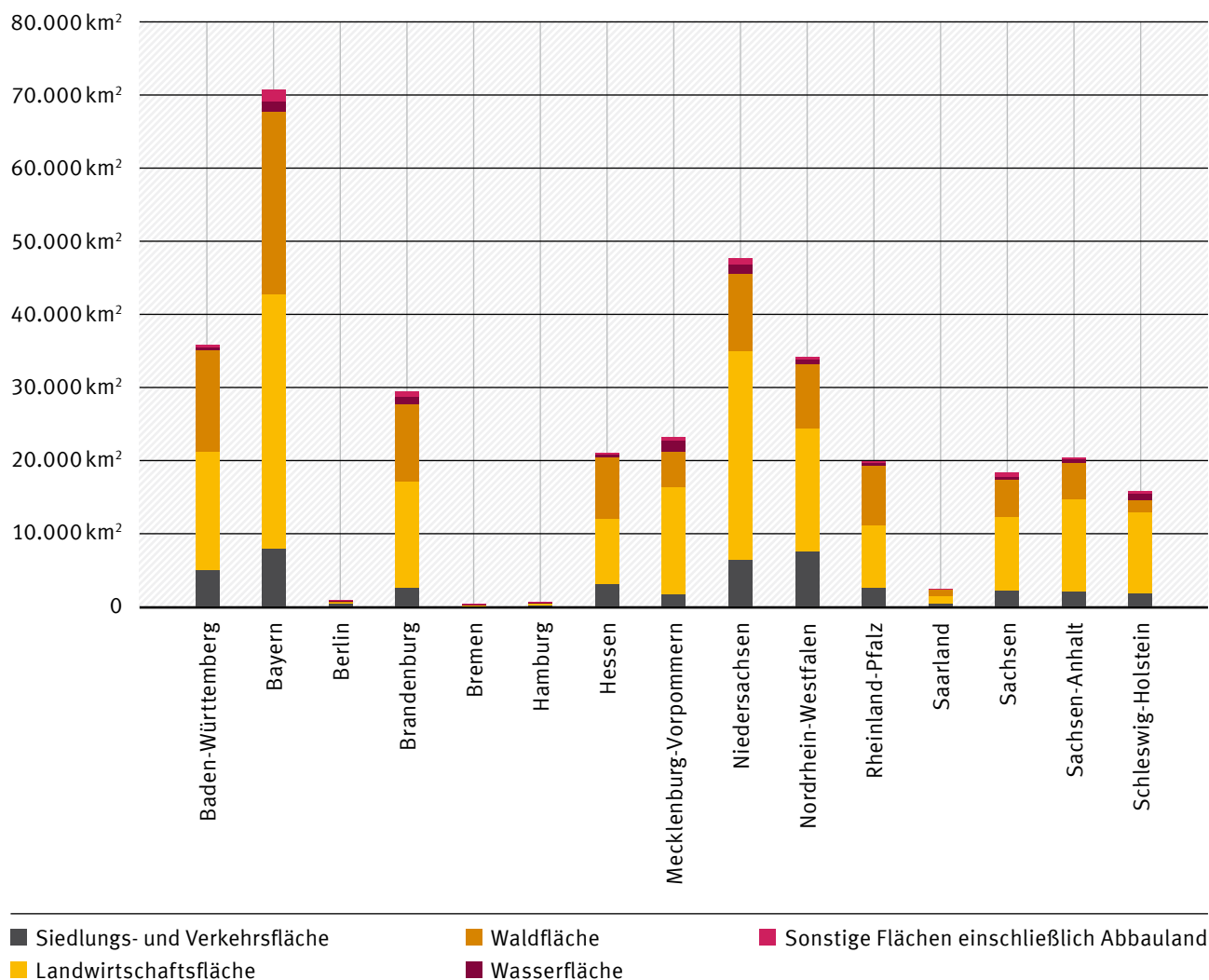
Zum sparsamen Umgang mit der knappen Res-ource Fläche und fruchtbarer Boden hat die Bundesregierung in der 17. Legislaturperiode einen bundesweiten Modellversuch begonnen, in dem Kommunen auf freiwilliger Basis mit Flächenzertifikaten handeln, um zielgenau, ökonomisch effizient und verteilungsrecht zur Einhaltung des 30-Hektar-Ziels der Nationalen

Abbildung 3.3

Bodennutzung in Deutschland

Quelle: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013.
 Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 3.4

Flächennutzung in den Bundesländern (Stand 31.12.2011)Hektar pro Tag¹

Quelle: DESTATIS 2012

Nachhaltigkeitsstrategie beizutragen. Dieser Modellversuch ist erfolgreich mit 15 ausgewählten Pilotkommunen gestartet, weitere Interessensbekundungen von Kommunen liegen bereits vor. In der 18. Legislaturperiode soll der Modellversuch schrittweise auf mindestens 100 Kommunen ausgedehnt werden. Die praktischen Erfahrungen aus diesem Modellversuch zum sparsamen, schonenden und effizienten Umgang mit Flächen werden wir bei der Weiterentwicklung des Ressourcen- und Planungsrechts berücksichtigen.

3.3 Konkurrenz in der Bodennutzung

Böden haben vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, sie dienen als Grundlage für die Nahrungs-

und Futtermittelproduktion, als Standort für Energie- oder Industriepflanzen, für die o.g. Siedlungs- und Verkehrsfläche. Oder Böden werden ausgehoben, um Rohstoffe zu fördern, sie sind aber auch der Platz zur Ablagerung unserer Abfälle. Aus all diesen Nutzungen ergeben sich vielfältige Konkurrenzen.

In der Diskussion zur verstärkten Nutzung von Bioenergie wird dies auch unter der Fragestellung „Teller, Trog oder Tank“ verkürzt. Das Umweltbundesamt hat ein Positionspapier zu dieser Fragestellung veröffentlicht, in welchem die Frage der Ernährungssicherheit als prioritär eingestuft wird (Jering et al., 2013).



Der Anbau von Mais ist in den letzten 10 Jahren um eine Million Hektar angewachsen – besonders für die Nutzung in Biogasanlagen. Mit entsprechenden Folgen für die Böden in ungünstigen Lagen. (<https://mediathek.fnr.de/catalog/product/gallery/id/642/image/1414/>)



(04) Schadstoffe in Böden

Schadstoffe sind in Böden allgegenwärtig. Sie stammen aus natürlichen Quellen, aus Industrie, Landwirtschaft, Verkehr und privaten Haushalten. Wenn sie sich im Boden anreichern und von dort ins Grundwasser gelangen oder von Pflanzen aufgenommen werden, können sie zum Risiko für Mensch und Umwelt werden.

4.1 Einführung

Schadstoffe sind Stoffe und Stoffverbindungen, die auf Grund ihrer Eigenschaften und der vorkommenden Konzentrationen schädlich für Mensch und Umwelt sein können. Sie sind allgegenwärtige Bestandteile von Böden und stammen aus natürlichen Quellen, dem (historischen) Bergbau, industriellen Prozessen, Gewerbetätigkeiten, der Verbrennung von fossilen Energieträgern, Siedlungsabfällen und –abwässern, den in der Land- und Forstwirtschaft oder bei der Gartennutzung verwendeten Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, dem Verkehr und aus privaten Haushalten. Durch eine Anreicherung in Böden und Verlagerung in das Grundwasser und in die Pflanzen können Risiken für Mensch und

Umwelt entstehen. Natürliche Quellen für Schadstoffe in Böden sind die in den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung enthaltenen Mineralien, aus denen die Schadstoffe durch *Verwitterung* freigesetzt werden. Oberflächennahe Anreicherungen von Erzmineralien und deren *Verwitterung* können lokal zu natürlich erhöhten Schadstoffgehalten in Böden führen. Auch Waldbrände und Vulkanausbrüche können Ursache für den Eintrag von Schadstoffen in Böden sein.

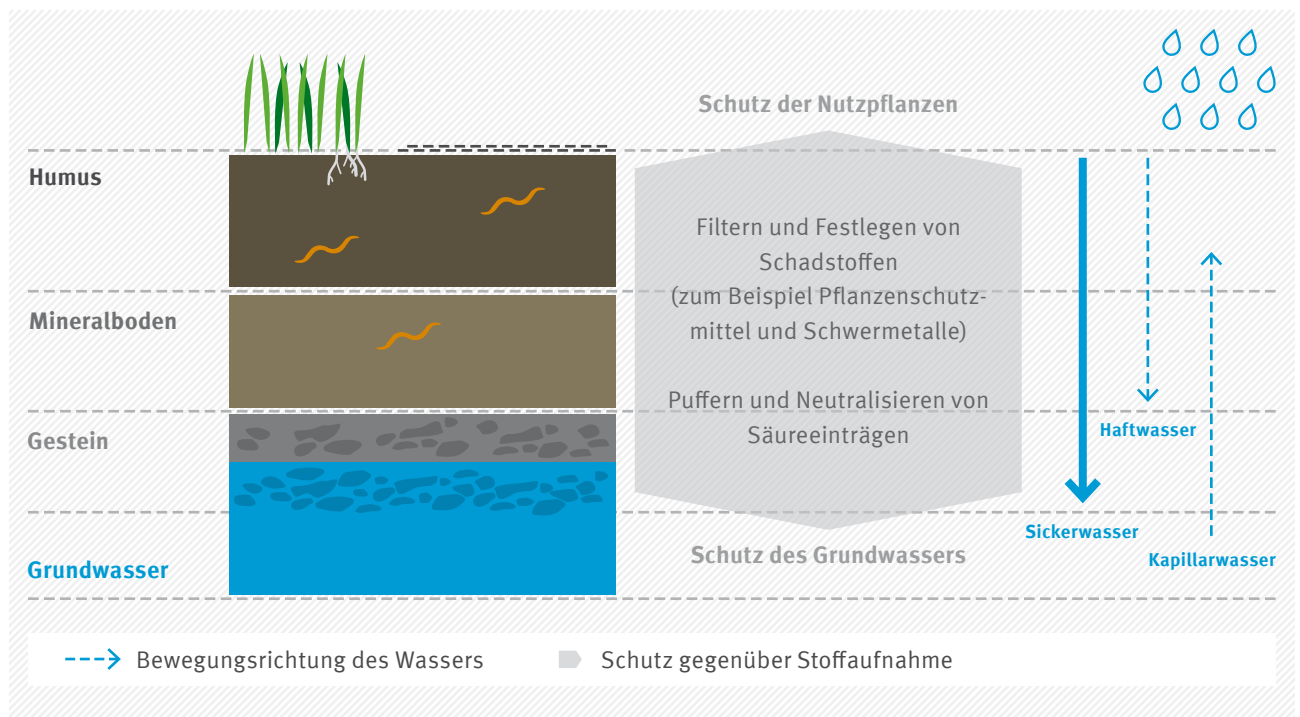
Neben den genannten natürlichen Quellen sind Schadstoffeinträge aus menschlicher Tätigkeit von wesentlicher Bedeutung. Durch Emissionen aus Industrie, Bergbau, Landwirtschaft, Verkehr und privaten Haushalten sowie durch Verwendung von *Pflanzenschutzmitteln* in der Land-

Durch moderne Filteranlagen kann der Ausstoß von Schadstoffen in die Luft und ihr Eintrag in Böden reduziert werden.



Abbildung 4.1

Böden schützen Grundwasser und Anbaupflanzen



Quelle: S. Marahrens / Umweltbundesamt

und Forstwirtschaft sowie Düngemitteln in der Landwirtschaft werden Schadstoffe flächenhaft in Böden eingetragen.

Durch ihr Filter- und Puffervermögen können Böden als Senke für in die Umwelt eingetragene Schadstoffe fungieren und verhindern, dass diese in das Grundwasser gelangen oder von Pflanzen aufgenommen werden. Schadstoffe werden aus dem Sickerwasser herausgefiltert und an die organische Bodensubstanz, Tonminerale und SesquiOxide des Bodens gebunden. Die Pufferung bewirkt eine Neutralisierung versauernd wirkender Einträge von Schwefel- und Stickstoff-Verbindungen und verhindert damit eine Versauerung von Böden (vgl. Abb. 4.1). Schadstoffe können nur solange angereichert und gebunden werden bis die Speicherkapazität der Böden erschöpft ist. Wird das Filter- und Puffervermögen der Böden überschritten, werden Schadstoffe mobilisiert und in das Grundwasser verlagert oder vermehrt von Pflanzen aufgenommen, so dass sie auch in die Nahrungskette gelangen können.

Wichtige Schadstoffgruppen sind *Schwermetalle* und Arsen, persistente organische Stoffe, *Säure-*

bildner, Rückstände von schwer abbaubaren *Pflanzenschutzmitteln*, Arzneimittel und Radionuklide (s. Tab. 4.1). Nährstoffe wirken dann schädlich, wenn die dem Boden zugeführte Menge den Bedarf der Nutzpflanzen übersteigt.

In diesem Bericht haben wir die Einträge von Arzneimitteln und Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor, Kalium) nicht beschrieben. Human- und Tierarzneimittel gelangen mit der Ausbringung von Klärschlamm und Gülle in Böden. Nährstoffe werden zielgerichtet für die Pflanzenernährung in landwirtschaftliche Böden eingebracht. Zu hohe Mengen von Stickstoff können durch Nitratauswaschung zur Belastung des Grundwassers (Umweltbundesamt, 2011) und Phosphor kann bei *Erosionsereignissen* und Auswaschung in die Oberflächengewässer zu deren Eutrophierung führen (Umweltbundesamt, 2000).



Welche Schadstoffe von Emittenten besonders häufig freigesetzt werden und aus welchen Branchen sie stammen kann unter www.thru.de recherchiert werden.

Tabelle 4.1

Schadstoffgruppen und Wirkungen

Stoffgruppe (Stoffe)	Wirkung
Anorganische Stoffe z. B. <i>(Schwermetalle)</i> ▶ Blei (Pb) ▶ Cadmium (Cd) ▶ Quecksilber (Hg)	<i>Schwermetalle</i> werden im Boden gebunden und angereichert und sind ab einer bestimmten Konzentration toxisch für das Bodenleben und das Pflanzenwachstum. Über den Transfer in die Nahrungs- und Futterpflanzen und den Austrag in das Grundwasser besteht eine Gefahr für die menschliche Gesundheit.
Organische Stoffe z. B. (POP: Persistent Organic Pollutants) ▶ Chlorpestizide (DDT, HCH, Aldrin u.a.) ▶ <i>Dioxine</i> / Furane (PCDD/F) ▶ Polychlorierte Biphenyle (<i>PCB</i>) ▶ Polychlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe (<i>PAK</i>)	Langlebige organische Stoffe, die schwer abbaubar, meist stark toxisch oder krebserregend für Organismen sind; sie reichern sich im Gewebe von Mensch und Tier an.
Säurebildner z. B. ▶ Stickoxide (NOX) ▶ Stickstoffverbindungen (NH₄) ▶ Schwefelverbindungen (SO₂)	Versauerung der Böden („Saurer Regen“); Mobilisierung von <i>Schwermetallen</i> und Aluminium bei niedrigen <i>pH-Werten</i> , Auswaschung von Nährstoffen, Verschlechterung der Bodenstruktur.
Nährstoffe z. B. ▶ Stickstoffverbindungen (NO₃, NH₄) ▶ Phosphate (PO₃) ▶ Sulfate (SO₄)	Eutrophierung der Still- und Fließgewässer mit der Folge von Sauerstoffmangel und Verlust des Lebensraumes für <i>Flora</i> und <i>Fauna</i> . Austrag von Stickstoff in Form von Nitrat und Nitrit in das Grundwasser und Verschlechterung der Rohwasserqualität für die Trinkwassergewinnung.
Radionukleide z. B. ▶ Cäsium (Cs-137) ▶ Strontium (Sr-90)	Einträge von Cäsium-137 und Strontium-90 in Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl, Anreicherung im Boden und Schädigung der <i>Bodenorganismen</i> , durch Transfer in die Nahrungskette Gefahr für die menschliche Gesundheit.
Arzneimittel z. B. ▶ Blutfettsenker ▶ Hormonpräparate ▶ Antibiotika	Stoffe, die vom Menschen ausgeschieden werden und über Wasser und Klärschlamm wieder auf den Boden gelangen können. In der Tiermast vor allem Antibiotika und Ausbringung mit der Gülle auf den Boden oder menschliche Aufnahme über tierische Nahrungsmittel.

4.2 Einträge von Schadstoffen in Böden

Hauptursachen für flächenhafte Einträge, welche zu einer Anreicherung von Schadstoffen in Böden führen können, sind die Deposition von Luftschadstoffen aus verschiedenen Emissionsquellen und die Verwendung von Düngemitteln und *Pflanzenschutzmitteln* in der Land- und Forstwirtschaft.

Durch Einzelquellen – z. B. Industrie- oder Bergbaustandorte, Deponien oder Havarien – können punktuell *Altlasten* entstanden sein, die zu sanieren oder zu sichern sind (siehe Kap. 09 *Altlasten*). Erhöhte Schadstoffgehalte in Acker- und Grünlandböden können zur Folge haben, dass zur Abwehr von Gefahren der Anbau von Nahrungs- oder Futtermitteln begrenzt oder untersagt werden muss.

4.2.1 Emission von Luftschadstoffen

Anorganische Schadstoffe sind in den staub- und gasförmigen Emissionen vieler Produktionsprozesse und fast aller Verbrennungsprozesse enthalten; wichtige Emissionsquellen sind Feuerungsanlagen, Eisen- und Stahlindustrie, die Nichteisen-Metallindustrie, Müllverbrennungsanlagen, die Zementindustrie, die Glasindustrie sowie der Kraftfahrzeugverkehr.

Dioxine entstehen in Gegenwart von Chlorverbindungen bei jeder nicht vollständigen Verbrennung. In der Vergangenheit wurden sie durch die Energiewirtschaft und Metallindustrie in großen Mengen freigesetzt. Insgesamt sanken diese Emissionen zwischen 1990 und 2004 um etwa 90 % und stagnieren seither auf diesem Niveau. Auch *PAK* und Hexachlor-

benzol (HCB) werden durch unvollständige Verbrennungen freigesetzt. Hauptquelle sind derzeit kleinere Feuerungsanlagen. Die Polychlorierten Biphenyle (PCB) sind technische Produkte, deren Herstellung und Anwendung 1978 zuerst in offenen Systemen und 1989 generell verboten wurde. Die Entsorgungssituation von PCB ist kritisch, da bei nicht kontrolliertem Verbleib erhebliche Re-Emissionen möglich wären.

Tabelle 4.2

Emissionen anorganischer Schadstoffe in den Jahren 1990 und 2011

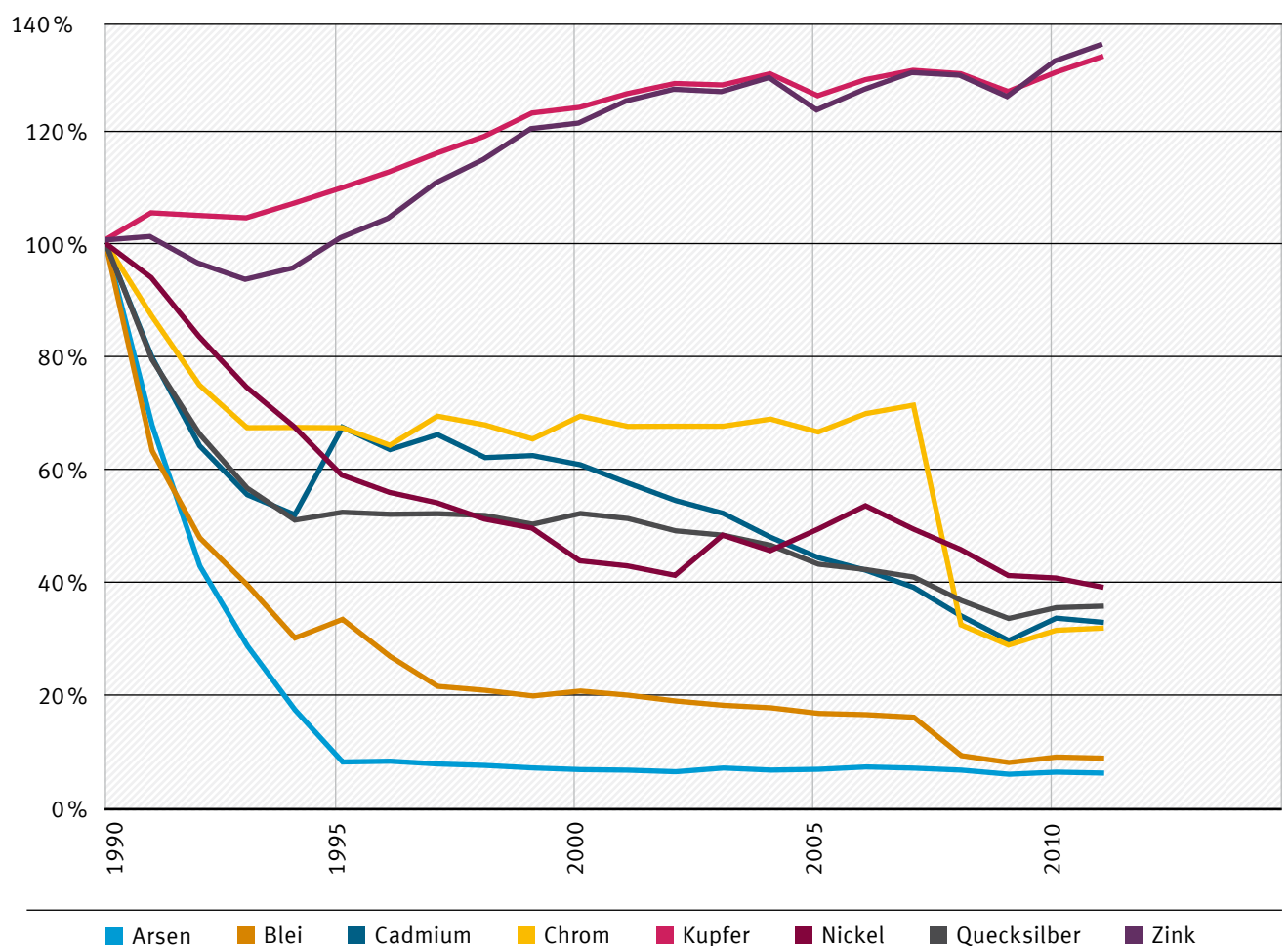
Jahr	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
in Tonnen								
1990	82	2.075	17	188	1.694	273	29	1.599
2010	6	190	5	56	2.124	101	9	1.885

Quelle: Umweltbundesamt 2013

Abbildung 4.2

Entwicklung der Emissionen anorganischer Schadstoffe

in % zum Bezugsjahr 1990



Quelle: Umweltbundesamt 2013

Vom Umweltbundesamt werden die Emissionen von Luftschadstoffen jährlich im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention berichtet. Die Berichte beinhalten für den Zeitraum von 21 Jahren über 20 verschiedene Schadstoffe aus allen relevanten Emissionsquellen – von großen Kraftwerken über den Verkehr, Konsumprodukten bis hin zur Viehhaltung und Abfallwirtschaft. Die berechneten Emissionen sind für eine Vielzahl anorganischer Schadstoffe wie Cadmium und

Quecksilber seit 1990 stark rückläufig. Demgegenüber sind die berechneten Emissionen von Kupfer und Zink kontinuierlich gestiegen. Die Trends für persistente organische Schadstoffe sind ebenfalls seit 1990 rückläufig. Den Abbildungen 4.2 und 4.3 und Tabellen 4.2 und 4.3 kann für den Zeitraum von 1990 bis 2011 die Entwicklung der jährlichen Emissionen verschiedener anorganischer und organischer Schadstoffe entnommen werden.

Tabelle 4.3

Emissionen organischer Schadstoffe in den Jahren 1990 und 2011

Jahr	BaP	PAK *	HCH	PCB	HCB	Dioxine /Furane
	in Tonnen				in kg	in g I-TEQ
1990	138	374	60	1.672	5,3	747
2011	29	177	0	225	3,4	63

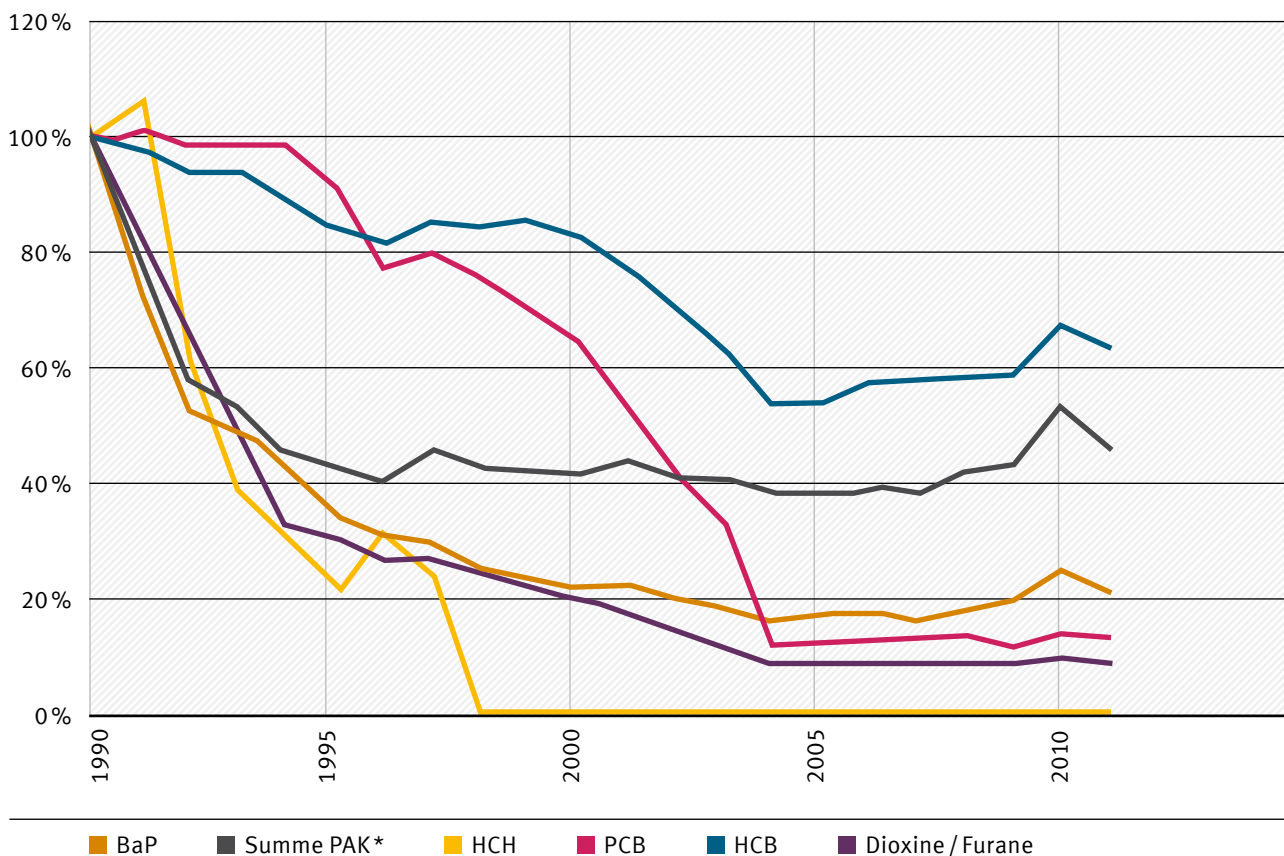
* Summe BaP, benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene

Quelle: Umweltbundesamt 2013

Abbildung 4.3

Entwicklung der Emissionen organischer Schadstoffe

in % zum Bezugsjahr 1990



* Summe BaP, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene

Quelle: Umweltbundesamt 2013

4.2.2. Deposition von Luftschadstoffen

Der Eintrag von Luftschadstoffen in Böden erfolgt durch „Deposition“ aus der Atmosphäre. In niederschlagsfreien Zeiten erfolgt diese direkt oder „trocken“, zum Beispiel durch *Sedimentation* von Staubpartikeln. Die Auswaschung von Luftverunreinigungen durch den Niederschlag (Regen, Schnee, Graupel) führt zur nassen Deposition. Nebel, Tau und Reif bewirken insbesondere in Gebirgsregionen mit häufigen Nebellagen eine feuchte Deposition der mit der Luft weiträumig transportierten Schadstoffe (Dämmgen et al., 2008).

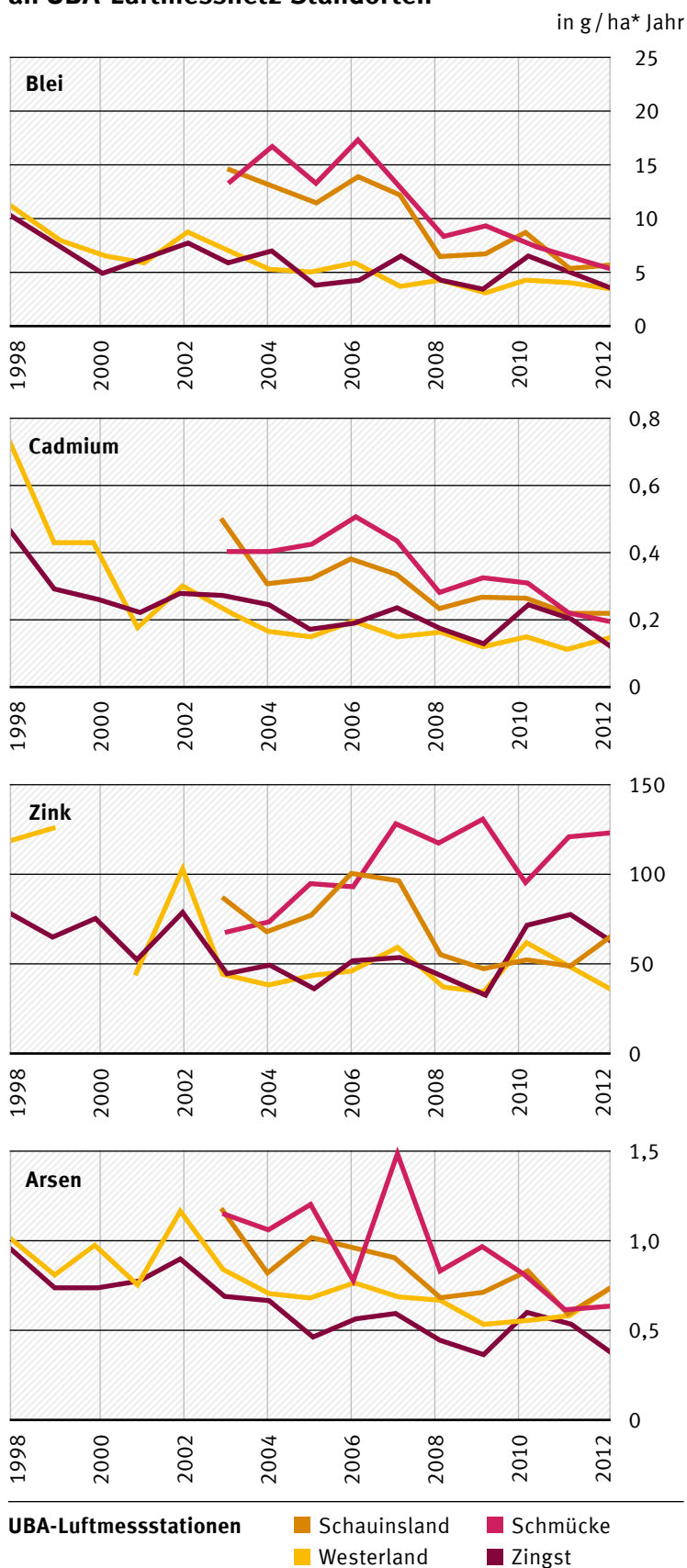
Zur Beobachtung der Wirkung nationaler und internationaler Aktivitäten zur Reinhaltung der Luft werden im Luftmessnetz des Umweltbundesamtes Einträge von Schadstoffen gemessen, die über den Niederschlag (nasse Deposition) in Böden, *Vegetation* und Oberflächengewässer gelangen. Um großräumige Einträge zu erfassen, liegen die Messstationen außerhalb von Ballungsgebieten und Städten sowie weitab von sonstigen lokalen Schadstoffquellen (zum Beispiel Industriestandorten, Kraftwerken, stark genutzten Verkehrswegen). Die sechs Messstationen zur Erfassung der nassen Deposition von anorganischen Schadstoffen befinden sich auf den (Halb-) Inseln Sylt und Darß (Westerland, Zingst), in den Mittelgebirgsregionen Schwarzwald und Thüringer Wald (Schauinsland und Schmücke) sowie in der Mecklenburger Seenplatte (Neuglobsow) und in der Lüneburger Heide (Waldhof).

Die Ergebnisse der Messungen des Umweltbundesamtes widerspiegeln die Entwicklung der Emissionen und zeigen, dass die großräumigen nassen Depositionen der meisten beispielhaft ausgewählten anorganischen Schadstoffe – mit Ausnahme von Zink und Nickel – seit Beginn der kontinuierlichen, nach einheitlichen Methoden durchgeführten Messungen im Jahr 1998 mehr oder weniger gleichbleibend oder rückläufig sind.

In den Abbildungen 4.4 und 4.5 ist die Entwicklung der nassen Deposition ausgewählter anorganischer Schadstoffe für die Bergstationen Schauinsland und Schmücke und die Küstenstationen Westerland und Zingst dargestellt.

Abbildung 4.4

Nasse Deposition von Schadstoffen an UBA-Luftmessnetz-Standorten



Quelle: Luftmessnetz des Umweltbundesamtes

Tabelle 4.4

**Luftbürdige Einträge in Böden durch die nasse Deposition
ausgewählter anorganischer Schadstoffe im Jahr 2012**

Deposition in g / ha und Jahr

Messstationen des Umweltbundesamtes	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Neuglobsow	0,4	3,4	0,1	1,1	10	3,9	n.g.	41
Schauinsland	0,8	6,0	0,2	1,1	22	7,0	0,14	67
Waldhof	0,5	3,0	0,1	0,5	7	2,1	0,04	27
Schmücke	0,7	5,7	0,2	1,2	12	6,6	0,08	125
Westerland	0,8	4,0	0,1	0,9	7	4,4	0,06	36
Zingst	0,4	4,0	0,1	0,6	n.g.	3,4	0,04	62

n.g. = nicht gemessen

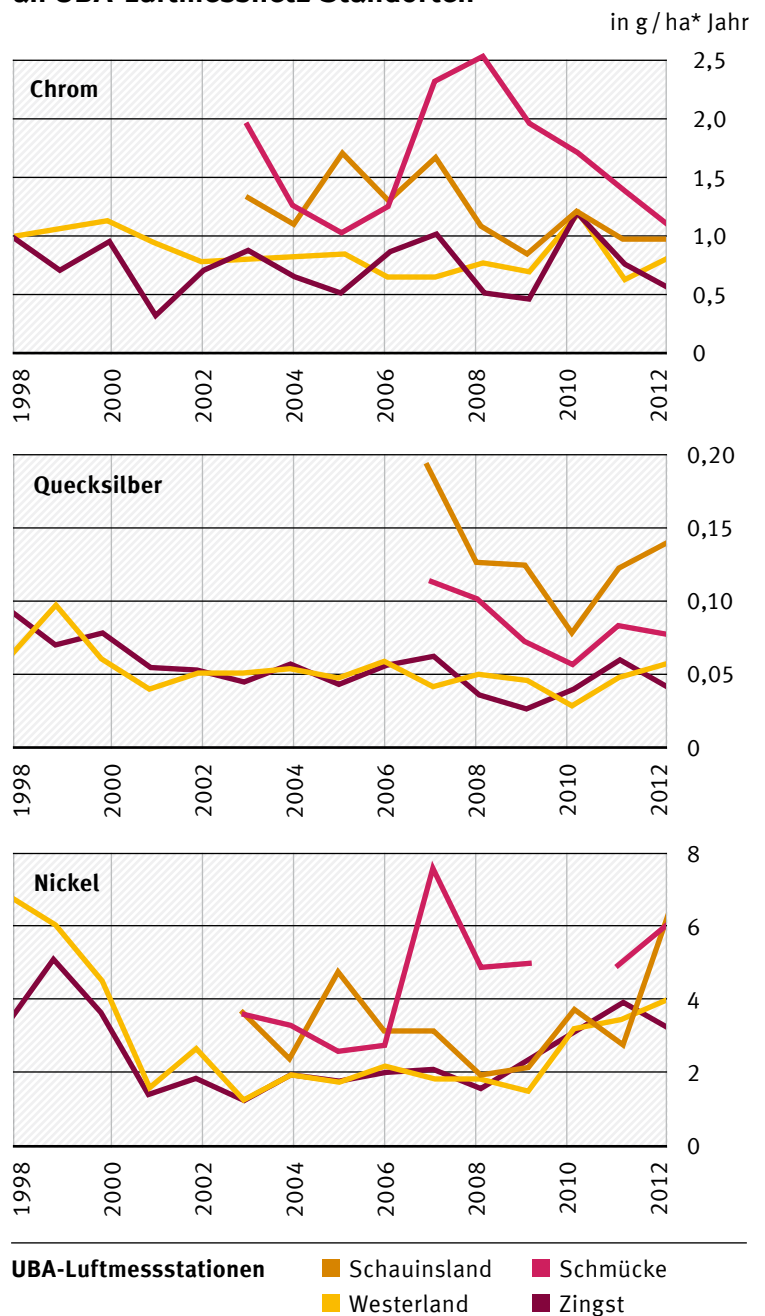
Quelle: Luftmessnetz des Umweltbundesamtes

Die höchsten Einträge von Blei, Cadmium, Zink, Arsen, Chrom, Quecksilber und Nickel wurden in der Regel für die Bergstationen Schmücke und Schauinsland mit im Vergleich zu den anderen ausgewählten Messstationen höheren jährlichen Niederschlägen nachgewiesen. Die nasse Deposition an den weiteren, hier nicht dargestellten Standorten des UBA-Messnetzes liegt in der Regel zwischen denjenigen der Bergregionen und den Messstationen auf Sylt und dem Darß.

Die an den Messstationen des Umweltbundesamtes für das Jahr 2012 gemessenen Einträge ausgewählter anorganischer Schadstoffe durch nasse Deposition können Tabelle 4.4 entnommen werden.

Abbildung 4.5

Nasse Deposition von Schadstoffen an UBA-Luftmessnetz-Standorten



Quelle: Luftmessnetz des Umweltbundesamtes

Mit dem Regen werden aus der Luft Schadstoffe ausgewaschen und in den Boden verlagert.

Tabelle 4.5

Mittlere Gehalte anorganischer Schadstoffe in Kompost und Klärschlämmen sowie Grenzwerte nach BioAbfV und AbfKlärV

mg / kg TS

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Klärschlammqualität 2009	37	1,0	33	296	25	0,5	758
Grenzwerte Klärschlamm	900	10 ^c	900	800	200	8,0	2.500 ^c
Kompostqualität 2009	33	0,5	22	41	13	0,1	162
Grenzwerte Kompost I ^a	150	1,5	100	100	50	1,0	400
Grenzwert Kompost II ^b	100	1,0	70	70	35	0,7	300

^a auf Böden dürfen innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 20 Tonnen Trockenmasse Bioabfälle oder Gemische je Hektar aufgebracht werden

Quelle: AbfKlärV, BioAbfV, BMUB (2014), Umweltbundesamt (2015)

^b auf Böden dürfen innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 30 Tonnen Trockenmasse Bioabfälle oder Gemische je Hektar aufgebracht werden

^c für leichte Böden mit einem Tongehalt < 5% oder einem pH-Wert von 5-6 beträgt der Grenzwert nach AbfKlärV für Cadmium = 5 und für Zink = 2.000 mg / kg TS.

Tabelle 4.6

mittlere Gehalte anorganischer Schadstoffe in ausgewählten Wirtschafts- und Mineraldüngern

in mg / kg TS

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Rindergülle	5	0,3	5	54	5	0,04	225
Schweinegülle	5	0,3	7	225	10	0,03	864
Hühnerkot	3	0,3	6	60	5	0,04	388
NPK-Dünger	6	4,5	18	47	6	0,02	232
NP-Dünger	5	7,8	63	5	16	0,12	121

Quelle: Kördel et al (2007)

Tabelle 4.7

Mittlere Einträge und Austräge von anorganischen Schadstoffen bei Ackernutzung

in g / ha* a

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
mittlere jährliche Stoff-Einträge durch Düngung und Deposition	35 – 350	1,7 – 4,4	55 – 170	0,1 – 1,1	15 – 115	35 – 350	370 – 1.240
mittlere Schadstoff-Austräge durch Pflanzen-Entzug und Sickerwasser Austräge	2	1	21	50	0,3	43	241

Quelle: nach Knappe et al (2008)

4.2.3. Einträge von Schadstoffen durch den Einsatz von Düngemitteln in landwirtschaftlich genutzte Böden

In Deutschland werden etwa 17 Millionen Hektar (ha) Böden landwirtschaftlich genutzt. Zur Nährstoff- und Humusversorgung der Böden werden jährlich etwa 220 Millionen Kubikmeter Wirtschaftsdünger (DESTATIS, 2011), 0,6 Millionen Tonnen Klärschlamm (BMELV, 2012), 2,3 Millionen Tonnen Komposte (BMELV, 2012)¹, und 4,7 Millionen Tonnen Mineraldünger (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalk) eingesetzt (DESTATIS, 2013)².

Die Düngemittel enthalten neben den erwünschten Hauptnährstoffen (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel, Calcium und Magnesium) und Spurennährstoffen (wie Eisen, Mangan) auch anorganische Schadstoffe (zum Beispiel Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen und Uran). Organische Schadstoffe wie PAK und PCB können durch die Verwendung von Kompost und Klärschlämmen in Böden eingetragen werden. Kupfer und Zink werden von den Pflanzen als Spurennährstoffe benötigt, in Abhängigkeit von der Höhe der Bodengehalte entfalten diese anorganischen Stoffe aber auch schädigende Umweltwirkungen.

Bei der Verwertung von Klärschlamm und Kompost auf landwirtschaftlich genutzten Böden sind die in der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV) geregelten maximal zulässigen Gehalte einzuhalten. In Tabelle 4.5 sind die mittleren Gehalte anorganischer Schadstoffe in Klärschlamm und Kompost sowie die dazugehörigen Grenzwerte aufgelistet.

Die für 2009 ausgewiesenen Qualitäten von Kompost und Klärschlämmen liegen deutlich unterhalb der gesetzlich einzuhaltenden Grenzwerte. Die mittleren Gehalte anorganischer Schadstoffe in diesen Düngemitteln sind in den letzten Jahrzehnten stark gesunken. Die zeitliche Entwicklung der Qualitäten von Kompost und Klärschlämmen ist in den Abbildungen 4.6 und 4.7 dargestellt.

Für Schadstoffe in Wirtschaftsdüngern (vor allem Kupfer und Zink, bei Schweinegülle auch Arsen) können zum Beispiel eingesetzte Zusatzmittel in Futtermitteln Ursache sein. Auch mineralische Düngemittel enthalten neben den benötigten Pflanzennährstoffen anorganische Schadstoffe. So können mineralische Phosphordünger aus *sedimentären* Rohphosphaten von Natur aus hohe Gehalte vor allem von Cadmium und Uran aufweisen. In Tabelle 4.6 sind die mittleren Gehalte anorganischer Schadstoffe von Wirtschafts- und Mineraldüngern aufgelistet.

Zur Abschätzung der Größenordnung der mit den Düngemitteln in Böden eingetragenen Schadstoffe wurden in einer Studie von Knappe et al. (2008) Düngemittelszenarien für Ackerkulturen und deren *Fruchtfolgen*, *Dauergrünland*, Sonderkulturen und Forst erarbeitet. Aus der Agrarstatistik des Statistischen Bundesamtes wurden 42 regional typische Anbautypen der Ackernutzung für Deutschland abgeleitet. Der Düngemittelbedarf orientiert sich bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung an den spezifischen Anforderungen der Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Bei der Abschätzung durchschnittlicher Schadstoffeinträge in Böden wurden vier Düngestrategien unterschieden. Die mittleren jährlichen Einträge in Ackerböden bei Anwendung verschiedener Düngestrategien können Tabelle 4.7 entnommen werden.

Lebensnotwendige Spurenelemente wie Kupfer und Zink werden Futtermitteln beigemischt, um so Mangelercheinungen bei Nutztieren vorzubeugen. Mit dem Harn und Kot werden die Spurenelemente ausgeschieden und gelangen mit der Ausbringung von Gülle und anderen Wirtschaftsdüngern in Böden und Grundwasser.



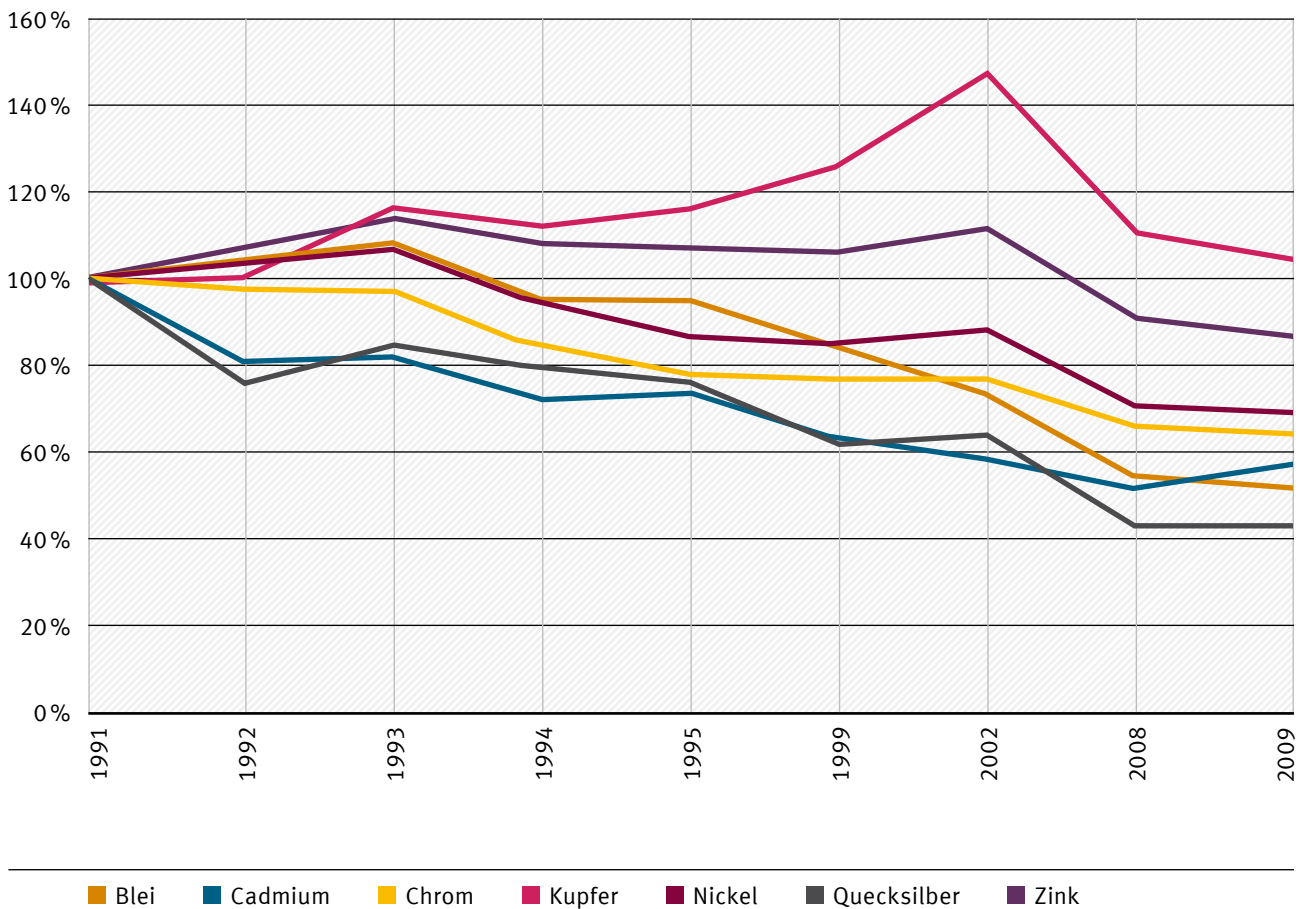
¹ Einschließlich Verwendung in der Forstwirtschaft.

² Inlandabsatz und tatsächlicher Verbrauch im Wirtschaftsjahr weichen durch Lagerhaltung voneinander ab.

Abbildung 4.6

Entwicklung der Gehalte anorganischer Schadstoffe in Komposten

in % zum Bezugsjahr 1991



Quelle: Umweltbundesamt (2015)

4.2.4. Fachliche Anforderungen zur weiteren Begrenzung von Stoffeinträgen in Böden

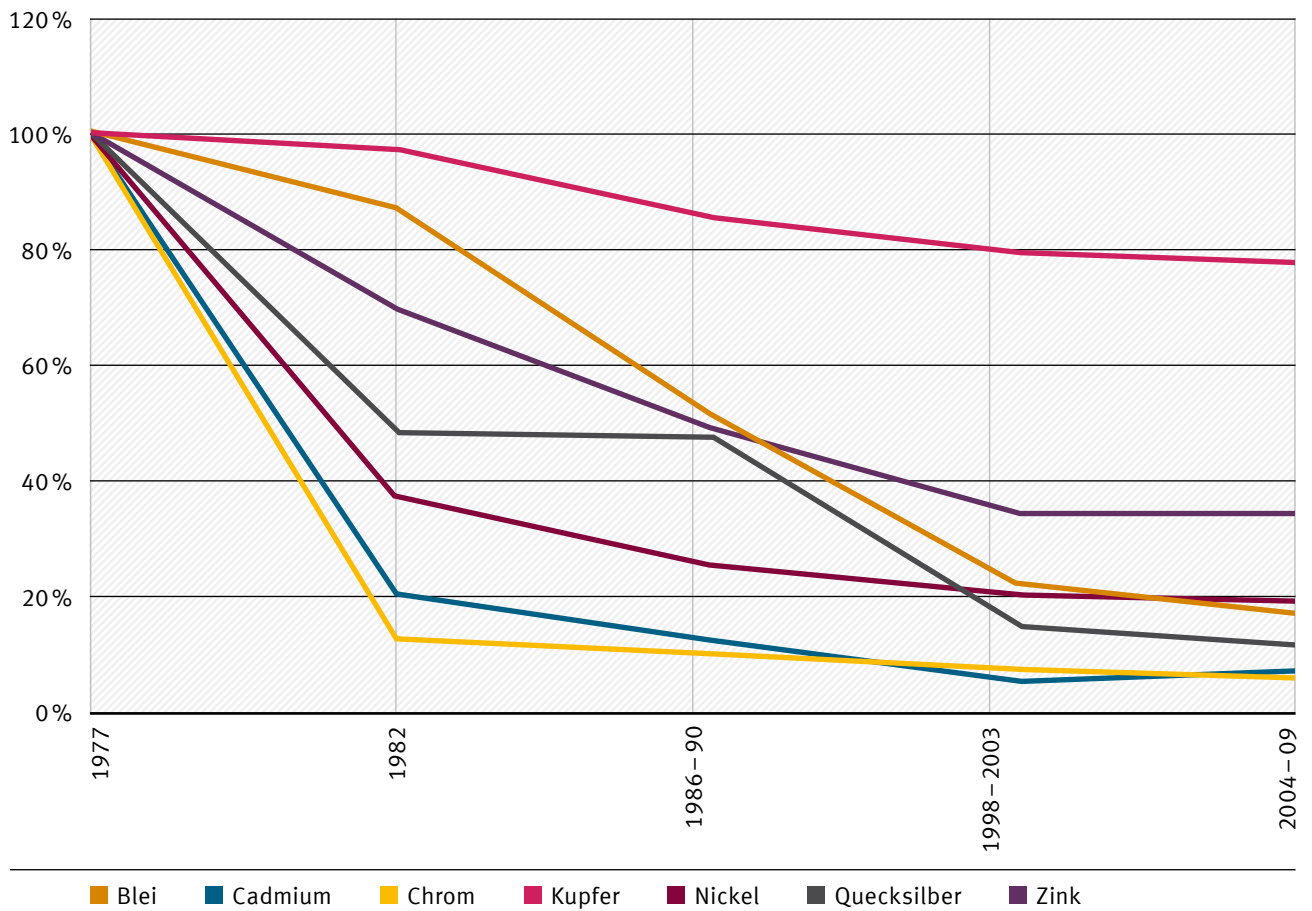
Die Einträge von Schadstoffen können langfristig zu einer Anreicherung in Böden führen. Die Austräge durch den Pflanzenentzug, die mit der Ernte den Böden entzogen werden und der Verlagerung von Schadstoffen mit dem Niederschlagswasser in tiefere Bodenhorizonte oder das Grundwasser sind in der Regel deutlich geringer als die Einträge (Tabelle 4.7).

Eine Vielzahl von Fachgesetzen und ihre Verordnungen – zum Beispiel die Technische Anleitung Luft (TA Luft), die Klärschlamm- und die Bioabfallverordnung – regeln zulässige Einträge von Schadstoffen in Böden. Bei der Festsetzung der Grenzwerte der TA Luft wird der stoffliche Bodenzustand berücksichtigt, in dem die Differenz zwischen den flächenhaft

typischen Schadstoffgehalten in Böden zu den Prüf- oder Maßnahmenwerten als das Maß von Schadstoffanreicherungen in Böden festgelegt wird, welches durch 200-jährige Einträge nicht überschritten werden darf. Auf dieser Grundlage wird eine jährlich zulässige Eintragsfracht für luftbürtige Schadstoffe geregelt. Die Festlegungen der Klärschlamm- und der Bioabfallverordnung aber auch der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) orientieren sich im Wesentlichen an regelmäßig vorkommenden Schadstoffgehalten für den entsprechenden Anwendungsgegenstand.

Um weitere Anreicherungen von Schadstoffen in Böden zu vermeiden, ist es notwendig, die gesetzlich zulässigen Werteregulungen zumindest soweit zu reduzieren, dass technisch oder wirtschaftlich unvermeidbare Einträge langfristig zu keiner Anreicherung in Böden führen.

Abbildung 4.7

Entwicklung der Gehalte anorganischer Schadstoffe in Klärschlämmen in % zum Bezugsjahr 1991

Quelle: BMUB, 2014

Zum Schutz von Tieren und Menschen, Pflanzen und Grundwasser sind Schadstoffeinträge in Böden (soweit wie möglich) zu vermeiden.



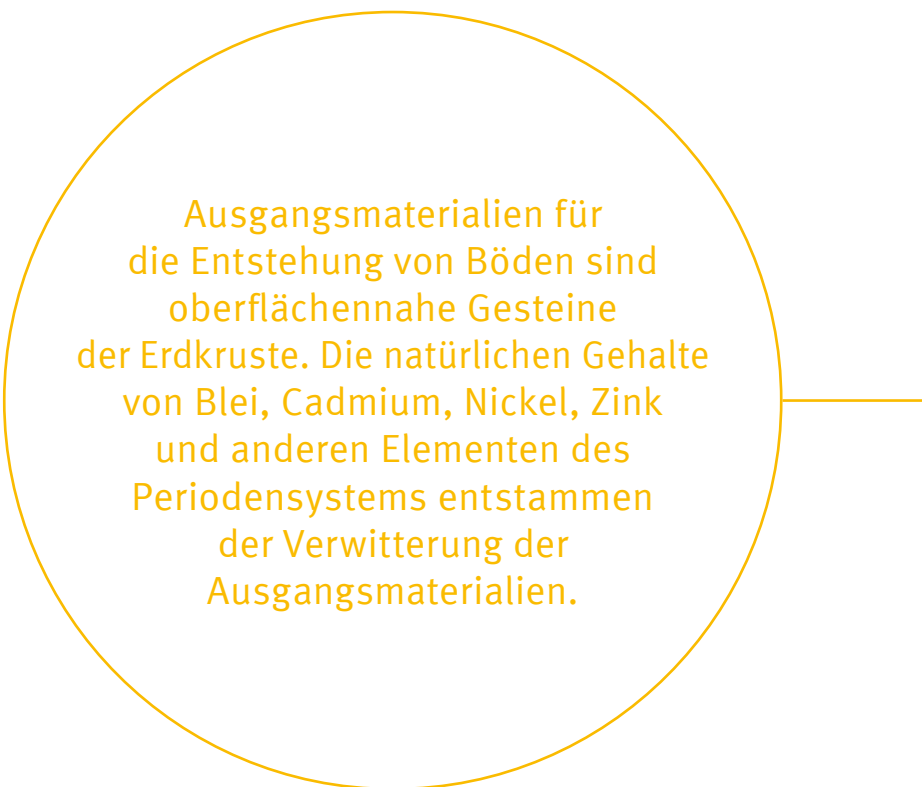
4.3 Stofflicher Bodenzustand

Der flächenhaft typische stoffliche Bodenzustand lässt sich anhand von Hintergrundwerten beschreiben. Hintergrundwerte setzen sich zusammen aus den natürlichen Anteilen und den ubiquitär, durch menschliche Aktivitäten verursachten Einträgen anorganischer und organischer Schadstoffe aus zahlreichen, flächenhaft verteilten (diffusen) Quellen. Bei der Ermittlung von Hintergrundwerten werden spezifisch belastete Böden (zum Beispiel *Altlasten*, Bergbaustandorte oder Böden entlang von Verkehrswegen) nicht berücksichtigt. Hintergrundwerte werden nach Bodennutzungen und Bodenhorizonten differenziert, für anorganische Schadstoffe ist zusätzlich eine Unterscheidung nach den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung erforderlich (LABO, 2003).

Die natürlichen Quellen sind im Wesentlichen die in den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung enthaltenen anorganischen Stoffe. Die räumliche Verbreitung von Gruppen der Ausgangsgesteine der Bodenbildung ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

Die stoffliche Zusammensetzung der Ausgangsgesteine ist sehr verschieden. So sind die Cadmiumgehalte in Böden aus Sanden deutlich niedriger als in Böden aus Magmatiten und Metamorphiten.

Für die meisten organischen Schadstoffe kann ein natürlicher Ursprung ausgeschlossen werden. PAKs können durch natürliche Prozesse wie Waldbrände oder Vulkanausbrüche in Böden eingetragen werden.



Ausgangsmaterialien für die Entstehung von Böden sind oberflächennahe Gesteine der Erdkruste. Die natürlichen Gehalte von Blei, Cadmium, Nickel, Zink und anderen Elementen des Periodensystems entstammen der Verwitterung der Ausgangsmaterialien.

Hinweis

Die folgenden Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe beziehen sich auf den Stand von 2003 (Cadmium, Blei) bzw. 2008 (Arsen); die Ausführungen zu organischen Schadstoffen auf den Stand der Auswertungen 2013. Im Frühjahr 2016 werden aktualisierte Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe und erstmals bundesweite Hintergrundwerte für organische Schadstoffe vorliegen.

Zur Beschreibung der Hintergrundbelastung von Böden werden von den Bundesländern „länderspezifische“ und vom Bund „bundesweite“ (länderübergreifende) Hintergrundwerte auf Basis einer von der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz erarbeiteten Methode abgeleitet (LABO, 2003). Die Hintergrundwerte können dem genannten LABO-Bericht entnommen oder in der Stoffdatenbank für Bodenschutz- und umweltrelevante Stoffe (STARS) recherchiert werden.

Während für anorganische Schadstoffe bundesweite Hintergrundwerte bereits seit 1995 ermittelt und in regelmäßige Abständen aktualisiert werden, liegen bisher noch keine bundesweiten Hintergrundwerte für organische Schadstoffe vor. Bundesweit typische Gehalte von organischen Schadstoffen in landwirtschaftliche genutzten Böden wurden zwischen 2007 und 2012 von Ruppe et al. (2009) und Weinfurt-

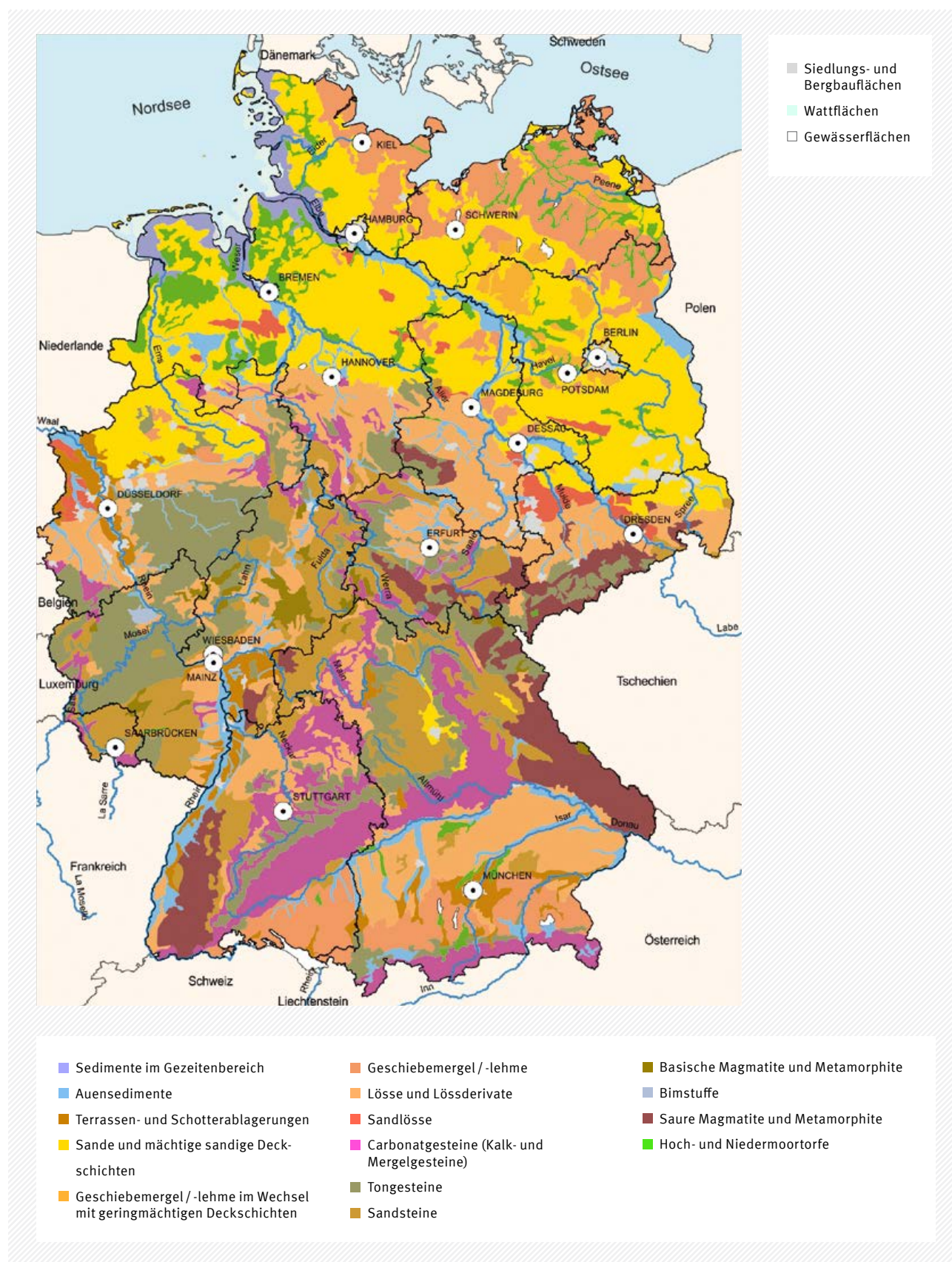
ner et al. (2014) an 650 Standorten ermittelt. Im Rahmen der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes an 474 Waldstandorten die Gehalte ausgewählter organischer Schadstoffe in Böden ermittelt (Aichner et al., 2013). Auf der Basis der bundesweiten Untersuchungen kann die bundesweite Hintergrundbelastung von organischen Schadstoffen in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden erstmalig beschrieben werden. Eine Veröffentlichung entsprechender Hintergrundwerte ist für das Jahr 2016 vorgesehen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden bundesweiten Hintergrundwerte für ausgewählte anorganische Schadstoffe (Cadmium, Blei, Arsen) und eine erste Abschätzung der bundesweiten Hintergrundbelastung für organische Schadstoffe (PAK16, Dioxine/ Furane, PCB6, dioxinähnliche PCB) dargestellt.



Abbildung 4.8

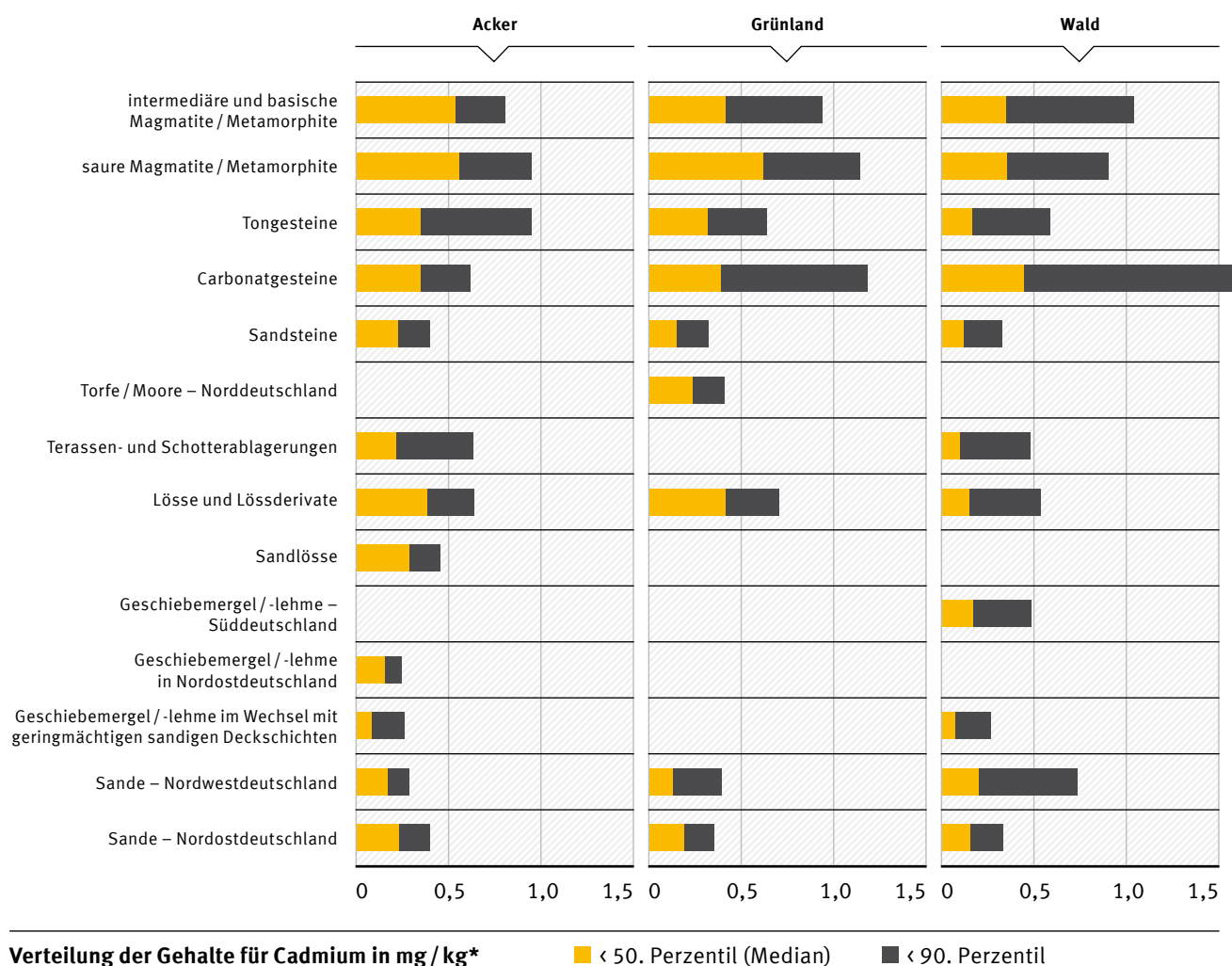
Verbreitung von Gesteinsgruppen in Deutschland



Quelle: BAG5000 V3.0, © BGR, Hannover, 2007.
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 4.9

Hintergrundwerte für Cadmium in den Oberböden Deutschlands für Gruppen der Bodenausgangsgesteine und Hauptnutzungsarten



* im Königswasseraufschluss

Quelle: LABO 2003

4.3.1 Cadmium

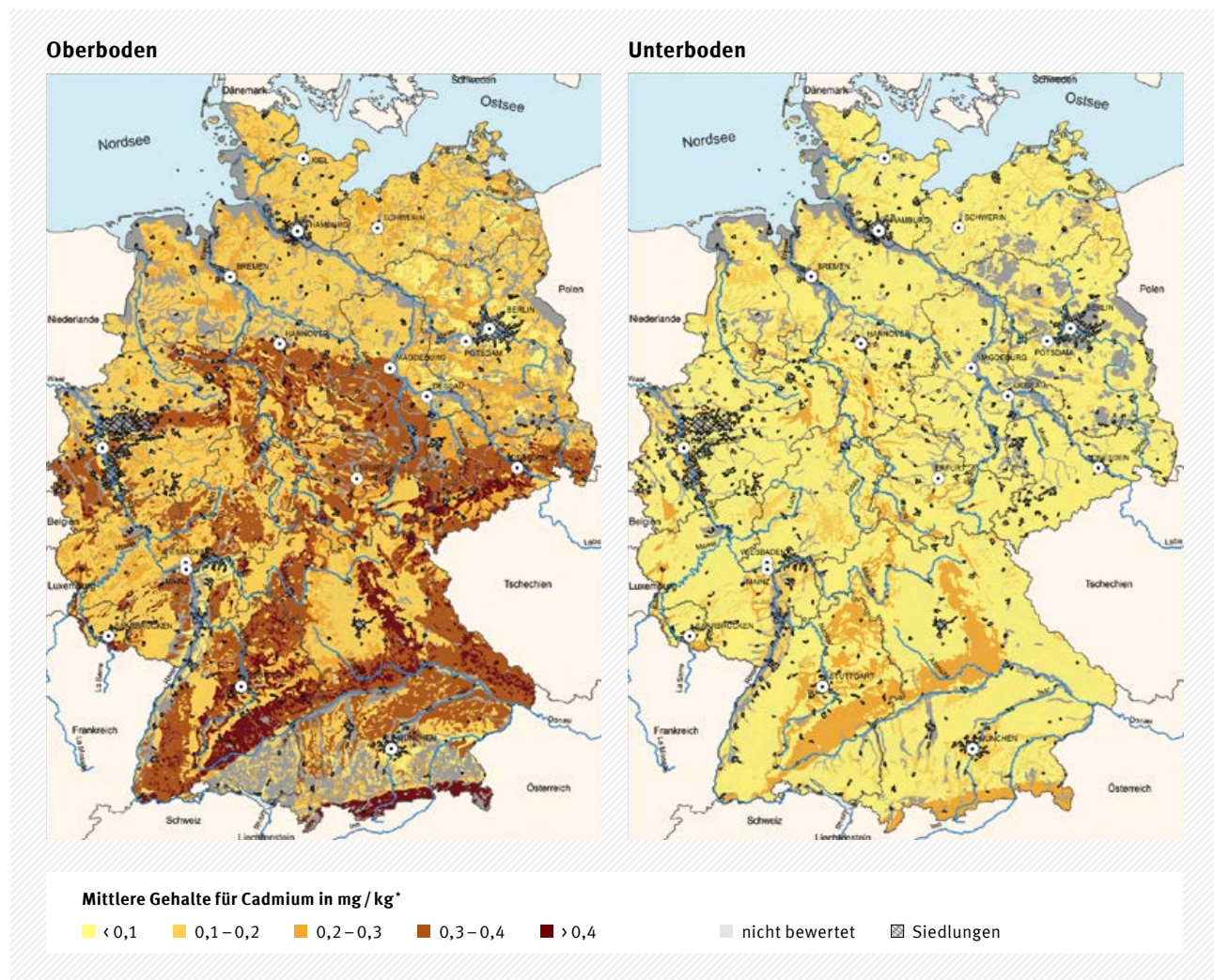
Cadmium (Cd) ist ein toxisches, bioakkumulierendes Schwermetall. Es gehört zu den mobileren Schadstoffen in Böden und wird relativ leicht von Pflanzen und *Bodenorganismen* aufgenommen. Der Transfer in die Nahrungspflanzen (insb. Getreide und Gemüse) ist eine der Hauptquellen für die Cadmiumaufnahme des Menschen. Cadmium ist natürlicherweise in Böden vorhanden und wird zusätzlich durch menschliche Tätigkeiten flächenhaft eingetragen. Hauptquellen für Cadmumeinträge in Böden sind Emissionen von Kohlekraftwerken und der Metallindustrie sowie der Einsatz von Mineraldünger, Klärschlamm oder Kompost. Regional kann auch historischer Bergbau ursächlich für erhöhte Bodengehalte sein. Die Hintergrundwerte für Cadmium in den Böden Deutschlands variieren in Abhängigkeit

von den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung und der Bodennutzung. Die Abbildung 4.9 zeigt die mittleren Gehalte (50. Perzentil) und das obere Niveau der Hintergrundbelastung (90. Perzentil) von Cadmium in Oberböden. Die bundesweiten Hintergrundwerte – bezogen auf das 50. Perzentil – liegen zwischen 0,08 mg/kg in den Oberböden aus *Geschiebemergel/-lehm* mit geringmächtigen sandigen Deckschichten bei Ackernutzung und 0,66 mg/kg in Böden aus sauren Magmatiten und Metamorphiten bei Grünlandnutzung.

Die räumliche Verbreitung der Hintergrundbelastung für Cadmium ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Durch die Eintragspfade von Cadmium in Böden weisen Oberböden in der Regel höhere Gehalte auf als Unterböden.

Abbildung 4.10

Hintergrundwerte für Cadmium in den Böden Deutschlands



* im Königswasseraufschluss

Quelle: LABO 2003, Daten der Bundesländer
Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013.
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



*Schadstoffe können
sich in Lebensmit-
teln anreichern.
Saubere Böden sind
daher Grundlage
für gesunde Lebens-
mittel.*



4.3.2 Blei

Blei (Pb) ist ein toxischer, wahrscheinlich kanzerogener Schadstoff. In Böden ist es wenig mobil, so dass sich Bleieinträge im Wesentlichen im obersten Bodenhorizont anreichern und Austräge in das Grundwasser oder eine Pflanzenaufnahme über die Wurzeln nur unter ungünstigen Umständen, zum Beispiel bei sehr sauren Böden möglich ist. Sehr hohe Bleigehalte in Böden können das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Die menschliche Aufnahme von Blei erfolgt überwiegend durch Lebens-

mittel. Eine bedeutsame Belastungsquelle für Kleinkinder kann darüber hinaus die Aufnahme von bleibelastetem Boden oder das Verschlucken von Staub darstellen.

Blei ist ein natürlicher Bestandteil von Böden und wird über den Luftpfad weiträumig in Böden eingetragen. Hauptquellen für Blei sind Emissionen von Erzhütten, der bleiverarbeitenden Industrie, der Energieerzeugung, Müllverbrennungsanlagen und die Verwendung von Düngemitteln wie Klärschlamm und Kompost.

Beim Grasen nehmen Tiere auch Boden auf. Die im Boden enthaltenen Schadstoffe können sich im Fettgewebe oder Muskelfleisch anreichern oder werden mit der Muttermilch an Jungtiere weitergereicht.

Mit dem Verbot von bleihaltigem Benzin ist 1996 eine der Hauptquellen für den Eintrag von Blei in Böden weggefallen. Durch dieses Verbot und strengere Grenzwerte für Industrieanlagen konnten die Emissionen von Blei seit 1990 um etwa 90 Prozent reduziert werden.

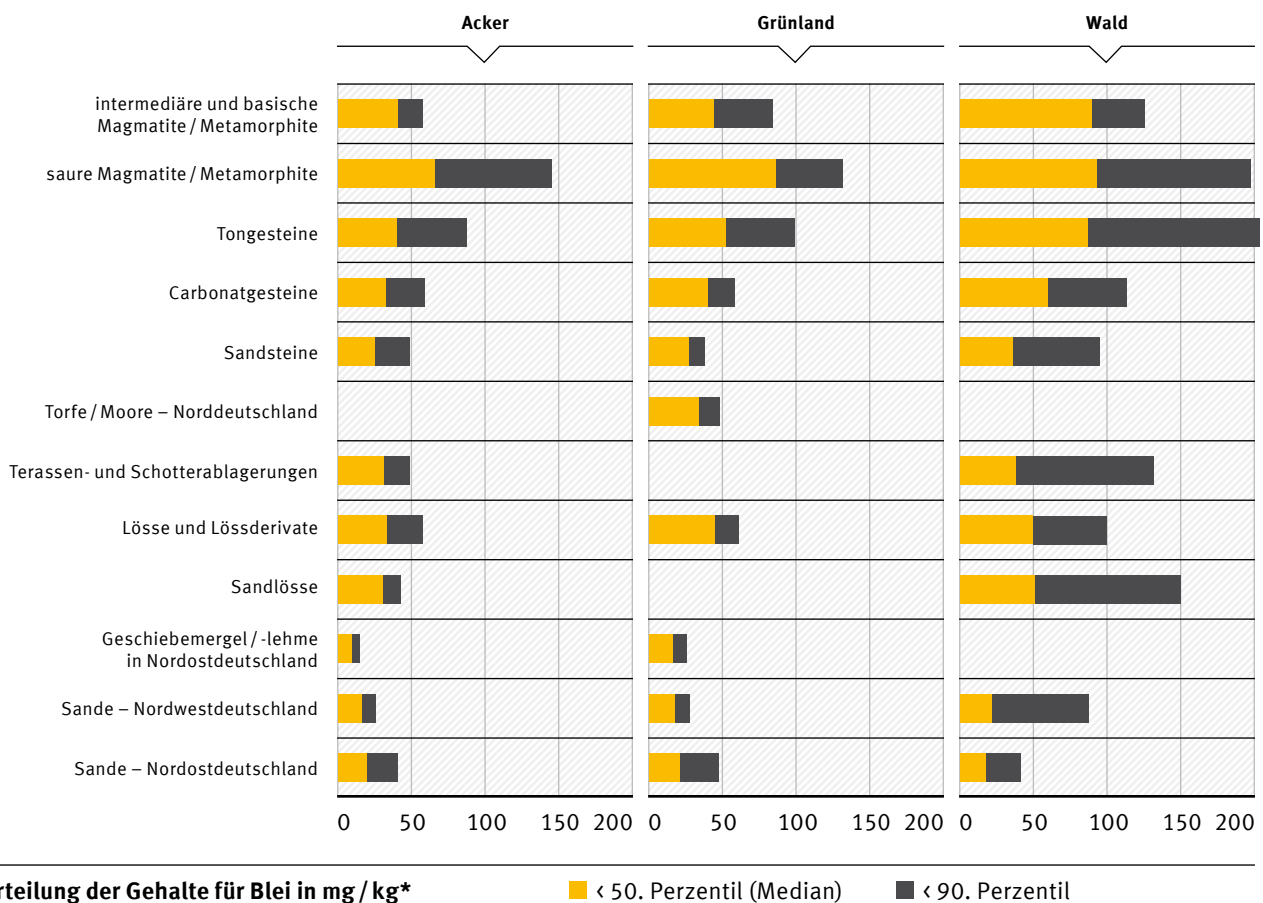
Die Abbildung 4.11 zeigt die mittleren Gehalte (50. Perzentil) und das obere Niveau der Hintergrundbelastung (90. Perzentil) von Blei in Böden. Die flächenhaft typischen Gehalte von Blei in den Böden Deutschlands werden stark von den durch die menschlichen Tätigkeiten hervorgerufenen Bleieinträge in Böden geprägt. Die Bleigehalte variieren in Abhängigkeit von den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung.

Wälder weisen deutlich höhere Gehalte auf als landwirtschaftlich genutzte Böden und die Gehalte in Unterböden sind geringer als in Oberböden (siehe Abb. 4.12). Die bundesweiten Hintergrundwerte in Oberböden – 50. Perzentil – liegen zwischen 9,4 mg/kg in den Böden aus *Geschiebemergel* und -lehm in Nordostdeutschland bei Ackernutzung und 93 mg/kg in Böden aus sauren Magmatiten und Metamorphiten bei Waldnutzung.

Die räumliche Verbreitung von Blei ist in Abbildung 4.12 dargestellt. Durch die Einträge von Blei weisen Oberböden in der Regel höhere Gehalte auf als Unterböden.

Abbildung 4.11

Hintergrundwerte für Blei in den Oberböden Deutschlands für Gruppen der Bodenausgangsgesteine und Hauptnutzungsarten

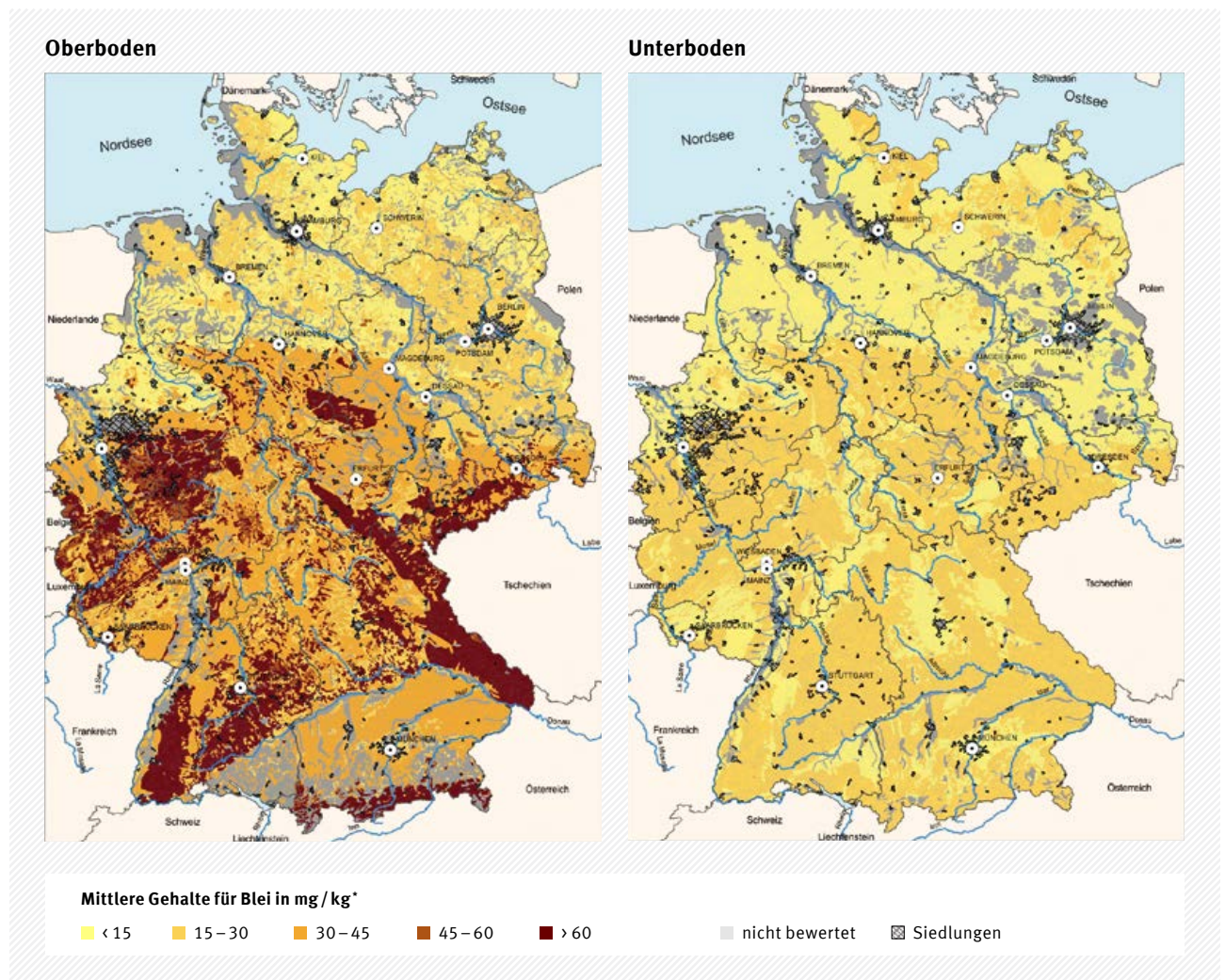


* im Königswasseraufschluss

Quelle: LABO 2003

Abbildung 4.12

Hintergrundwerte für Blei in den Böden Deutschlands

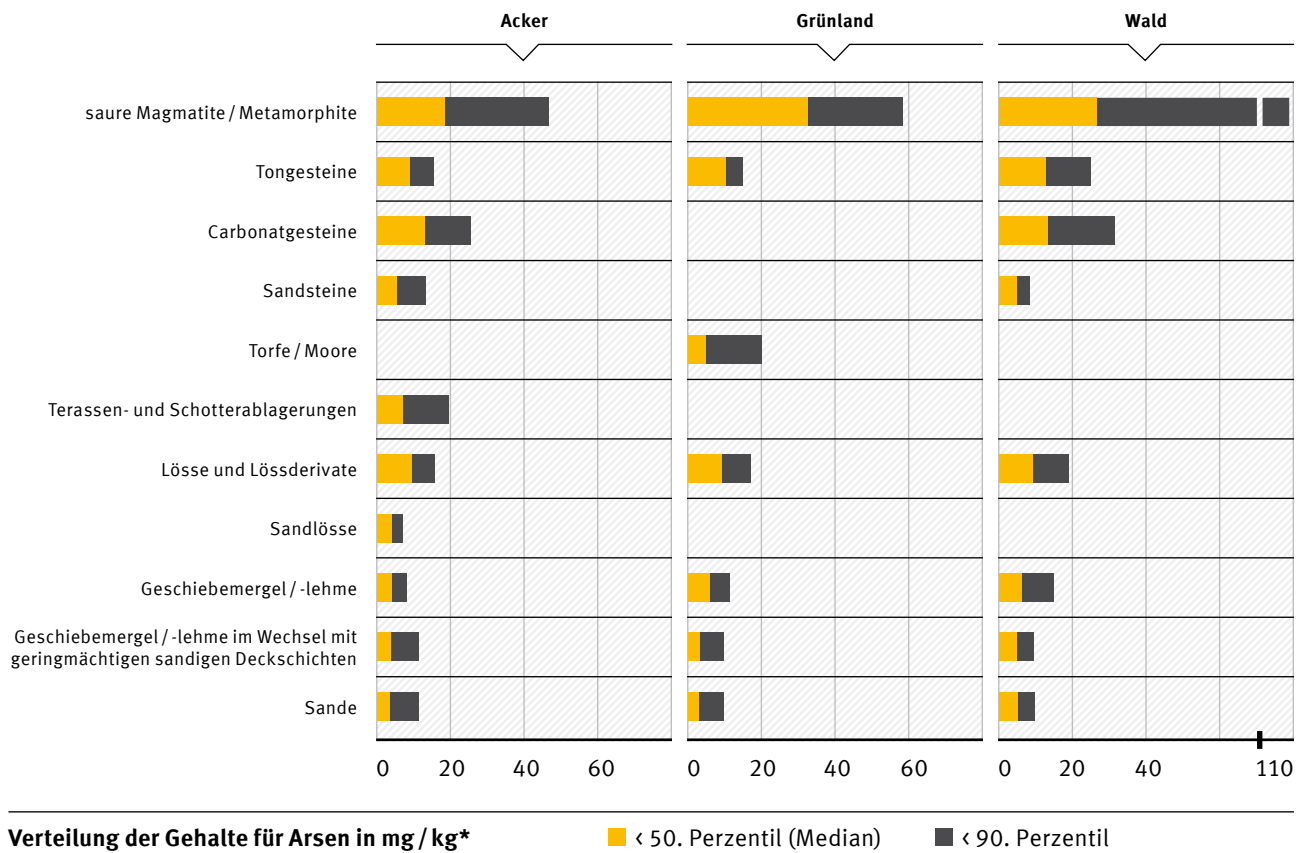


* im Königswasseraufschluss

Quelle: LABO 2003, Daten der Bundesländer
 Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013.
 Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 4.13

Hintergrundwerte für Arsen in den Oberböden Deutschlands für Gruppen der Bodenausgangsgesteine und Hauptnutzungsarten



* im Königswasseraufschluss

Quelle: Utermann, J. et al., 2008

4.3.3 Arsen

Arsen (As) ist ein natürlich vorkommendes Halbmetall mit toxischen, erbgutverändernden und krebserregenden Wirkungen. In Böden ist Arsen wenig mobil und Pflanzen nehmen es in der Regel nur in geringem Umfang über ihrer Wurzeln auf. Bei sehr sauren oder zur Vernäsung neigenden Böden ist eine erhöhte Pflanzenaufnahme möglich. Auch der an Wurzeln oder oberflächennahen Pflanzenteilen anhaftende Boden kann die Qualität von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen beeinträchtigen. Kinder können arsenhaltigen Boden beim spielen und Tiere beim weiden direkt (oral) aufnehmen; über die Atmung (inhalativ) können in der Luft enthaltene arsenhaltige Schwebeteilchen von Mensch und Tier aufgenommen und im Körper angereichert werden.

Natürliche Ursachen für erhöhte Arsengehalte in Böden sind arsenreiche Ausgangsgesteine

der Bodenbildung und oberflächennahe Erzlagertstätten. Neben seinen natürlichen Quellen wird Arsen durch bergbauliche oder industrielle Aktivitäten in Böden eingetragen. Hauptquelle hierfür war in der Vergangenheit die Verhüttung von Erzen, gegenwärtige Emissionsquellen sind insbesondere die Müll- und Kohleverbrennungen. Zur Schädlingsbekämpfung zum Beispiel im Weinbau eingesetzte arsenhaltige Insektizide, welche zu heute noch nachweisbaren Arsenanreicherungen in Böden geführt haben, sind seit den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts verboten.

Die Hintergrundwerte für Arsen in den Böden Deutschlands variieren in Abhängigkeit von den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung und der Bodennutzung. Die Abbildung 4.13 zeigt die mittleren Gehalte (50. Perzentil) und das obere Niveau der Hintergrundbelastung (90. Perzentil) von Arsen in Oberböden. Die bundesweiten Hintergrundwerte – bezogen auf das 50.

Perzentil – liegen zwischen 2,7 mg/kg in den Oberböden aus Sanden bei Ackernutzung und 32 mg/kg in Böden aus sauren Magmatiten und Metamorphiten bei Grünland- und Waldnutzung.

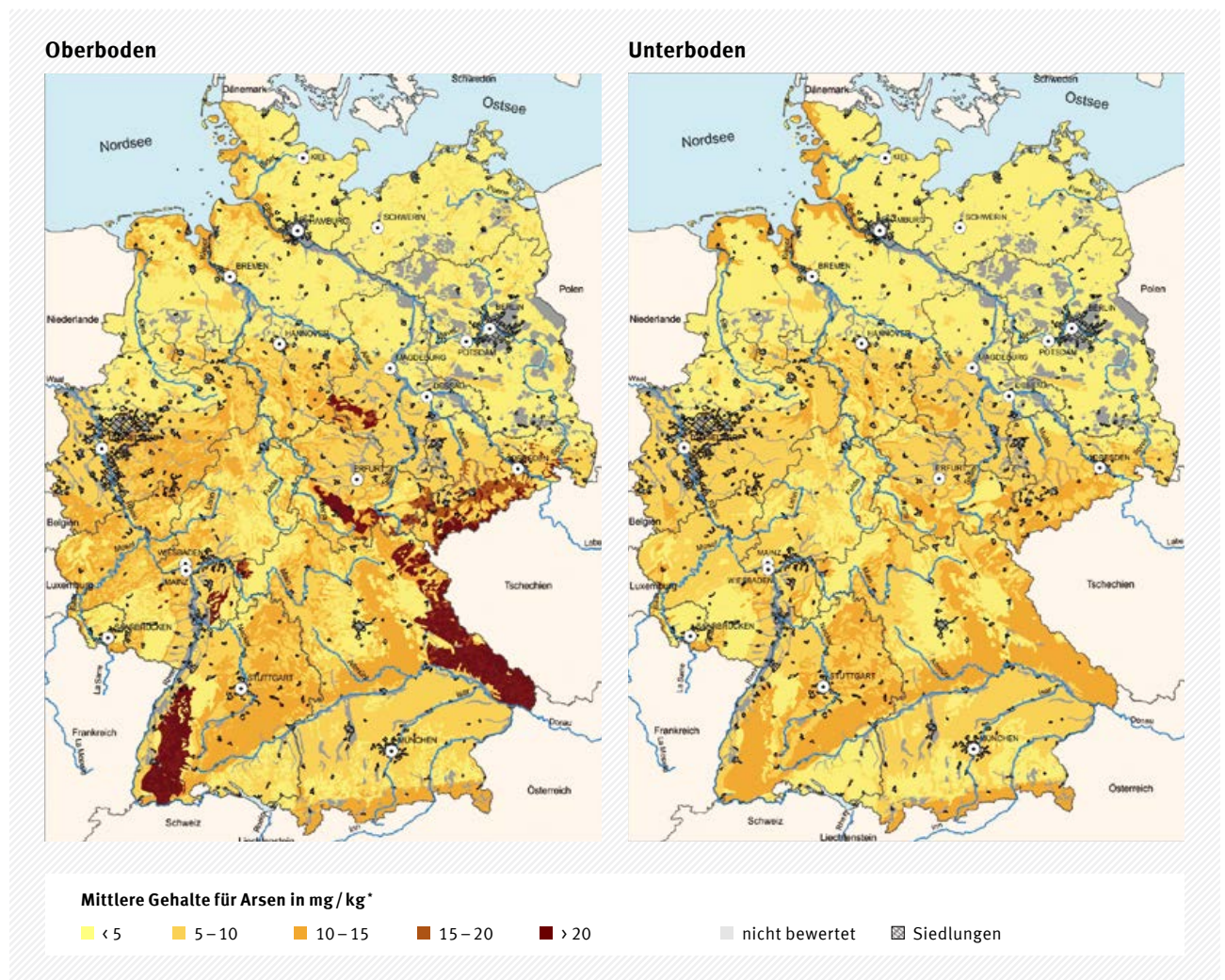
Die räumliche Verbreitung der mittleren Gehalte von Arsen ist in Abbildung 4.14 dargestellt. In Abhängigkeit vom Ausgangsgestein der Bodenbildung weisen Ober- und Unterböden häufig ähnliche Gehaltsniveaus auf. Deutliche Unterschiede hierzu treten bei den sauren Magmatiten und Metamorphiten auf: Die Arsengehalte in Grünland- und Waldoberböden sind deutlich höher als in Unterböden.

Futtermitteln wie Heu oder Silage können Bodenpartikel anhaften. Damit nehmen Tiere auch Schadstoffe auf.



Abbildung 4.14

Hintergrundwerte für Arsen in den Böden Deutschlands

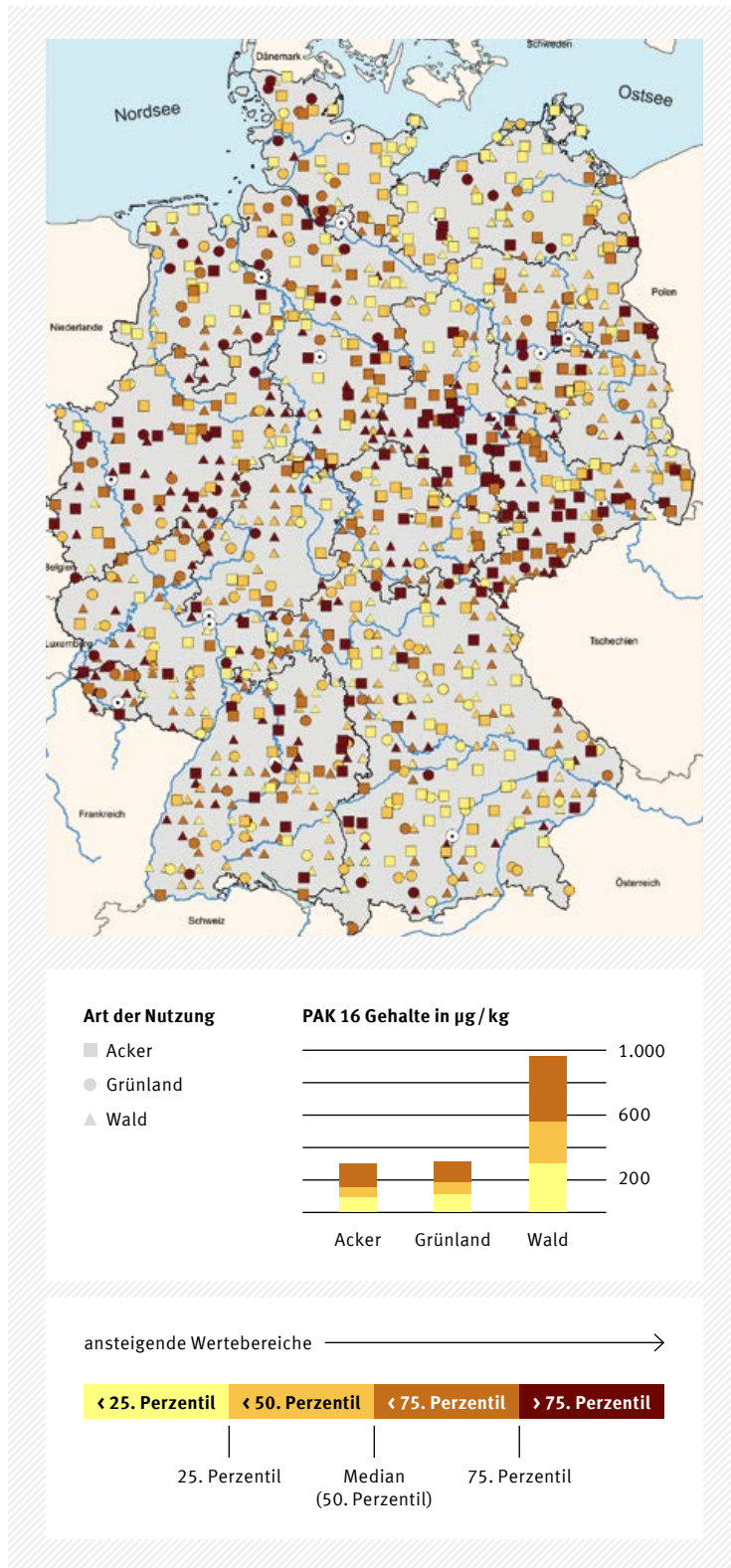


* im Königswasseraufschluss

Quelle: Utermann, J. et al., 2008, Daten der Bundesländer
Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013.
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 4.15

Verteilung der PAK 16 Gehalte in den Oberböden Deutschlands



Quelle: Umweltbundesamt, 2014 unveröffentlicht
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

4.3.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) umfasst mehrere hundert bekannte Verbindungen. Viele PAK besitzen toxische, krebserregende und erbgutverändernde Eigenschaften. In Böden sind sie wenig mobil und reichern sich in den obersten Bodenhorizonten an. PAK sind schwer abbaubar, schlecht in Wasser, aber gut in Fetten und Ölen löslich und können sich im Fettgewebe von Organismen anreichern. Luftbürtige Einträge von PAK lagern sich auf Pflanzenoberflächen ab und gelangen so in die Nahrungskette. Die Stoffgruppe der PAK sind natürliche Bestandteile der fossilen Rohstoffe Kohle und Erdöl. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien wie Holz, Kohle oder Öl. Natürliche Ursachen für die Einträge von PAK in Böden sind Waldbrände und Vulkanausbrüche. Die durch menschliche Aktivitäten verursachten Freisetzungen stammen hauptsächlich aus Verbrennungsprozessen (Kleinf Feuerung, Energieerzeugung, Müllverbrennung, Kraftfahrzeuge). Zur Beurteilung der Wirkung von PAK in Böden werden 16 ausgewählte PAKs herangezogen.

Das Diagramm in Abbildung 4.15 zeigt mittlere Gehalte (50. Perzentil), das untere Niveau (25. Perzentil) und das 75. Perzentil des Vorkommens von PAK 16 in den Oberböden land- und forstwirtschaftlich genutzter Böden. Die Gehalte variieren in Abhängigkeit von der Bodennutzung. Der typischen Gehalt – bezogen auf das 50. Perzentil – beträgt bei Acker- und Grünlandnutzung 149 $\mu\text{g/kg}$ Trockensubstanz (TS) und in Wäldern 551 $\mu\text{g/kg}$ TS.

Die bundesweite Verteilung der PAK-Gehalte in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden im ländlichen Raum weist deutliche regionale Unterschiede auf (siehe Abbildung 4.15): Regionen in Norddeutschland oder Bayern enthalten häufig deutlich niedrigere Gehalte als andere Regionen.

4.3.5 Dioxine und Furane

Dioxine und Furane sind toxische, kanzerogene, persistente organische Schadstoffe. In Böden sind sie wenig mobil und sie reichern sich in den obersten Bodenhorizonten an. Nahrungs- und Futtermittelpflanzen können durch Verschmut-

zung mit *dioxin*haltigen Bodenpartikeln oder durch luftbürtige Ablagerungen verunreinigt werden. Die Aufnahme über die Wurzel aus dem Boden in die Pflanzen spielt hingegen aufgrund der Wasserunlöslichkeit von *Dioxinen* keine Rolle. Über die Futteraufnahme im Freiland oder durch verschmutztes Heu und Silage nehmen Nutztiere, vor allem Kühe und Schafe, aber auch Wildtiere *dioxin*belasteten Boden auf. *Dioxine* werden, da sie schwer abbaubar und fettlöslich sind, in tierischen Geweben, Eiern und Milch angereichert.

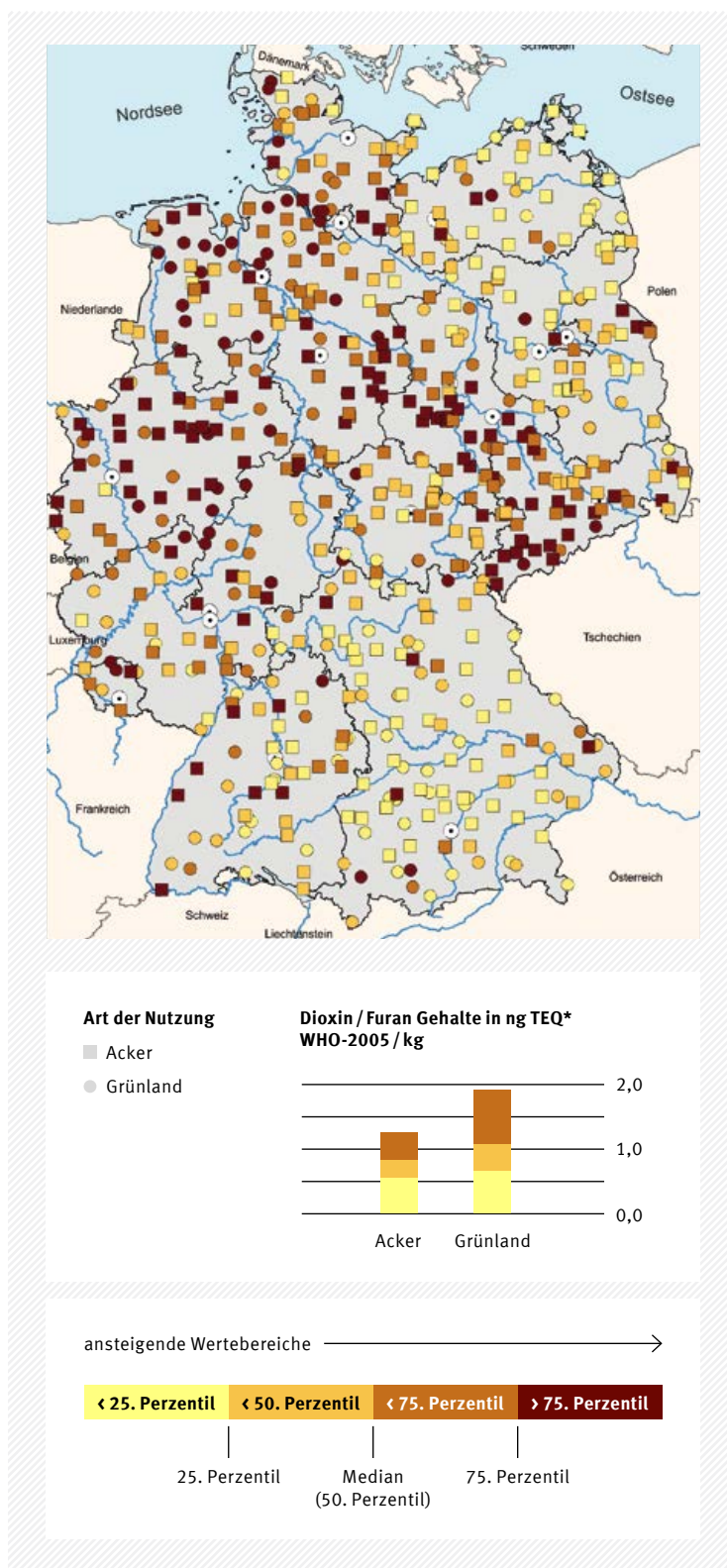
Dioxine und *Furane* wurden nie gezielt hergestellt. Sie entstehen unerwünscht bei allen Verbrennungsprozessen in Anwesenheit von Chlor und organischem Kohlenstoff bei Temperaturen über 300°C und werden bei über 900°C wieder zerstört. Auch bei allen chemischen Produktionsverfahren, in denen Chlor verwendet wird, werden mehr oder weniger *Dioxine* gebildet, die dann als Verunreinigung in den Produkten enthalten sein können. Natürliche Quellen für das Vorkommen von *Dioxinen* und *Furanen* sind Waldbrände und Vulkanausbrüche.

Über *dioxin*verunreinigte Chemikalien, wie Pentachlorphenol, das bis zu seinem Anwendungsverbot 1989 als Holzschutzmittel zum Einsatz kam, können *Dioxine* und *Furane* in Böden eingetragen werden. Hauptquellen für Emissionen in die Atmosphäre waren lange Zeit die Metallgewinnung und Abfallverbrennungsanlagen. Dank anspruchsvoller Grenzwerte und Techniken konnten die Mengen deutlich reduziert werden. Heute sind thermische Prozesse der Metallgewinnung und -verarbeitung und Kleinf Feuerungsanlagen in den Vordergrund der *Dioxin*emissionen getreten. Auch über Düngemittel wie Klärschlamm können diese Schadstoffe in Böden eingetragen werden.

Die Abbildung 4.16 zeigt mittlere Gehalte (50. Perzentil), das untere Niveau (25. Perzentil) und das 75. Perzentil des Vorkommens von *Dioxinen* und *Furanen* in den Oberböden landwirtschaftlich genutzter Böden. Die Gehalte variieren in Abhängigkeit von der Bodennutzung. Der typische Gehalt – bezogen auf das 50. Perzentil – beträgt bei Ackernutzung 0,83 ng WHO-TEQ 2005/kg und bei Grünlandnutzung 1,07 ng WHO-TEQ 2005/kg.

Abbildung 4.16

Verteilung der Dioxin / Furan Gehalte in den Oberböden Deutschlands

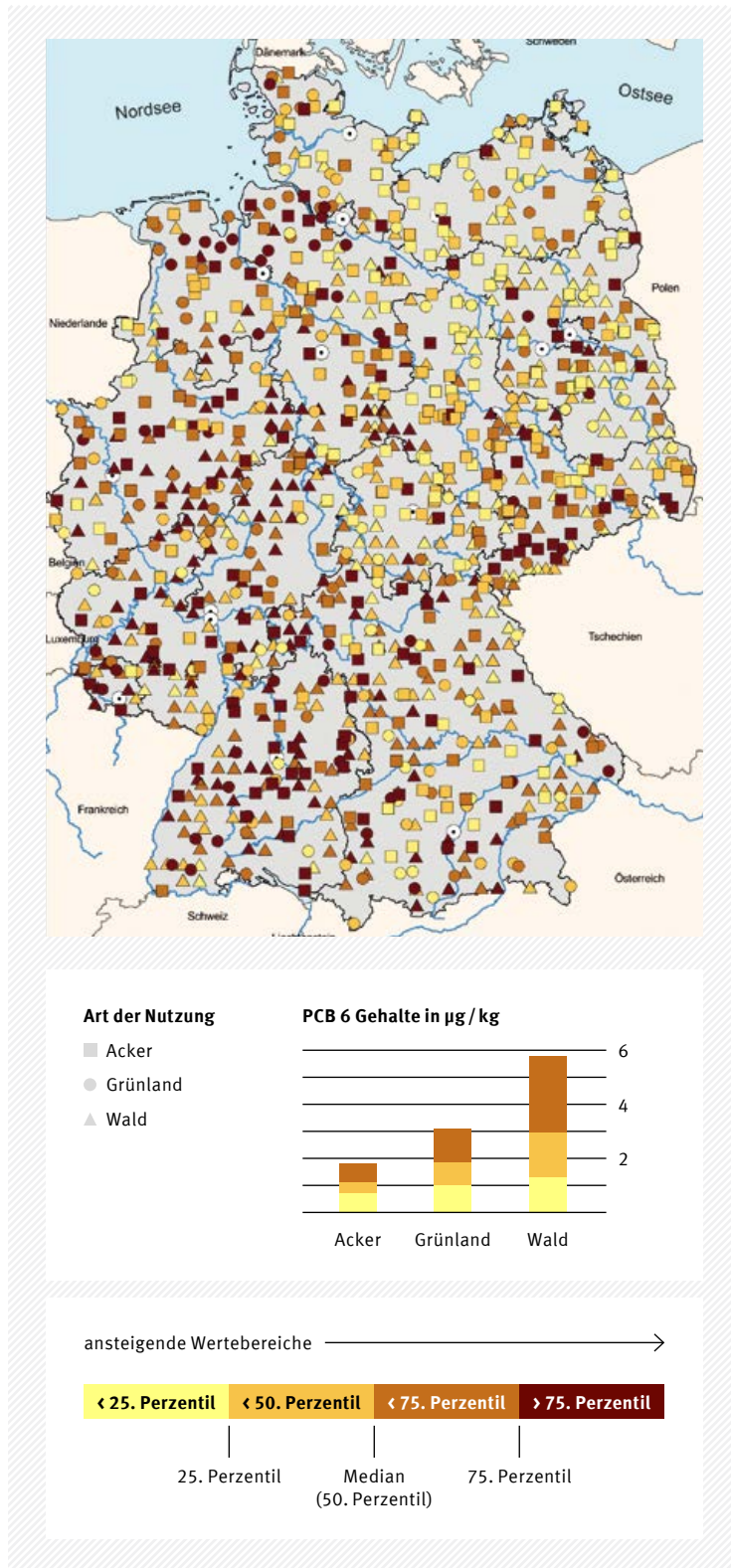


* TEQ: Toxizitätsäquivalente nach WHO (Van den Berg u.a., 2006)

Quelle: Umweltbundesamt, 2014 unveröffentlicht
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 4.17

Verteilung der PCB 6 Gehalte in den Oberböden Deutschlands



Quelle: Umweltbundesamt, 2014 unveröffentlicht
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Ackerböden haben in der Regel *Humus*gehalte unter 8 Prozent, in Grünlandböden kann der *Humus*gehalt deutlich über 30 Prozent betragen. Bei Grünlandböden mit *Humus*gehalten bis 8 Prozent entspricht die Verteilung von *Dioxinen* und *Furanen* annähernd derjenigen in Ackerböden.

Die bundesweite Verteilung der *Dioxin*- und *Furane*gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden weist deutliche regionale Unterschiede auf (siehe Abbildung 4.16). Böden in Regionen mit geringer Industriedichte wie zum Beispiel in Nordostdeutschland enthalten flächenhaft niedrigere Gehalte als andere Regionen auf.

4.3.6 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die Stoffgruppe der polychlorierten Biphenyle (*PCB*) umfasst 209 chemische Verbindungen. 12 *PCB* haben ähnliche Eigenschaften wie die polychlorierten Dibenzodioxine und -furane (*PCDD/F*) und zeigen vergleichbare Wirkungen auf Organismen, weshalb diese *PCB* auch als *dioxinähnliche* polychloriert Biphenyle (*dl-PCB*) bezeichnet werden. Die *PCB* sind toxische, organische Schadstoffe und stehen in Verdacht krebserregend zu sein.

PCB sind chlorierte Kohlenwasserstoffe, die in der Natur nicht vorkommen. Sie wurden als technische Gemische produziert in denen immer *dioxinähnliche PCB* enthalten waren und in großen Mengen in vielen Produkten eingesetzt. *PCB* wurden als Kühl- und Isoliermittel in der Elektroindustrie, als Hydraulikflüssigkeit in der Maschinenindustrie und als Wärmeübertragungsflüssigkeit in zahlreichen Industriezweigen verwendet (sog. geschlossene Anwendung). Verwendung fanden sie auch als Weichmacher und Brandverzögerer für Lacke, Farben, Klebstoffe, Dichtungsmassen, Kunststoffe und Verpackungsmittel (sog. offene Anwendung). Die offene Anwendung ist in Deutschland seit 1978 verboten. Die geschlossene Anwendung wurde 1989 verboten und die eingesetzten *PCB* waren bis 2010 sicher zu entsorgen. Geräte mit weniger als 100 ml *PCB*-haltigen Flüssigkeiten dürfen weiter bis zum Ende der Betriebszeit im Einsatz sein.

Durch Deposition der über die Atmosphäre verbreiteten Emissionen werden *PCB* weiträumig in Böden eingetragen und angereichert. Darüber hinaus können Böden durch die Ausbringung

von Klärschlamm oder Kompost, durch Überflutung bei Hochwasser-Ereignissen und die Verfrachtung von Gewässer-Sedimenten belastet werden. Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes wurden die Emissionen von PCB in Deutschland seit 1990 um etwa 90 Prozent reduziert, womit auch eine Reduzierung von dl-PCB verbunden ist.

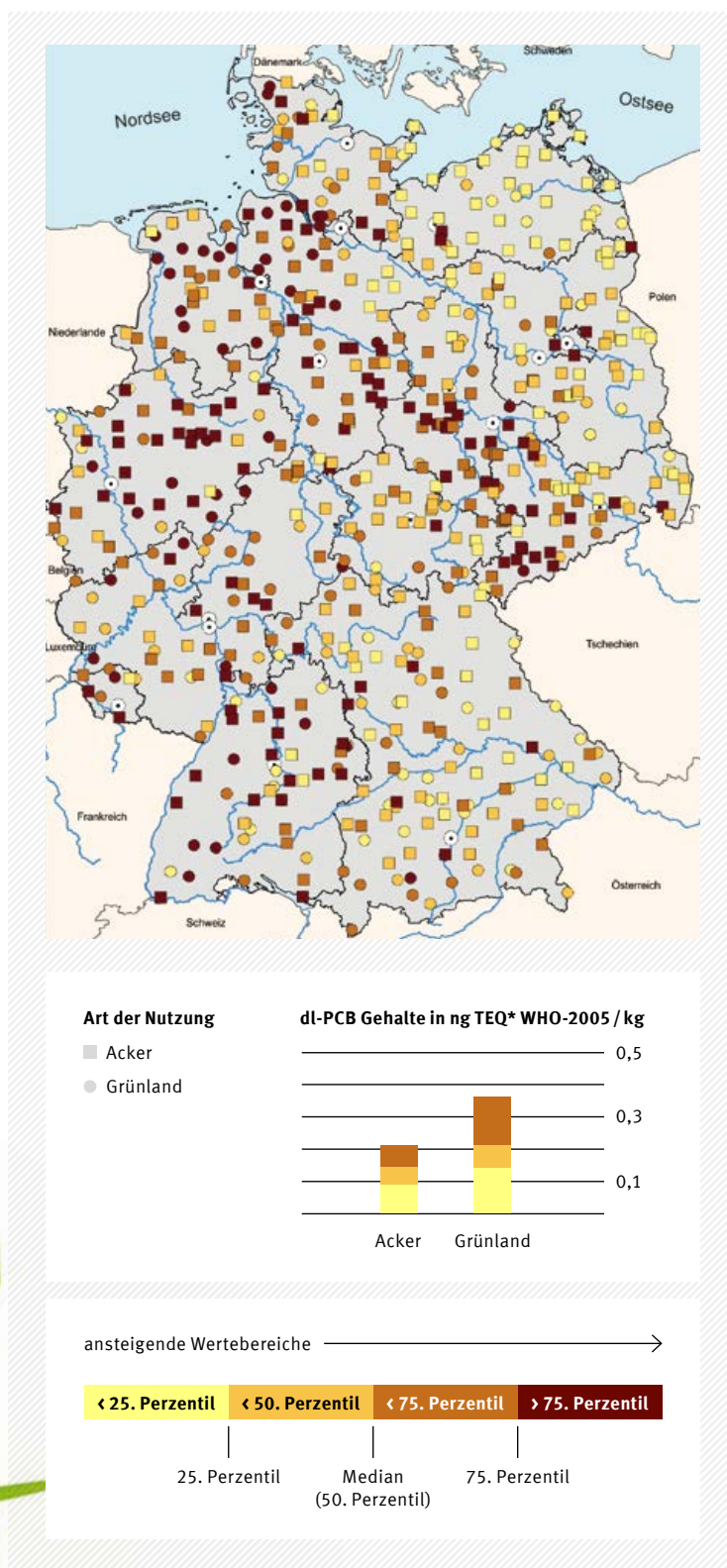
Grünlandboden:

1,7 µg/kg TS

mittlerer PCB 6 Gehalt

Abbildung 4.18

Verteilung der dioxinähnlichen PCB Gehalte in den Oberböden Deutschlands



* TEQ: Toxizitätsäquivalente nach WHO (Van den Berg u.a., 2006)

Quelle: Umweltbundesamt, 2014 unveröffentlicht
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

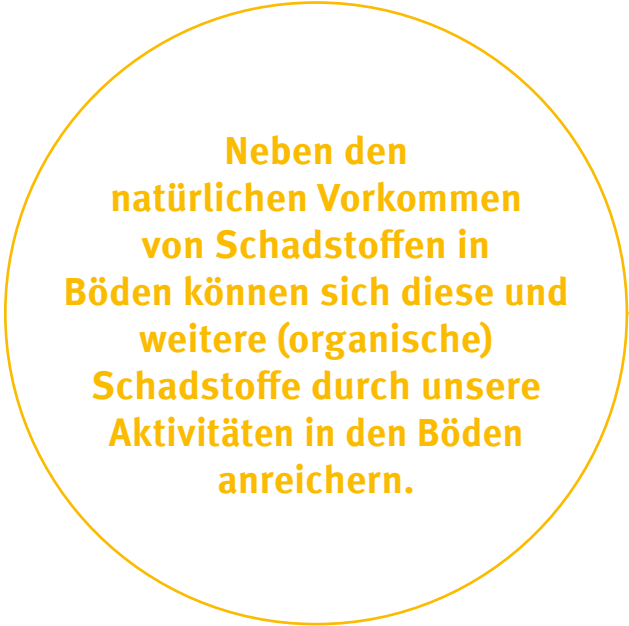
Im Boden werden *PCB* stark an die organische Substanz gebunden und ihre Einträge reichern sich in den obersten, humosen Bodenhorizonten an. Futtermittelpflanzen können durch anhaftende Bodenpartikel oder luftbürtige Ablagerung verunreinigt werden, die Nutztiere beim Weiden oder durch Heu und Silage aufnehmen. *PCB* reichern sich in Organismen, zum Beispiel Weidetieren an und gelangen so auch in die Nahrung des Menschen.

Die *PCB*-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153, 180 (*PCB* 6) dienen als Indikator für die Belastung der Umwelt mit diesem Schadstoff.

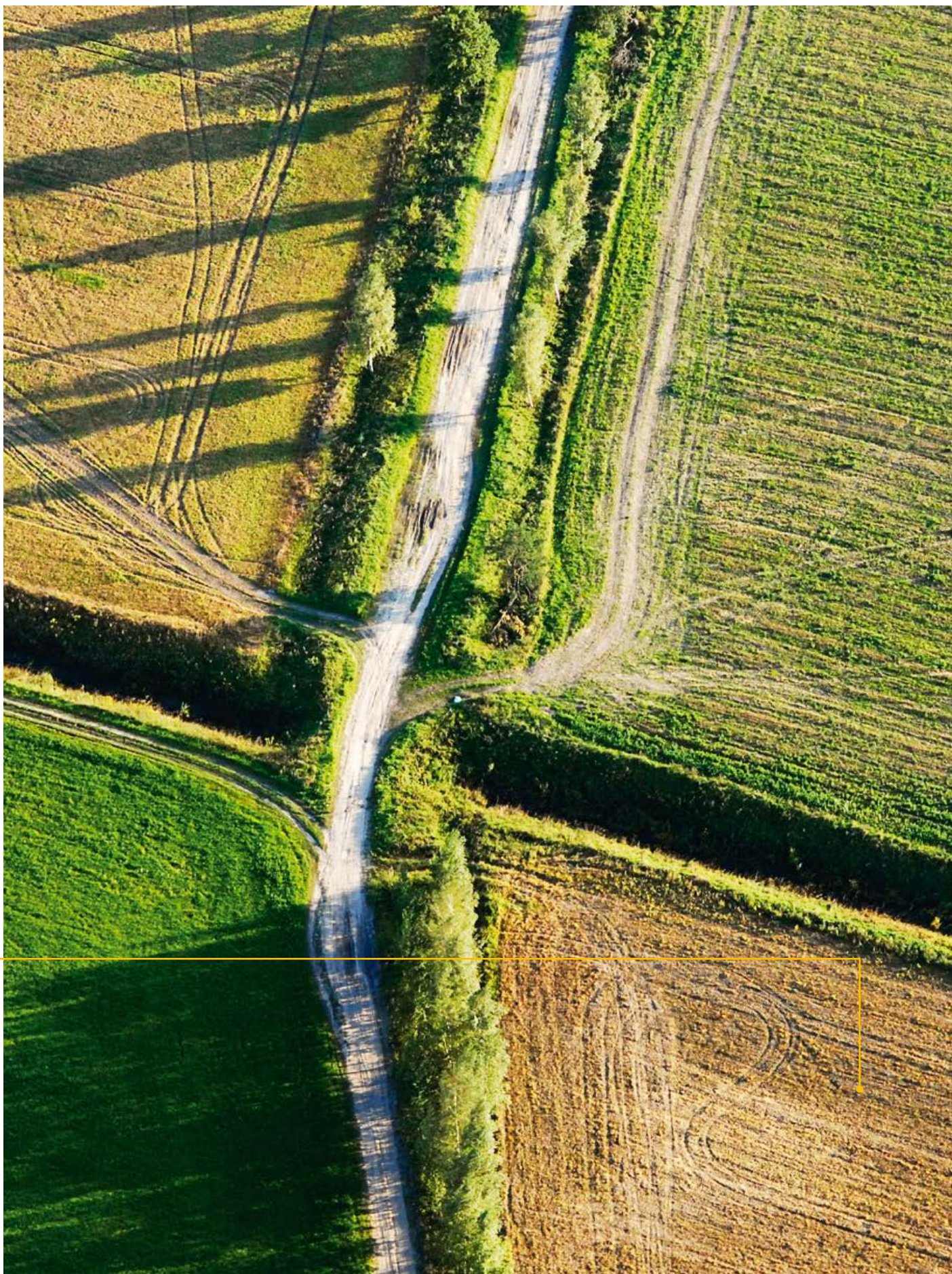
In den Abbildungen 4.17 und 4.18 sind die mittleren Gehalte (50. Perzentil), das untere Niveau (25. Perzentil) und das 75. Perzentil des Vorkommens von *PCB* 6 in Acker-, Grünland- und Waldoberböden und für dl-*PCB* in den Oberböden landwirtschaftlich genutzter Böden dargestellt. Die Gehalte variieren in Abhängigkeit von der Bodennutzung. Der typischen Gehalt für *PCB* 6 – bezogen auf das 50. Perzentil – beträgt

bei Ackernutzung ca. 1 µg/kg TS, bei Grünlandnutzung 1,7 und bei Waldnutzung 2,7 µg/kg TS. Die mittleren Gehalte für dl-*PCB* liegen in Ackerböden bei 0,16 ng WHO-TEQ 2005/kg TS und bei Grünlandböden bei 0,25 ng WHO-TEQ 2005/kg TS.

Die bundesweite Verteilung der Gehalte von *PCB* 6 und dl-*PCB* in Böden weist flächenhaft deutliche regionale Unterschiede auf (Abbildungen 4.17 und 4.18). Es ist ein deutlicher Gradient der Gehalte zwischen dem Osten und Nordosten Deutschlands mit geringeren Gehalten und den (süd-) westlichen Regionen mit höheren Gehalten zu erkennen.



Neben den natürlichen Vorkommen von Schadstoffen in Böden können sich diese und weitere (organische) Schadstoffe durch unsere Aktivitäten in den Böden anreichern.



(05) Bodenstruktur – Erosion und Verdichtung

Zu den Belastungen durch Einwirken von schädlichen Substanzen und Elementen, die den Chemismus der Böden verändern, gesellen sich Beeinträchtigungen mit negativen Folgen für die Bodenstruktur. Die *Bodenerosion*, ob durch Wasser- oder Wind- einwirkung und die Verdichtung der Bodenstruktur resultieren aus der menschlichen Bodenbewirtschaftung oder werden durch diese um ein vielfaches beschleunigt und verstärkt.

5.1 Bodenerosion durch Wasser

Treten sturzflutartige Regenfälle auf, kann in Hanglagen der ungeschützte Ackerboden erodieren. Dadurch geht fruchtbarer und humoser Boden verloren, der die landwirtschaftlichen Erträge garantiert. Die an Bodenpartikel gebundenen Nähr- und Schadstoffe gelangen in angrenzende Gewässer oder Ökosysteme. In Einzelfällen werden Straßen und Wohngebiete mit Erde überflutet mit negativen Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit (vgl. Abb. 5.5).

In Mitteleuropa sind Bilder komplett erodierter Landoberflächen zum Glück unbekannt, jedoch tritt die *Bodenerosion* durch Wasser auf

vielen Ackerflächen in Deutschland auf. Der teilweise wenig sichtbare und in der Mehrzahl der Fälle schleichende Bodenverlust gefährdet langfristig die *Bodenfruchtbarkeit*, da neuer Boden langsamer entsteht als sein Verlust.

Es gibt natürliche Einflussfaktoren für die Entstehung von *Erosion* wie die Intensität der Niederschläge, die Zusammensetzung des Bodens und das Gefälle des Geländes (vgl. Abb. 5.6). Schon ab einem Gefälle von zwei Prozent kann *Bodenerosion* einsetzen. Besonders die feinkörnigen Lössböden sind sehr empfindlich. Die von der Bewirtschaftung abhängigen Einflussgrößen entscheiden über das tatsächliche Auftreten und Ausmaß der *Erosion*. Die Vielfalt

Abbildung 5.1

Bundesweite Erosionsgefährdung durch Wasser der Böden von Ackerflächen in unterschiedlichen Bestellweisen

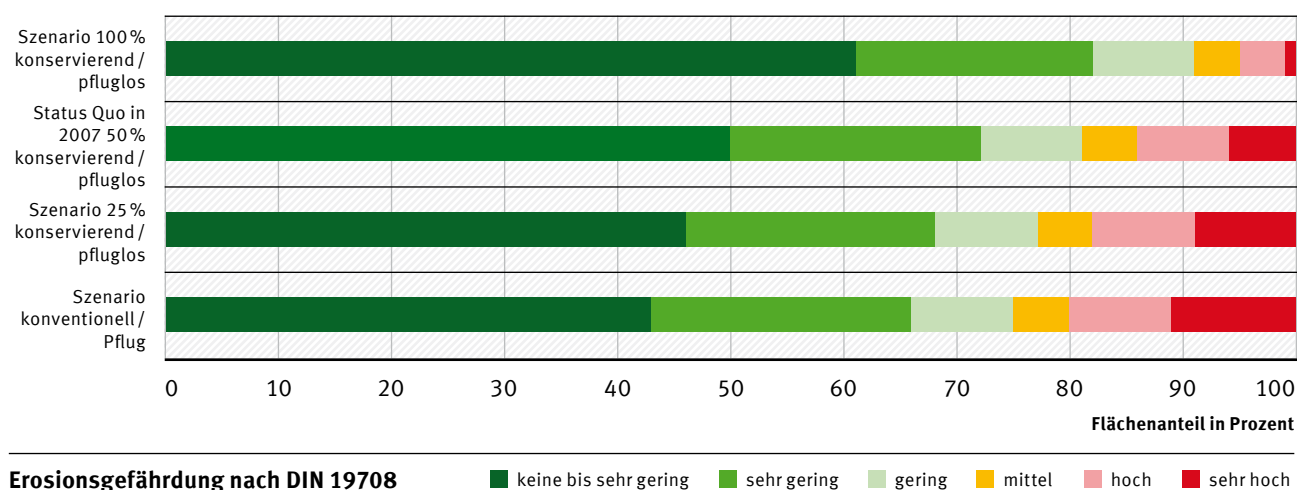
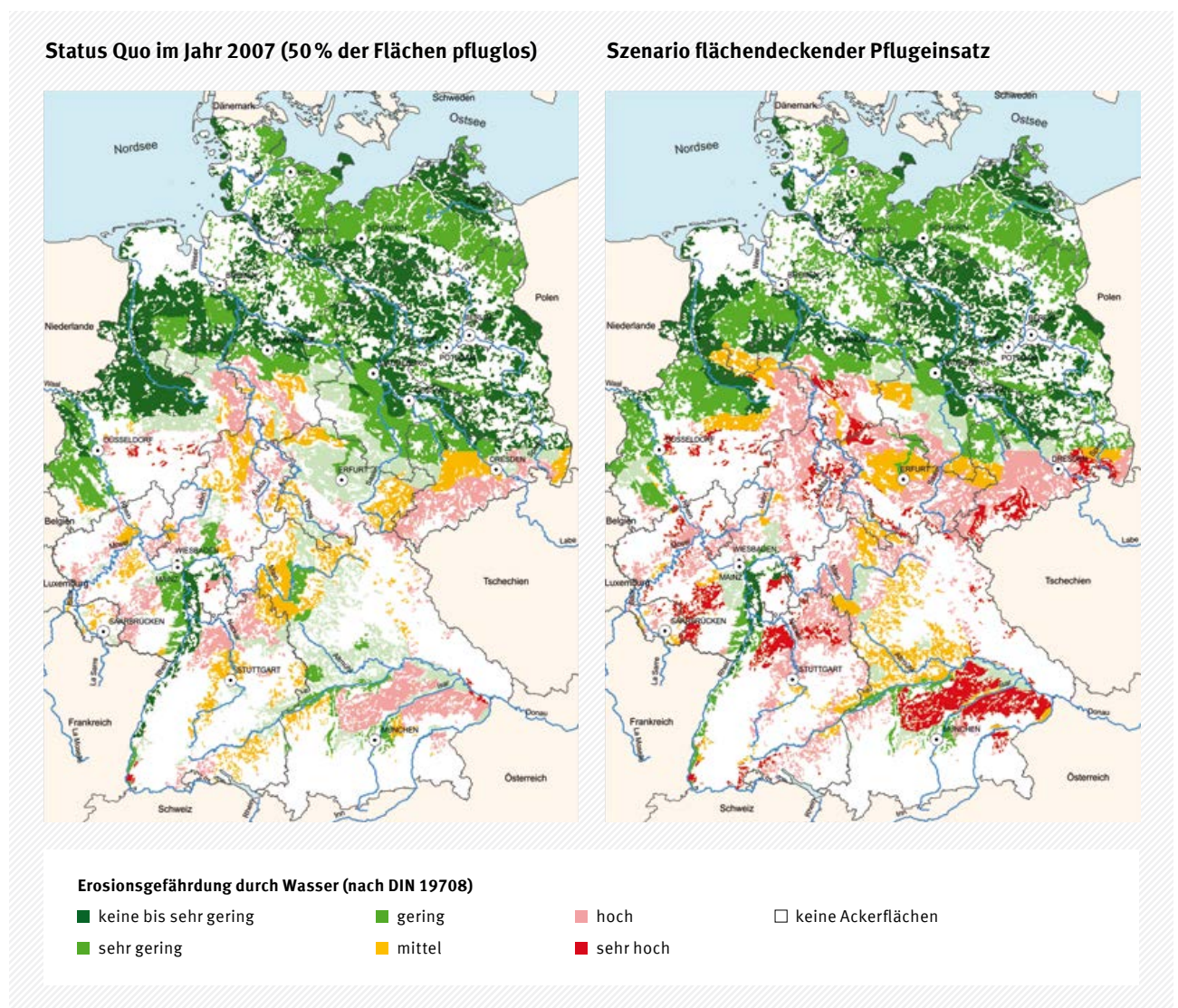




Abbildung 5.2

Gefährdung der Ackerböden in Deutschland durch Wassererosion unter Berücksichtigung der Bestellweise



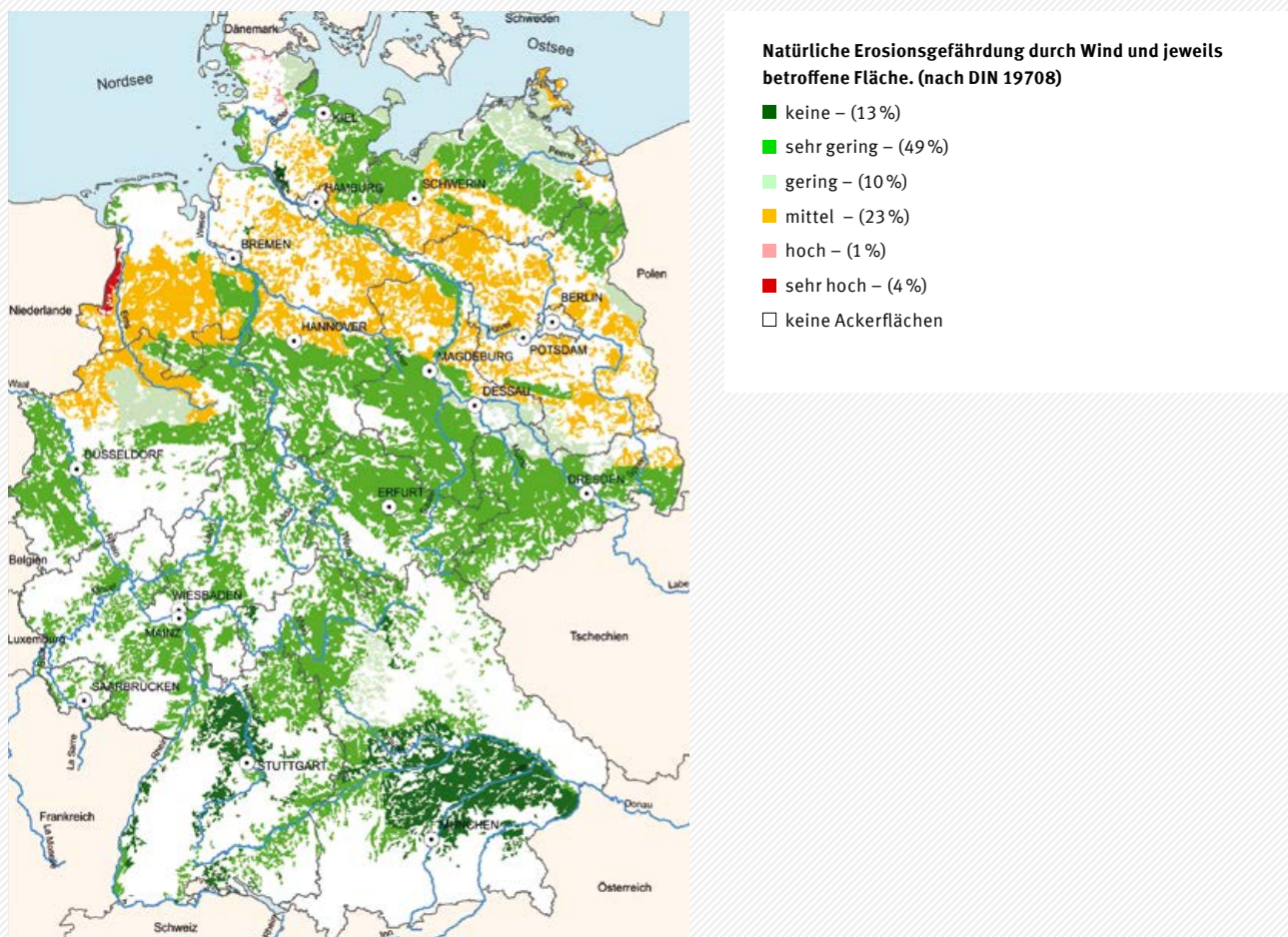
Quelle: Wurbs, D. und Steininger, M., 2011; Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; Naturräumliche Gliederung von Deutschland, BfN, Stand 2008; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Bodenerosion durch Wind

Bodenerosion kann in gleicher Weise durch Wind ausgelöst werden. Genauso wie ein unbedeckter Boden durch die Kraft des fließenden Wassers in Bewegung geraten kann, werden die Bodenteilchen durch den Wind erfasst und je nach Größe fortbewegt. Besonders trockene Böden der feinen Sande oder die staubigen Schluffe sind sehr anfällig für den Transport durch Wind. Auf Grund der herrschenden Verteilung der Windgeschwindigkeit in Deutschland (vgl. Abb. 8.11) sind vor allem die küstennahen Bundesländer betroffen, in denen durch die Eiszeiten beeinflusst sandige und schluffige Böden auftreten. Abbildung 5.3 vermittelt einen Eindruck von der Gefährdung der Böden durch Winderosion. In der Darstellung werden die mittleren Verhältnisse für die Naturräume Deutschlands anhand der Boden- und Windverhältnisse dargestellt. Paaren sich hohe Windgeschwindigkeiten mit sehr anfälligen Böden ist die Gefahr besonders hoch. Es fällt auf, dass die küstennahen Naturräume eine geringere mittlere Gefährdung aufweisen, weil die dort vorherrschenden Böden nicht so anfällig sind wie die trockeneren Sandstandorte in den südlich angrenzenden Naturräumen. Diese Darstellung wurde gewählt um in einem nächsten Schritt den Einfluss der landwirtschaftlichen Bestellweise bewerten zu können, da Daten zur landwirtschaftlichen Nutzungsweise nur auf dieser Ebene ausgewertet werden dürfen. Wie bei der Erosion durch Wasser kann die Gefahr des Bodenabtrags durch Wind in Folge geeigneter Bearbeitungsmethoden und vielfältiger Maßnahmen deutlich minimiert werden. Winderosion kann zusätzlich durch Windhindernisse wie Hecken oder Gehölze unterbunden werden. Alle Maßnahmen zusammen schützen angrenzende Siedlungen und Straßen vor Luft- und Sichtbeeinträchtigungen, die in jüngster Zeit im Straßenverkehr mit z.T. schwerwiegenden Folgen verbunden waren.

Abbildung 5.3

Gefährdung der Ackerböden in Deutschland durch Winderosion unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften und Windverhältnisse



Quelle: Wurbs, D. und Steininger, M., 2014 unveröffentlicht; Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; Naturräumliche Gliederung von Deutschland, BfN, Stand 2008; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



und Abfolge der Kulturarten und die Intensität der Bestellweise mit Pflug oder in schonender Lockerung ohne den Pflug sind vom Landwirt beeinflussbar. Einer der wesentlichen Faktoren ist die Bearbeitungsrichtung in Kombination mit der Hanglänge.

Bodenverluste von 10 Tonnen pro Hektar und Jahr entsprechen einem Verlust von 1 Millimeter Boden auf dieser Fläche. So kann sich der Verlust im Laufe eines Menschenlebens auf circa 8 Zentimeter summieren. Das entspricht einem Drittel der fruchtbaren Ackerkrume. Für Böden, die ohnehin gering mächtig sind oder bereits über lange Zeiträume einen Bodenverlust hatten, bedeuten diese Mengen eine langfristige Gefährdung der Ertragssicherheit.

Welche Gebiete sind besonders von Boden-erosion durch Wasser gefährdet?

In der Praxis werden mit der Methode der „Allgemeinen Bodenabtragsgleichung – ABAG“ eine natürliche Variante, die sogenannte „potenzielle“ *Erosionsgefährdung* sowie die „nutzungsabhängige“ *Erosionsgefährdung* ermittelt (vgl. Abb. 5.6).

Während in die Berechnung der potenziellen *Erosionsgefährdung* nur die „natürlichen“ Einflussfaktoren wie Klima, Boden und Gelände einfließen, spielt bei der nutzungsabhängigen *Erosionsgefährdung* der Einfluss der Bodenbewirtschaftung (Anbaukulturen und der Bestellweise) eine maßgebliche Rolle. Das Verfahren liefert als Ergebnis den mittleren langjährig zu erwartenden Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr.

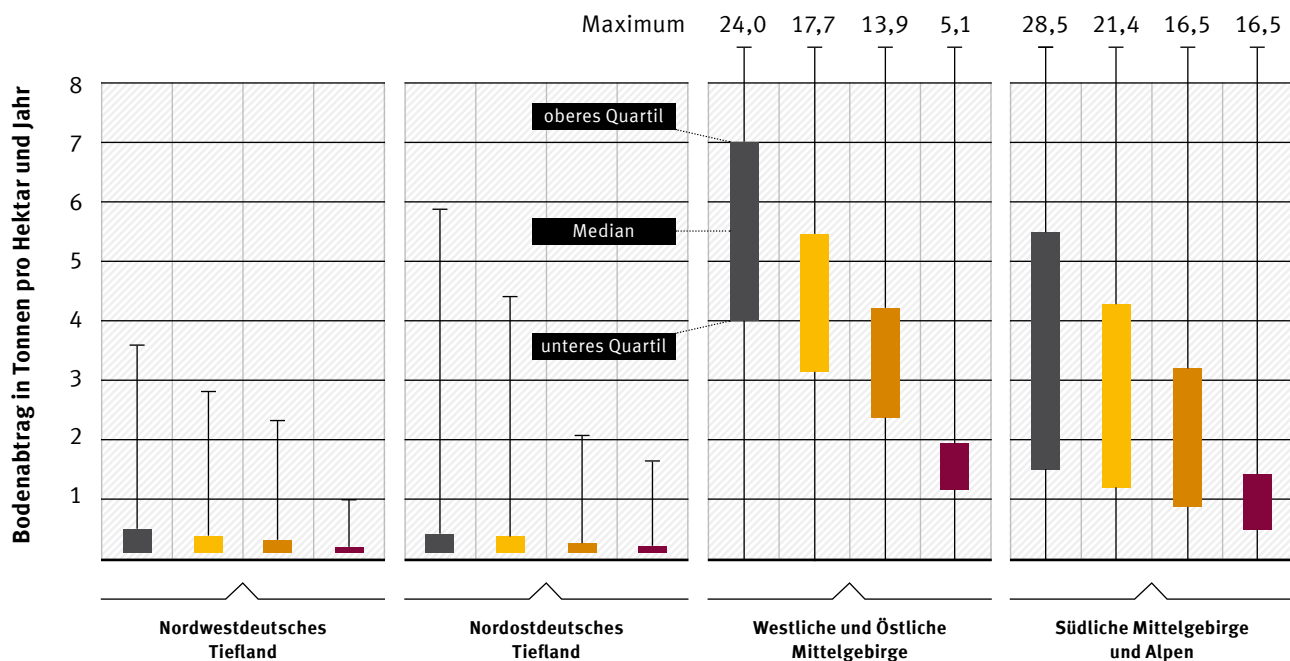
Die vorliegenden Aussagen zur bundesweiten *Erosionsgefährdung* durch Wasser beruhen auf den mittleren langjährigen Niederschlags- und Temperaturwerten des Zeitraums 1971 bis 2000. Den Informationen zur Verteilung der Kulturarten liegen statistische Daten aus dem Jahr 2007 zugrunde. (Wurbs u. Steininger, 2011).

Derzeit ist in Deutschland davon auszugehen, dass auf circa der Hälfte der gesamten Ackerfläche eine pfluglose, konservierende Lockerung des Bodens nach der Ernte erfolgt. Regional fällt dies jedoch unterschiedlich aus.

Neben dem Verlust an fruchtbarem Boden vermindert Winderosion die Sicht und beeinflusst die Luftqualität

Abbildung 5.4

Gefährdung der Böden durch Wassererosion in den Naturräumen



Anteil der Bodenbearbeitung in den naturräumlichen Haupteinheiten

■ 100 % konventionell ■ 25 % konservierend ■ 50 % konservierend ■ 100 % konservierend

Quelle: verändert nach Wurbs, D.; Steiniger, M., 2011



Beim Anbau von Mais ist der Boden lange ungeschützt und anfällig für Bodenerosion.



Weitere Darstellungen zur Erosionsgefährdung im Kartendienst:
gis.uba.de/mapapps/resources/apps/ubaViewer

Im Ergebnis dieser Berechnungsgrundlagen weisen 14 Prozent der ackerbaulich genutzten Flächen für das Bezugsjahr 2007 einen mittleren langjährigen Bodenabtrag von mehr als drei Tonnen pro Hektar und Jahr auf (vgl. Abb. 5.1). Das entspricht einer sehr hohen bis hohen *Erosionsgefährdung* (DIN 19708, 2005). Auf weiteren 36 Prozent der Ackerfläche besteht eine mittlere bis geringe *Erosionsgefährdung*. Auf der Hälfte der bundesdeutschen Ackerfläche ist das *Erosionsrisiko* durch Wasser vergleichsweise gering bis gar nicht vorhanden. Die Angaben in diesem Maßstabsbereich berücksichtigen nicht einzelbetriebliche Vorsorgemaßnahmen, wie z. B. die Bearbeitungsrichtung. Dies wäre nur regional oder einzelbetrieblich darstellbar.

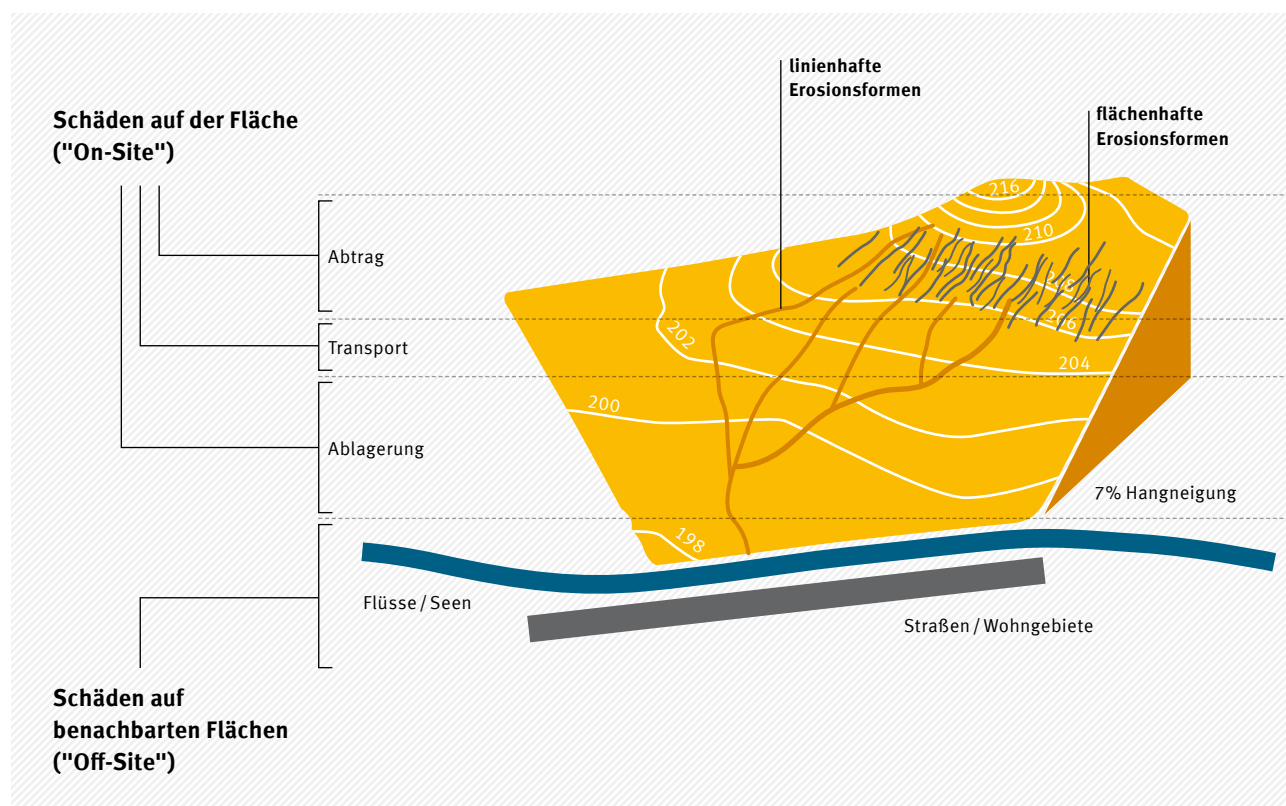
Für die nutzungsabhängige Gefährdungssituation ergibt sich ein bestimmtes Muster für Deutschland. Differenziert wird das Muster durch Szenarien der Bestellweise. Folgt man dem Szenario einer flächendeckenden konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug, wäre



Eine hangabwärts verlaufende Erosionsrinne unter jungen Maispflanzen.

Abbildung 5.5

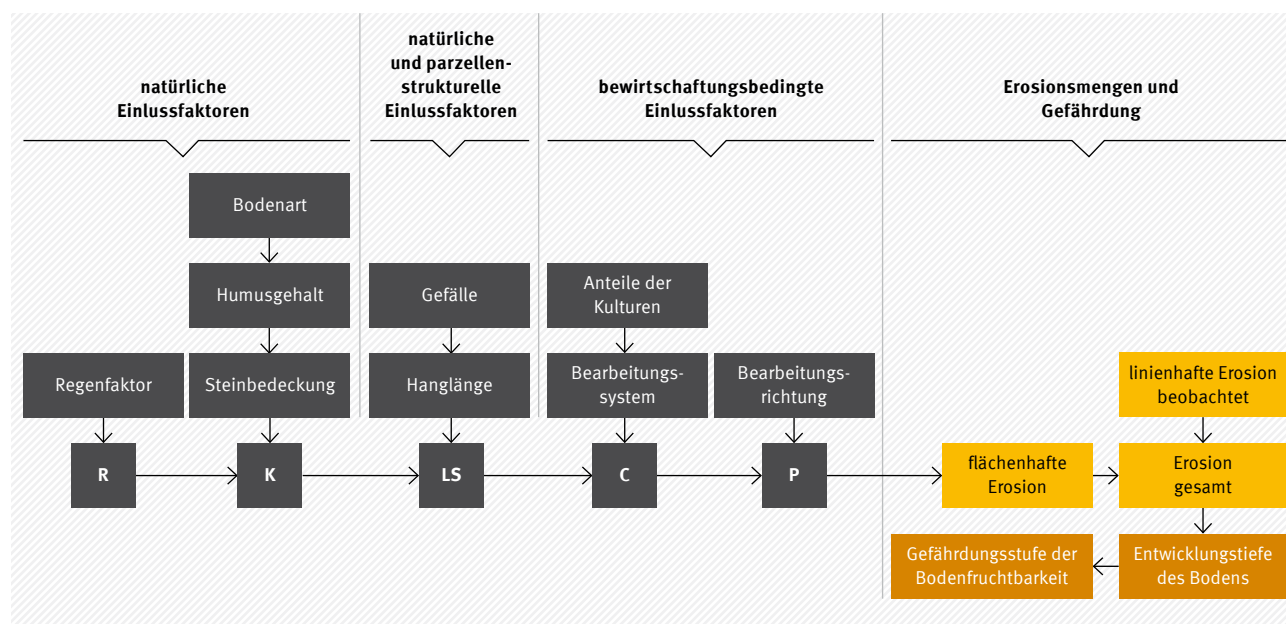
Das Erosionsgeschehen auf und neben einer Ackerfläche



Quelle: S. Marahrens, Umweltbundesamt, 2014

Abbildung 5.6

Beeinflussende Faktoren der Bodenerosion durch Wasser in der „Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung – ABAG“



Quelle: verändert nach Mosimann, T.

die gesamte Mittelgebirgsregion von *Bodenerosion* betroffen (vgl. Abb. 5.2 und 5.4). Realität ist jedoch ein regional zunehmender Einsatz der pfluglosen Bodenbearbeitung, was zu einer deutlich verringerten Gefährdung führt (vgl. Abb. 5.2 und 5.4). Auch bleiben Naturräume ausgeklammert, die zwar potentiell gefährdet sind, wie z. B. das Erzgebirge, aber auf Grund eines hohen Waldanteils nur vergleichsweise wenig Anteil an Ackerflächen aufweisen. Stark gefährdet sind die folgenden Naturräume:

- ▶ das mittelsächsische Lößlehmhügelland,
- ▶ randliche Teile des Thüringer Beckens,
- ▶ das östliche und nördliche Harzvorland,
- ▶ Teile des Weserberglandes,
- ▶ die Hellwegbörden,
- ▶ das Bergische Land,
- ▶ die Ville,
- ▶ Teile des Saar-Nahe Hügellandes,
- ▶ der Kraichgau mit Gäuplatten,
- ▶ das Markgräfler Hügelland,
- ▶ Teile der Schwäbischen Alb,
- ▶ das Donau-Isar-Inn Hügelland sowie
- ▶ Teile des Oberpfälzer- und Bayerischen Waldes.

Die bundesweite Bewertung kann auf Ebene der Bundesländer präzisiert werden. Auf den betroffenen Ackerflächen ist es erforderlich, den linienhaften und flächenhaften Anteil an der gesamten *Erosionsgefährdung* entweder durch Beobachtungen oder die Anwendung kleinräumig gültiger Modelle und der Einflüsse vor Ort zu ermitteln. Daraus können gezielt betriebliche Maßnahmen abgeleitet werden, um das Risiko zu minimieren. Hier ist das Wissen in den Landwirtschaftsbetrieben gefragt, um gezielte Vorsorgemaßnahmen für die individuellen Vor-Ort Verhältnisse einzusetzen.

5.2 Bodenverdichtung durch Maschinen

Fahrzeuge und Maschinen in der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Bauindustrie sind in der Vergangenheit immer leistungsfähiger geworden. Die Folge davon ist ein stetiger Anstieg des Gewichts. In Extremfällen müssen Böden Fahrzeuggewichte von bis zu 60 Tonnen tragen. Im Vergleich dazu sieht die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) für bundesdeutsche Straßen nur eine Obergrenze von 44 Tonnen vor. Ein Mähdrescher kann bis zu 27 Tonnen wiegen, ein Rübenroder zum Ernten von Zuckerrüben bis zu 60 Tonnen und der Erntetransport kann mit bis zu 40 Tonnen zu Buche schlagen.

Solch große Lasten beeinträchtigen die Versickerung von Regenwasser und die Lebensbedingungen für die *Bodenorganismen* und bleiben nicht ohne Folgen für die Funktionsfähigkeit der Böden bis hin zu verringerten landwirtschaftlichen Erträgen.

Da die Hälfte der Landesfläche für Acker- und Pflanzenbau und ein weiteres Drittel forstwirtschaftlich genutzt wird, ist die Vorsorge vor *Bodenverdichtung* eine zentrale Herausforderung zum Schutz der Böden.



Heutige Landmaschinen sind leistungsfähig und bringen einiges auf die Waage. Das erfordert besondere Vorsorgemaßnahmen wie Zwillingsbereifung.

Wie stark verdichtet sind die Böden in Deutschland?

Bundesweit einheitliche Messergebnisse über das Ausmaß und die Entwicklung von Verdichtungen liegen nicht vor. Punktuelle Messungen und Strukturuntersuchungen aus den Bundesländern lassen den Schluss zu, dass auf etwa zehn bis 20 Prozent der Ackerfläche tatsächliche Beeinträchtigungen durch Verdichtung herrschen.

In Nordrhein-Westfalen sind in einem Untersuchungsvorhaben Beeinträchtigungen bei ca. 37 % der betrachteten Flächen festgestellt worden (MUNLV NW, 2009).



Neben der flächenhaften Ausdehnung spielt der vertikale strukturelle Zustand des Bodens eine Rolle. Kritisch sind vor allem die tieferen Bodenschichten zwischen 30 und 60 Zentimetern unterhalb der gelockerten oberen Bodenschicht, da in diesen Tiefen eine maschinelle Lockerung durch das Pflügen nicht mehr erfolgt, so dass bestehende Verdichtungen langfristig erhalten bleiben.

Eine Studie aus dem Jahr 2010 (Lebert, 2010) liefert eine Übersichtsdarstellung über den strukturellen Zustand der Böden in Deutschland. Anhand spezifischer Kriterien zur Beurteilung der Bodenstruktur wurde bestimmt, ob der strukturelle Zustand eher günstig oder ungünstig ist. Ungünstige Eigenschaften geben einen ersten Hinweis darauf, dass eine Gefährdung für Verdichtung besteht.

Durch Übertragen des Ergebnisses auf die Bodenübersichtskarte von Deutschland ergibt sich, dass circa 10 Prozent der bundesdeutschen Ackerfläche sehr ungünstige Eigenschaften aufweisen (vgl. Abb. 5.7). Betroffen sind Böden aus *Geschiebelehm* und lehmigen *Geschiebemergeln* in Norddeutschland und Böden mit hohen *Tonanteilen* in Süddeutschland. Ungünstige Eigenschaften herrschen vor bei Sandlehmen der *Jungmoränenlandschaften* im Norden, *Lössböden* ohne stabilisierende Eigenschaften der *Schwarzerden*, *tonreichen Böden* der Flusslandschaften und *Verwitterungsböden* in Süddeutschland.

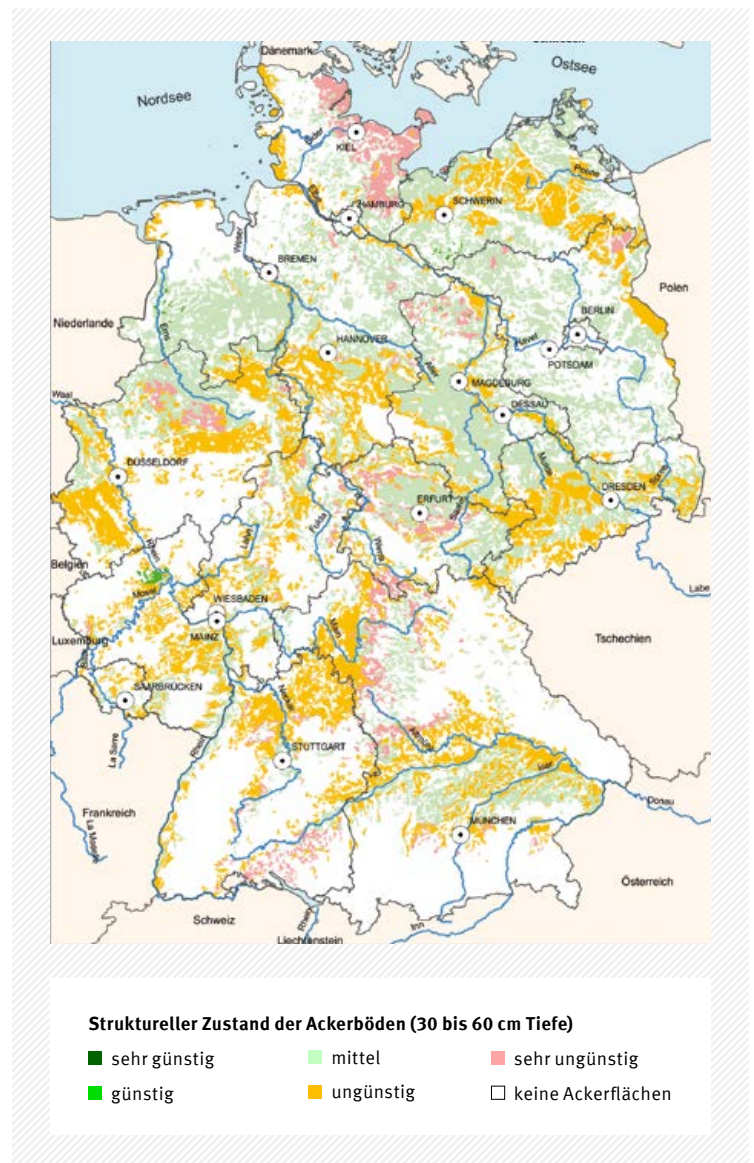
Zusammen mit den Böden, die als sehr ungünstig eingestuft werden, liegen deutschlandweit auf circa 50 Prozent der Ackerfläche Eigenschaften vor, die falls Verdichtung auftritt, zu einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führen können.

Wie empfindlich sind die Böden für Verdichtung?

Nur wenn die Empfindlichkeit des Bodens für Verdichtung bekannt ist, können Vorsorgemaßnahmen getroffen werden. Für eine Prognose der Empfindlichkeit der tieferen Bodenschichten gibt es ein Verfahren zur Abschätzung der Vorbelastung (vgl. Kastentext). Gerade wenig vorbelastete Böden sind empfindlich und diese Empfindlichkeit wird durch den Wassergehalt im Boden gesteigert. Je nach Witterung und in Abhängigkeit von der Korngrößenzusammen-

Abbildung 5.7

Struktureller Zustand der Ackerböden in Deutschland

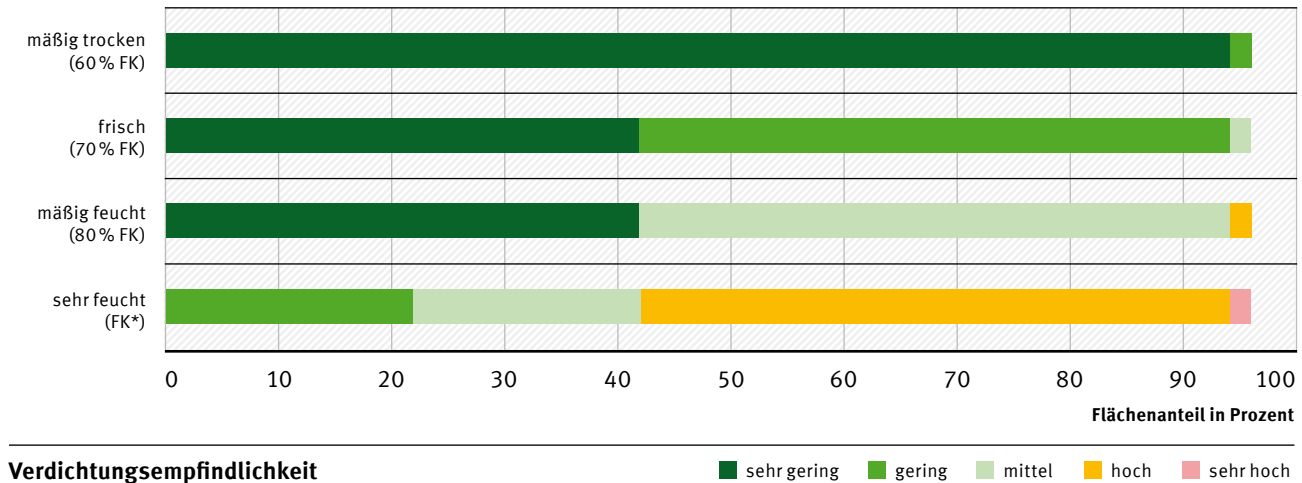


Quelle: Lebert, 2010
Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 5.8

Bundesweite Verdichtungsempfindlichkeit der Böden von Ackerflächen

Tiefenbereich 30 – 60 cm bei unterschiedlichen Wassergehalten



* Feldkapazität

Quelle: Lebert, M., 2010

Konzept der Vorbelastung

Das Konzept der mechanischen Vorbelastung bewertet die Empfindlichkeit des Bodens für zusätzliche Verdichtung. Es beschreibt die Stabilität eines Bodens gegenüber dem Zusammendrücken. Die Vorbelastung bezeichnet einen Druck in Kilopascal (kPa), der dem Bodendruck durch Maschinen direkt gegenübergestellt werden kann. Sie erlaubt die Prognose, ob der jeweilige Maschineneinsatz zusätzliche Verdichtung erwarten lässt. Gering vorbelastete Böden sind hochempfindlich für Verdichtung.

setzung des Bodens können regional und lokal starke Schwankungen der Empfindlichkeit auftreten.

Durch Übertragen der notwendigen Einflussgrößen auf die Bodenübersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 ist eine bundesweite Bilanzierung der Verdichtungsempfindlichkeit möglich. Da der Wassergehalt im Boden für diese Bilanz entscheidend ist, wird die Empfindlichkeit exemplarisch für unterschiedliche Wassergehalte ermittelt (vgl. Abb. 5.8)

Im sehr feuchten Zustand ist etwa die Hälfte der Ackerböden sehr hoch bis hoch verdichtungsempfindlich.

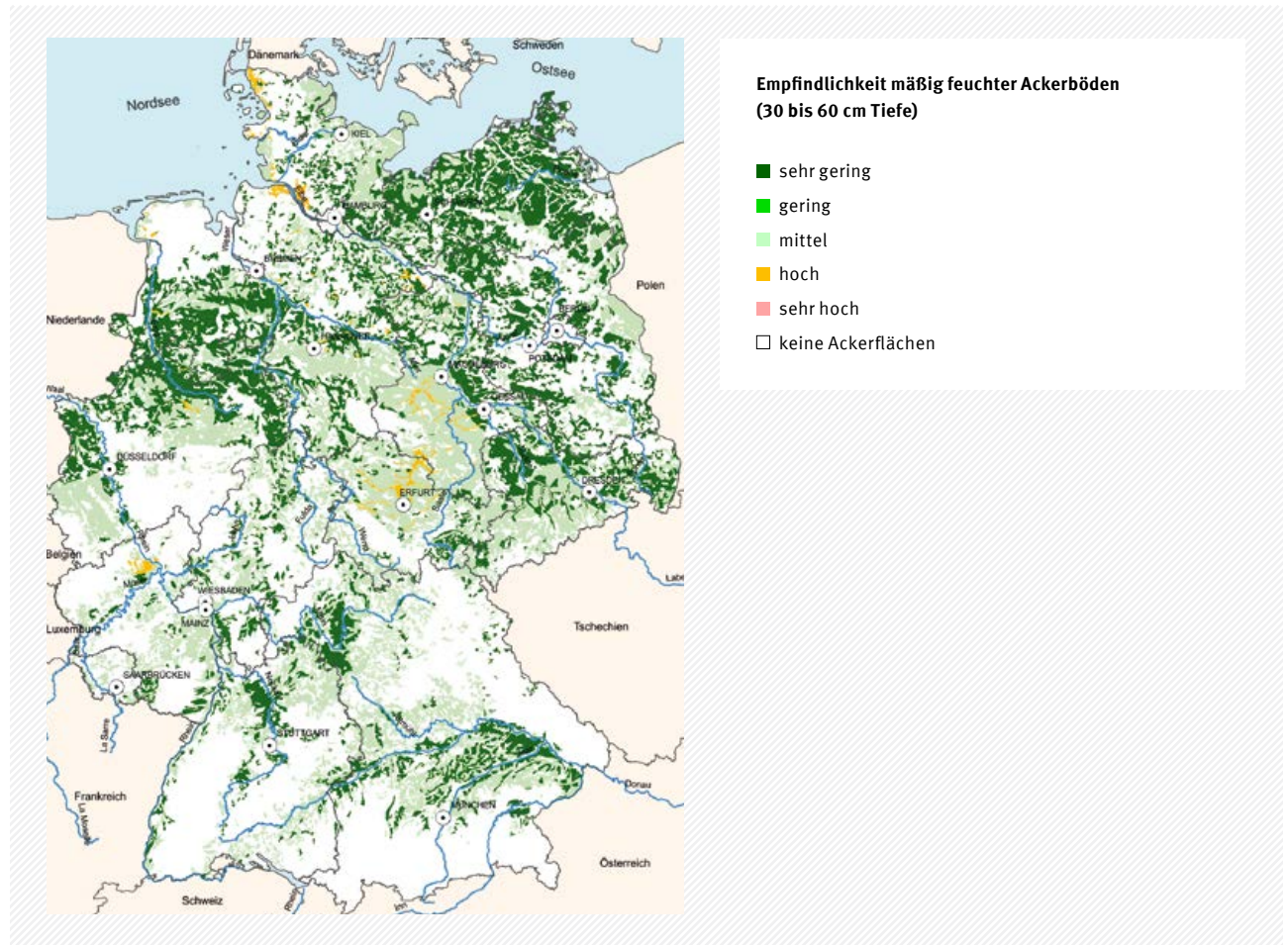
Im mittleren Jahresverlauf, wenn sich die Böden in einem mäßig feuchten Zustand befinden, besteht diese „sehr hohe“ und „hohe“ Verdichtungsempfindlichkeit nicht mehr (vgl. Abb. 5.8 und 5.9).

Welche Gebiete sind besonders gefährdet?

Die Gefährdung von durch Bearbeitung ausgelösten Verdichtungen ist dann besonders hoch, wenn sehr ungünstige Eigenschaften und eine hohe Verdichtungsempfindlichkeit der Böden aufeinandertreffen.

Abbildung 5.9

Empfindlichkeit der Ackerböden in Deutschland für Verdichtung bei im Jahresverlauf mäßig feuchten Böden



Quelle: Lebert, 2010; Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

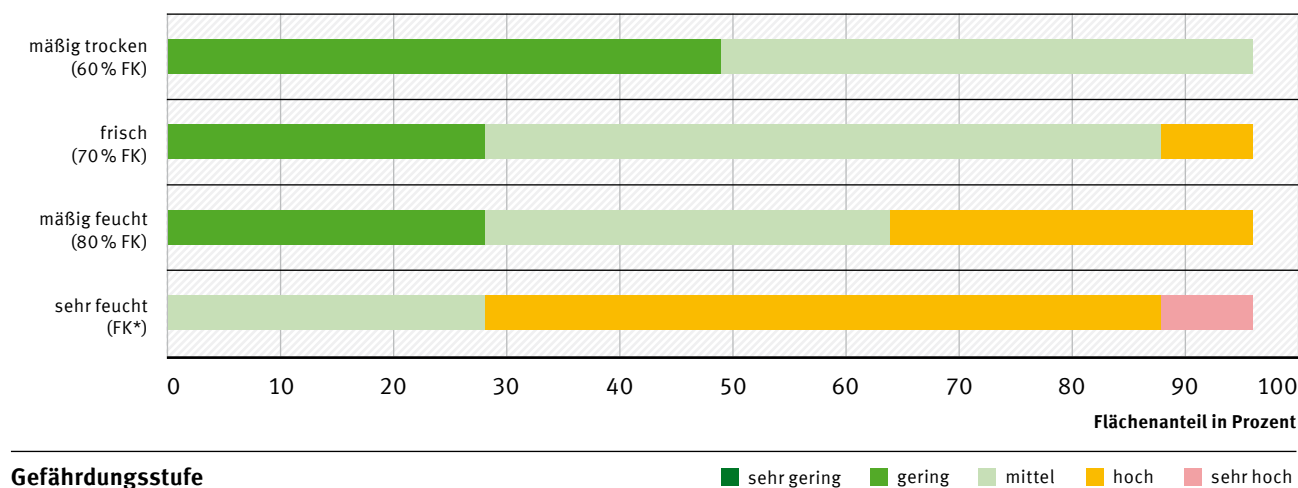
Besonders bei der Ernte besteht die Gefahr von Bodenverdichtungen wie hier bei der Kartoffel.



Abbildung 5.10

Bundesweite Gefährdung der Bodenfunktionen durch Verdichtung auf Ackerflächen

Tiefenbereich 30 – 60 cm bei unterschiedlichen Wassergehalten



* Feldkapazität

Quelle: Lebert, M., 2010

Nasse bis feuchte Böden

sind besonders anfällig für Verdichtung und brauchen Vorsorge

Die Kombination beider Kriterien erlaubt die Prognose, ob langfristig eine Gefährdung der Böden zu erwarten ist.

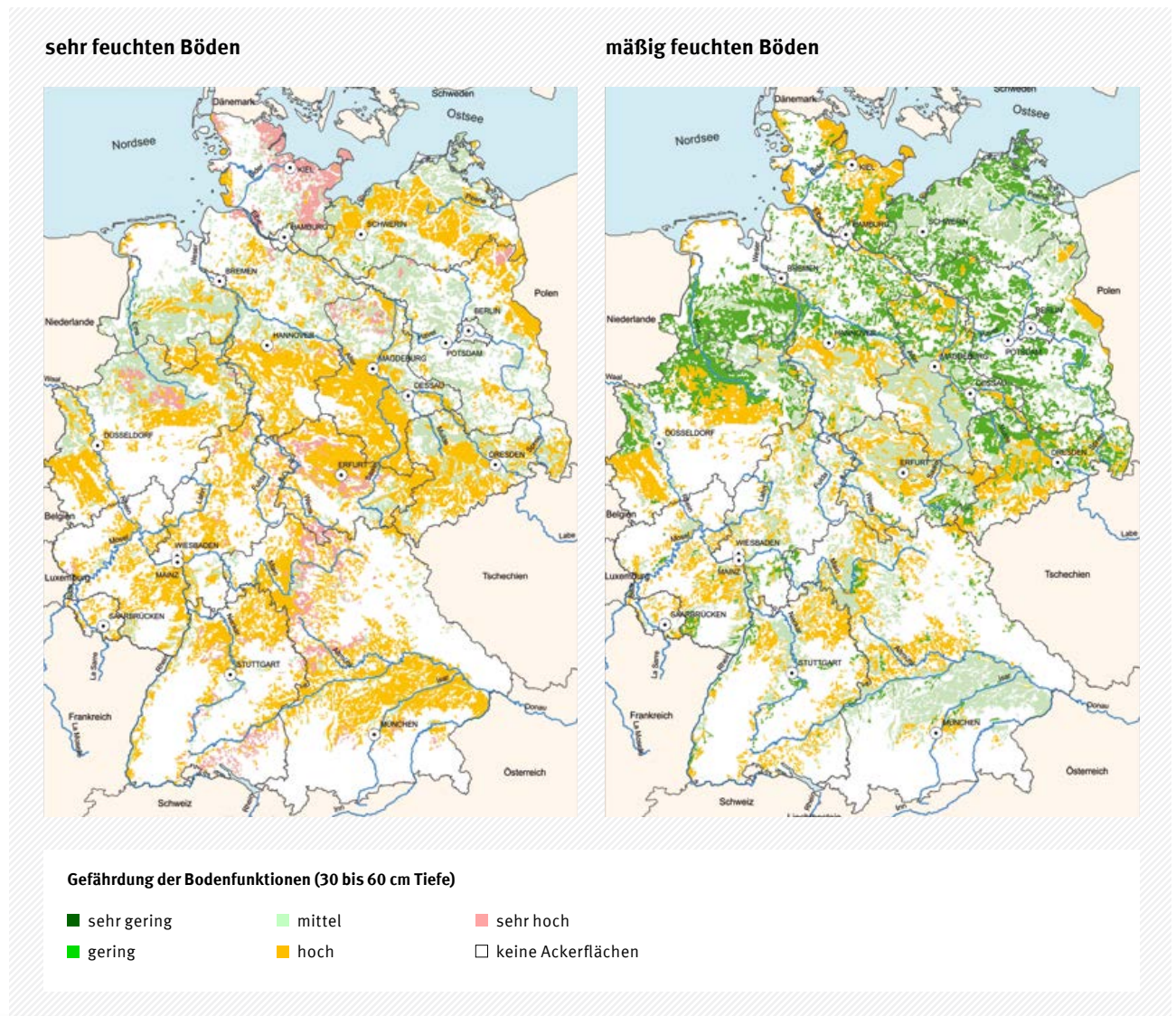
Bei dem im Jahresverlauf mittleren Zustand eines mäßig feuchten Bodens reduziert sich die sehr hohe und hohe Gefährdung bereits um ein Drittel gegenüber dem sehr feuchten Zustand (vgl. Abb. 5.10 und 5.11). Allerdings ist auf einem Drittel der Ackerfläche weiterhin von einer deutlichen und auf einem weiteren Drittel von einer relevanten Gefährdung auszugehen. Hoch gefährdete Böden sind Teile der *Marschen*, *Geschiebelehme* der *Jungmoränenlandschaften*, lehmige und tonige Flussablagerungen, tonige *Verwitterungsböden* sowie die *Lössböden* aus *Tonschluffen* und *Schlufftonen*.

Bei mäßig trockenen Böden liegt auf nahezu der gesamten Ackerfläche Deutschlands nur noch eine mittlere und geringe Gefährdung vor.

Der Gefahr von *Bodenverdichtungen* kann im Rahmen der Vorsorge durch vielfältige technische und organisatorische Maßnahmen bei der Bewirtschaftung begegnet werden. Das Beachten der Tragfähigkeit der Böden und der Bodenfeuchte ist ein wesentlicher Schlüssel zum langfristigen Erhalt der *Bodenfruchtbarkeit*.

Abbildung 5.11

Gefährdung der Bodenfunktionen von Ackerböden in Deutschland durch Verdichtung bei im Jahresverlauf



Quelle: Lebert, 2010; Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



Weitere Informationen zu den
Themen Erosion und Verdichtung:
[www.umweltbundesamt.de/
themen/boden-landwirtschaft/
bodenbelastungen](http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen)

(06) Organische Bodensubstanz

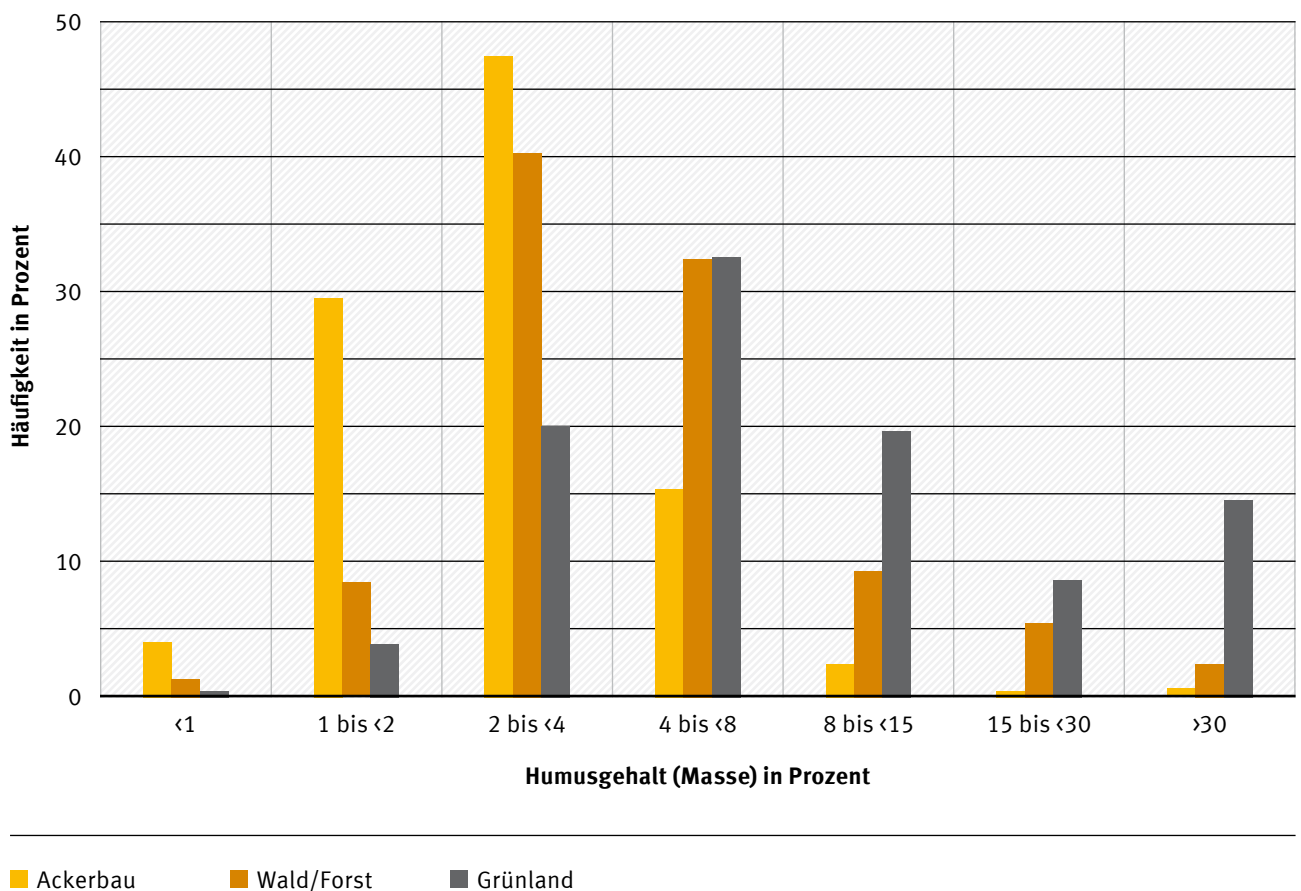
Die organische Bodensubstanz (OBS) ist eine entscheidende Größe für die Bodenqualität. Sie ist Speicher- und Puffermedium für Wasser, Nähr- und Schadstoffe, sie steuert wesentlich das Nähr- und Schadstoffrückhaltevermögen der Böden und wirkt strukturbildend. Sie ist eine wesentliche Lebensgrundlage für die *Bodenorganismen* und nimmt als Speichermedium für Kohlenstoff eine zentrale Funktion im Kohlenstoff-Kreislauf ein, denn Böden sind die größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher und übernehmen eine wichtige Funktion bei der Freisetzung oder Fixierung klimarelevanter Gase wie Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4).

Moorböden bestehen zu großen Teilen aus organischer Bodensubstanz. Dieses Niedermoor war der Boden des Jahres 2012 (www.boden-des-jahres.de).



Abbildung 6.1

Häufigkeitsverteilungen der Humusgehalte (Klassen nach KA5)



Quelle: Düwel, O und Utermann, J. (2008)

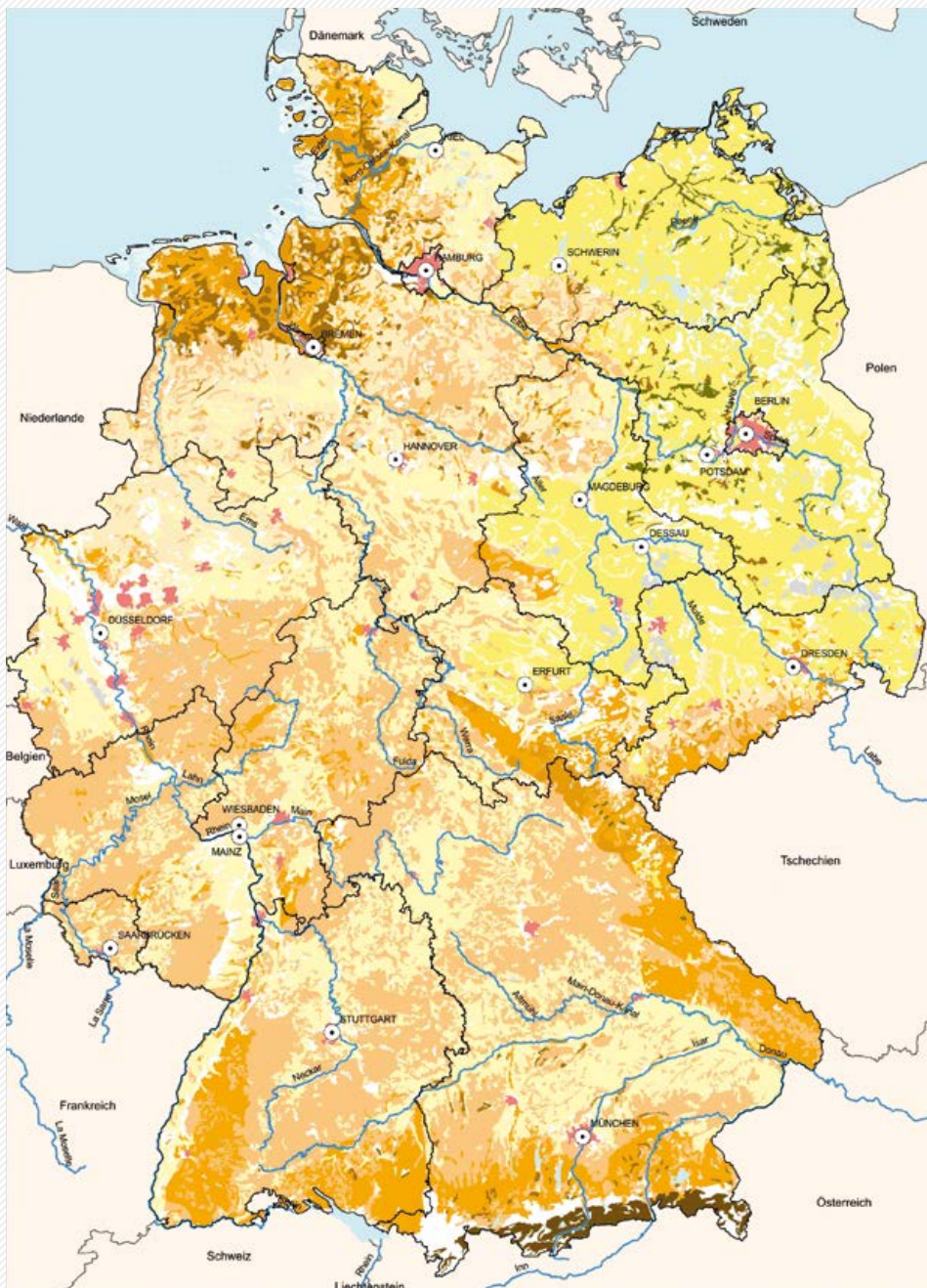
6.1 Status der Humusgehalte in Deutschland

Eine bodenfunktions- oder klimabezogene Einschätzung des Bodenzustands erfolgt i.d.R. zunächst für Oberböden, da diese die höchsten *Humusgehalte* aufweisen und besonders empfindlich gegenüber nutzungs- und/oder klimabedingten Veränderungen sind. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat ca. 9.000 Profildaten mit analytischen Informationen zu *Humusgehalten* in Oberböden aus den Jahren 1985 bis 2005 ausgewertet.

Die Abbildung 6.1 zeigt die relativen Häufigkeiten der klassierten Gehalte an organischer Substanz für die drei Hauptnutzungen Acker, Grünland und Forst. Grundsätzlich sind höhere *Humusgehalte* in den Oberböden in der Reihen-

folge Acker – Forst – Grünland zu beobachten. Werden die Medianwerte der *Humusgehalte* nach Bodenausgangsgestein, Landnutzung und Klimaregion in der Fläche klassiert, ergibt sich das in der Karte „Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands“ (vgl. Abb. 6.2) dargestellte räumliche Verteilungsmuster. Hiernach treten höhere *Humusgehalte* an der niederschlagsreichen Nordseeküste, den Mittelgebirgen und dem Alpenraum auf. Ein Gradient mit abnehmenden *Humusgehalten* zeigt sich in Richtung des kontinentalen Ostens. Mit dieser Flächeninformation konnten erstmals im bundesweiten Maßstab quantitative Aussagen zu den Gehalten an organischer Bodensubstanz regional differenziert nach Bodenausgangsgesteinen, Landnutzung und Klimaregionen bereit gestellt werden.

Verteilung der organischen Bodensubstanz in den Oberböden Deutschlands



Gehalte in Masse Prozent

- 1–<2 %
- 2–<3 %
- 3–<4 %
- 4–<6 %
- 6–<8 %

- 8–<11,5 %
- 11,5–<15 %
- 15–<30 %
- >30 %

- Stadtkernbereiche
- Abbauf Flächen
- nicht bestimmt
- Wattflächen
- Gewässerflächen

Auswertungen belegen, dass regional unterschiedliche Faktoren die Ausprägung der *Humus*gehalte bestimmen. Während wir z. B. im Alpenvorland als dominierenden Einfluss die Niederschläge erkennen, sind die trockenheitsgeprägten Sande im Nordosten zu finden. Im humiden Teil Nordwestdeutschlands wird der *Humus*gehalt durch die anstehenden *Tone* charakterisiert.

Über Veränderungen des *Humus*gehalts oder der *Humus*vorräte in Böden unter Acker- und Grünlandnutzung können wir bisher keine bundesweiten Darstellungen zeigen. Untersuchungen von Ebertseder, T. et al. (2010) und von Capriel, P. (2010) zeigen jedoch, dass es offensichtlich keine signifikanten Veränderungen gibt, die sich auf Klimaänderungen zurückführen lassen. Durch die Ernte werden dem Boden Nährstoffe entzogen, die dann als organische Düngemittel wie z. B. Mist, Gülle, Kompost teilweise in Kombination mit Mineraldünger wieder dem Boden zugeführt werden müssen.

Veränderungen der *Humus*gehalte wurden immer dann gefunden, wenn die Landnutzung verändert wurde. Ein Umbruch von Grünland zur Ackernutzung führt zu einer steigenden Mineralisierung und damit Freisetzung von CO₂ mit der Folge, dass der *Humus*gehalt in den Böden sinkt. Besonders drastisch sind die Effekte auf kohlenstoffreichen Böden zu beobachten, z. B. *Niedermooren*.

Daher haben einige Bundesländer Umbruchverbote erlassen, um diese Böden besonders zu schützen.

6.2 Änderungsraten der Bodenkohlenstoffvorräte im Wald zwischen den Jahren 1990 und 2006

Mit der Auswertung der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) ist es erstmalig möglich, den nationalen Beitrag der Waldböden zur Speicherung von organischem Kohlenstoff (C) zu quantifizieren und dessen Veränderung zum Bezugszeitpunkt der ersten bundesweiten Bodenzustandserhebung (BZE I) abzuschätzen. Die Festschreibung der jährlichen Veränderung ist für die jährliche Treibhausgasberichterstattung unter dem Kyoto-Protokoll (KP, Art. 3.4) und unter der Klimarahmenkonvention (LULUCF) erforderlich. Über die Veränderung der C-Vorräte der organischen Auflage und des Mineralbodens (0 – 30 cm) muss im jährlichem Turnus im Rahmen der KP-Berichterstattung mit erhöhtem Aufwand und mit großer Genauigkeit berichtet werden.

Insgesamt standen für die Vorratsberechnung der organischen Auflage Daten von 1.816 BZE I- und 1.798 BZE II Waldstandorten zur Verfügung. Für den Mineralboden konnten 1.865 Standorte der BZE I und 1813 Punkte der BZE II genutzt werden. Mit speziellen Analyseverfahren wurden Inkonsistenzen und nicht plausible Werte identifiziert und ggf. ausgeschlossen. Um eine repräsentative Aussage über die Verteilung der Vorratsänderungen für die Waldfläche in Deutschland treffen zu können, wurden spezifische Verfahren zur Regionalisierung ausgewählt. Die Regionalisierung der Vorratsänderungen der organischen Auflage basiert auf der regionalen Verteilung von Laub-, Misch- und Nadelwald in Deutschland, abgeleitet durch CORINE Landnutzungsdaten von 1990 und von 2006. Grundlage der Regionalisierung der Vorratsänderungen für den Mineralboden waren die flächenrelevanten Straten der *Leitbodentypen* der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000. Die Übertragung der Ergebnisse auf die regionale Ebene erlaubt es, regionale Unterschiede von Faktoren, die den C-Pool von Böden beeinflussen, in die Berechnung des C-Vorrats und dessen zeitliche Veränderung zwischen beiden Terminen zu integrieren.

Die Auswertung für den Mineralboden ergab eine signifikante Zunahme der C-Vorräte zwischen 1990 und 2006 von 55.6 ± 3.4 auf 61.8 ± 3.7 t/ha 1, das entspricht einer jährlichen Änderungsrate von 0.41 ± 0.11 t/ha 1. Mit der Wiederholungsinventur ergaben sich in fast allen Straten höhere C-Vorräte (vgl. Abb. 6.3). Während die höchsten positiven Änderungsraten für sandige Böden Norddeutschlands und für Böden der Alpenregion ermittelt wurden, waren die Mittelgebirgsstandorte durch einen moderaten Anstieg gekennzeichnet. Die geringsten Änderungsraten oder sogar einen negativen Verlauf wiesen lehmige Lockergesteinsböden in Nord- und Süddeutschland auf. Ein Vergleich der Vorratsänderungen mit Ergebnissen aus national ausgerichteten Studien und Bodeninventuren verschiedener europäischer Länder ergab, dass

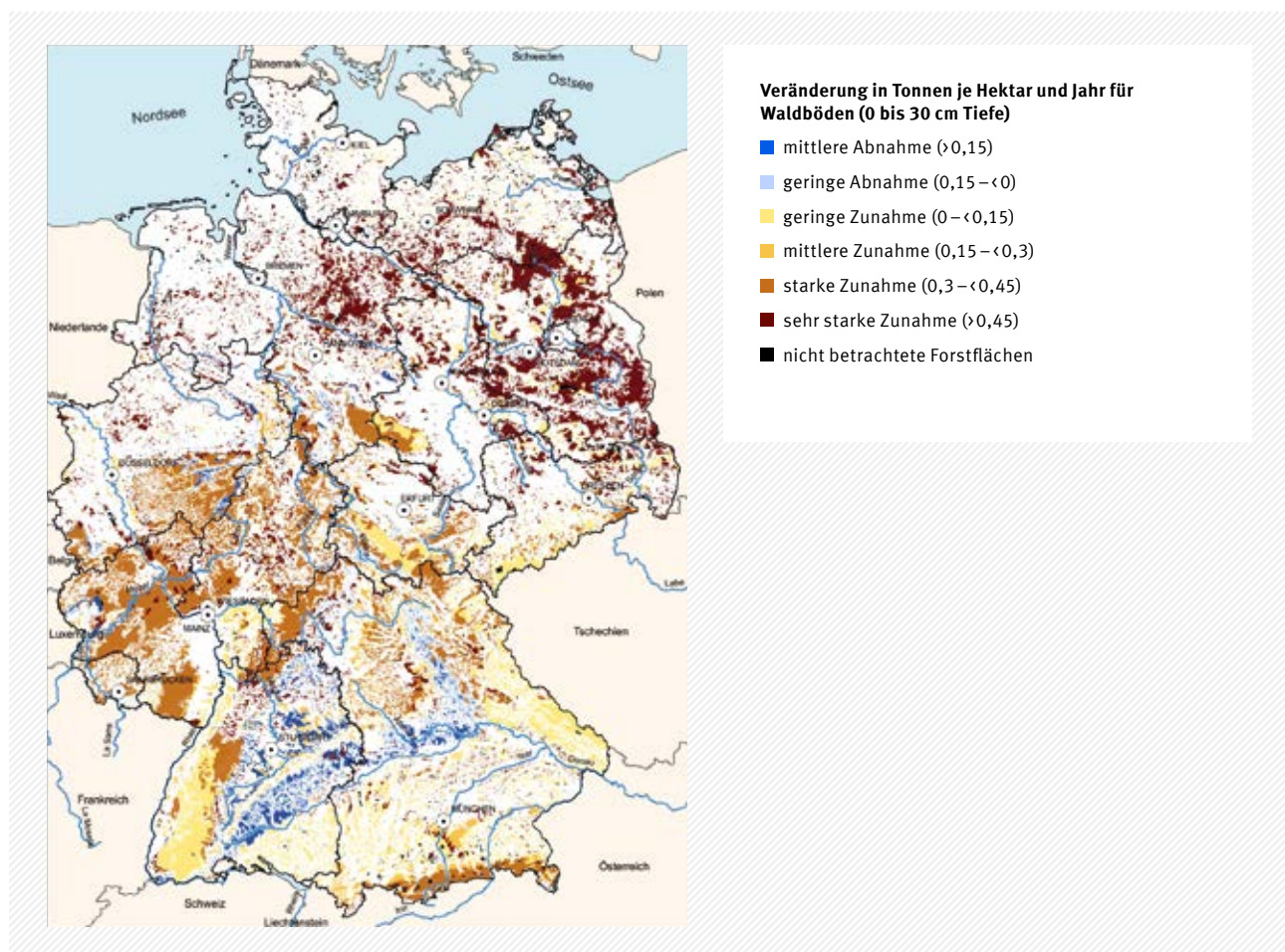
die abgeschätzten Änderungsraten moderat sind. Allerdings kann keine Prognose erstellt werden, da nicht bekannt ist, wie sich der C-Pool unter sich verändernden Bedingungen (Waldbewirtschaftung, Klimaänderungen etc.) verhalten wird. Ein kontinuierlicher Aufbau des C-Pools ist aus ökologischer Sicht jedoch nicht zu erwarten.

6.3 Drainierte organische Böden: Hotspots für Treibhausgasemissionen

Drainierte organische Böden emittieren ca. 5% der deutschen Treibhausgase. Dabei machen organische Böden in Deutschland lediglich 1,6 bis 1,7 Millionen Hektar aus, d.h. weniger als 5% der Fläche (vgl. Abb. 6.4). Organische Böden sind kohlenstoffreiche, natürlicherweise

Abbildung 6.3

Veränderung des Kohlenstoffgehaltes der Waldböden in Deutschland



Quelle: Grüneberg, E.; Ziche, D.; Wellbrock, N. (2014); Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

nasse Böden. Sie werden auch als *Moore* und *Anmoore* bezeichnet. Die meisten dieser Böden sind drainiert. Über 70% der organischen Böden sind als Acker oder Grünland genutzt, 14% als Wald, 7% liegen in Siedlungen. Nur 5% sind noch in naturnah nassem Zustand.

Drainierte, landwirtschaftliche *Moorböden* sind die größte Quelle für Treibhausgase in der deutschen Landwirtschaft, obwohl nur 7% der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf drainierten *Moorböden* liegen. Die Emissionen aus den drainierten *Mooren* sind deutlich höher als die aus der Stickstoffdüngung und Tierhaltung. Derzeit sind nur letztere Teil der nationalen Emissionsminderungsverpflichtungen. Aber die vorbereitenden Diskussionen zu den globalen und europäischen Verhandlungen zum Klima-

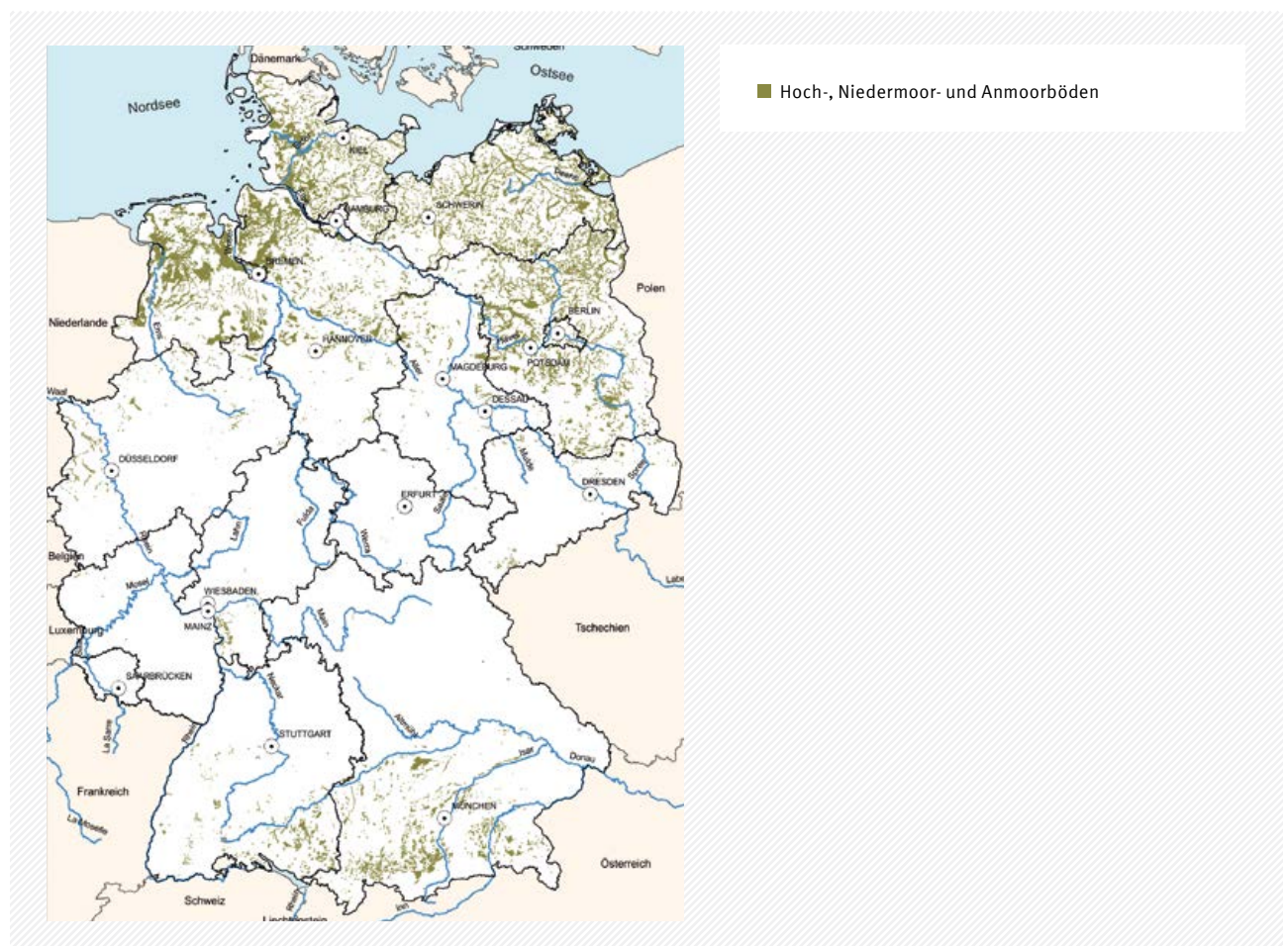
schutz lassen erwarten, dass ab 2021 auch für landwirtschaftliche Böden ein Beitrag zum Klimaschutz verpflichtend vorgesehen wird.

Um die organischen Böden in Klimaschutzmaßnahmen einzubeziehen, sind flächendeckende Informationen zu Lage und Zustand der organischen Böden, Nutzung, Emissionen und ihren Steuergrößen erforderlich. Sie sind Planungsgrundlage zur Priorisierung von Maßnahmen und zur Ausrichtung von *Moorschutzprogrammen* für den Klimaschutz.

Das Thünen-Institut hat im Verbundprojekt „Organische Böden“ – Ermittlung und Bereitstellung von Methoden, Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für die Klimaberichterstattung (Laufzeit 2009-2012) erstmals mit umfas-

Abbildung 6.4

Verbreitung von Moorböden in Deutschland



Darstellungsgrundlage: GÜK200, © BGR, Hannover, 2010; Naturräumliche Gliederung v. Deutschland, BfN, Stand 2008, Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



Teufelsmoor: Moore sind die raumeffektivsten Kohlenstoffspeicher.

senden Messungen und Datenerhebungen den Zustand der organischen Böden in Deutschland flächendeckend erfasst.

Aufgabe des Projekts war die flächendeckende Erhebung von Bodeneigenschaften, Wasserhaushalt und Landnutzung und die Messung der Kohlendioxid-, Lachgas- und Methan-Emissionen aus organischen Böden unter verschiedenen Nutzungs- und Klimabedingungen. Eine weitere wichtige Anforderung war der Schritt vom Punkt in die Fläche. Dazu wurden Modellansätze entwickelt, die aufbauend auf den Messungen in deutschlandweit elf Testgebieten mit über 60 Messstandorten, den Wasserhaushalt und die Treibhausgasemissionen organischer Böden berechnen. Das Projekt wurde vom Thünen-Institut finanziert und mit 10 Partnern aus Forschung und Behörden durchgeführt.

In enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Landesämtern wurde eine harmonisierte Karte der organischen Böden (Rasterweite 1:25.000) erstellt, die alle *Bodentypen* umfasst, die für die Emissionsberichterstattung relevant sind. Sie enthält die Standorttypen organischer Böden mit Leitprofilen und wichtigen Bodeneigenschaften. Am Thünen-Institut wurde eine bundesweite Datenbank von Wasserpegeldaten erstellt. Die Datenbank umfasst derzeit ca. 7.000 Pegel-Jahre von ca. 1.100 Pegeln in 53 *Mooren*. Damit wurden nutzungsabhängige mittlere Wasserstände ermittelt und – wenn auch mit großen Unsicherheiten – eine Karte der langjährigen mittleren Wasserstände organischer Böden in Deutschland erstellt. Auf der Basis der Treibhausgasmessungen wurden mit regelbasierten bzw. statistischen Modellen die Abhängigkeiten von regionalisierbaren Steuergrößen, u.a. aus den Landnutzungs-, Boden- und Wasserstandskarten, bestimmt. Damit

können erstmals Hotspots der Treibhausgasemissionen aus organischen Böden in Deutschland räumlich explizit und flächendeckend dargestellt werden.

Das Projekt hat bestätigt, dass die Treibhausgasemissionen aus drainierten organischen Böden in Deutschland hochrelevant sind. *Anmoore* und Sandmischkulturen emittieren pro Hektar vergleichbare Mengen Treibhausgase wie tiefgründige drainierte *Moore*. Der Wasserstand ist die wichtigste Steuergröße für die Treibhausgasfreisetzung. Aber bei gleichen Jahresmittelwasserständen besteht eine hohe standortabhängige Variabilität, die durch Nutzungsweise, Boden- und *Vegetationseigenschaften* sowie die zeitliche Dynamik des Wasserstands beeinflusst sind. Die Emissionen wiedervernässter Standorte liegen bis auf einzelne Ausnahmen deutlich unter denen von Äckern und Intensivgrünländern.



Weiter Informationen:

www.organische-boeden.de



5%

der deutschen Treibhausgase
werden durch drainierte organische
Böden emittiert

(07) Biodiversität in Böden

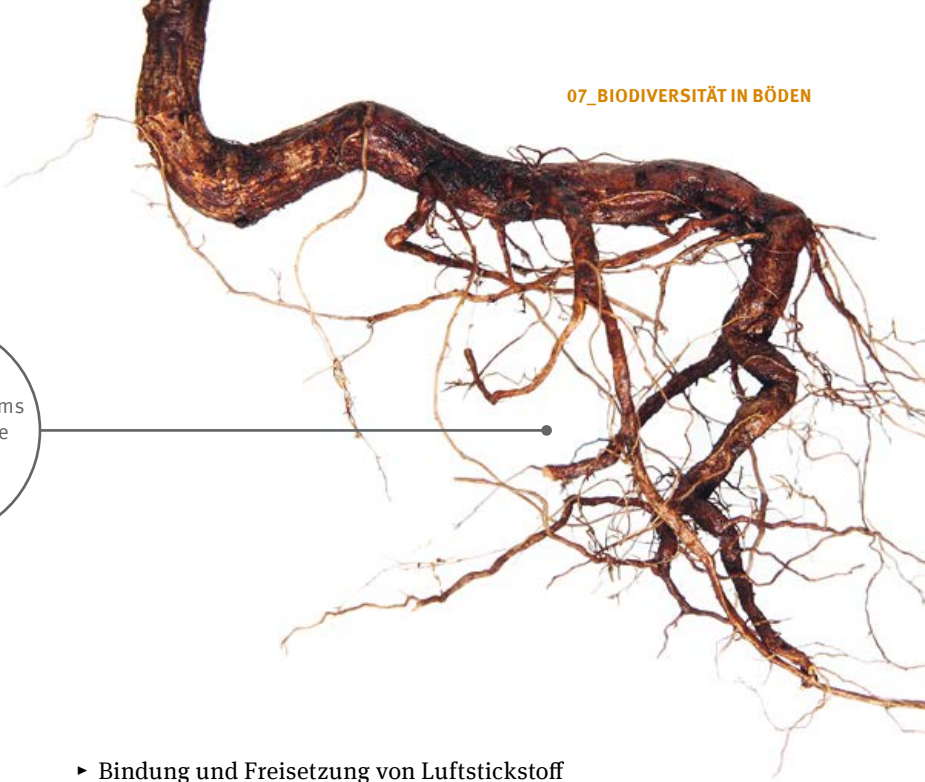
Eine der im Bundes-Bodenschutzgesetz genannten natürlichen Bodenfunktionen ist die Lebensraumfunktion für Menschen, Tiere, Pflanzen und *Bodenorganismen*. Sie umfasst alles Leben auf und im Boden wie auch dessen biologische Vielfalt und geht daher über die traditionelle Interpretation des Bodens als Pflanzenstandort hinaus. Bodentiere und Bodenmikroorganismen sind für die Bodenbildung wie auch für die Erhaltung bestimmter Bodenfunktionen von wesentlicher Bedeutung.

Regenwürmer sind die „Ingenieure des Bodens“

Wir kennen bisher nur einen Bruchteil der vorkommenden Arten und die Untersuchungen beziehen sich oft auf die Organismengruppen, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand untersucht werden können (Regenwürmer, Ringelwürmer (Enchyträen), Springschwänze (Col-

lembolen) und Milben. Bei Mikroorganismen (Bakterien, Algen, Pilze) werden oft Summenparameter wie Biomasse, Bodenatmung oder Enzymaktivitäten bestimmt, die allenfalls ein grobes oder relatives Bild über deren Aktivitäten geben können.





Vergrößerung
des Wurzelsystems
durch Symbiose
mit Pilzen
(Mykorrhiza)

Funktion der Bodenorganismen

Die Rolle, die diese Organismen für den Umsatz von Nährstoffen, den Abbau von Schadstoffen und für die Bodenbildung spielen, ist hoch komplex. Dass *Bodenorganismen* eine entscheidende Rolle bei der *Humus*- und Bodenbildung spielen, zeigen die nachfolgenden Beispiele:

- ▶ Bodentiere zerkleinern die *Streu*, so dass die für Mikroben zur Verfügung stehende Fläche stark vergrößert wird (Pelletierungseffekt).
- ▶ Mikro- und Mesofauna (z. B. Collembolen) ernähren sich selektiv von bestimmten Mikroorganismen und sorgen so dafür, dass diese in einer optimalen Wachstumsphase bleiben.
- ▶ Das für Mikroben relevante Substrat wird durch Bodentiere ständig verändert; zum Beispiel transportieren Regenwürmer und andere Tiere der Makrofauna nährstoffreiche organische Substanz in tiefere Bodenhorizonte.
- ▶ Durch die Aktivität von Tieren können Hemmwirkungen auf Mikroben (Bacteriostasis) aufgehoben werden, zum Beispiel bei Ekto- oder Endosymbiosen.

Vor allem die Mikroorganismen haben wesentliche Funktionen in Bodenökosystemen. Insbesondere erschließen sie Stoffe, die für das Wachstum von Pflanzen wichtig sind:

- ▶ Abbau von pflanzlichen Reststoffen,
- ▶ Beteiligung an der Huminstoffbildung,
- ▶ Stabilisierung von Bodenaggregaten durch Schleimstoffe,
- ▶ Mineralisierung organischer Stoffe und Freisetzen von Nährstoffen,
- ▶ Förderung chemischer *Verwitterung*,
- ▶ Umwandlung organischer Verbindungen,

- ▶ Bindung und Freisetzung von Luftstickstoff (z. B. *Rhizobium*-Bakterien),
- ▶ Erschließen von Mineralstoffen, Freisetzung phytoaktiver Substanzen und Vergrößerung des Wurzelsystems (z. B. Mykorrhiza),
- ▶ *Oxidation* und Reduktion von Verbindungen zahlreicher Elemente wie Schwefel, Mangan, Stickstoff und Kohlenstoff,
- ▶ Abbau von Bioziden und anderen Fremdstoffen.

Eine reale Aussage über die Fähigkeit eines Bodens als Lebensraum für *Bodenorganismen* kann jedoch nur anhand bodenbiologischer Parameter festgestellt werden. Selbst wenn alle bestimmenden Faktoren für die Verbreitung (das Potenzial) einer Zönose ermittelt werden, sagt dies nicht aus, ob diese Zönose auf dem entsprechenden Standort auch vorkommt.

Eine bundesweite Zusammenstellung zum Vorkommen von *Bodenorganismen* gibt es bisher nur in Ansätzen. In einem Forschungsprojekt wurden die typischen Vorkommen von *Bodenorganismen* ermittelt und nutzungsbezogene Erwartungswerte abgeleitet, die eine gute Bodenqualität anzeigen können. Finden sich starke Abweichungen, so sollten mögliche Einflussfaktoren (Schadstoffe, Trockenheit, *Bodenverdichtung*) untersucht werden (Römbke et al., 2012).



Weitere Informationen zur Rolle und zum Vorkommen von *Bodenorganismen*:
www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/verlust-biodiversitaet-im-boden

(08) Klimawirkungen in und auf Böden

Die in Deutschland erwarteten Klimaänderungen wirken sich auf den Bodenzustand und die Bodenfunktionen aus. In Böden durchgeführte Temperaturmessungen zeigen, dass der durchwurzelbare Boden bereits auf die Erwärmung reagiert. Extreme Niederschläge und langanhaltende Trockenperioden erfordern angepasste Bodennutzungen zum Schutz vor Erosion und Ertragseinbußen.



Wird das Klima wärmer und trockener, fehlt es immer häufiger an Wasser im Boden.

Die Zunahme der Bodentemperaturen verlängert u.a. die *Vegetationsperiode* der Pflanzen, erhöht die Mikroorganismen-tätigkeit und damit die Geschwindigkeit vieler Abbau- und Umbau-reaktionen sowie die Zusammensetzung der *Bodenflora* und *-fauna* (Höke, S. et al., 2011).

Dabei sind die zu erwartenden Auswirkungen der Erwärmung nicht an allen Standorten gleich. Der im Januar 2013 veröffentlichte Inventarbericht des DWD zu den „Deutschen Klimabeobachtungssystemen“ vermittelt einen umfassenden Überblick über den Stand der in Deutschland relevanten Klimavariablen auf Bundes- und Länderebene. Zeitreihen zur Entwicklung von Temperatur, Wind, Sonnenscheindauer sowie zum Niederschlag liefern wichtige Informationen (DWD, 2013).

8.1 Bodenfeuchte

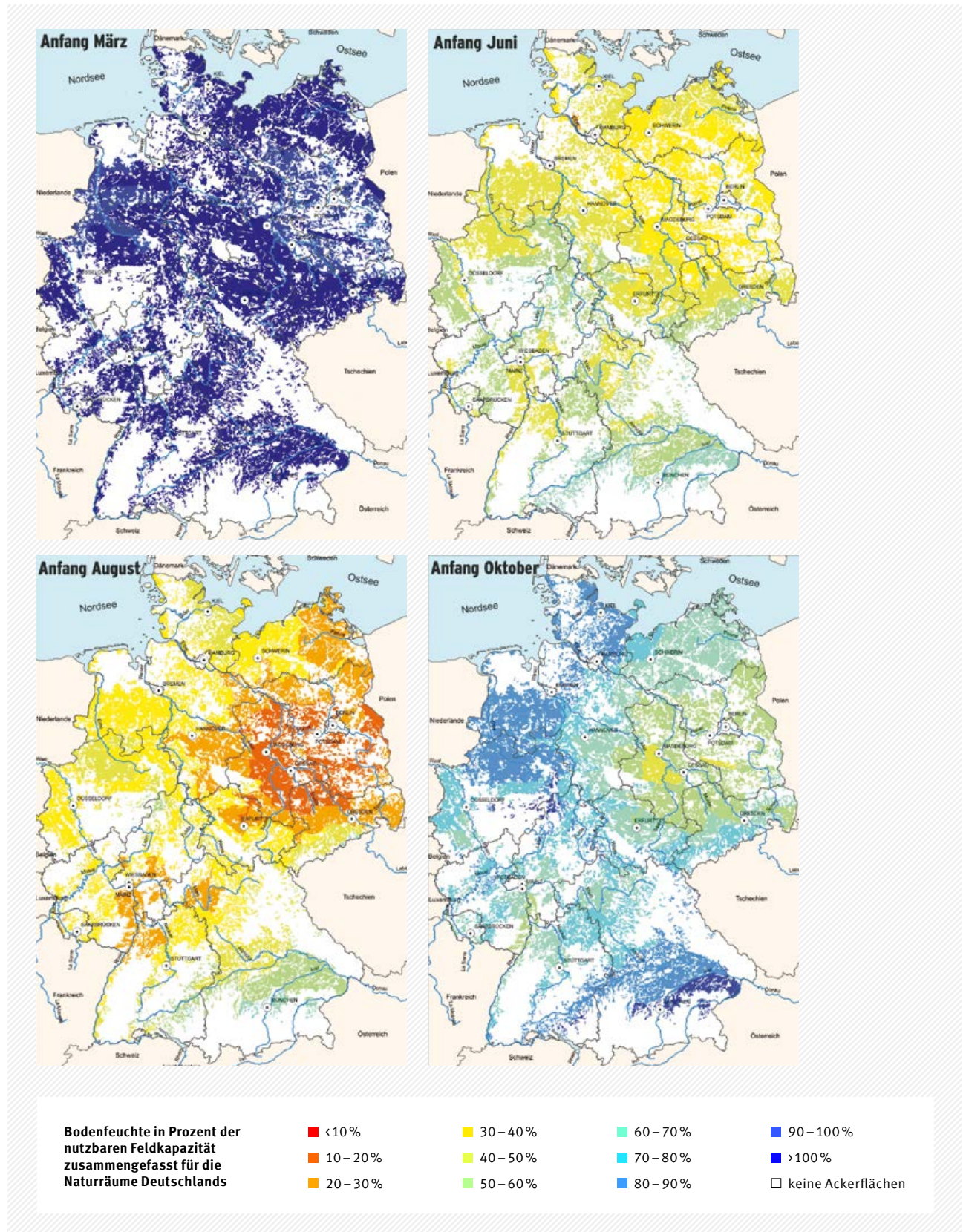
Bei der Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels sind Untersuchungen zu Veränderungen der Bodenfeuchte für unterschiedliche Böden und landwirtschaftliche Kulturpflanzenarten erforderlich. Dabei ist die Nutzung von Wasserhaushaltsmodellen alternativlos, denn es gibt in Deutschland kein flächendeckendes und nach gleichen Richtlinien funktionierendes Bodenfeuchtemessnetz. Die modellhaften Bodenfeuchtwerte unterliegen jedoch an einigen DWD-Dienststellen einer Validierung mittels Messungen. Das Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes (ZAMF) in Braunschweig verfügt über die längsten und differenziertesten Messreihen, die über die genannte Methodik hinaus auch noch auf Resultaten wägbarer Lysimeter beruhen.

Je nach Zeitreihenlänge der meteorologischen und phänologischen Inputdaten können entweder standortspezifische, regionale oder auch bundesweite Aussagen zur Bodenfeuchte gemacht werden. Bundesweit flächendeckend stehen diese Daten ab 1961 zur Verfügung.

Einen Eindruck über den Jahresverlauf der Bodenfeuchte in der obersten Bodenschicht von Ackerböden vermittelt Abbildung 8.1. Das Beispiel zeigt zu vier ausgewählten Zeitpunkten die Entwicklung der Bodenfeuchte für den Anbau von Sommergetreide. Deutlich wird das West-Ost Gefälle und ein weniger starkes Süd-Nord Gefälle. Da die Bodenfeuchte direkt an die Niederschläge gekoppelt ist zeigt die

Abbildung 8.1

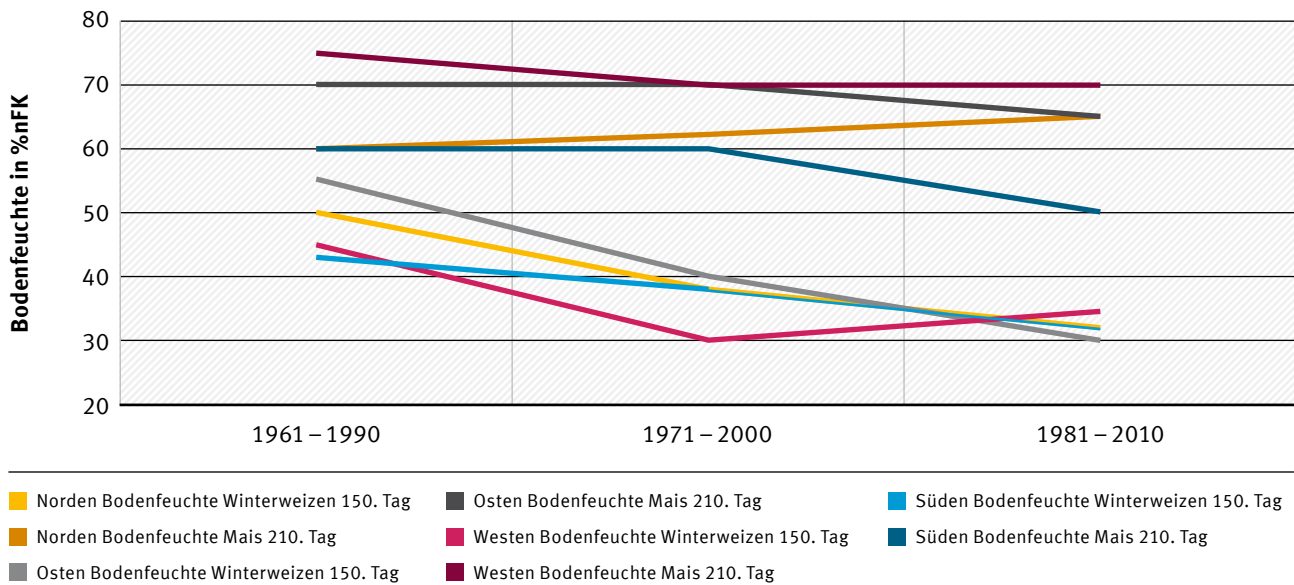
Bodenfeuchte der Ackerkrume im Jahresverlauf für Sommergetreide (langjähriges Mittel 1970 – 2000)



Quelle: DWD, ZAMF Braunschweig 2012; nach Wurbs, D. u. Marahrens, S. 2014, unveröffentlicht;
Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 8.2

Entwicklung der Bodenfeuchte in vier Regionen Deutschlands unter Winterweizen und Mais



Entwicklung der Bodenfeuchte in den oberen 30 cm des Bodens unter Winterweizen am 150. Tag des Jahres und Mais am 210. Tag des Jahres in den Zeiträumen 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010 im Osten, Süden, Westen und Norden Deutschlands (Daten: ZAMF, Darstellung des DWD)

Darstellung des langjährigen mittleren Jahresniederschlags in Abbildung 8.10 eine ähnliche Verteilung wie die der Bodenfeuchte. Deutlich wird das West-Ost Gefälle und das Süd-Nord Gefälle, das im Wesentlichen auch die Abhängigkeit von der Geländehöhe widerspiegelt. Die Abbildung zeigt am Beispiel der Boden-Dauerbeobachtungsflächen wie sich die Niederschlagsmengen an diesen für die Ermittlung des Bodenzustandes wichtigen Standorten in den letzten Jahrzehnten verändert haben. Zwischen Westen und Osten zeigt sich ein eher uneinheitliches Bild mit in der Tendenz nach Westen eher abnehmenden und nach Osten eher zunehmenden Niederschlagsmengen. Als gesichert gilt die Zunahme der Niederschläge im mitteldeutschen *Schwarzerdegebiet* von Sachsen-Anhalt. Veränderungen der Bodenfeuchte in den letzten mehr als 50 Jahren zeigen sich in allen Regionen Deutschlands und in allen landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten. In Abbildung 8.2 sind für vier Regionen Deutschlands die Bodenfeuchtwerte für Winterweizen und Mais als Beispiele für weit verbreitet angebaute Sommer- und Winterarten dargestellt. Dabei werden immer dreißigjährige Zeiträume betrachtet, die zum Nachbarzeitraum eine zwanzigjährige Überlappung aufweisen. Es ist deutlich ein Unterschied in den im Modell verwendeten

Fruchtarten zu erkennen. Für Winterweizen ist zu sehen, dass dieser für den mittleren 150. Tag des Jahres (je nach Jahr 29. oder 30.05.) in allen Regionen einen deutlichen Rückgang der Bodenfeuchte ausgedrückt in Prozent nutzbarer Feldkapazität (% nFK) zeigt. In den westlichen Regionen – hier sind die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz zusammengefasst – zeigt sich in dem letzten 30-Jahres-Abschnitt wieder ein Anstieg, der aber nicht die Ausgangssituation erreicht. Beim Mais, für den exemplarisch der 210. Tag (Ende Juli) angesetzt wurde, sieht das Bild etwas anders aus und ist auch regional stärker zu differenzieren. Während im Süden (Baden-Württemberg und Bayern) und im Osten (Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Berlin) zunächst ein gleichbleibender Versorgungsgrad festgestellt wurde, der von einer schwachen Abnahme in der letzten Periode gefolgt ist, war im Westen der Rückgang schon zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitabschnitt zu bemerken und dann ist ein konstanter Verlauf auszumachen. Der Norden (Küstenländer sowie Bremen und Hamburg) zeigt insgesamt einen schwachen Anstieg.

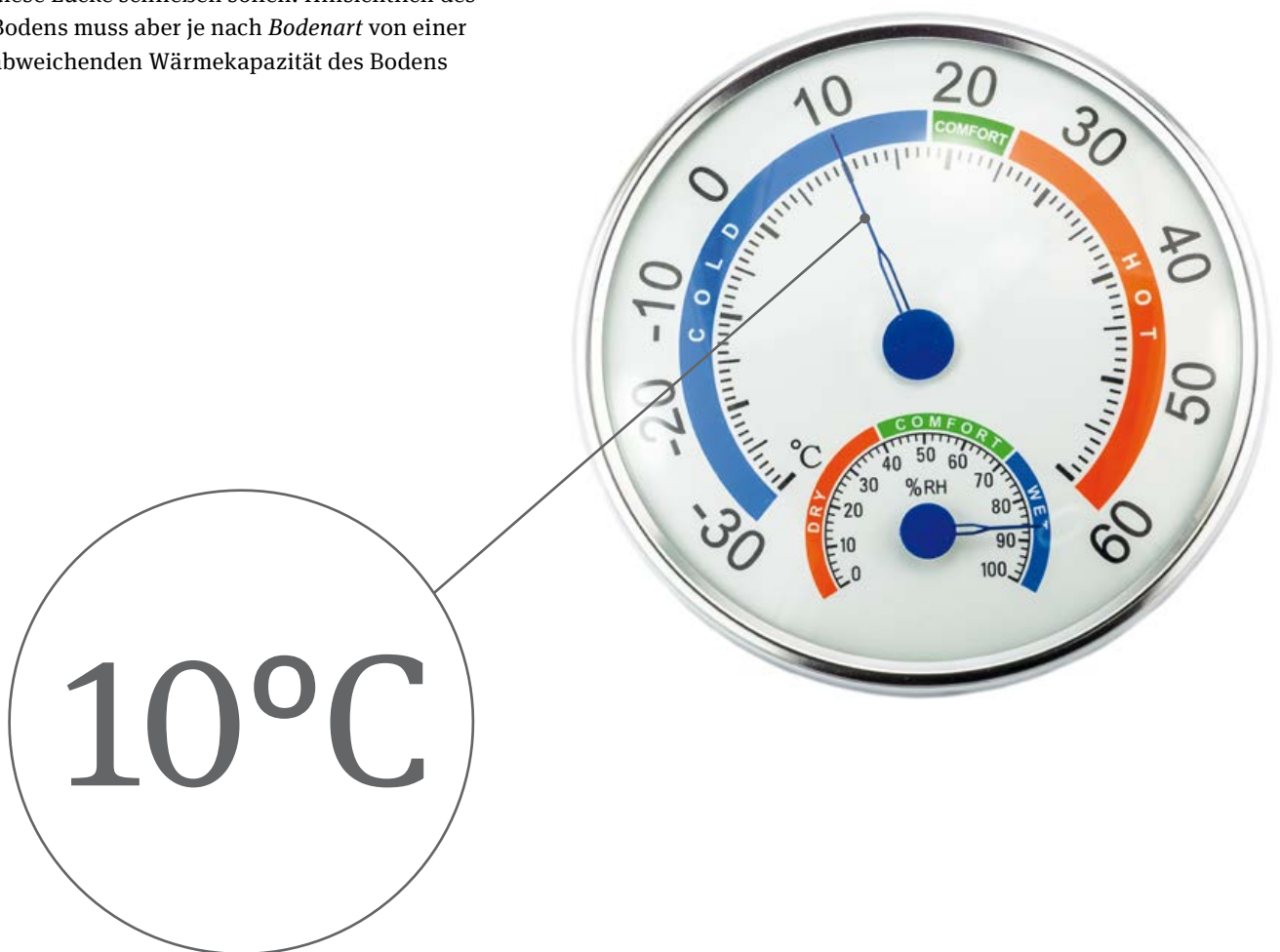
Wertet man die Daten noch anders aus und schaut sich beispielsweise die Anzahl der Tage

an, die landwirtschaftliche Beregnungsbedürftigkeiten signalisieren, wenn die Bodenfeuchte in der *Vegetationszeit* der jeweiligen Kulturpflanzenart den optimalen Versorgungsbereich von 50% nFK unterschreitet, ist zu sehen, dass diese Tage von 1961 bis 2010 zwar recht großen, die Jahreswitterung repräsentierenden Schwankungen ausgesetzt sind, aber in dem Zeitraum keine eindeutige Tendenz erkennen lässt.

8.2 Bodentemperatur

Der DWD misst standardisiert an vielen seiner Wetterstationen Bodentemperaturen unter unbewachsenem Boden im meteorologischen Messfeld in den Tiefen 5, 10, 20, 50 und 100 cm. Systematische klimatologische Auswertungen dieser Messreihen und eine flächenhafte Darstellung der Werte sind bisher nur in Ansätzen erfolgt. Es laufen aber Arbeiten, die diese Lücke schließen sollen. Hinsichtlich des Bodens muss aber je nach *Bodenart* von einer abweichenden Wärmekapazität des Bodens

ausgegangen werden, was einen mit der Tiefe gedämpfteren Gang der Bodentemperatur und eine Phasenverschiebung von Maximum und Minimum sowohl im Tages- als auch im Jahresgang nach sich zieht. Der Deutsche Wetterdienst verfügt mit den Bodentemperaturmessungen an der *Säkularstation Potsdam* über einen weltweit einmaligen Datenbestand, der Bodentemperaturen bis 12 m Tiefe unterbrechungsfrei am identischen Messort unter Nutzung gleichbleibender Messmethodik seit 1898 bereithält. Dabei wurde festgestellt, dass in 12 m Tiefe die Phasenverschiebung etwa ein halbes Jahr ausmacht, d.h. die minimalen Temperaturen werden im Juli/August gemessen, während die Höchstwerte im Januar/Februar auftreten.



Durchschnittliche Temperatur
des Bodens in 12m Tiefe

Aktuelle Auswertungen der Bodentemperaturmessungen in Deutschland liegen für Nordrhein-Westfalen (Koch, D., 2010) und für die *Säkularstation Potsdam* (Böhme, M., Böttcher, F., 2012) vor. In beiden Arbeiten zeigt sich, dass die Bodentemperaturen ansteigen, zum Teil sogar stärker als die in 2 m Höhe gemessenen Lufttemperaturen. Abbildung 8.8 veranschaulicht den langjährigen Mittelwert der

Lufttemperatur. Zudem ist wieder am Beispiel der Boden-Dauerbeobachtungsflächen dargestellt wie sich die Lufttemperaturen an diesen Standorten in den letzten Jahrzehnten verändert haben. Es wird deutlich, dass an nahezu allen Standorten eine gesicherte Zunahme der Lufttemperatur stattgefunden hat, so dass die ansteigenden Bodentemperaturen eine Folge daraus sind.

Tabelle 8.1

Signifikanzniveaus der absoluten linearen Trends der Dekaden-Monatsmittel der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen und der Lufttemperatur von 1898 bis 2007

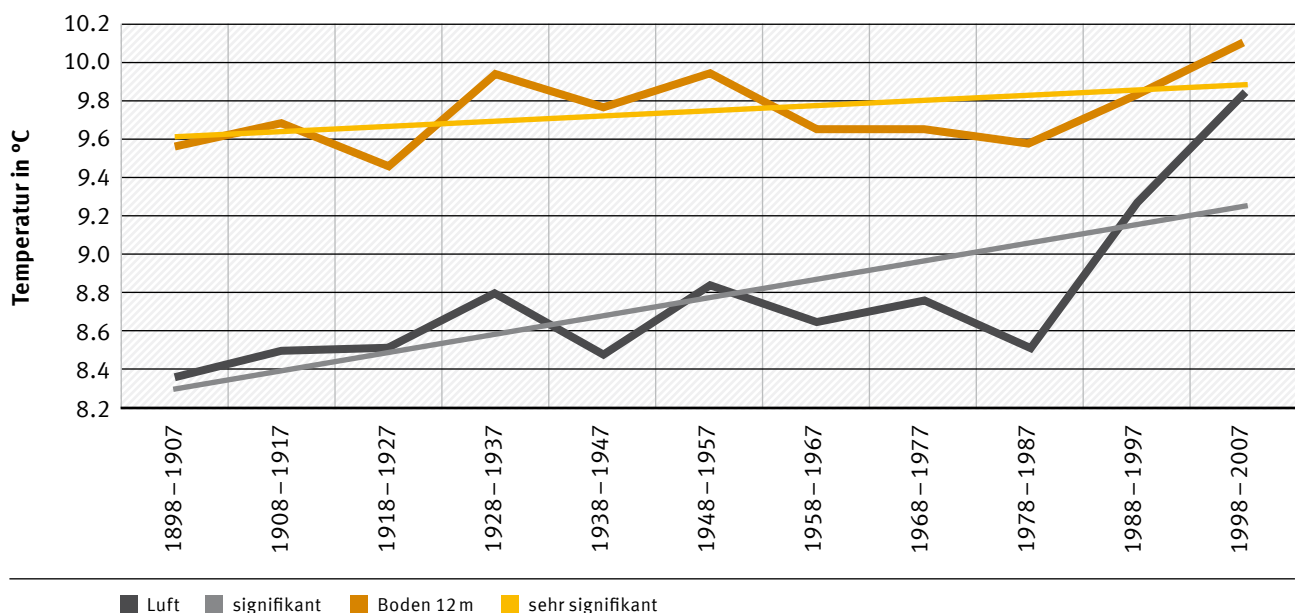
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Luft	n.s.	n.s.	**	**	**	(*)	**	***	**	**	*	(*)
Boden 1m	n.s.	(*)	*	***	***	***	***	***	**	**	n.s.	n.s.
Boden 2m	*	**	(*)	**	**	**	**	***	***	***	***	**
Boden 4m	**	*	*	*	**	**	**	**	***	**	**	**
Boden 6m	(*)	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	**	**	***	***	**	**
Boden 12m	*	*	*	*	*	*	**	**	**	*	*	*

n.s. = nicht signifikant, (*) = schwach signifikant, * = signifikant, ** = sehr signifikant, *** = hochsignifikant
10-Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund und der Bodentemperatur in 12 m Tiefe an der Säkularstation Potsdam des Deutschen Wetterdienstes

Quelle: BÖHME, M; BÖTTCHER, F. 2012: Bodentemperaturen im Klimawandel – Auswertungen der Messreihe der Säkularstation Potsdam; in: Klimastatusbericht 2011, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main

Abbildung 8.3

10-Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund und der Bodentemperatur in 12 m Tiefe an der Säkularstation Potsdam des Deutschen Wetterdienstes



Quelle: Böhme, M.; Böttcher, F. 2012

Abbildung 8.3 zeigt die Änderung des 10-Jahresmittels der Bodentemperatur in 12 m Tiefe am Standort Potsdam im Vergleich zur am gleichen Standort gemessenen Lufttemperatur 2 m Höhe über Grund nebst dem linearen Trend und dessen statistischer Signifikanz in 11 Zehnjahreszeiträumen von 1898 bis 2007. Dabei wird deutlich, dass das stärkste Erwärmungssignal in den letzten 20 der betrachteten 110 Jahre liegt.

In der Tabelle 8.1 sind die Trends von Luft- und Bodentemperaturen in unterschiedlichen Schichten an der *Säkularstation Potsdam* nebst der statistischen Signifikanz dargestellt. Es zeigt sich, dass überwiegend sehr bis hochsignifikante Trends im Betrachtungszeitraum 1889 bis 2007 in den meisten Tiefen und Jahreszeiten zu sehen sind.

Derzeit laufende Untersuchungen der Bodentemperaturen in den oberen Bodenschichten an der *Säkularstation Potsdam* versuchen zu ergründen, welche Rolle der Bodenwassergehalt und seine Änderungen für die Bodentemperaturen haben.

8.3 Windgeschwindigkeit

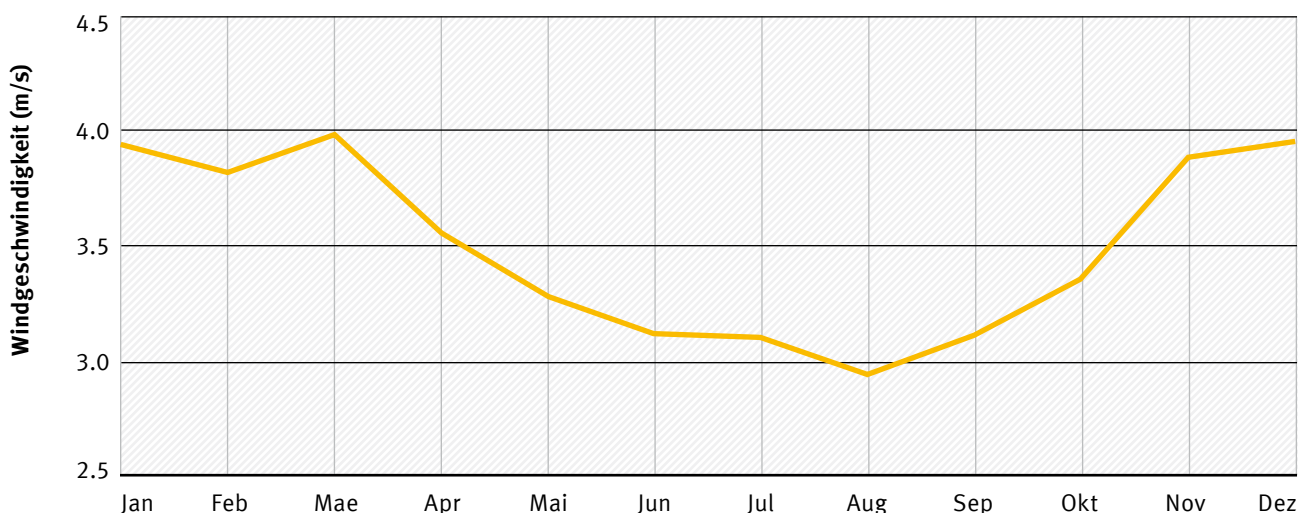
Die räumliche Struktur der Windgeschwindigkeit in Deutschland wird im Wesentlichen durch die Topographie bestimmt. In den fünf Regionen unterscheiden sich die Windverhältnisse erheblich (vgl. Abb. 8.11):

- Die Küstenregion von Nord- und Ostsee,
- das Norddeutsche Tiefland,
- die Mittelgebirgsregion,
- das Voralpengebiet und
- die Alpen.

An der Küste herrscht ein durchgängig starker Wind (Jahresmittel > 5 m/s) vor, der im Wesentlichen durch eine ungehinderte Anströmung über die See hinweg bestimmt wird. Weiter im Binnenland geht die Windgeschwindigkeit auf Grund von Reibungseffekten kontinuierlich zurück. Da jedoch die Windgeschwindigkeit in der Atmosphäre in der Regel mit der Höhe zunimmt, wird in den Gipfeln des Harzes das absolute Maximum erreicht, sowohl Jahresmittel-, Monats- als auch absolute Maximalwerte betreffend.

Abbildung 8.4

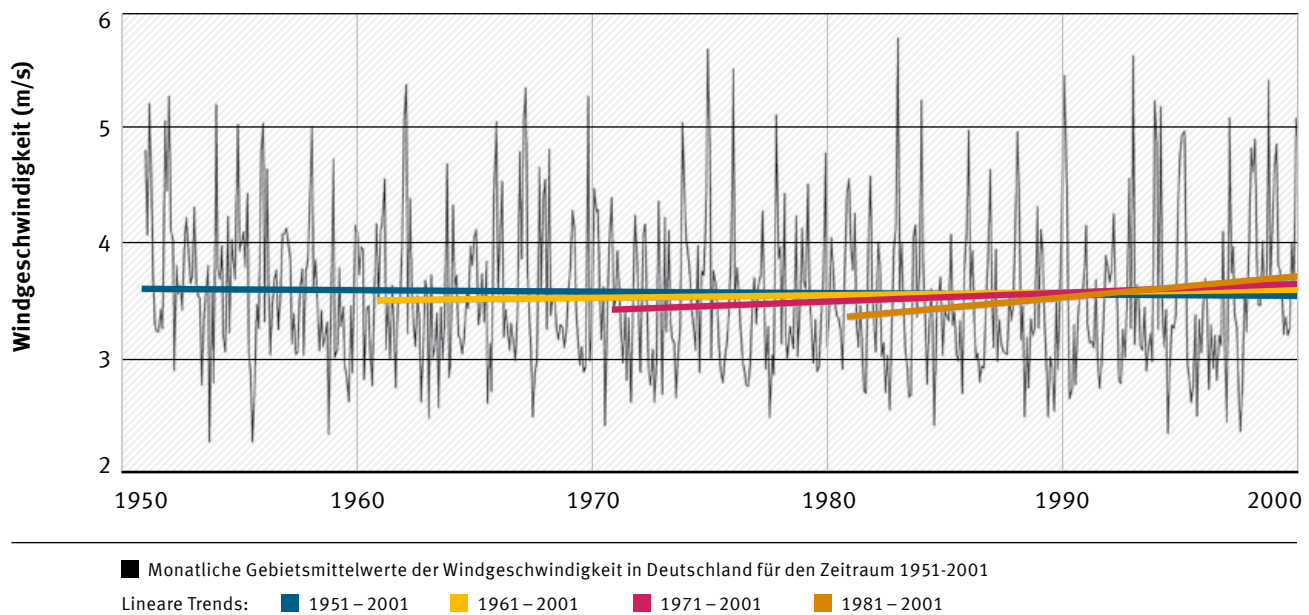
Jahresgang der mittleren Windgeschwindigkeit über Deutschland 1951-2001



Quelle: DWD, 2006

Abbildung 8.5

Mittlere Windgeschwindigkeit für Deutschland in monatlichen Gebietsmitteln



Quelle: DWD, 2006

Mit zunehmend ausgeprägter Topographie reduziert sich die Windgeschwindigkeit, so dass südlich der Main-Linie eine Vielzahl lokaler Minima der Windgeschwindigkeit zu lokalisieren sind. In alpinen Regionen sind die räumlichen Unterschiede auf Grund der starken Zerklüftung des Geländes stark ausgeprägt, und es finden sich lokale Minima in unmittelbarer Nähe zu lokalen Maxima der Windgeschwindigkeit.

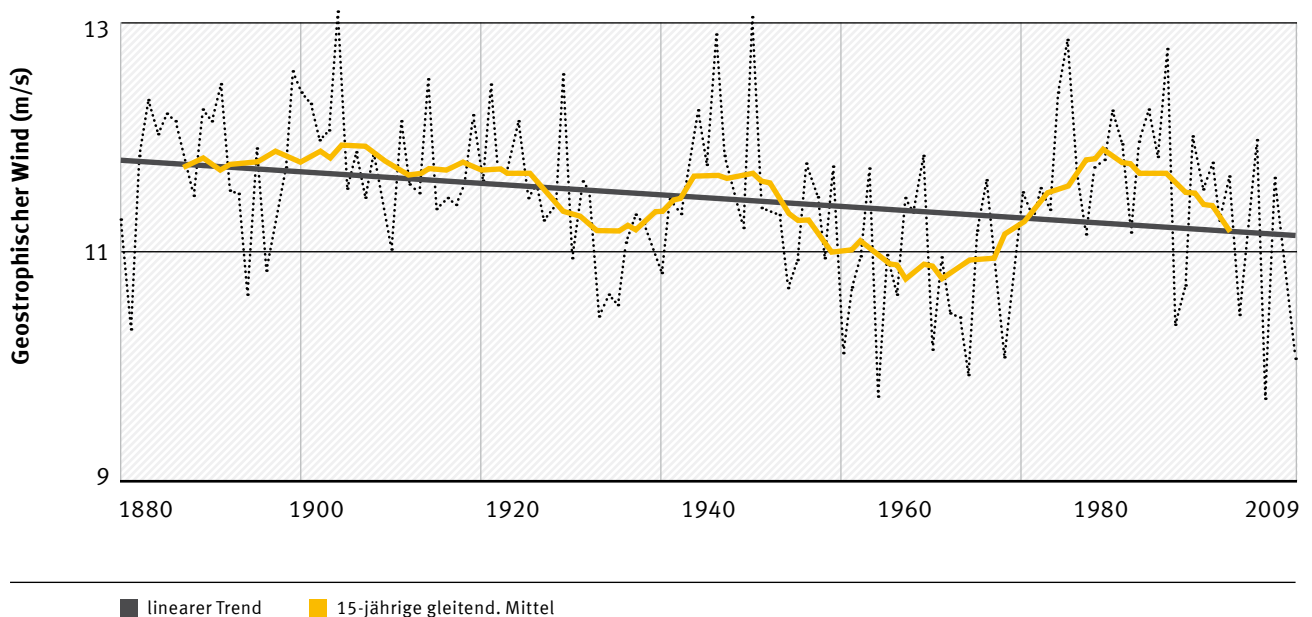
Der Jahresgang der mittleren Windgeschwindigkeit in Deutschland zeigt die höchsten Windgeschwindigkeiten in den Monaten November bis März, mit einem absoluten Maximum im März (4,0 m/s) und relativ niedrige Windgeschwindigkeiten in den Sommermonaten, mit einem absoluten Minimum im August von 2,9 m/s (vgl. Abb. 8.4). An der räumlichen Struktur ändert sich über das Jahr hinweg jedoch wenig. Lediglich in den Sommermonaten dehnt sich das Gebiet relativ niedriger Windgeschwindigkeiten in die östlichen Landesteile aus und die Fläche mit hohen Werten der Windgeschwindigkeit verkleinert sich dementsprechend, wobei im Harz jedoch das ganze Jahr über die höchsten Windgeschwindigkeiten gefunden werden. Dies liegt an der ungehinderten Anströmung des Harzes über die norddeutsche Tiefebene.

Veränderungen der Windgeschwindigkeit in den letzten Jahren sind schwierig aus den verfügbaren Datensätzen herauszufiltern und bedürfen weiterer Untersuchungen. So zeigen sich in den monatlichen Gebietsmitteln für Deutschland in den letzten Jahrzehnten leicht zunehmende mittlere Windgeschwindigkeiten (vgl. Abb. 8.5).

Betrachtet man aber beispielsweise die Entwicklung des nur vom Luftdruckgefälle bestimmten geostrophischen (reibungsfreien) Windes über der Deutschen Bucht (vgl. Abb. 8.6.; Quelle: Becker, P., 2013), ist eine lineare Abnahme für den Zeitraum 1879 – 2009 unter großen interannuellen Schwankungen, die sich abgefedert auch im gleitenden Mittel zeigen, erkennbar.

Die verfügbaren Daten zum Wind lassen weitere Aussagen zu, so zeigen eigene, bislang unveröffentlichte Untersuchungen, die Veränderungen der Anzahl der Tage, die in den jeweiligen Monaten mindestens einmal mittlere Windgeschwindigkeiten von Windstärke 6 erreichten, dass hier im Winterhalbjahr (Oktober bis März) vielerorts tendenziell eine Zunahme zu sehen ist, während bei Windstärke 8 kaum Veränderungen zu registrieren sind.

Abbildung 8.6

Wind Nordsee / Deutsche Bucht 1879 – 2009

Quelle: Becker, 2013

Aussagen zu Veränderungen bei Windspitzen sind schwierig, weil hier die eingesetzten Messfühler im Laufe der Zeit deutlich sensibler wurden und so besteht die Gefahr, dass etwas trägere Messsysteme in den früheren Jahren aufgrund der Trägheit nicht die aktuell erzielbare Genauigkeit erreichten und so schwächere Windspitzen in den früheren Jahren suggerieren.

8.4 Flächenhafte Aussagen zu klimabedingten Veränderungen des Bodenzustands

Zur Frage, welche Eigenschaften und Funktionen der Böden unter Berücksichtigung regionaler Betroffenheit voraussichtlich am stärksten vom Klimawandel betroffen sind, hat auch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) ein Positionspapier mit Handlungsempfehlungen veröffentlicht (LABO, 2010).

Darüber hinaus haben verschiedene Bundesländer Berichte zu klimabedingten Veränderungen von Böden oder bodenbezogenen Prozessen vorgelegt (Kaufmann-Boll, C. et al., 2011). Als aktuelle Beispiele seien hier:

- Klimabedingte Veränderungen des Bodenwasser- und Stoffhaushalts und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher (Höke, S. et al., 2011)
- Klimawandel und Boden- Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort (MUNLV, 2011) genannt.

Bundesweit sind flächenhafte Aussagen zu möglichen Klimawirkungen auf die Böden gegenwärtig nur für bestimmte Bodengefährdungen möglich.

8.5 Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser:

Zur *Erosions*gefährdung des Bodens durch Wasser (siehe Kapitel 5) stehen bundesweite Informationen zur Verfügung. Weiterhin wurden Szenarien zur tendenziellen Abschätzung der *Erosions*gefährdung unter sich ändernden Klimabedingungen für ausgewählte Zeiträume bis zum Jahr 2100 vorgenommen. Die Untersuchungen von Wurbs und Steininger (2011) zeigen, dass die *Erosions*gefährdung durch Wasser in Deutschland bereits gegenwärtig ein Problem darstellt. Unter veränderten Klimabedingungen muss dieser Problematik verstärkte Bedeutung beigemessen werden.



Damit der Klimawandel beherrschbar bleibt, müssen wir die Entwicklung beobachten und Prognosen treffen.

Die Analyse, Auswertung und Interpretation auf Grundlage der üblichen Klimaszenarien ergab folgende Ergebnisse:

Auswirkungen des Klimawandels auf die natürliche Erosionsgefährdung (vgl. Abb. 8.7):

Zeitraum 2011- 2040: Es sind keine ausgeprägten Entwicklungstendenzen der natürlichen *Erosionsgefährdung* erkennbar. Die Niederschlagsintensität steigt jedoch im Nordosten und im Westen Deutschlands an.

Zeitraum 2041-2070: Die natürliche *Erosionsgefährdung* nimmt im Westen und Nordwesten Deutschlands zu.

Zeitraum 2071-2100: Es kommt zu einer Verstärkung der *Erosionsgefährdung*. Die gesamte westliche Mittelgebirgsschwelle ist betroffen.

Auswirkungen des Klimawandels auf die nutzungsabhängige Erosionsgefährdung (vgl. Abb. 8.9):

2011-2040: Die nutzungsabhängige *Erosionsgefährdung* nimmt in der gesamten deutschen

Mittelgebirgsschwelle zu. Dies betrifft besonders das Thüringer Becken und Mitteldeutschland.

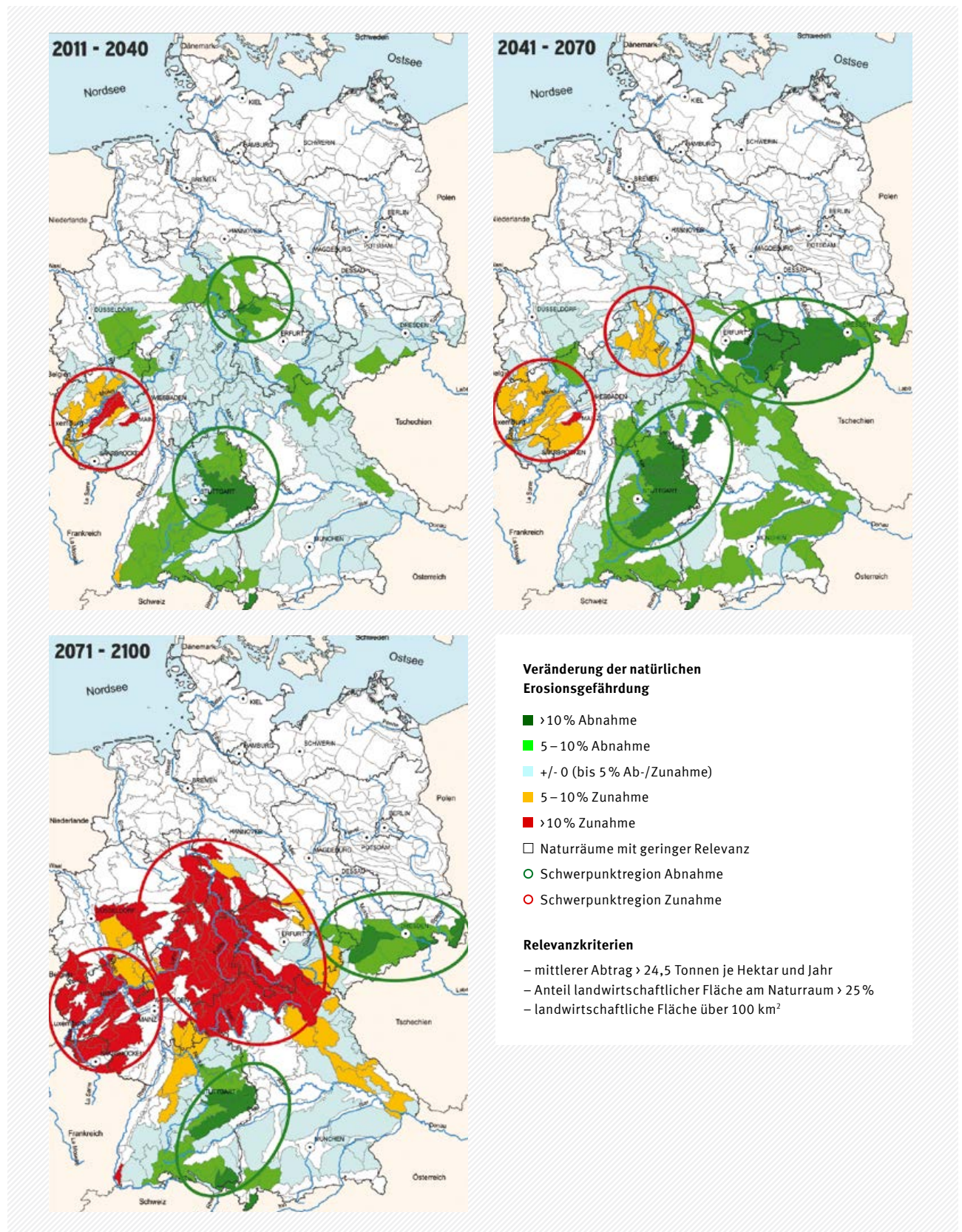
2041-2070 : Abschwächung des Trends.

2071-2100: Deutliches Hervortreten der Tendenzen zum Anstieg der nutzungsabhängigen *Erosionsgefährdung*.

Die auf den Szenariendaten des Klimamodells WETTREG (WETTERlagen basierte REGIONalisierungsmethode) basierenden Ergebnisse verdeutlichen, dass eine räumlich und zeitlich differenzierte Betrachtung der zukünftigen Entwicklung des Bodenabtrags notwendig ist.

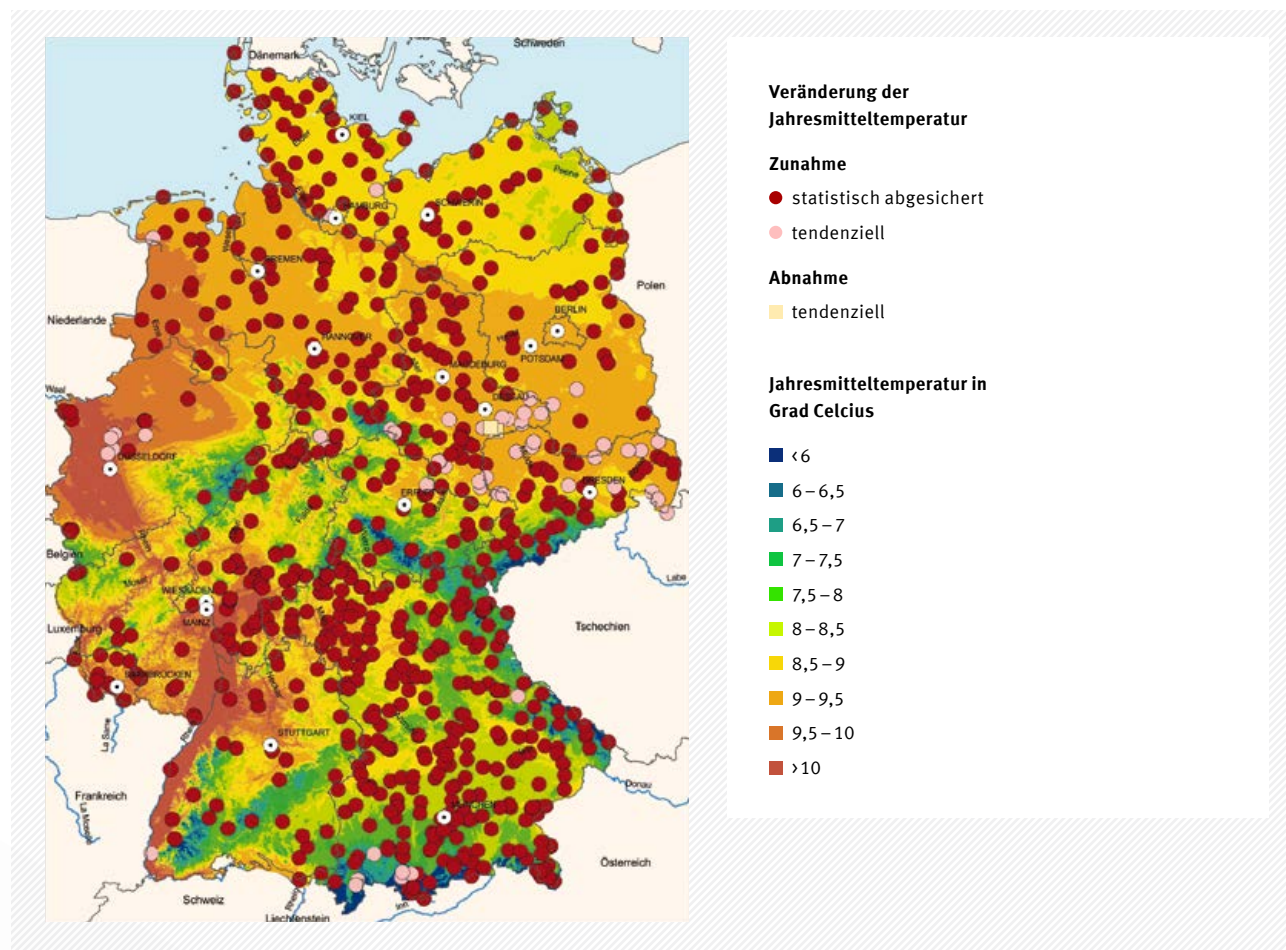
Abbildung 8.7

Auswirkungen des Klimawandels auf die natürliche Erosionsgefährdung in Deutschland bis 2100



Quelle: verändert nach Wurbs, D.; Steininger, M. (2011); Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; GeoInformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

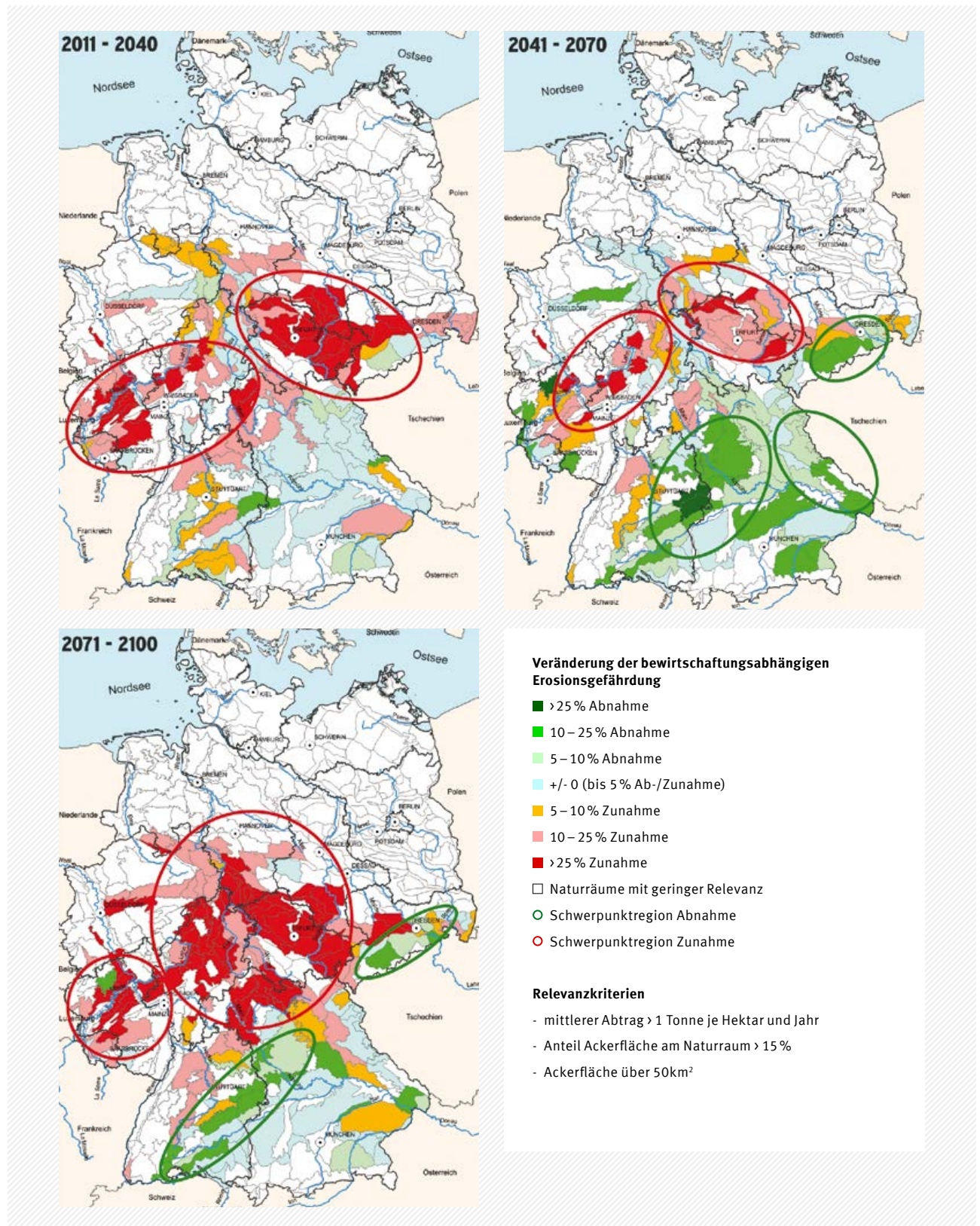
Die mittlere Jahrestemperatur in Deutschland (langjähriges Mittel 1975 – 2013) und die Veränderung an den Standorten der Boden-Dauerbeobachtung



Quelle: DWD, ZAMF Braunschweig; Auswertung Marx, M. u. Schilli, C., 2014, unveröffentlicht; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 8.9

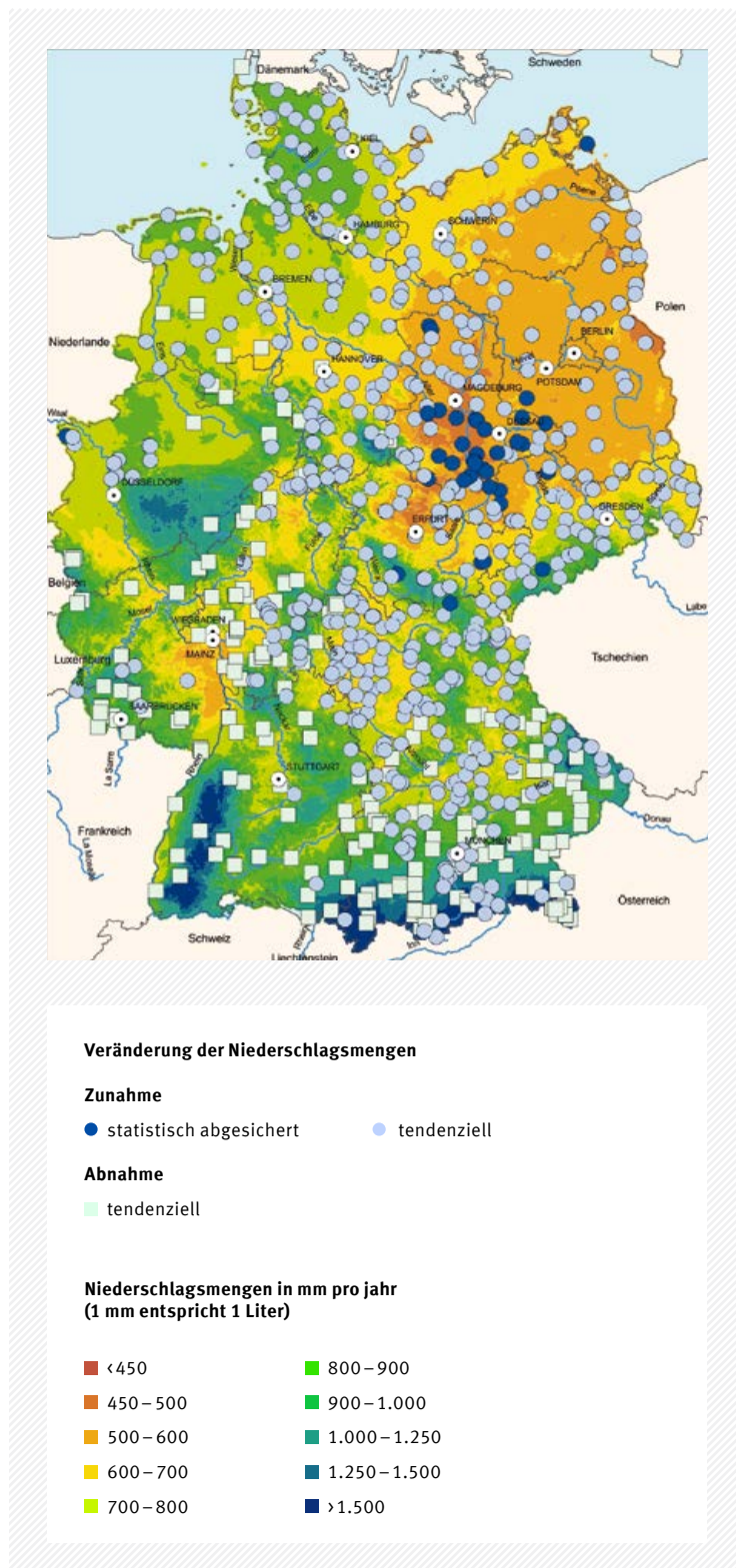
Veränderung der bewirtschaftungsabhängigen Erosionsgefährdung in Deutschland bis 2100 (Bewirtschaftung Stand 2007 – 50 Prozent der Ackerfläche in konservierender Bestellweise mit Mulchbedeckung)



Quelle: verändert nach Wurbs, D.; Steininger, M. (2011); Darstellungsgrundlage: BÜK1000N V2.31, © BGR, Hannover, 2013; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Abbildung 8.10

Verteilung des Niederschlags in Deutschland (langjähriges Mittel 1971 – 2000) und die Veränderung an den Standorten der Boden-Dauerbeobachtung



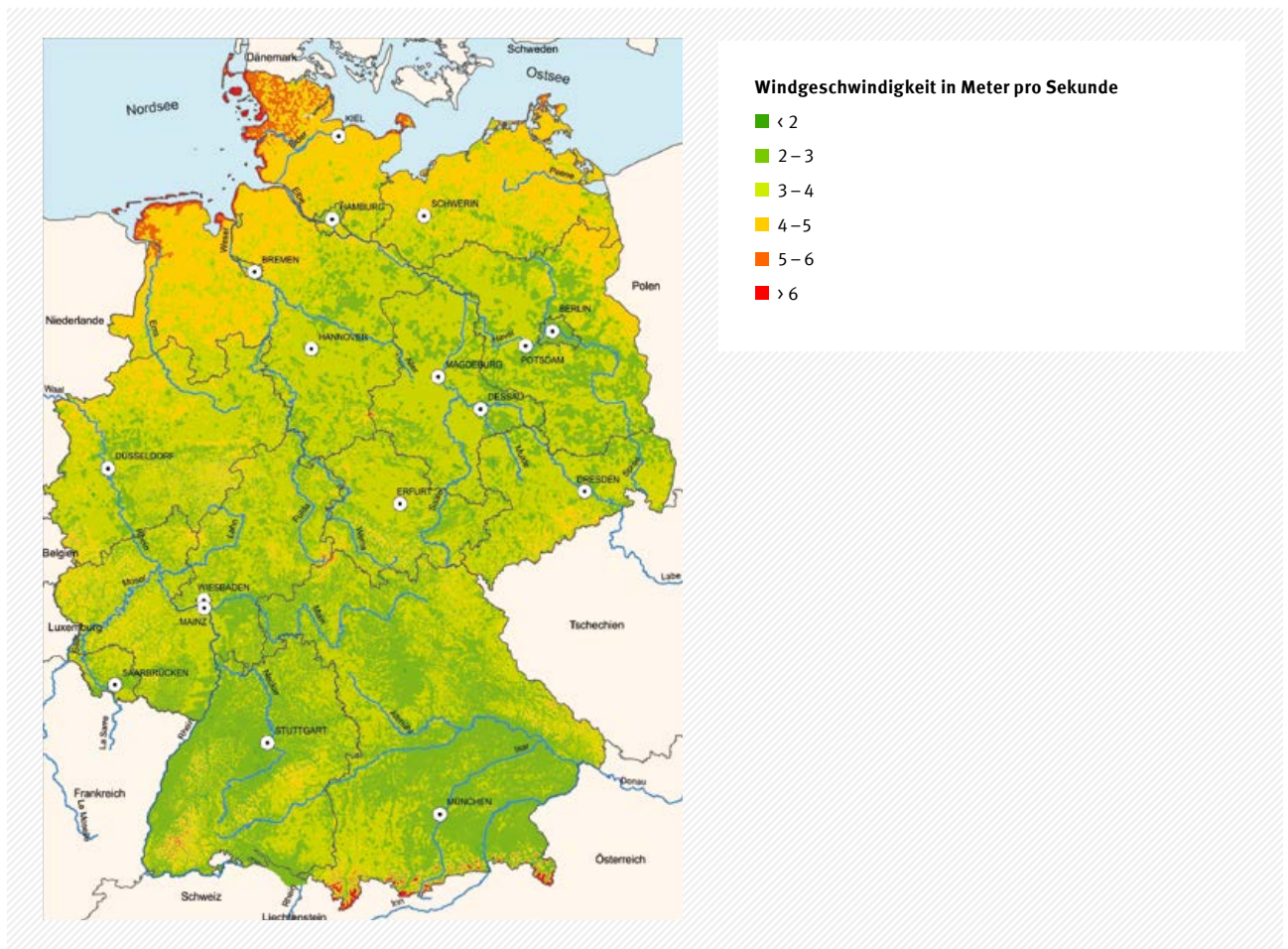
Quelle: DWD, ZAMF Braunschweig; Auswertung Marx, M. u. Schilli, C., 2014, unveröffentlicht;
Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

Über den Szenarienzeitraum 2011–2100 hinweg konnte ein „Kerngebiet“ zunehmender *Erosionsgefährdung* durch Wasser ausgewiesen werden. Es umfasst große Teile der Mitteldeutschen Gebirgsschwelle, vom Rheinischen *Schiefergebirge* über das Hessische und Niedersächsische Bergland bis zum Thüringer Becken und die sächsischen *Lössgebiete* hinein (Wurbs und Steininger, 2011).

Bundesweite räumliche Abschätzungen möglicher Wirkungen von Klimaänderungen auf den Abbau der organischen Substanz, den Bodenwasserhaushalt, die biologische Aktivität, die Zusammensetzung der Bodenlebensgemeinschaft, die Freisetzung der klimarelevanten Gase und die Schadstoffmobilität sind gegenwärtig tendenziell möglich. Die Ursachen liegen u.a. in der Vergleichbarkeit von Daten aus den unterschiedlichen Messprogrammen sowie im Fehlen von längerfristigen Messreihen. Für bestimmte Fragestellungen sind die Zeiträume der Überwachung zu kurz (Kaufmann-Boll, C. et al., 2011).

Abbildung 8.11

Verteilung der Windgeschwindigkeit über Deutschland (Jahresmittelwert 1981 – 2000)



Quelle: DWD, ZAMF Braunschweig
Geoinformation: Bundesamt f. Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



*Das derzeitige
Klima in Mitteleu-
ropa sorgt für grüne
und bewaldete
Landschaften
auf entwickelten
Böden.*

(09) Altlasten

Altlasten sind eine große ökologische und ökonomische Belastung. Ihre Sanierung ist erforderlich, um Gefahren für Umwelt und Umwelt abzuwehren, Standorte in eine Nachnutzung zu bringen und Investitionshemmnisse zu beseitigen. Nicht immer ist eine verursacherbezogene Kostentragung möglich, da eine Inanspruchnahme der Störer aus verschiedenen Gründen nicht realisierbar ist. Daher sind für Maßnahmen zur Gefahrenfeststellung und –abwehr weiterhin erhebliche Aufwendungen der öffentlichen Hand erforderlich, die durch unterschiedliche Finanzierungsinstrumente und –programme erbracht werden.

Bodenschutz und *Altlasten*bearbeitung sind im BBodSchG und der BBodSchV geregelt. Der Vollzug liegt bei den Bundesländern. Der Bund ist aber auch selbst Eigentümer von Liegenschaften mit allen damit verbundenen Rechten und Pflichten.

Der Bund mit der Treuhandanstalt (THA) einigte sich bereits 1992 mit den Ländern Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auf eine gemeinsame Finanzierung der Beseitigung von *Altlasten*. Für 21 ökologische Großprojekte (Bundesanteil 75 Prozent, Landesanteil 25 Prozent) sowie für Projekte im Rahmen der sogenannten Regelfinanzierung (Bundesanteil 60 Prozent, Landesanteil 40 Prozent) wurden nach

Angaben der BVS bis Ende 2011 Bundesmittel in Höhe von mehr als 2,6 Milliarden Euro zur Refinanzierung von Gefahrenabwehrmaßnahmen, Rückbaumaßnahmen, kontaminationsbedingtem Mehraufwand zur Verfügung gestellt.

Für die Mehrzahl dieser Projekte verständigte man sich auf eine Kostenpauschalierung, so dass danach die Maßnahmen in alleiniger Verantwortung der Länder realisiert werden konnten. Auch wenn ein Großteil der Maßnahmen bereits erbracht wurde, halten einige Sanierungsmaßnahmen bis zum heutigen Tage an. Dies gilt auch für die Aufgaben der Braunkohlesanierung, für die bislang über 9,3 Milliarden Euro an Bundes- und Ländermitteln vorrangig für bergtechnische Sanierungsmaßnahmen und

Sanierungsarbeiten an einem Absetzbecken mineralölhaltiger Abfälle



Tabelle 9.1

Bundesweite Übersicht zur Altlastenstatistik

Kenngröße	Stand	Altlast-verdächtige Flächen	Altanlage-rung (AA)	Altstandorte (AS)	Altlasten	Sanierung abgeschlossen	Gefährdungs-abschätzung abgeschlossen	Altlasten in der Sanierung	Altlasten in der Überwachung
lfd. Nummer		1	1.1	1.2	2	3	4	5	6
Baden-Württemberg	12/2011	14.862	1.618	13.244	2.518	3.232	18.133	598	484
Bayern	03/2015	15.712	10.508	5.204	1.028	2.111	6.937	908	120
Berlin	06/2015	6.279	1.145	5.736	825	237	1.285	84	117
Brandenburg	06/2015	19.132	6.908	12.224	1.400	4.351	4.582	142	337
Bremen	07/2014	3.526	21	3.505	415	693	1.128	38	193
Hamburg	06/2015	1.630	273	1.376	568	509	3.359	147	153
Hessen	06/2015	1.172	613	559	466	1.147	2.553	330	76
Mecklenburg-Vorpommern	12/2014	6.042	2.834	3.208	1.000	2.616	347	752	495
Niedersachsen	07/2015	94.655	10.282	84.373	3.907	2.603	6.455	337	758
Nordrhein-Westfalen	02/2014	84.841	31.667	53.174	3.100	6.582	23.340	619	k. A.
Rheinland-Pfalz	06/2015	11.954	10.382	1.572	402	188	7.735	211	170
Saarland	07/2015	5.319	1.637	3.682	568	690	265	14	37
Sachsen	04/2015	19.213	6.523	12.690	544	3.233	7.114	377	726
Sachsen-Anhalt	05/2015	14.991	4.712	10.279	1.056	1.850	4.964	248	77
Schleswig-Holstein	12/2014	10.389	1.784	8.605	269	1.088	3.260	87	101
Thüringen	06/2015	11.684	3.565	8.119	781	937	5.896	199	70

Quelle: Bericht des ALA über „Bundesweite Kennzahlen zur Altlastenstatistik“ (Zusammenstellung der ALA-Geschäftsstelle Sachsen-Anhalt vom 24.08.2015)
https://www.labo-deutschland.de/documents/Anlage_6-3-1_Altlastenstatistik.pdf

anspruchsvolle wasserwirtschaftliche Vorhaben bereitgestellt wurden.

In der Tabelle 9.1 „Bundesweite Altlastenstatistik“ sind der Erfassungsstand und der Stand der Bearbeitung der altlastverdächtigen Flächen und Altlasten in der Bundesrepublik Deutschland nach einheitlichen Kriterien für das Jahr 2014 zusammengestellt. (Quelle: https://www.labo-deutschland.de/documents/Bericht_Altlastenstatistik_2014_endgefasst_.pdf; auf die dort dokumentierten Fußnoten der Bundesländer wird verwiesen)

Im Jahr 2013 waren ca. 28,6% der Verdachtsflächen bereits einer abschließenden Gefährdungsabschätzung unterzogen. Erfahrungsgemäß werden nur auf etwa 10% der altlastverdächtigen Flächen tatsächlich Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Die öffentliche Hand gibt ca. 0,5 Mrd. € pro Jahr für die Untersuchung und Sanierung von Altlasten aus. Mit der rechtlichen Verankerung von nachsorgendem Bodenschutz und Altlastensanierung

hat sich in Deutschland ein leistungsfähiger Dienstleistungsmarkt entwickelt. Die Bundesrepublik Deutschland verfügt nahezu flächendeckend über ausreichende Kapazitäten stationärer Bodenbehandlungsanlagen für die unterschiedlichen Bodenbelastungen. Aktuell steht eine genehmigte Anlagenkapazität von 7 Mio t/Jahr zur Verfügung (7 thermische, 17 chemisch-physikalische und 60 biologische Behandlungsanlagen), die im Durchschnitt zu 56% ausgelastet sind.



(10) Programme zur Erfassung des Bodenzustands

Um den Boden schützen zu können, muss sein Zustand kontinuierlich an geeigneten Standorten überwacht werden. Die Auswahl dieser Standorte berücksichtigt die vielfältigen Nutzungen und die daraus resultierenden Belastungen der unterschiedlichen Böden in Deutschland. Es werden ausdrücklich keine „Hot Spots“ untersucht. Dieses Vorgehen gewährleistet die Kenntnis über die allgemeine Belastung unserer Böden. Die ermittelten Bodendaten leisten einen zentralen Beitrag, um frühzeitig Veränderungen und Beeinträchtigungen des Bodenzustands und der Bodenfunktionen zu erkennen. Sie sind Grundlage, um erforderliche Maßnahmen einleiten zu können und die Vorsorge an sich wandelnde Zustände anzupassen. Das ist eine Daueraufgabe!

10.1 Die Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland

Im Jahr 1985 wurden die ersten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Bayern und Baden-Württemberg eingerichtet. Dies war besonders für Bayern ein großer Vorteil, denn es konnte nach der Reaktor-Katastrophe in Tschernobyl durch Nachuntersuchungen 1986 und Vergleich mit den Radionuklid-Messungen des Vorjahres der Fall-out geschätzt werden.

Andere Bundesländer legten daraufhin ebenfalls BDF an, nach der deutschen Wiedervereinigung wurde das BDF-Programm auf die neuen Bundesländer erweitert. Das Programm wird von den Bundesländern getragen. Im Rahmen der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) wurden Empfehlungen zur Einrichtung und zum Betrieb der BDF erarbeitet (BARTH et al., 2000).

Inzwischen liegt die Zahl der BDF bei knapp 800 Flächen, die sich auf die Hauptnutzungen Acker, Grünland und Wald je nach Bundesland in unterschiedlicher Anzahl verteilen. (vgl. Abb. 10.1). Mit den Flächen und den darauf durchgeführten turnusmäßigen Probenahmen

nach ein bis 10 Jahren wird das Ziel verfolgt, den Bodenzustand und die Entwicklung des Bodenzustands langfristig zu beobachten. Die Flächen ermöglichen die Kontrolle von umweltpolitischen Entscheidungen und garantieren Kontinuität. Die Ergebnisse sind eine Grundlage zur Ableitung von Hintergrundwerten von Bund und Ländern, aber auch für die Darstellung des Bodenzustands.

Das UBA hat in einer Reihe von Forschungsprojekten Daten aus den BDF zusammengeführt und länderübergreifende Auswertungen durchführen lassen. Daneben führen die Bundesländer eigene Auswertungen durch, die dazu dienen die regionalen Besonderheiten zu charakterisieren.

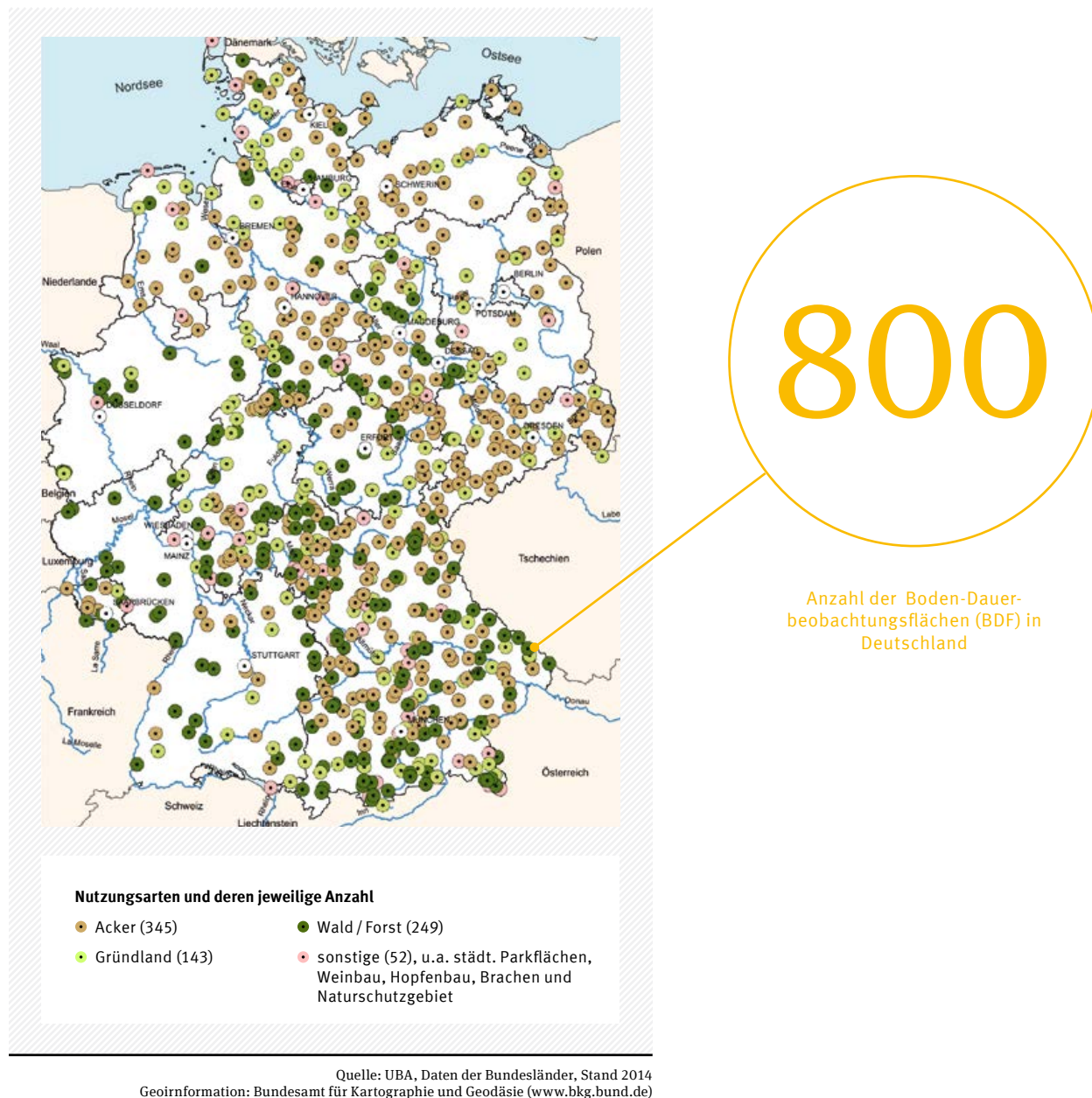


Weitere Informationen:

<http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/boden-schuetzen/boden-beobachten-bewerten>

Abbildung 10.1

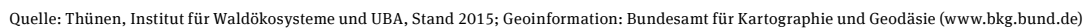
Die Standorte der Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland



10.2 Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE Wald)

Die zweite Bodenzustandserhebung (BZE II) soll den Zustand der Waldböden charakterisieren, Veränderungen des Waldzustandes gegenüber der Erstinventur aufdecken und neu hinzugekommene Fragestellung z. B. zum Kohlenstoffinventar beantworten helfen. Die

BZE ist eine bundesweite systematische Stichprobeninventur zum Zustand der Waldböden und integrales Element des forstlichen Umweltmonitorings. Die Erstinventur (BZE I) erfolgte ebenfalls als flächenrepräsentative Stichprobeninventur im 8 x 8 km Raster auf ca. 1900 Standorten in den Jahren 1987 bis 1993 (Abb. 10.2). An einer Unterstichprobe (16x16 km Raster) findet die jährliche bundesweite Wald-



Die Bodenzustandserhebung im Wald erfolgt gemeinsam durch Bund (BMEL, Thünen-Institut für Waldökosysteme) und Länder sowie weiterer Bundesbehörden zu Spezialfragestellungen (BGR, UBA). Grundlage der Durchführung der BZE II sind Empfehlungen der Bund-Länder-AG „BZE / Forstliches Umweltmonitoring“ sowie Entscheidungen der Forstchefkonferenzen. Das Thünen-Institut für Waldökosysteme ist mit der bundesweiten Auswertung, Qualitätssicherung und Datenhaltung betraut.

Weitere Informationen finden sich unter
http://bfh-web.fh-eberswalde.de/bze/front_content.php

10.3 Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE Landwirtschaft)

Landwirtschaftlich genutzte Flächen dominieren das Landschaftsbild in Deutschland. Die Landwirtschaft produziert auf diesen Flächen Nahrung, Futter, Rohstoffe und Bioenergie und liefert damit die Lebensgrundlage für die Menschen in Deutschland und Vorprodukte für viele Bereiche in Gewerbe und Industrie.

Landwirtschaftliche Böden sind durch steigende Produktionsanforderungen und den Klimawandel unter Druck. Daher ist es unabdingbar, die Qualität und Fruchtbarkeit der Böden nachhaltig zu sichern. Um Trends zu beobachten und Risiken vorzubeugen, muss der aktuelle Zustand der landwirtschaftlichen Böden bekannt sein. Einer der wichtigsten Maßstäbe für Bodenqualität ist die Menge an *Humus*. Der Gehalt an humoser Bodensubstanz trägt wesentlich zur Standortproduktivität bei, er beeinflusst die *Erosionsanfälligkeit* und die Verdichtungsempfindlichkeit eines Bodens und maßgeblich den Bodenwasserhaushalt.

Im Unterschied zu den gut untersuchten Waldböden existiert in Deutschland derzeit keine engmaschige Datengrundlage zu den Kohlenstoffvorräten in landwirtschaftlich genutzten Böden. Daher führt das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) eine bundesweite Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE Landwirtschaft) durch. Seit 2011 werden an über 3000 Standorten in ganz Deutschland Daten erfasst und Bodenproben für die Analytik entnommen. Das Projekt läuft bis Ende des Jahres 2018.

Die BZE Landwirtschaft verfolgt folgende Ziele:

1. Ermittlung der Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden
2. Besseres Verständnis des Einflusses von Klima, Nutzung, Management und Bodeneigenschaften
3. Prognostizierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenkohlenstoffvorräte
4. Verbesserung der Emissionsberichterstattung unter der Klimarahmenkonvention

Die Methodik ist vergleichbar mit der BZE Wald. Auf Grundlage eines repräsentativen Rasters

von 8 x 8 km werden deutschlandweit über 3000 Standorte auf landwirtschaftlichen Nutzflächen untersucht. Das Nutzungsspektrum umfasst Ackerland, Grünland, Gartenland und Sonderkulturen. Mit Hilfe von Repräsentanztests wird sichergestellt, dass das Probenahmeraster die Verteilung landwirtschaftlicher Nutzflächen in den Bundesländern und die deutschen Boden-Klima-Räume optimal abbildet.

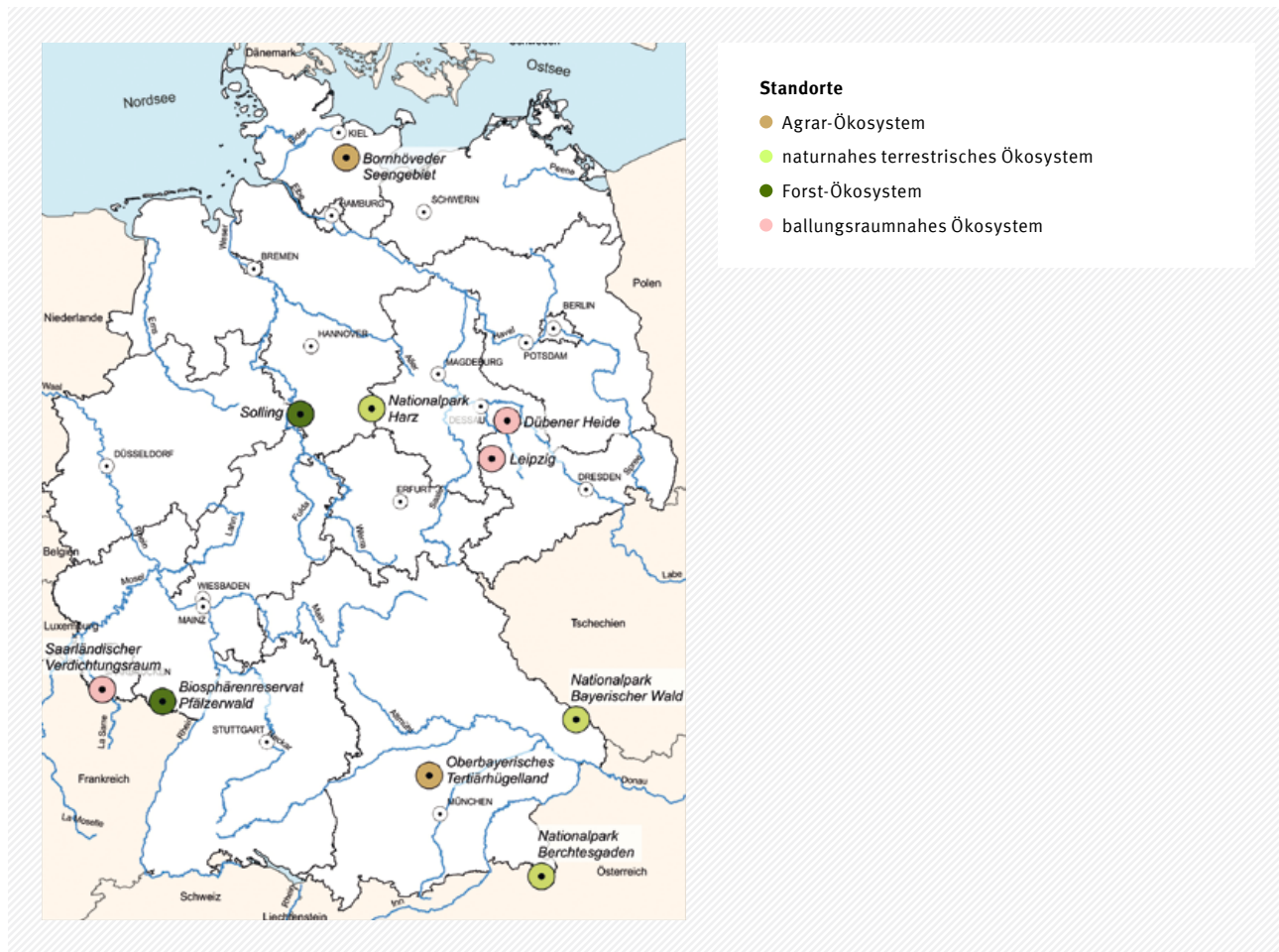
In einer einmaligen Beprobung an jedem Standort wird bis in eine Tiefe von 100 cm standardisiert Bodenmaterial entnommen. Dabei wird in einem Radius von 10 Meter um den Probenahmepunkt herum auch die kleinräumige Variabilität („Satellitenbeprobung“) erfasst. Das Probenahmeverfahren orientiert sich an dem der Bodenzustandserhebung im Wald: Ansprache und Beprobung des Bodenprofils sowie volumengerechte Probenahme an den Satelliten per Rammkernsondierung.

Im BZE-Labor des Thünen-Instituts werden am Probenmaterial die Bodenkohlenstoffkonzentration, die Trockenrohdichte, der Steingehalt, die *Bodenart* sowie weitere erklärende Parameter bestimmt. Damit wird für jeden Standort im Oberboden (30 cm) und im oberen Meter der Kohlenstoffvorrat berechnet. Die Bodenkohlenstoffvorräte sind ein Spiegelbild der Nutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte jedes Standortes. Mit einem Fragebogen werden daher weitere Informationen zum Beprobungspunkt und Betriebsstrukturdaten gesammelt, um sie für die wissenschaftliche Auswertung zu nutzen. Um letztlich die Bodenkohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden in Deutschland insgesamt zu berechnen, werden die Ergebnisse der BZE Landwirtschaft mit weiteren räumlichen Informationen zur *Geologie*, *Bodentyp*, Klima und Landnutzung kombiniert.

Die Probenbank der BZE Landwirtschaft wird am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz angelegt.

Erste Zwischenergebnisse aus Niedersachsen machen deutlich, dass sich der Kohlenstoffvorrat im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Böden (0-30 cm) systematisch zwischen Acker und Grünland unterscheidet. Die Vorräte im Unterboden unterscheiden sich hingegen nicht signifikant. Ackerbaulich genutzte Standorte weisen im Mittel einen um 30% geringeren organischen Bodenkohlenstoffvorrat auf als Grünlands-

Boden-Probenahmegebiete für die Umweltprobenbank



Quelle: UBA, Stand 2015; Geoinformation: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

tandorte. Im Oberboden befinden sich rund 70% des standorttypischen Kohlenstoffvorrates.



Weitere Informationen und aktueller Stand der Arbeiten: www.bze-landwirtschaft.de

10.4 Die Umweltprobenbank des Bundes

Die Umweltprobenbank besteht seit Anfang der 1980er Jahre. Neben biologischen Umweltproben werden auch Bodenproben für zukünftige Untersuchungen eingelagert. Ziel ist es, beim Auftreten eines Problems Rückstellproben zu haben, um einen gefährlichen Stoff retrospektiv untersuchen zu können.

Vor der Einlagerung werden die Proben routinemäßig einer Eingangsanalyse auf etwa 60

umweltrelevante und die Probe charakterisierende Stoffe unterzogen. Die Bodenproben stammen deutschlandweit aus neun Probenahmegebieten (Bornhöveder Seengebiet, Oberbayerisches Tertiärhügelland, Solling, Pfälzerwald, Saarländischer Verdichtungsraum, Dübener Heide, Nationalpark Harz, Biosphärenreservat/Nationalpark Berchtesgaden, Nationalpark Bayerischer Wald, vgl. Abb. 10.3). Zum Teil bestehen Übereinstimmungen mit Boden-Dauerbeobachtungsflächen und dem Boden-Integrated Monitoring (IM). (Umweltbundesamt, 2012)

Eine zusammenfassende Auswertung der chemischen Analysen aus den Probenahmen von 2002 und 2006 liegt als Bericht vor.



Weitere Informationen zu den Standorten und Berichte: www.umweltprobenbank.de

10.5 Länderaktivitäten

Die Bundesländer führen umfangreiche Bodenuntersuchungen durch. Dies betrifft zum einen die Programme der Boden-Dauerbeobachtung (BDF) als auch Untersuchungsprogramme, die dem unmittelbaren Vollzug dienen.

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern in der Arbeitsgruppe „Bodenschutz“ sind insbesondere Methoden und Vollzugshilfen veröffentlicht (www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen.html).

Einige Länder veröffentlichen eigene Bodenzustandsberichte, entweder eigenständig oder als Teil ihres Umweltzustandsberichts. Weitere Informationen zum Schutz des Bodens vermitteln die Webseiten der zuständigen Landesbehörden (vgl. Tab. 11).



Weitere Informationen über Bundes- und Länderprogramme: www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4291.html und www.labo-deutschland.de



Tabelle 10.1

Informationen aus den Bundesländern

Bundesland	URL
Baden-Württemberg	www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1190/
Bayern	www.lfu.bayern.de/boden/index.htm www.lfl.bayern.de/iab/boden/index.php www.lwf.bayern.de/boden-klima/index.php
Berlin	www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/bodenschutz/
Bremen	www.bauumwelt.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen213.c.24442.de
Brandenburg	www.mlul.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.300107.de
Hamburg	www.hamburg.de/boden/
Hessen	www.hlug.de/start/boden.html
Mecklenburg-Vorpommern	www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/boden.htm
Niedersachsen	www.lbeg.niedersachsen.de/boden_grundwasser/766.html
Nordrhein-Westfalen	www.gd.nrw.de/bo_start.htm www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz-und-altlasten/
Rheinland-Pfalz	www.lgb-rlp.de/boden_grundwasser.html
Saarland	www.saarland.de/SID-D6280510-A94A9FF0/boden_altlasten.htm
Sachsen	www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/11620.htm
Sachsen-Anhalt	www.lau.sachsen-anhalt.de/boden-wasser-abfall/bodenschutz/ www.lagb.sachsen-anhalt.de/geologie/bodenmonitoring/
Schleswig-Holstein	www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/B/boden.html
Thüringen	www.thueringen.de/th8/tlug/umweltthemen/boden/index.aspx

(11) Boden in globaler Perspektive

Der vorliegende Bericht bietet einen Überblick zum nationalen Bodenzustand. In unserer vernetzten Welt darf ein Blick auf die globale Perspektive der Böden nicht fehlen. Es ist ein Blick über den Tellerrand, denn unsere Regale werden nicht unerheblich durch den weltweiten Anbau von Nahrungsmitteln und Rohstoffen auf Böden gefüllt. Auch Futtermittel für die Tiermast kommen in großen Maße von Böden in Brasilien. Die Welternährung ist eine globale Frage. Wir in Europa können bis heute nicht auf ein einheitliches europäisches Bodenschutzrecht bauen. Die Frage der Kohlenstoffvorräte in den Böden macht nicht Halt an Ländergrenzen, sondern bedarf EU-weiter Standards und einheitlicher Wettbewerbsbedingungen im Umgang mit Böden.

Internationaler und europäischer Bodenschutz

Der Schutz und Erhalt fruchtbarer Böden und die Wiedergewinnung degradierter Böden sind unerlässliche Voraussetzung für den Erhalt Bodenfunktionen weltweit, für die Sicherung der Nahrungsversorgung, die Bekämpfung des

Die Fruchtbarkeit unserer Böden ist weltweit zu erhalten.

Klimawandels und die Armutsbekämpfung. Der Boden ist eine vernachlässigte Ressource von geostrategischer Bedeutung, zu deren Schutz ein globaler, wissenschaftlicher, politischer und rechtlicher Ansatz benötigt wird.

Besonderes Augenmerk ist dem „Land Degradation Neutrality Konzept“ (Ehlers, K. et al., 2013) zu widmen, das die Weltgemeinschaft in Rio+20 verabschiedet hat. Mit der Verabschiedung der Globalen Nachhaltigkeitsziele im September 2015 stehen in den 17 Zielen auch konkrete Unterziele zum Thema Boden.

- 2.4: Verbesserung der Land- und Bodenqualität
- 3.9: Verringerung der Bodenverschmutzung und Kontamination
- 15.3: Wiederherstellung von degradierten Böden

Diesen Aufgaben werden auch wir uns stellen müssen.

Mit dem Ziel des Bürokratieabbaus hat die EU-Kommission im Jahr 2013 einen Bericht veröffentlicht (COM, 2013), der auch den Entwurf einer Europäischen Bodenschutz-Richtlinie (kurz: BRRL: Bodenrahmenrichtlinie) zur Prüfung stellt. Inzwischen ist der Entwurf der Boden-Rahmenrichtlinie zurückgezogen worden. Damit ist der europäische Bodenschutz





jedoch nicht ad acta gelegt worden. Nachwievor gilt die Bodenschutzstrategie, nachwievor besteht der Wille der EU-Kommission, den Bodenschutz in Europa zu stärken.

Ziele der EU-Bodenstrategie sind, die weitere Verschlechterung der Bodenqualität zu vermeiden und die Bodenfunktionen zu erhalten sowie geschädigte Böden unter Funktionalitätsgesichtspunkten und unter Berücksichtigung der Kosten wiederherzustellen.

Europarechtliche Vorgaben zum Bodenschutz können den Bodenschutz in Europa stärken. Europa könnte so auch seine Vorbildfunktion für den internationalen Bodenschutz unterstreichen.

Für die Sicherung der Welternährung ist der Schutz unserer Böden notwendig.

Quellenverzeichnis

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung.

Aichner, B., Bussian, B.M., Lehnik-Habrink, P., Hein, S. (2013): Levels and spatial distribution of persistent organic pollutants in the environment: a case study of German forest soils. Environ. Sci. Technol. 47, 12703-12714.

Barth, N., Brandtner, W., Cordsen, E., Dann, T., Emmerich, K.-H., Feldhaus, D., Kleefisch, B., Schilling, B., Utermann, J. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen In: BACHMANN, KÖNIG, UTERMANN (Hrsg.) Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 9152, Erich Schmidt Verlag, Berlin

Becker, P. (2013): Anpassung an den Klimawandel – immer noch eine Herausforderung für Bund und Land, Vortrag 18.01.2013, Hannover

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:5.000.000 (BÜK5000); Website: produktcenter.bgr.de

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands 1:1.000.000 (HUMUS1000OB); Website: produktcenter.bgr.de

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007): Gruppen der Bodenausgangsgesteine in Deutschland 1:5.000.000 (BAG5000); Website: produktcenter.bgr.de

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010): Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 (GÜK200); Website: produktcenter.bgr.de

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2013): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000N); Website: produktcenter.bgr.de

Bizer, K., Bovet, J., Henger, R., Jansen, N., Klug, S., Ostertag, K., Schleich, J., Siedentop, S., Kunath, A., Schönfelder, C. (2012): Projekt FORUM: Handel mit Flächenzertifikaten – Fachliche Vorbereitung eines überregionalen Modellversuchs. UBA-Texte 60/2012, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; (www.umweltbundesamt.de/publikationen/projekt-forum-handel-flaechenzertifikaten)

Böhme, M., Böttcher, F. (2012): Bodentemperaturen im Klimawandel – Auswertungen der Messreihe der Säkularstation Potsdam; in: Klimastatusbericht 2011, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main

BMELV, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup: <http://berichte.bmelv-statistik.de/SJB-0002012-2012.pdf>

BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Deutsche Klärschlammberichte an die Europäische Union gemäß RL 86/278. <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/statistiken/klaerschlamm/>

Capriel, P. (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 05/2010, ISSN 1611-4159; http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_21843.pdf

COM (2013): COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Regulatory Fitness and Performance (REFIT): Results and Next Steps; Brussels, 2.10.2013 COM(2013) 685 final; http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/president/news/archives/2013/10/pdf/20131002-refit_en.pdf

Dämmgen, U.; Bieber, E.; Bunzel, F.; Gladtko, D.; Gocht, T.; Kallweit, D.; Lumpp, R.; Noll, G.; Plegnière, P.; Topp, O.; Wallasch, M. (2008): Messung atmosphärischer Depositionen. IN: Zs. Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft 10/2008, Seite 441-444

DESTATIS, Statistisches Bundesamt (2011): Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben – Erhebung zur Wirtschaftsdüngerausbringung. Fachserie 3 Reihe 2.2.2, Wiesbaden; www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Produktionsmethoden/Wirtschaftsduenger2030222109004.pdf?__blob=publicationFile

DESTATIS, Statistisches Bundesamt (2012): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2011. Fachserie 3 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Reihe 5.1, Wiesbaden

DESTATIS, Statistisches Bundesamt (2013): Düngemittelversorgung. Fachserie 4 Reihe 8.2 – Wirtschaftsjahr 2012/2013, Wiesbaden; https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Fachstatistik/DuengemittelversorgungVj2040820143214.pdf?__blob=publicationFile

DWD, Deutscher Wetterdienst (2006): Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, Teil 4: klimatische Wasserbilanz, Tägliche Temperaturschwankung, Windgeschwindigkeit, Dampfdruck, Schneedecke

DWD, Deutscher Wetterdienst (2013): Die deutschen Klimaanpassungssysteme. Inventarbericht zum Global Climate Change Observing System (GCOS). Selbstverlag, DWD, Offenbach a.M., 130 Seiten

DIN 19708 (2005): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.

Diamond, J.; Vogel, S. (2011): Kollaps: Warum Gesellschaften überleben oder untergehen. FISCHER Taschenbuch, ISBN: 9783596192588

Düwel, O., Utermann, J., (2008): Humusversorgung der (Ober-)Böden in Deutschland – Status Quo -. IN: Hüttel, R., Bens, O., Prechtel (Hrsg.): Zum Stand der Humusversorgung der Böden in Deutschland. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung Bd. 7, 115-120

Ebertseder, T., Munzert, M., Horn, D., Maier, H. (2010): Ableitung von Einflussfaktoren auf die Humusgehalte von Böden durch flächenbezogene Auswertung von Bodenuntersuchungsdaten. IN: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, (Hrsg.): Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen, Speyer, S. 252 – 278.

Ehlers, K., Lobos Alva, I., Montanarella, L., Müller, A., Weigelt, J., Adholeya, A., Bossio, D., Louwagie, G., Rokitzki, M., Safriel, U., Seely, M., Sietchiping, R., Zelaya, S. (2013): Soils and land in the SDGs and the post-2015 development agenda: A proposal for a goal to achieve a Land Degradation Neutral World in the context of sustainable development. (Policy Brief); http://globalsoilweek.org/wp-content/uploads/2014/12/07_GSW_SDG_Paper_web.pdf

Grüneberg, E., Ziche, D., Wellbrock, N. (2014): Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biol* 20(8):2644-2662; http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn053625.pdf

Höke, S., Denneborg, M., Kaufmann-Boll, C. (2011): Klimabedingte Veränderungen des Bodenwasser- und Stoffhaushalts und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher. Dynaklim-Publikation Nr. 11; www.dynaklim.de/dynaklim2pub/index/3000_projektergebnisse/3300_veroeffentlichungen.html

Jering, A., Klatt, A., Seven, J., Ehlers, K., Günther, J., Ostermeier, A., Mönch, L. (2013): Globale Landflächen und Biomasse – nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/globale-landflaechen-biomasse

Kaufmann-Boll, C., Wolfgang Kappler, W., Lazar, S., Meiners, G., Tischler, B., Baritz, R., Düwel, O., Hoffmann, R., Utermann, J., Makeschin, F., Abiy, M., Rinklebe, J., Prüß, A., Schilli, C., Dr. Anneke Beylich, A., Graefe, U. (2011): C. Kaufmann-Boll, W. Kappler, S. Lazar et. al.: Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung. UBA-Forschungsbericht FKZ 3708 71 205 01; TEXTE 65/2011, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4187.html

KBU, Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (2009): Flächenverbrauch einschränken – jetzt handeln. Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/flaechenverbrauch-einschraenken-jetzt-handeln

Knappe, I., Möhler, S., Ostermayer, A., Lazar, S., Kaufmann, C. (2008): Vergleichende Auswertung von Stoffeinträgen in Böden über verschiedene Eintragspfade. UBA-Texte 36/08, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-auswertung-von-stoffeintragen-in

Koch, D. (2010): Langzeitentwicklung der Bodentemperaturen in verschiedenen Naturräumen Nordrhein-Westfalens. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität zu Köln

KÖRDEL, W., Herrchen, M., Müller, J., Kratz, S., Fleckenstein, J., Schnug, E., Dr. Saring, U., Thomas, J., Reinhold, J. (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Abfallverwertung. UBA-Texte 30/07, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/begrenzung-von-schadstoffeintragen-bei

LABO, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3., überarbeitete und ergänzte Auflage. IN: BACHMANN, KÖNIG, UTERMANN (Hrsg.) Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 9006, Erich Schmidt Verlag, Berlin; www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text_4e3.pdf und www.labo-deutschland.de/documents/Hintergrundwerte_Anhang_a79.pdf

LABO, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2010): Klimawandel – Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes. Positionspapier der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO); www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Positionspapier_Boden_und_Klimawandel_090610_aa8_bf5.pdf

Lebert, M. (2010): Entwicklung eines Prüfkonzepthes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. UBA-TEXTE 51/2010, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-pruefkonzeptes-zur-erfassung

Montgomery, D., Walter, E. (2010): Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert. oekom verlag, ISBN-10: 3865811973

MUNLV, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2011): Klimawandel und Boden – Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort. Düsseldorf 2011; www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere_klimawandel_boden.pdf

MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009): Bodenverdichtungen vermeiden – Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen. Düsseldorf; www.bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/GLB/Bodenverdichtung_Broschuere_NRW.pdf

Römbke, J., Jänsch, S., Roß-Nickoll, M., Toschki, A., Höfer, H., Horak, F., Russell, D., Burkhardt, B., Schmitt, H. (2012): Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie, UBA-Texte 33/2012, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/publikationen/erfassung-analyse-des-bodenzustands-imhinblick-auf

Ruppe, A., Bahr, C., Pohl, A. (2009): Fortschreibung von Beurteilungsmaßstäben für den Wirkungspfad Boden-Pflanze: Methodik zur flächenrepräsentativen Erfassung pflanzenverfügbarer Stoffgehalte in unbelasteten Böden und Stoffgehalten in Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. UBA-Forschungsprojekt FKZ 206 74 200 (unveröffentlicht)

Umweltbundesamt (2000): Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer. Workshop des Umweltbundesamtes – 29. und 30. November 1999 Abacus Tierpark, Berlin; UBA-Texte 29/2000; www.umweltbundesamt.de/publikationen/naehrstoffemissionen-in-oberflaechengewaesser

Umweltbundesamt (2011): Stickstoff – Zuviel des Guten? www.umweltbundesamt.de/publikationen/stickstoff-zuviel-des-guten

Umweltbundesamt (2012): Bodendaten in Deutschland – Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4291.pdf

Umweltbundesamt (2013): Nationale Trendtabelle für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990; www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen

Umweltbundesamt (2015): Daten der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.; <https://www.umweltbundesamt.de/node/19001>

Utermann, J., Fuchs, M., Düwel, O. (2008): Flächenrepräsentative Hintergrundwerte für Arsen, Antimon, Beryllium, Molybdän, Kobalt, Selen, Thallium, Uran und Vanadium in Böden Deutschlands aus länderübergreifender Sicht. Forschungsvorhaben im Auftrage des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakanson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. and Peterson, R.E. (2006): The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds, *Toxicological Sciences* 93 (2): 223–241

Weinfurtner, K., et al (2014): Flächenrepräsentative Erhebung der Gehalte organischer Stoffe in Böden und Ableitung bundesweiter Hintergrundwerte für organische Stoffe in Böden. UBA-Forschungsprojekt FKZ 3709 71 222 (unveröffentlicht)

Wurbs, D.; Steiniger, M. (2011): Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. UBA-TEXTE 16/2011, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4089.html

A **Altlasten:** Örtliche Verunreinigungen des Bodens durch Schadstoffe oder deren Rückstände in ehemals industrialisierten Gebieten oder auf Deponien

Altmoräne: Bezeichnung für *Moränen*, die während der *Vereisungen* vor der Weichsel- bzw. Würm-Kaltzeit abgelagert wurden

anthropogen: durch den Menschen beeinflusst oder geschaffen

äolischer Transport: Transport von Bodenmaterial durch den Wind

Aue: der bei Hochwässern oder unregulierten Flüssen durch Überflutungen beeinflusste tiefste, ebene Teil des Talbodens, der aus feinkörnigen *Auensedimenten* besteht

Auenboden: periodisch überflutete und von schwankenden Grundwasserständen beeinflusste Böden, die durch die Ablagerung von *Sedimenten* in Flusstälern entstehen

Auelehm: feinkörnige Flussablagerungen in der *Aue* (*Auensediment*), die sandig-lehmig und teilweise *humushaltig* sind und mehrere Meter Mächtigkeit aufweisen können

Ausgangssubstrat: das Material, dass zu Beginn der Bodenbildung an der Geländeoberfläche angestanden hat

Ausgleichsküste: Küste mit nahezu geradlinigem Verlauf, die durch küstenparallele *Sedimentbewegungen*, aber auch durch Abspülen von Vorsprüngen aus *Lockersedimenten* entsteht

Auswaschungshorizont: A-Horizont des Bodens, der an gelösten oder transportablen Partikeln wie z. B. *Ton* oder *Humus* verarmt ist

B **Basalt:** durch Erstarren des Magmas an der Erdoberfläche entstandenes dunkles, oft schwarzes Gestein, das ein feines *Gefüge* besitzt und sehr widerständig ist

Biosphärenreservat: ein Schutzgebietstyp für den Schutz und die naturverträgliche Entwicklung von Kultur- und Naturlandschaften mit einer Fläche von 1-300.000 ha

Biotop: umfasst einen abgrenzbaren Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (sowohl *Flora* als auch *Fauna*); die Gesamtheit gleichartiger *Biotope* wird als *Biototyp* bezeichnet (z. B. Binnengewässer)

Bodenart: Bezeichnung der Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials nach dem prozentualen Anteil der drei Kornfraktionen Sand, *Schluff* und *Ton*

Bodenfruchtbarkeit: Fähigkeit des Bodens, seine ökologischen Funktionen zu erfüllen und Nutzpflanzen das Wachstum und die Entwicklung zu ermöglichen

Bodenorganismen: Gesamtheit der im Boden lebenden tierischen und pflanzlichen Organismen

Bodenschätzung: Verfahren zur Bewertung des Bodens nach seiner Beschaffenheit und seiner Ertragsfähigkeit, wobei Schätzungen für Ackerland und Grünland durchgeführt werden

Bodentyp: Bezeichnet Böden mit ähnlichem Entwicklungsstand und charakteristischen *Horizontabfolgen*, die sich von Böden mit einem anderen Entwicklungsstand unterscheiden

Bodenverdichtung: Vorgang, bei dem der Boden durch den Einsatz von Maschinen und Fahrzeugen in der Land-, Forst- und Bauwirtschaft verdichtet wird, wodurch sich das *Gesamtporenvolumen* des Bodens und die Versickerungsleistung verringert.

Bodenversauerung: Prozesse der Konzentrationszunahme der freien Wasserstoffionen im Boden, wodurch der *pH-Wert* des Bodens absinkt

Börde: Kulturlandschaft in Norddeutschland, in der sich aufgrund der *eiszeitlichen Lössablagerungen* Böden mit einer hohen *Bodenfruchtbarkeit* gebildet haben

Braunerde: Boden mit braungefärbtem Unterboden (Bv-Horizont), der durch *Verbraunung* und *Verlehmung* entsteht

Buntsandstein: *Sandstein* der untersten Abteilung der Trias von 225-215 Mio. Jahren vor heute, vorwiegend *sedimentiert* im Bereich von episodisch wasserführenden Flussbetten und Flussdeltas

C Catena: regelhafte Abfolge von Böden oder Landschaftstypen in einem Gebiet

D Dauergrünland: landwirtschaftliche Fläche, die durchgehend als Wiese, Weide oder Mähfläche genutzt wird

Deckgebirge: *Sedimentgesteine* des Erdmittelalters (Mesozoikum) über den älteren, *kristallinen* Gesteinen des Erdaltertums (Paläozoikum)

Decksand: weitgehend ungeschichtet erscheinendes *eiszeitliches Sediment*, das im nordmitteleuropäischen *Vereisungsgebiet* verbreitet ist

Devon: geologische Formation des Erdzeitalters Paläozoikum von 405-360 Mio. Jahren vor heute

Dioxine: Sammelbezeichnung für chemisch ähnlich aufgebaute chlorhaltige Verbindungen, die toxische Eigenschaften haben und in Form von 210 verschiedenen Arten vorkommen

Doline: trichterförmige Oberflächenform verschiedener Tiefen und Durchmesser in *Karstlandschaften*, die durch Einsturz von Höhlen und durch Lösungsprozesse im Gestein oder im oberflächennahen Untergrund entstehen

Dolomit: *Sedimentgestein*, das sich hauptsächlich aus dem Mineral *Dolomit* zusammensetzt

E Eisrandlage: Endbereich eines Gletscher- oder Inlandeisgebietes, das durch *Endmoränen* gekennzeichnet ist

Eiszeit: Periode kühlen bis kalten Klimas innerhalb eines *Eiszeitalters*, die durch Gletschervorstöße und Inlandeisbildung geprägt ist

Endmoräne: markiert den Eisrand des Gletschervorstößes und ist bogenförmig angeordnet

Erosion: durch Eingriffe des Menschen verstärkte und durch starke Niederschläge oder Wind ausgelöste Prozesse der Ablösung, des Transportes und der Ablagerung von Bodenpartikeln

F Fahlerde: *Parabraunerde* mit sehr starker *Tonverlagerung* und anschließender Versauerung, wodurch ein "fahler" *Horizont* unter dem *Humushorizont* entsteht

Fauna: Tierwelt innerhalb eines bestimmten Gebietes, zum Beispiel eines Kontinents

Feldhecke: schmale lineare Gehölzpflanzung, die aus Sträuchern und vereinzelt Bäumen besteht; dient neben der Abgrenzung der Felder auch als Lebensraum für Kleinlebewesen, als Sicht-, Wind- und Emissionsschutz

Feldspat: gut spaltbares Mineral, welches zu einem großen Teil die Erdkruste aufbaut und eine gerüstartige Kristallstruktur aufweist

Fließerde: *Solifluktsdecke*, die durch das sommerliche Auftauen von Boden auf dauerhaft gefrorenem Untergrund schon bei geringem Gefälle ins Fließen gerät

Flora: Pflanzenwelt innerhalb eines bestimmten Gebietes, zum Beispiel eines Kontinents

Flugsand: vom Wind transportiertes Material der Sandkorngröße, das oftmals deckenartig abgelagert wird

Fruchtfolgen: bestimmte, mehrjährige Anbaufolge verschiedener Ackerkulturen, die an die Klima- und Bodeneigenschaften sowie die Betriebsstruktur angepasst ist, möglichst den Schädlingsbefall unterdrückt und einen hohen Ertrag gewährleistet

Frühblüher: Pflanzen, die im Vorfrühling und Frühling trotz niedriger Temperaturen, Schnee und gefrorenem Boden blühen

Futterbau: landwirtschaftlicher Anbau von Nutzpflanzen ausschließlich für die Tierfütterung

G Gabbro: grobkörniges Tiefengestein, das eine braune bis grün-schwarze Farbe aufweist

Gäulandschaft: im schwäbisch-fränkischen *Schichtstufenland* verbreiteter Landschaftstyp, der wegen der Bedeckung des Untergrundes mit *Löss* sehr fruchtbar ist

Geest: Landschaftstyp Norddeutschlands im Bereich der *Altmoränen* aus überwiegend sandigen Substraten, heute gekennzeichnet durch wenig fruchtbare Böden

Gefüge: Struktur und Anordnung der festen und verklebten Bodenpartikel in kleinere oder grössere *Gefügeteile*, die von Hohlräumen unterschiedlicher Größe gegliedert werden

Geologie: Wissenschaft von der Entstehung, dem Aufbau und der Entwicklungsgeschichte der Erde

Geschiebe: durch Gletscher oder Inlandeis transportierte und dabei abgeschliffene Gesteinstrümmer, die in *Moränen* abgelagert werden

Geschiebedecksand: ungeschichteter, *eiszeitlicher* Sand, der das nordmitteleuropäische *Vereisungsgebiet* überzieht

Geschiebelehm: verwittertes entkalktes Material mit Steinen und Blöcken, das vom Gletscher abgelagert wurde

Geschiebemergel: lehmiges kalkhaltiges Material mit Steinen und Blöcken, das vom Gletscher abgelagert wurde

Gezeitenablagerungen: durch die periodischen Wasserstandsschwankungen in Folge Ebbe und Flut an der Küste abgelagertes *Sediment*

glazial: *eiszeitlich*

glaziale Serie: durch Gletscher und Schmelzwasser entstandene, regelhafte Abfolge von Oberflächenformen: *Grundmoräne*, *Endmoräne*, *Sander* und *Urstromtal*

Glazialbecken: eine durch einen Gletscher geformte Hohlform

Gley: grundwasserbeeinflusster Boden

Glimmer: Mineralgruppe, die am Aufbau vieler magmatischer Gesteine beteiligt ist und eine blättchenartige Kristallstruktur aufweist

Gneis: durch Umwandlung auf Grund von Wärme- und Druckänderung entstandener *kristalliner Schiefer*, der aus *Feldspat*, *Quarz* und *Glimmer* besteht

Grabenbruch: tektonischer Vorgang, bei dem zwischen zwei verschobenen Gesteinspaketen ein Teil der Erdkruste einbricht oder sich absenkt, so dass ein Graben entsteht, der Größen im cm- bis km-Bereich annehmen kann

Granit: magmatisches Tiefengestein mit körniger Struktur und grauer bis rötlicher Färbung, das sich hauptsächlich aus *Kalifeldspat*, *Quarz* und *Glimmer* zusammensetzt

Grobboden: bezeichnet die *Korngrößenfraktion* von > 2 mm

Grundgebirge: ältere Formation eines Gebirges unter dem *Deckgebirge*

Grundmoräne: besteht aus lockerem und festem Gesteinsmaterial unterschiedlicher Größe, das am Grund des Gletschers unsortiert abgelagert wurde und nach dem Schmelzen der Gletscher als kuppige Geländeoberfläche in der Landschaft erkennbar ist

H **Horizont:** *horizontale* Schicht oder Lage im Boden, welche durch Prozesse der Bodenentwicklung entstanden ist und in Struktur und Zustand eine abgrenzbare Einheitlichkeit aufweist

Holozän: jüngster Abschnitt der Erdgeschichte, der die 10.000 Jahre nach der letzten *Eiszeit* umfasst und bis in die Gegenwart reicht; Unter-einheit des *Quartärs*

Huminstoffe: sehr kleine, dunkel gefärbte, organische Partikel, die für die Nährstoffaufnahme und Wasserbindung der Böden wichtig sind und die *Gefügebildung* und den Wärmehaushalt beeinflussen

Humus: die gesamten abgestorbenen und in der Zersetzung befindlichen organischen Pflanzen- und Tierbestandteile, die im Oberboden mit den Partikeln der mineralischen Bodenbestandteile vermischt sind und dann auch als Mutterboden bezeichnet werden oder getrennt vom Oberboden als Auflagehumus aufliegen

Hydroxide: Verbindungen mit OH-Gruppen, die in Lösung basisch reagieren

I **Ion:** ein Atom, das ein oder mehrere negative (Anionen) oder positive (Kationen) elektrische Ladungen besitzt und daher chemische Verbindungen eingehen kann

J **Jungmoräne:** Bezeichnung für *Moränen*, die in den *Vereisungen* der *Weichseiszeit* abgelagert wurden

K **Kalkpaternia:** kalkhaltiger bis sehr kalkreicher junger *Auenboden*

Kalkstein: weit verbreitetes *Sedimentgestein*, das hauptsächlich aus Calciumcarbonat besteht und oberirdisch und unterirdisch besondere Formen ausbildet, zum Beispiel die *Karstlandschaft*

Kaltzeit: Epoche relativ kühlen bis kalten Klimas innerhalb eines *Eiszeitalters* wie zum Beispiel dem *Pleistozän*

Karstlandschaft: Landschaftstyp, der auf der Karbonatverwitterung von leicht löslichen *Dolomit*-, Gips- oder Kalkgesteinen basiert. Charakteristisch sind die vielfältigen Karstformen die sich aus ausgekerbten Rinnen (Karren) annähernd kreisförmigen Hohlformen (*Dolinen*) und weiteren *Erosions*- und Ablagerungsformen zusammensetzen

Knick: Wallhecke, die zur Umgrenzung eines Flurstücks dient

Kolluvisol: Boden mit einem mächtigen durch *Erosion* akkumulierten humosen Umlagerungshorizont

Konglomerat: *Sedimentgestein*, das aus gerundeten Gesteinstrümmern besteht, die durch tonige oder kalkhaltige Bindemittel zu einem neuen Gestein verkittet werden

Korngrößenfraktion: definierter Durchmesser von Boden- oder Gesteinspartikeln

Kreidezeit: Teil des Erdmittelalters von 130 – 70 Mio. Jahren vor heute

Kristallin: Gesteinsbereiche aus hartem und widerstandsfähigem Gestein, die das *Grundgebirge* bilden

L **Lackprofil:** naturgetreues Abbild eines Bodens, durch Kunstharze und Lacke präpariert

Lessivierung: Verlagerung von *Tonteilchen* mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenbereiche, wodurch es zu einer *Tonanreicherung* im Unterboden kommt

Lockersediment: unverfestigtes *Sediment*

Löss: kalkhaltiges, gelblich-braunes, ungeschichtetes *Lockersediment*, das durch den Wind abgelagert wird (*Lösseinwehungen*). *Löss* in Norddeutschland stammt aus den *Kaltzeiten* des *Pleistozäns*, wo er aus den Gletschervorfeldern ausgeweht und in Mittel- und Westeuropa abgelagert wurde. Zu den Arten des *Löss* gehören *Sandlöss*, *Lösslehm* und *Flugsand*

M **Marsch:** Landschaftstyp im Küsten- und Flussmündungsbereich unter dem Einfluss der Gezeiten. Charakteristisch ist die Feinkörnigkeit der periodisch abgelagerten *Sedimentschichten*. Nach Eindeichung und Absenken des Salzgehaltes kann diesen Bereichen eine gute landwirtschaftliche Nutzbarkeit zugesprochen werden. Dieser Prozess teilt die *Marsch* in einzelne Entwicklungsstufen (*Roh*-, *Knick*-, *Klei*- und *Kalkmarsch*).

Mergel: *Sedimentgestein* bestehend aus einem Gemisch aus Kalk und *Ton*

Molasse: Ablagerungsabfolge aus dem *Tertiär* im nördlichen Alpenvorland

Montanindustrie: Begriff für den Bergbau sowie die Eisen- und Stahlindustrie

Moor: bis an die Oberfläche mit Grundwasser, Hangwasser oder Niederschlägen durchfeuchtetes Gelände, in dem sich unvollständig zersetzte organische Substanz anreichert und Torf entsteht

Moorkultivierung: *anthropogene* Nutzung eines *Moors*

Moräne: das gesamte vom Gletscher transportierte und abgelagerte Material, wobei hinsichtlich der Position und Gestalt des Gletschers verschiedene Typen der *Moränen* unterschieden werden

Morphologie: äußere Form oder Gestalt geowissenschaftlicher Objekte, zum Beispiel die Oberflächenformen der Erde

Mulde: nach unten gewölbter Teil einer Falte als Ergebnis der durch seitliche Kompression entstandenen Verformung von Gesteinen

Mull: *Humusform*, bei der eine intensive Durchmischung der gut abgebauten organischen Substanz mit dem Mineralboden vorhanden ist

Muschelkalk: grauweißliches bis gelbliches Kalkgestein bzw. Ablagerung aus dem Erdmittelalter (Mesozoikum)

O **Oxidation:** Reaktion von Elementen mit Sauerstoff, die eine Elektronenabgabe zur Folge hat

Oxide: Verbindungen chemischer Elemente mit Sauerstoff

P **PAK:** Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind eine Stoffgruppe organischer Verbindungen, die toxische Eigenschaften haben und in Kohle sowie Erdöl vorkommen

Parabraunerde: *Bodentyp*, der sich durch *Tonverlagerung* vom Ober- in den Unterboden auszeichnet; in den gemäßigt-humiden Klimabereichen auf *Löss* oder *Geschiebemergel* verbreitet

Pararendzina: *Bodentyp*, der sich in der Abfolge zunächst auf kalkreichem *Lockersediment* entwickelt

Paternia: sandig-lehmiger, kalkhaltiger junger *Auenboden* grauer bis schwach brauner Färbung

PCB: Polychlorierte Biphenyle sind chemische Chlorverbindungen, die toxische Eigenschaften haben und in Form von 209 verschiedenen Arten vorkommen

Pelosol: Boden, der sich aus primär tonreichem Ausgangsgestein entwickelt

Pflanzenschutzmittel: Sammelbegriffe für chemische Verbindungen, die zum Schutz von Nutzpflanzen vor Schädlings- oder Krankheitsbefall und zur Bekämpfung von Schadorganismen eingesetzt werden

pH-Wert: Maßzahl für die Wasserstoffionenkonzentration der Bodenlösung, welche die basische, neutrale oder saure Reaktion kennzeichnet und stoffhaushaltliche Prozesse beeinflusst

Plaggenwirtschaft: Art der Bodendüngung, bei der ausgestochene *Humusstücke* des Oberbodens als *Einstreu* in den Viehstall verbracht wurden und nach Anreicherung mit Harn und Kot wieder auf die dorfnaher Ackerflur ausgebracht wurden

Plateau: Hochfläche größerer Ausdehnung, die sich durch ebene Flächen mit geringem Gefälle auszeichnet

Pleistozän: letztes von mehreren *Eiszeitaltern* der Erdgeschichte mit weltweitem Temperaturrückgang; Untereinheit des *Quartärs* von vor 2,3 Mio. Jahren bis 10.000 Jahren vor heute dauernd

Podsol: Auswaschungsbodentyp silikatischer Lockergesteine mit deutlicher *Ton*, Eisen- und *Humusverarmung* (Ausbleichung) im Oberboden und entsprechender Anreicherung im Unterboden

Podsolierung: Prozess der abwärts gerichteten Verlagerung von Eisen- und Aluminiumoxiden sowie *Huminstoffen* mit dem Sickerwasser, der zur Bildung von *Podsol*en führt

Porenvolumen: Anteil der wasser- und luftgefüllten Hohlräume am gesamten Bodenvolumen angegeben in Volumen Prozent

postglazial: nacheiszeitlich; auf die Zeit nach der letzten *Kaltzeit* des *Pleistozän* bezogen

Porphy: Sammelbegriff für vulkanische Gesteine mit einer dichten und feinkörnigen Grundmasse, in der auffallend große Kristalle enthalten sind

Pseudogley: *Bodentyp*, der durch den Wechsel von starker Nässe infolge gestauten Sickerwassers und Austrocknung entsteht und dadurch eine charakteristische fahlgraue und rostfarbene Marmorierung besitzt

Q **Quartär:** jüngstes System der Erdgeschichte und Formation des Erdzeitalters Känozoikum von vor 1,7 Mio. Jahren bis in die heutige Gegenwart reichend; untergliedert in *Pleistozän* und *Holozän*

Quarz: wichtiges gesteinsbildendes Mineral aus *kristalliner Kieselsäure*

R **Rambla:** *Rohboden* auf *Auesedimenten*

Ranker: *Bodentyp*, der sich in der Abfolge zunächst auf carbonatfreiem oder carbonatarmen Gestein entwickelt

Regosol: *Bodentyp*, der sich in der Abfolge zunächst über carbonatfreiem oder carbonatar-
men Lockergestein entwickelt

Rekultivierung: Durchführung umfassender
Maßnahmen zur Wiederherstellung von Land-
schaftsteilen, die durch wirtschaftliche und
technische Nutzung gestört bzw. zerstört sind,
z. B. ehemalige Bergbaugebiete

Relief: Oberflächenform der Erde

Rendzina: *Bodentyp*, der sich in der Abfolge
zunächst auf Karbonatgestein entwickelt und
sehr steinhaltig ist

Retention: Fähigkeit, Niederschlag in der
Pflanzendecke, im Boden oder im Grundwas-
ser zurückzuhalten; wirkt sich auf die Höhe
des Abflusses aus und dämpft die Gefahr von
Hochwasser

Rigosol: künstliche Böden, die durch das tief-
greifende Umschichten (Rigolen) von Boden-
material durch den Menschen entstehen; z. B.
Weinbergsböden

Rinnensee: lang gestreckter tiefer See, der im
Aufschüttungsbereich ehemals vergletscher-
ter Gebiete durch die *Erosion* nacheiszeitlicher
Schmelzwässer entstanden ist

Rohboden: bildet das Anfangsstadium der
Bodenbildung und besteht aus einer lückenhaf-
ten nur gering ausgeprägten Lage abgestorbe-
ner pflanzlicher organischer Substanz über dem
weitgehend unverwitterten Ausgangsgestein

S Saale-Eiszeit: vorletzte *Kaltzeit* des *Pleisto-
zäns* von etwa 300.000 bis 128.000 Jahren vor
heute, die die räumlich ausgedehnteste *Kaltzeit*
im Bereich des nordischen Inlandeises bildete

Säkularstation Potsdam: Die Säkularstation
ist weltweit die einzige meteorologische Sta-
tion, die über einen Zeitraum von mehr als 100
Jahren ein derart umfassendes Messprogramm
ohne Lücken und messtechnisch einheitlich
aufweisen kann.

Säure: Verbindungen, die Wasserstoffionen
abgeben können und damit eine saure Reaktion
der Bodenlösung bewirken

Säureneutralisationskapazität: Fähigkeit
eines Bodens, *Säure* zu neutralisieren und
abhängig von der Pufferkapazität der vorhande-
nen Puffersubstanzen

Sand: Bodenpartikel der Korngrößen 0,063 –
2,0 mm

Sander: keilförmige Fläche, die beim Abtauen
eines Gletschers durch das Schmelzwasser
gebildet worden ist, entsprechend ihrer Entfer-
nung vom Eisrand wurden gut sortierte Schotter
und Sande abgelagert

Sandstein: ein *Sedimentgestein*

Schichtstufe: Landschaftsform bzw. Gelän-
destufe, die durch das Übereinanderliegen von
unterschiedlich widerstandsfähigen Gesteinen
und der damit verschieden schnell wirkenden
Verwitterung entsteht

Schiefer: Gesteine, die sich leicht in dünne,
mehr oder weniger ebene Platten spalten las-
sen; durch Diagenese, d.h. sich unter Druck
vollziehende Umwandlung von Lockergesteinen
in Festgesteine, entstanden

Schiefergebirge: hauptsächlich aus *Schiefer*
bestehendes Gebirge

Schlag: Ackerstück, das einheitlich mit Acker-
kulturen bebaut wird und nicht durch Flurele-
mente unterbrochen ist

Schluff: Bodenpartikel der Korngrößen 0,002 –
0,063 mm

Schwarzerde: im kontinentalen Steppen- und
Waldsteppenklimate vor allem aus *Löss* entstan-
dener Boden mit einem mächtigen *Humus-
Horizont*, der durch das Zusammenwirken von
Witterungsverlauf, Steppenvegetation und
Tätigkeit der *Bodenorganismen* entstanden ist
und fruchtbare Ackerböden bildet

Schwermetalle: Gruppe von Elementen, die
je nach Konzentration für Mensch, *Flora* und
Fauna giftig sein können. Zu ihnen gehören
zum Beispiel Arsen, Blei, Cadmium, Quecksil-
ber und Zink.

Schwerspatabbau: Abbau des durchscheinenden,
farblosen, gelblichen oder bläulichen
Minerals Schwerspat, auch als Baryt bezeichnet

Sediment: *Verwitterungsprodukt*, das durch Wasser, Eis oder Wind schichtweise abgelagert wird und locker bis erdig sein kann

Sedimentation: Ablagerung von Gesteinsmaterial unterschiedlicher Größe

Sedimentgestein: entsteht durch die Verfestigung der abgelagerten lockeren *Sedimente* unter hohem Druck und hoher Wärme

Silikate: Mineralgruppe aller Verbindungen mit Siliziumoxid, die je nach Kristallstruktur z. B. inselartig oder schichtartig sein können. Zu ihnen gehören die Feldspäte, *Glimmer* und *Tonminerale*.

Solifluktion: hangabwärts gerichtetes Bodenfließen aufgrund von abwechselnd auftauendem und gefrierendem Bodenmaterial über ganzjährig gefrorenem Untergrund

Starkregen: große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit, die bei unbedecktem Boden zu *Erosion* führen können

Streu: auf dem Boden aufliegendes abgestorbenes organisches Material, wie Blätter, Nadeln, Zweige, das die oberste Lage über dem *Humus* bildet

Subterra: unterirdisch

Syrosem: *Rohboden* der gemäßigten Breiten

T technogenes Substrat: vom Menschen geschaffenes oder stark verändertes Ausgangsmaterial für die Bodenbildung, vor allem in städtischen Gebieten vorkommend

Terra Fusca: ockerfarbiger oder hellbrauner bis schwach rötlich brauner Boden auf *Kalkstein*, mit einem meist geringmächtigen, humosen Oberboden gefolgt von einem tonreichen, völlig entkalkten *Horizont*

Tertiär: geologische Formation des Erdzeitalters Känozoikums vor 70 – 1,7 Mio. Jahren, in dem weltweit Gebirgsbildungen stattfanden, z. B. der Alpen

Ton: Bodenpartikel der Korngrößen $< 0,002$ mm

Tonmineral: blättchenförmige Minerale mit unterschiedlichem Schichtaufbau, die erst durch den Prozess der *Verwitterung* durch Umwandlung oder durch Neubildung aus *Silikatgesteinen* entstehen. Sie sind für die Nährstoffversorgung von Böden wichtig, da sie an freien Ladungsplätzen *Ionen* austauschbar binden können.

Tonverlagerung: Transport von *Ton* im Boden in tiefere Bodenschichten durch *Lessivierung*

Torfabbau: Abbau des in *Mooren* entstehenden organischen Materials Torf

Treibhauseffekt: Effekt, der durch Gase (CO₂), Wasserdampf und Wolken in der Atmosphäre dafür sorgt, dass die kurzwellige Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche gelangt, und ein Teil der langwelligen Rückstrahlung in der Atmosphäre verbleibt

Tschernitza: tiefgründig humoser, kalkhaltiger *Auenboden* grauer Färbung

Tuff: verfestigte Lockermaterialien vulkanischen Ursprungs, deren Grundmasse vulkanische Asche darstellt

Tundra: baumarme bis baumfreie *Vegetationszone* der Subpolar- und Polargebiete gebildet aus Gräsern, Zwergsträuchern, Moosen und Flechten, gekennzeichnet durch Dauerfrostboden und kurze Wachstumsperioden.

U urban: städtisch, die Stadt betreffend

Urstromtal: Hauptabflussbahnen von Schmelzwässern der Gletscher, die im nord-mitteleuropäischen Tiefland verbreitet sind und etwa parallel zum Rand einer *Eisrandlage* verlaufen

V Vega: sandig-lehmiger bis lehmiger *Auenboden* ockerbrauner bis rotbrauner Färbung

Vegetation: Gesamtheit der Pflanzen, die ein bestimmtes Gebiet bedecken, wobei die natürliche und die aktuelle *Vegetation* unterschieden werden können

Verbraunung: *Verwitterung* eisenhaltiger *Silikatminerale*, wobei Eisenverbindungen gebildet werden, die eine braune bis rotbraune Färbung bewirken; eng verbunden mit der *Verlehmung*, die zusammen zu der Entwicklung von *Braunerden* führt

Vereisung: Bildung und Ausbreitung von Inlandeis und Gletschern

Verlandung: Auffüllen und Austrocknen von Gewässern durch Ablagerung von *Feinsedimenten*, organischen Materials und verstärkt auftretendem Pflanzenwachstum

Verlehmung: Prozess der Bildung von *Tonmineralen* bei der *Silikatverwitterung* unter feuchten Bedingungen, wobei Lehm als ein Gemisch aus Sand, *Schluff* und *Ton* entsteht

Versiegelung: Bedeckung der natürlichen Bodenoberfläche mit Gebäuden und Straßenbelägen; es kommt zum Verlust der Bodenfunktionen und die im Boden ablaufenden Prozesse werden gestört bzw. finden nicht mehr statt

Verwitterung: Zerkleinerung, Lösung oder Zerfall von Gesteinen und Mineralen an der Erdoberfläche in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen; es werden drei Formen der *Verwitterung* unterschieden: die physikalische, die chemische und die biologische *Verwitterung*

W Warmzeit: Epoche relativ warmen Klimas mit steigenden Temperaturen innerhalb eines *Eiszeitalters* wie zum Beispiel dem *Pleistozän*

Watt: zeitweise von Wasser bedecktes Land im Übergangsgebiet vom Festland zum Meer an Küsten mit Gezeiten, das im Tagesverlauf zweimal überflutet wird und aus Sand und Schlick besteht

Weichseleiszeit: jüngste *Kaltzeit* des *Pleistozäns* von 115.000 bis 10.000 Jahren vor heute, deren Eismassen in weiten Teilen des nordmitteleuropäischen Tieflandes die heutigen Landschaftsformen ausbildeten

Wiederbestockung: im Weinbau Anpflanzung von Weinstöcken auf brachliegenden Weinbergflächen



 www.facebook.com/umweltbundesamt.de

 www.twitter.com/umweltbundesamt

► **Diese Broschüre als Download**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bodenzustand-in-deutschland>