

**Die Umwelt in Europa:  
Der zweite Lagebericht**

**Bodendegradation (Kapitel 11)**

**European Environment Agency**



# 11. Bodendegradation

## Wichtigste Erkenntnisse

Derzeit sind in Westeuropa mehr als 300 000 Altlasten erfaßt, doch liegt die für Europa geschätzte Gesamtzahl noch weit höher.

Obwohl im Umweltprogramm für Europa dazu aufgefordert wurde, alle Verdachtsflächen ausfindig zu machen, liegt für viele Länder noch kein vollständiger Überblick vor. Das Ausmaß der Problematik läßt sich nur schwer beurteilen, da es bisher keine allgemeinverbindlichen Definitionen gibt. Die Europäische Kommission bereitet ein Weißbuch zur Frage der Haftung bei Umweltschäden vor; für daran anschließende Maßnahmen wird es sicherlich erforderlich werden, Definitionen zu vereinbaren. Die meisten westeuropäischen Staaten haben gesetzliche Rahmenregelungen erstellt, um künftige Unfälle zu verhindern und Altlasten zu sanieren.

In Osteuropa ist die Gefahr der Bodenkontamination im Umkreis ehemaliger militärischer Stützpunkte am größten. Die meisten Länder in dieser Region haben begonnen, die damit zusammenhängenden Probleme zu bewerten. Dennoch müssen zahlreiche Länder in Osteuropa zunächst den gesetzlichen und finanziellen Rahmen schaffen, der Voraussetzung für die Lösung der Altlastenproblematik ist.

Ein weiteres gravierendes Problem ist der Verlust an Boden durch Versiegelung, beispielsweise durch den Bau von Industrieanlagen und Verkehrsinfrastruktur, wodurch die Bodennutzungsmöglichkeiten künftiger Generationen beschnitten werden.

Die Bodenerosion nimmt weiter zu. Etwa 115 Mio. Hektar sind durch Wassererosion und 42 Mio. Hektar durch Winderosion gefährdet. Aufgrund der schwierigen Umweltbedingungen ist das Problem in der Mittelmeerregion am größten, doch auch in den meisten anderen europäischen Ländern gibt es Probleme. Vor allem in abgelegenen Gebieten verstärkt sich die Bodenerosion durch die Aufgabe landwirtschaftlicher Nutzflächen und durch Waldbrände. In vielen Gebieten mangelt es an strategischen Maßnahmen (wie z. B. Aufforstung) zur Bekämpfung der fortschreitenden Bodenerosion.

Nahezu 4 Mio. Hektar, vor allem im Mittelmeerraum und in den osteuropäischen Ländern, sind von Bodenversalzung betroffen. Hauptursachen sind die exzessive Nutzung der Wasserressourcen im Zusammenhang mit Bewässerungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, Bevölkerungswachstum, industrielle und städtische Entwicklung und zunehmender Tourismus in den Küstenregionen. Die Bodenversalzung führt in Ackerbaugebieten insbesondere zu geringeren Ernteerträgen oder sogar zu einem vollständigen Ernteausfall. In vielen Ländern gibt es noch keine Konzepte, um diesem Problem beizukommen.

Durch Bodenerosion und Bodenversalzung ist in den am meisten gefährdeten Regionen, insbesondere im Mittelmeerraum, die Gefahr der Wüstenbildung gestiegen. Bisher stehen nur wenige Informationen zu Ausmaß und Schweregrad der Desertifikation zur Verfügung; erforderlich sind weitere Arbeiten im Hinblick auf Präventionsstrategien. Dies könnte im Rahmen der UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung geschehen.

## 11.1 Einleitung

Wie in vielen Teilen der Welt verschlechtern sich auch in Europa die Böden als Folge menschlicher Aktivitäten wie Landwirtschaft, Industrie, Städtebau und Tourismus.

Der Boden zählt zu den erneuerbaren Ressourcen, doch die natürlichen Prozesse der Bodenbildung verlaufen sehr langsam. So kann es Tausende von Jahren dauern, bis sich durch übermäßige Beanspruchung oder auf andere Weise geschädigte Böden wieder vollständig erholt haben. Zwar sind die Bodenprobleme in Europa im allgemeinen weniger gravierend als in manch anderen Regionen des Erdballs, doch sind auch hier über weite Teile lokale Bodenkontaminationen, Versalzung, Verdichtung sowie Wasser- und Winderosion zu beobachten.

Ein Beispiel für das Tempo des irreversiblen Verlustes von Böden in Europa ist die städtebauliche Entwicklung während der siebziger Jahre, die dazu führte, daß täglich in Deutschland 120 ha, in Österreich 35 ha und in der Schweiz 10 ha landwirtschaftlich nutzbarer Flächen verloren gingen (Van Lynden, 1995).

In Westeuropa sind mehr 300 000 Verdachtsflächen ausgemacht worden. Nahezu 4 Mio. ha, vorwiegend in den Ländern des Mittelmeerraums und Osteuropas, sind von steigenden Salzkonzentrationen und Alkalinität betroffen. Europaweit sind etwa 115 Mio. ha durch Wassererosion und 42 Mio. ha durch Winderosion bedroht. Vor allem im Mittelmeerraum kommt es wegen der dort herrschenden störanfälligen Umweltbedingungen zur Wüstenbildung.

## 11.2 Altlasten

Der enorme Zuwachs an Abfällen und die breite Anwendung von chemischen Stoffen während der zurückliegenden 40 Jahre hat eine Vielzahl von Bodenproblemen mit sich gebracht. Die Hauptquellen der Bodenkontamination sind:

- unsachgemäße oder nicht genehmigte Entsorgung;
- unvorschriftsmäßiger Umgang mit gefährlichen Substanzen (d.h. Handhabungsverluste, unsachgemäße Lagerung);
- Stilllegung von Industrie-, Militär- und Bergbaustandorten;
- Unfälle.

Einige Beispiele für die Auswirkungen dieser Entwicklung werden in Kasten 11.1 geschildert.

### 11.2.1 Ausmaß der Problematik

Das Zahlenmaterial zur Altlastensituation in den einzelnen europäischen Ländern ist heterogen und nicht für eine zuverlässige oder einheitliche Aggregation geeignet. Einige EU-Mitgliedstaaten können keine Angaben für ihr gesamtes Territorium vorlegen, da die Koordinierung nur auf regionaler Ebene stattfindet (z. B. in Deutschland und Belgien). Ohne allgemeingültige Definitionen auf europäischer Ebene läßt sich die Altlastenproblematik jedoch nur schwer beurteilen. Da die EU in Erwägung zieht, sich an der Förderung von Sanierungsmaßnahmen zu beteiligen, sind allgemeinverbindliche Begriffsbestimmungen dringend erforderlich.

Ein Blick auf Tabelle 11.1, in der Daten zur Anzahl der festgestellten Altlasten und der altlastverdächtigen Flächen in 14 westeuropäischen Ländern und vier MOE-Staaten dargestellt sind, verdeutlicht das Ausmaß des Problems.

#### **Kasten 11.1: Altlasten und ihre Folgen - ausgewählte Fälle in Europa**

Österreich: Im Jahre 1993 stellte sich heraus, daß eine seit langem bestehende Anlage für Metallverarbeitung und -recycling im Bundesland Kärnten eine ernstzunehmende Gefahr für Gesundheit und Umwelt darstellte und umgehend entsprechende Maßnahmen in die Wege geleitet werden mußten. In der Anlage wurde seit ihrer Errichtung vor über 100 Jahren mit gefährlichen Stoffen gearbeitet. Besonders problematisch waren die hohen Schwermetallkonzentrationen im Grundwasser als Folge einer unzulänglichen Abwasserentsorgung sowie die Resorption von Schwermetallstaubpartikeln aus ungesicherten Ablagerungsplätzen. Die 1995 begonnene Sanierung wird bis 2002 andauern und etwa 37 Mio. ECU kosten (UBA, 1997).

Estland: Auf dem früheren sowjetischen Marinestützpunkt in Paldiski wurden zahlreiche brisante Gefahrenherde ermittelt, darunter ein ehemaliges Ausbildungszentrum und ein Torpedowerk. Im Hafengebieten entdeckte man Abfälle verschiedener Art und Schiffwracks. Zudem sind die Sedimente hochgradig radioaktiv kontaminiert. Im Hafengebiet lagern erhebliche Mengen unterschiedlicher Materialien, die auf Vorrat gehalten worden waren, insbesondere Kraftstoffe, Chemikalien und Torpedos. Die Gefahr einer radioaktiven Kontamination droht durch das U-Boot-Trainingszentrum, zu dem zwei Kernreaktoren, ein Kesselhaus und eine Abwasserkläranlage gehören. Allein die Kosten für Sofortmaßnahmen zur Demontage der Kernreaktoren sind auf 55 bis 90 Mio. ECU veranschlagt worden (UBA Berlin, 1997).

Finnland: Im Jahre 1987 wurden im südfinnischen Järvela hohe Konzentrationen (70 - 140 µg/l) von Chlorphenolen im Trinkwasser nachgewiesen. Daraufhin ermittelte man in den tiefen Grundwasserschichten zwischen der Wasserentnahmeanlage und einem Sägewerk, in dem Sperrholz, Spanplatten und Schnittholz produziert wurden, Chlorphenolkonzentrationen im Bereich von 56 bis 190 µg/l. Von den vierziger Jahren bis 1984 wurde zur Hemmung des Wachstums von Blaufäulepilzen in

Schnittholz überwiegend Tetrachlorphenol verwendet. Die Grundwasserbelastung ging auch in den nahegelegenen See über. Bei Personen, die Fische aus diesem See verzehrten, wurde ein signifikant höheres Risiko einer Erkrankung am Non-Hodgkin-Syndrom registriert (Lampi P., et al., 1992).

Norwegen: Im Jahre 1993 und in den Folgejahren zeigte sich, daß nahe dem Marinestützpunkt Hokonsvern in Bergen eine Fläche von annähernd 600 000 m<sup>2</sup> Sediment stark mit PCB, PAH und Schwermetallen (Quecksilber, Blei, Kupfer und Zink) kontaminiert war. Fische und Krebse wiesen hohe PCB-Belastungen auf, woraufhin empfohlen wurde, möglichst keine Fische und Schalentiere aus diesem Gebiet zu verzehren. Im Zuge der Sanierung sollen die Schadstoffbelastungen in dem betroffenen Gebiet bis 1998 halbiert werden. Die Beschränkungen zur Nutzung des Fischbestands gelten ab 1998 für weitere 10 Jahre (Forsvarets Bygningstjeneste, 1996).

Offenkundig befinden sich die meisten Länder in einem frühen Stadium der Altstandorterkundung und -erfassung. Nur wenige Länder, wie Dänemark, die Schweiz und Deutschland haben bisher mehr als zwei Drittel des vermuteten Gesamtumfangs an Verdachtsflächen lokalisiert.

In der Mehrzahl der osteuropäischen Länder gleichen die Probleme denen im Westen, insbesondere in Gebieten mit einer seit langem bestehenden Schwerindustrie oder ehemaligen Militärstandorten. Besondere Aufmerksamkeit gilt bislang der Beurteilung

**Tabelle 11.1 Verfügbare Daten zur Anzahl der festgestellten Altlasten und der Verdachtsflächen**

	Industriestandorte		Deponien		Militärgelände	Verdachtsflächen		Altlasten	
	aufgegeben /	in Betrieb	aufgegeben /	in Betrieb	erfaßt	geschätzte Zahl	insgesamt	erfaßt	geschätzt
Albanien	•	•	•	•				78	
Österreich	•	•	•	•	•	28 000	~80 000	135	
Belg/Flan.	•	•	•	•	•	4 583	~9 000		
Belg/Wall.	•	•	•	•		1 000	5 500	60	
Dänemark	•	•	•		•	37 000	~40 000	3 673	
Estland	•	•	•	•	•	~755			
Finnland•	•		•	•	•	10 396	25 000	1 200	
Frankreich	•	•	•	•	•		300 000	895	
Deutschland	•	•	•			•	191 000	~240 000	
Ungarn	•	•	•	•	•				600

Italien	•	•	•	•		8 873		1 251
Litauen	•	•	•	•	•	~1 700		
Luxemb.			•	•		616		175
Niederl.	•	•	•	•	•		110 000-120 000	
Norwegen	•	•	•	•	•	2 300		
Spanien	•	•	•	•		4 902		370
Schweden	•	•	•	•	•	7 000		2 000
Schweiz	•	•	•	•	•	35 000	50 000	~3 500
Vereinigtes Königreich							~100 000	~10 000

• Es wurden Standorte der entsprechenden Kategorie ermittelt  
Quelle: EUA - ETC/Bodenschutz, 1997

**Tabelle 11.2 Bewertung ehemaliger sowjetischer Militärstützpunkte**

Land	Ehemalige Sowjet. Stützpunkte	Fläche (ha)	System. Abschätzung umfaßt	Andere Stützpunkte
Tschech. Rep.	70		alle Stützpunkte	2 400 nationale
Estland	1 565	81 000	alle Stützpunkte	
Ungarn	171	46 000	alle Stützpunkte	100 nationale
Lettland	850	100 000	alle Stützpunkte	
Litauen	275	67 762	alle Stützpunkte	
Polen	59	70 000	alle Stützpunkte	
Russ. Föd.		12 800 000	ausgewählte Stützpunkte	
Slowakei	18		ausgewählte Stützpunkte	

**Quelle:** UBA Berlin, 1997

von Umweltschäden auf früheren sowjetischen Militärstützpunkten. Einen Überblick über die diesbezüglich laufenden Aktivitäten vermittelt Tabelle 11.2. Im Kasten 11.1 wird ein typisches Altlastenproblem auf einem ehemaligen Marinestützpunkt in Estland beschrieben.

In Tabelle 11.3 sind Informationen zu wichtigen schadstoffverursachenden Aktivitäten und Umweltgiften aus 11 osteuropäischen Ländern zusammengefaßt. In der Mehrzahl dieser Länder stehen bei den umweltschädlichen Stoffen Erdölprodukte und Schwermetalle und bei den Quellen Militärgelände und die Erdölindustrie an erster Stelle.

### **11.2.2 Auswirkungen**

Die Kontamination von Böden kann sich in unterschiedlicher Weise auf die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Wirtschaft auswirken. Dies kann geschehen durch:

- Schadstoffeintrag in die Bodenoberfläche, Grundwasser oder Oberflächenwasser;
- Aufnahme von Schadstoffen durch Pflanzen;
- direkter Kontakt des Menschen mit kontaminiertem Erdreich;
- Einatmen von Staubpartikeln oder flüchtigen Substanzen;
- Brände oder Explosionen von Deponiegasen;
- Korrosion unterirdischer Rohrleitungen und anderer Bauelemente aufgrund von kontaminierten Auswaschungen oder nachteilige Veränderung der Bodenbeschaffenheit;
- Bildung von sekundären Strömen gefährlicher Abfälle;
- Probleme im Hinblick auf die vorgesehene Flächennutzung.

#### *Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwasser*

Wasserlösliche und flüchtige Schadstoffe im Erdreich können mittels Austauschmechanismen zwischen Bodenporenwasser und Grundwasser übertreten. In Abhängigkeit von den Schadstoffen, den örtlichen Bodenverhältnissen, dem Zielrezeptor bzw. -ökosystem und dem Klima fallen die Mobilitäts- und Expositionsraten sehr

Tabelle 11.3 Wesentliche umweltschädigende Aktivitäten und Stoffe in 11 MOEL

Wesentliche umweltschädigende Aktivitäten Schadstoffe			Wesentliche		
Land	Branche	Abfallentsorgung	Militärgelände		
Albanien	Erdölbetriebe, Chemieindustrie (PVC)	Ablagerungen chemischer und metallurgischer Abfälle			Erdölprodukte, PVC, Schwermetalle
Bosnien- Herzegowina			Minenfelder, Kriegshandlungen		Schwermetalle
Tschech. Republik			Leckagen aus Kraftstofftanks	alle Arten von Kontaminationen	
Estland	Ölschieferindustrie		Flugpisten, Schiffswracks und Tanklager auf ehemaligen sowjet. Stützpunkten		Phenole, Kraftstoffe allgemein
Ungarn Schwer-	Gaswerke, Erdölindustrie organische Verbindungen		ehem. sowjet. Stützpunkte		Erdölprodukte, metalle, flüchtige allgemein
Lettland flüchtige Verbindungen,	Benzinbeförderung per Straße und Bahn		ehem. sowjet. Stützpunkte allgemein		Schwermetalle, organische Erdölprodukte
Litauen Schwermetalle bakteriologische diverse Chemikalien	Erdölindustrie, Pestizidlager- stätten	Deponien allgemein	ehem. sowjet. Stützpunkte allgemein		Erdölprodukte, organische Abfälle, und
Polen			Kraftstofflager auf Militär- gelände		Erdölprodukte
Rumänien		Ablagerungen gefährlicher Abfälle			



Russ. Föderation			ehem. sowjet. Stützpunkte allgemein	Erdölprodukte, PCB
Slowakei Schwermetalle	Emissionen aus der Industrie	Müllhalden	Austritt von Kraftstoff auf Militär- gelände	Erdölprodukte,

Quelle: EUA - ETC/Bodenschutz, 1997

**Tabelle 11.4 Eigenschaften typischer Verbindungen an Altlastenstandorten**

Verbindung	Toxikologie Haupteintragsquellen		Mobilität u. Aufnahme	Hauptanwendungsgebiete	
Benzol Industrie	T	C	hochflüchtig und wasserlöslich, Grund- wassergefährdung, Gefahr einer oralen Ingestion und Inhalation	Synthese aromatischer Verbindungen	chemische
Trichlor- ethylen Reinigung	Xn	C		wichtiges mittel	Entfettungs- chemische von Textilien
Phenol Industrie,	T			Synthese organischer Verbindungen erdölverarbeitende Industrie Gaswerke	chemische
Cadmium Bergbaustandorte,		C	geringe Wasser- löslichkeit, kann in Pflanzen metabolisiert und akkumuliert werden, orale Ingestion	Batterien, schutz, Farbstoffe für Kunststoffe	Korrosions- Deponien
Blei	T		geringe Wasser- löslichkeit, Inhalation von bleihaltigem Staub	Autobatterien	Deponien

---

**Anmerkung:** Abkürzungen: T = Toxisch, Xn = Geringe Toxizität, C = Krebserrregend **Quelle:** ROEMPP, 1996; EUA-ETC/Boden, 1997

unterschiedlich aus. Viele Arten reagieren empfindlicher auf Schadstoffe als der Mensch und erleiden bei bestimmten Umweltgiften schon Beeinträchtigungen, wenn die Konzentrationen unterhalb der Trinkwassergrenzwerte liegen, die als unbedenklich für den menschlichen Verzehr gelten. In Tabelle 11.4 sind Angaben zur Mobilität einiger maßgeblicher Schadstoffe sowie zu den primären Risiken aufgeführt.

Bei den mobilen Bodenschadstoffen handelt es sich mehrheitlich um Chlorkohlenwasserstoffe und Erdölprodukte. Andere Schadstoffe wie Schwermetalle sind weniger beweglich, können jedoch unter bestimmten Umständen mobilisiert werden: Blei etwa ist in einer sauren Umgebung mobiler als in einem neutralen oder alkalischen Umfeld. Letztlich jedoch können alle Schadstoffe in tiefere Grundwasserschichten gelangen, aus denen in einer Vielzahl von Ländern das Trinkwasser entnommen wird (siehe Abschnitt 9.2).

Häufig mußten Wasserentnahmeanlagen aufgrund einer Schadstoffbelastung stillgelegt werden. Über die Auswirkungen von Altlasten auf das Trinkwasser liegen allgemeine Informationen nur bruchstückhaft vor. In vielen Gebieten Osteuropas sind die Trinkwasserressourcen durch den Austritt von Kraftstoff auf ehemaligem Militärgelände beeinträchtigt. Wie sich im Rahmen einer dänischen Erhebung zur Stilllegung von Entnahmeanlagen herausstellte, wurden von 600 Brunnen 17 % wegen einer Bodenkontamination durch industrielle Aktivitäten, 60 % als Folge landwirtschaftlicher Tätigkeit und 23 % auf Grund einer Übernutzung des Grundwassers geschlossen. Dabei standen in ländlichen Gebieten Nitrate im Vordergrund, im städtischen Raum hingegen organische Lösungsmittel. (Siehe auch Kasten 11.1 - Finnland).

#### *Direkte Exposition*

Eine veränderte Flächennutzung kann zu einer erhöhten Exposition gegenüber kontaminiertem Boden führen. In der Vergangenheit wurden viele ehemalige Industriestandorte und Deponien später anderweitig bebaut, z. B. mit Wohnungen, Schulen und Erholungszentren. Das Risiko einer Resorption über den Verdauungstrakt oder eines Hautkontakts wächst mit der Häufigkeit der Exposition und ist abhängig von der Art der Verunreinigung und der damit verbundenen Toxizität. Am anfälligsten und stärksten exponiert sind Kinder auf Spielplätzen.

Bei flüchtigen Substanzen und Bodenpartikeln (im Staub) aus kontaminierten Standorten besteht die Gefahr, daß sie eingeatmet werden. Typische Quellen von flüchtigen Substanzen sind Standorte, an denen früher Erdöl verarbeitet oder gelagert wurde, während Partikel häufig von Deponien herrühren, in denen schwermetallhaltige Abfälle aus nahegelegenen Bergbau- und Metallverarbeitungsstandorten abgelagert wurden (siehe Kasten 11.1 - Österreich).

Weitere Risiken sind Explosionen infolge des Methangehalts in aufgelassenen Deponien und die Exposition gegenüber Tetrachlorethylen aus Anlagen zur chemischen Kleiderreinigung.

Zu den Wirkungen einer direkten Expositionen liegen kaum Mengenangaben vor, da Effekte einer Bodenresorption oder eines Hautkontakts in den meisten Fällen weder sofort sichtbar noch meßbar sind und über die Dosis-Wirkungs-Beziehungen nur wenig bekannt ist.

#### *Anreicherung in Nahrungsmitteln*

Schwermetalle, namentlich Cadmium und Kupfer, können sich in großem Umfang in Pflanzen anreichern. Dies geschieht vor allem bei der Rekultivierung und landwirtschaftlichen Nutzung von aufgelassenen Deponien.

Durch die Verunreinigung von Oberflächenwasser können sich Schadstoffe in Fischen anreichern. Speziell chlorierte organische Verbindungen gehen rasch in das Fettgewebe von Fischen über (Kasten 11.1 - Norwegen), ebenso bestimmte Metalle wie Quecksilber.

### **11.2.3 Sanierungsmaßnahmen** *Konzepte und Rechtsgrundlagen*

In den meisten europäischen Ländern ist die Zuständigkeit für die Bewältigung von Altlasten auf der regionalen Ebene angesiedelt. Seit einigen Jahren wächst das Bewußtsein für die von solchen Flächen ausgehenden Gefahren, und einzelne Länder haben nationale Programme aufgestellt, um ein umfassendes Managementkonzept zu schaffen.

Die Mehrheit der Länder Westeuropas verfügt seit kurzem über gesetzliche Rahmenbestimmungen, mit denen künftige Probleme vermieden und vorhandene Belastungen beseitigt werden sollen. Beim Management kontaminierter Flächen spielen verschiedene gesetzliche Regelungen eine Rolle, deren eigentliche Themen Abfälle, der Schutz des Grundwassers, der Schutz der Umwelt im allgemeinen oder auch der Bodenschutz sind. Nur wenige Länder haben spezielle Bestimmungen für die Sanierung erlassen, nämlich Belgien/Flandern, Dänemark, die Niederlande, die meisten deutschen Bundesländer und die Schweiz. Einige Länder arbeiten mit Umweltaktionsplänen (z. B. Spanien, Schweden und Finnland), da dort einschlägige Rechtsvorschriften entweder nicht existieren oder in Vorbereitung sind.

Im MOE-Raum kam und kommt der Bewertung der Umweltschäden auf ehemaligen sowjetischen Stützpunkten höchste Bedeutung zu. Ausgehend davon wurden bereits eine Reihe einzelstaatlicher Programme in die Wege geleitet. Das Gros der Länder regelt Fragen des Bodenschutzes und der Bodensanierung im Rahmen der allgemeinen Umweltschutzvorschriften. Einige Staaten haben spezifische Projekte in Angriff genommen. So hat beispielsweise Ungarn ein nationales Sanierungsprogramm gestartet, während die Untersuchung sowjetischer Militäraltlasten seit 1991 auf der Basis eines Schwerpunktprogramms erfolgt. In Litauen werden Deponien seit 1991 im Zuge eines gemeinsamen Vorhabens mit den litauischen Behörden und der dänischen Umweltschutzagentur systematisch erfaßt und klassifiziert. Im Rahmen des PHARE-Programms der EU wurde in Albanien ein nationales Abfallbewirtschaftungsprogramm durchgeführt und 1996 abgeschlossen.

#### *Technologie*

Die Sanierung erfolgt zumeist mit Hilfe herkömmlicher technischer Verfahren, z. B. durch Umspundung des kontaminierten Standorts oder auch durch den Aushub von Boden und dessen Wiederablagerung an anderer Stelle (Visser et al., 1997). Eine in vielen Ländern gebräuchliche Methode ist die Abdeckung des Standorts mit relativ undurchlässigem Material, um einen Hautkontakt zu verhindern und das Auswaschen in das Grundwasser zu reduzieren. Die Grundwassersanierung geschieht in aller Regel mittels Abpumpen und Vor-Ort-Behandlung des Wassers. Fortgeschrittenere Technologien wie In-situ-Verfahren kommen nur selten zum Einsatz, da keine gesicherten Erkenntnisse über die Erfolgsaussichten bestehen.

Bei der am weitesten verbreiteten Vorgehensweise, dem Aushub von Boden und dessen Ablagerung außerhalb des ursprünglichen Standorts, entstehen gewaltige Mengen von Abfällen, die in der Regel auch gefährlich sind. Angesichts der großen Zahl kontaminierter Flächen müssen alternative Sanierungstechniken entwickelt werden, um die Entstehung von Sekundärabfällen, die das Expositionsrisiko noch erhöhen können, einzudämmen. So wurde z. B. in Deutschland ein Ansatz konzipiert, demzufolge der Aushub in verschiedene Wiederverwendungskategorien eingestuft wird (Hämman et al., 1997).

Abpump- und Behandlungsverfahren haben sich vielfach als nur bedingt tauglich zur Sanierung von belastetem Grundwasser erwiesen, zumal wenn organische Lösungsmittel wie Tetrachlorethylen mit im Spiel sind. In der Erwartung, die Mängel der herkömmlichen Methoden teilweise beheben zu können, liegt das Hauptaugenmerk in Forschung und Entwicklung jetzt auf neuen In-situ-Techniken wie Altlastenbeseitigung auf biologischem Wege, Lufteinleitung und Bodenerwärmung.

#### *Kosten*

Ein großer Teil der europäischen Staaten hat den Versuch unternommen, die Sanierungskosten bezogen auf die nationale Ebene zu berechnen (Tabelle 11.5). Dabei gingen sie jedoch von unterschiedlichen Annahmen aus: Einige haben die Sanierungskosten insgesamt ermittelt, andere hingegen nur für bestimmte dringliche Fälle. Die MOEL beschränken sich auf die Kosten für die Beseitigung von Altlasten auf früheren sowjetischen Militärstützpunkten. Die vorliegenden Zahlen sind zwar mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, doch vermitteln sie ein ungefähres Bild vom Ausmaß des Problems und den damit verbundenen gewaltigen Kosten.

#### *Finanzierung*

In Westeuropa finanzieren die Staaten Sanierungsmaßnahmen mehrheitlich aus ihrem allgemeinen Steueraufkommen. Österreich, Belgien/Flandern, Finnland, Frankreich und Ungarn haben spezielle Steuern für Abfälle bzw. Kraftstoff eingeführt, um die öffentlichen Mittel für die Altlastensanierung aufzustocken (Visser et al., 1997). Im Vereinigten Königreich wurde eine staatliche Organisation zur Baulanderschließung eingerichtet, die niedrig verzinsten Darlehen für Sanierungsmaßnahmen vergibt, um so die erneute Nutzung brachliegender, verlassener und kontaminierter Flächen und Gebäude zu fördern (English Partnerships, 1995). Besondere Initiativen bestehen u. a. in Gestalt von Übereinkünften zwischen der Wirtschaft und staatlichen Stellen. So hat sich etwa in den Niederlanden die Wirtschaft bereit erklärt, Industriestandorte auf eigene Kosten zu sanieren, und die Regierung hat ihrerseits zugesagt, über einen Zeitraum von 25 Jahren nicht einzugreifen (Ulrici, 1995). In Dänemark, den Niederlanden, Schweden und Finnland hat sich die Erdölindustrie verpflichtet, Altlasten zu beseitigen, wobei die Finanzierung über einen geringfügigen Aufschlag auf den Benzinpreis erfolgt.

Im mittel- und osteuropäischen Raum stehen in der Tschechischen Republik, Estland, FYROM, Litauen, Bulgarien und der Slowakei Mittel eigens für Umweltzwecke bereit, die zum Teil für Maßnahmen zur Altlastenbeseitigung eingesetzt werden. In der Tschechischen Republik werden im Zuge von Privatisierungsaktivitäten Bodensanierungsmaßnahmen auf früheren Militärstandorten finanziert.

#### *Vorbeugen oder sanieren?*

Die europäischen Staaten verfügen zumeist über ordnungspolitische Rahmenbedingungen, mit denen der Entstehung neuer Gefahrenherde vorgebeugt werden soll. Doch die Altlasten aus der Vergangenheit sind noch immer nicht beseitigt, und eine immense Zahl von Flächen muß noch erkundet, bewertet und saniert werden. Dieser Prozeß wird mit einem erheblichen Aufwand an Finanzmitteln und Fachleuten verknüpft sein. Viele Sanierungen werden möglicherweise wegen fehlender Gelder nicht zustande kommen.

Zur Vermeidung künftiger Altlasten kommt es vor allem darauf an, die Bodenkontamination einzuschränken oder ganz zu vermeiden, z. B. im Wege verbesserter Abfallbewirtschaftungs- und -behandlungsverfahren, einer wirksameren Kontrolle

**Tabelle 11.5 Geschätzte Sanierungskosten nach Staaten bzw. Regionen**

Land	Kosten Bezugsjahr (in Mio. ECU)	Einzelangaben/Gesamtkosten
Österreich 1994	1 500	300 ausgewählte Schwerpunktfälle
Belgien - Flan. 1997	6 900	Sanierungskosten insgesamt
Tschech. Rep. 1997	70 - 185	Sanierung der ehemaligen sowjetischen Stützpunkte
Dänemark 1996	1 138	geschätzte Sanierungskosten insgesamt
Estland 1997	4 400	Sanierung der ehemaligen sowjetischen Stützpunkte

Finnland 1 000  
1997

1 200 ausgewählte Schwerpunktsstandorte

---

D/Bayern  
1997

2 500

geschätzte Sanierungskosten insgesamt

---

D/Sachsen-A.  
1995

1 000 - 1 300

großflächige Sanierungen

---

D/Schl.-Hol.  
1995

100

26 Schwerpunktsstandorte

---

D/Thüringen  
1995

178

3 Großvorhaben

---

Ungarn  
1998

440

20 % von 600 ermittelten Altlastenstandorten

---

Italien  
1997

510

betrifft 1 250 ausgewählte Schwerpunktsstandorte

---

Litauen  
1997

970

Sanierungskosten insgesamt

---

Niederlande  
1995

23 000 - 46 000

geschätzte Sanierungskosten insgesamt

---

Norwegen  
1997

375 - 500

700 ausgewählte Schwerpunktsstandorte

---

Polen  
1997

2 100

Sanierung der ehemaligen sowjetischen Stützpunkte

---

Russ. Föd.  
1997

34

pro Jahr für Ad-hoc-Maßnahmen auf ehem.  
sowjet. Stützpunkten

---

Slowakei  
1997

40

9 als vorrangig eingestufte Militärstützpunkte

---

Spanien  
1996

800

Sanierung von 38 Mm<sup>3</sup> Erdreich und 9 Mm<sup>3</sup> Grundwasser

---

Schweden  
1996

3 532

geschätzte Sanierungskosten insgesamt

---

Schweiz	3 000 - 3 600	geschätzte Sanierungskosten insgesamt
1997		

---

Vereinigtes Königreich	13 000 - 39 000	betrifft 10 000 ha kontaminierter Flächen
1994		

---

**Quelle:** EUA-ETC/Bodenschutz, 1997; UBA Berlin, 1997

der Einträge aus industriellen Prozessen und besseren Sicherheitssystemen für die Unfallprävention.

### 11.3 Bodenerosion durch Wasser und Wind

In vielen Teilen Europas ist die Erosion in hohem und noch zunehmenden Maße Ursache für die Degradation der Böden (Ernstsen et al., 1995; Blum, 1990). Die Intensivierung der Landwirtschaft während der vergangenen 50 Jahre hat vor allem in Westeuropa wesentlich zu dieser Entwicklung beigetragen. Vor allem die gestiegene Mechanisierung, das Pflügen in Hanglagen, der Ausfall von Fruchtfolgen in einigen Landbausystemen, Überweidung und Bodenentwässerung haben sich spürbar ausgewirkt. Weitere Ursachen sind die Beseitigung von Windschutzhecken, Begrenzungen und Zäunen zur Vergrößerung der Felder sowie für einen effizienteren Ackerbau.

In gewissem Umfang tritt diese Problematik in allen europäischen Staaten auf (Van Lynden, 1995). Etwa 115 Mio. ha bzw. 12 % der gesamten europäischen Landfläche sind von Wassererosion und ca. 42 Mio. ha bzw. 4 % von Winderosion betroffen (Oldeman et al., 1991) (Karte 11.1). In der gesamten Russischen Föderation, eingeschlossen der asiatische Teil, haben 15 % aller bewässerten Flächen und 16 % der trockengelegten Flächen durch eine unsachgemäße Wasserwirtschaft empfindliche Schäden erlitten (Staunässe, Versalzung, Erosion) (Ministerium für Naturschutz der Russischen Föderation, 1996). Noch gravierender ist die Situation im Mittelmeerraum, wo die Wassererosion die Hauptrolle spielt.

Durch einen einzigen Sturm können infolge der Wassererosion in der Mittelmeerregion je Hektar 20 bis 40 t Erdreich, im Extremfall sogar mehr 100 t/ha verloren gehen (Morgan, 1992). Diese Gefahr wird durch bestimmte typische Merkmale der Region noch verschärft, z. B.:

- steile Hanglagen;
- regelmäßige wolkenbruchartige Regenfälle;
- Rückgang der Vegetationsdecke durch intensive Landwirtschaft, nicht nachhaltige Forstwirtschaft, Überweidung, Brände und andere Vorgänge (z. B. die industrielle und städtische Entwicklung);
- Überangebot an mageren Böden, die besonders erosionsgefährdet sind;
- zeitliches Auseinanderfallen der Regen- und Vegetationsperioden;
- Abnahme der extensiven, nachhaltigen Landwirtschaft;
- Aufgabe von Flächen auf Grund sozioökonomischer Veränderungen.

Wegen der empfindlichen Böden ist die Wassererosion in einigen Mittelmeergebieten mittlerweile unumkehrbar geworden (Sanroque, 1987; Rubio, 1987; Van Lynden, 1995). In anderen Gegenden Europas (wie Island, Irland oder der Russischen Föderation) kommt der Wassererosion auch lokal eine Bedeutung zu, wenn die Kombination einzelner Faktoren wie Klima, Bodenbeschaffenheit und Landbaupraxis den Bodenverlust begünstigen. Durch die Überweidung des Torflands kommt es in Irland bei heftigem Regen und Wind zur Erosion des Torfs und anderer Stoffe. Die nahezu komplette Zerstörung der Wälder in der Vergangenheit und die Überweidung von Hanglagen auf vulkanischem Gestein in Island haben bei starkem Regen bzw. Wind und bei Überschwemmungen, die durch das Abschmelzen von Gletschern bei Vulkanausbrüchen bedingt sind, ein hohes Tempo der Bodenerosion zur Folge. Auf diese Weise sind bereits weite Teile des Landes in Mitleidenschaft gezogen worden.

Für die Anfälligkeit von Boden gegenüber Winderosion sind ähnliche Faktoren ausschlaggebend (Prendergast, 1983). Auch der Zustand des Erdreichs nach exzessiver Entwässerung trägt in der Regel

dazu bei (Van Lynden, 1995). In Europa führt Winderosion überwiegend zu einem Verlust an Ackerkrume (Van Lynden, 1995).

Die geographische Verteilung der Winderosion in Europa (Karte 11.2) läßt darauf schließen, daß physikalische Faktoren, insbesondere das Klima, einen größeren Einfluß ausüben als menschliches Handeln, das in der Regel hauptverantwortlich für die Wassererosion ist. Die großflächige und schwerwiegende Winderosion in Südosteuropa, vor allem in der osteuropäischen Ebene, ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf das Zusammenspiel des trockenen Kontinentalklimas und empfindlicher Böden mit ungeeigneten Ackerbaumethoden zurückzuführen (Karavayeva et al., 1991). Auch in bestimmten Gegenden Lapplands, wo gefährdete Böden besonders von menschlichen Aktivitäten wie Überweidung durch Rentierherden, Forstwirtschaft oder Tourismus betroffen sind, verursacht die Winderosion Probleme.

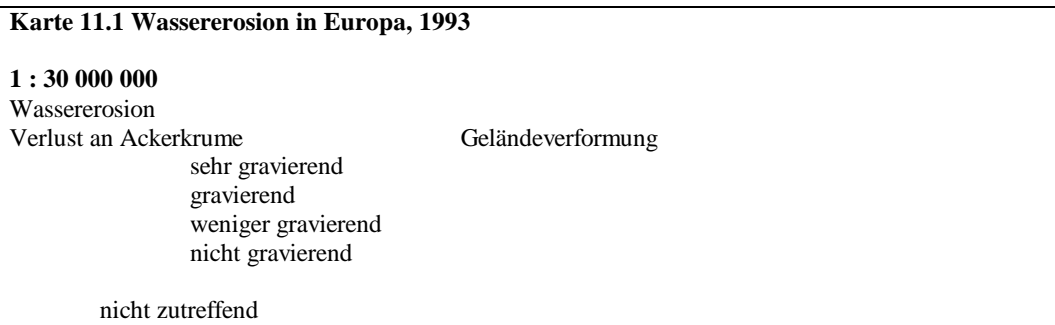
Die Winderosion kann zudem eine Reihe indirekter Wirkungen hervorrufen, z. B.:

- Überdeckung von unterhalb erodierter Flächen gelegenen Ackerland;
- Kontaminierung von Oberflächen- und Grundwasser durch Sediment und chemische Stoffe (Düngemittel und Pestizide);
- Abnahme der Grundwasserleiter;
- Ablagerung von erodiertem Material in Flußbetten, Seen oder künstlichen Staubecken, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen steigt und sich der pH-Wert von Seen zu Lasten des Fischbestands verändert;
- Eutrophierung angrenzender Ökosysteme;
- Beschädigung der Infrastrukturen wie Straßen, Eisenbahnstrecken und Freileitungskabeln.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Triebkräfte für die Wasser- und Winderosion ist in Kasten 11.2 zu finden.

#### 11.4 Wüstenbildung

Gemäß der in Rio de Janeiro 1992 vereinbarten und von der UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung angenommenen Definition ist unter Wüstenbildung “die Schädigung des Bodens (Degradation) in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Regionen aufgrund verschiedener Einflußfaktoren, darunter auch Klimaschwankungen und menschliches Handeln” zu verstehen (UNCCD-Interimssekretariat, 1997). Von dieser allmählichen und fortschreitenden Verminderung der Fähigkeit des Erdreichs, Pflanzen- und Tiergemeinschaften, Land- und Forstwirtschaft zu tragen, sind einige südliche



**Quelle:** ISRIC

Teile Europas bedroht, z. B. Spanien, Griechenland, Portugal, Italien, Frankreich (Korsika), Malta und Zypern. In aller Regel haben die betroffenen Gebiete mit einer eingeschränkten Trinkwasserversorgung, räumlich und zeitlich stark schwankenden Niederschlagsmengen und immer wiederkehrenden Dürreperioden zu kämpfen.

Ausgedehnte Flächen im Mittelmeerraum, die seit langem bebaut werden, sind so schwer geschädigt, daß ein rentabler Anbau nicht mehr möglich ist. Die Folgen sind Flächenstillegungen und Entvölkerung.

Die Auswirkungen der Wüstenbildung in Süd- und Südosteuropa sehen im wesentlichen wie folgt aus:

- Verminderung der Fähigkeit von Böden, sich von natürlichen und anthropogenen Belastungen zu erholen;
- Rückgang des Vegetationswachstums;
- Erschöpfung von Oberflächen- und Grundwasserressourcen infolge eines beschleunigten Oberflächenabflusses sowie erhöhte Anfälligkeit gegenüber Degradierungsprozessen (Kontamination, Versauerung, Versalzung);
- Beeinträchtigung der Landschaftsqualität;
- Verminderung der biologischen Vielfalt.

Indirekt kann die Wüstenbildung auf das regionale Klima und den Vogelzug einwirken.

#### **Karte 11.2 Winderosion in Europa, 1993**

1 : 30 000 000

Winderosion

Verlust an Ackerkrume

sehr gravierend

gravierend

weniger gravierend

nicht gravierend

nicht zutreffend

**Quelle:** ISRIC

Die Ursachen für die Wüstenbildung in Süd- und Südosteuropa sind in vielerlei Hinsicht ähnlich gelagert wie bei der Bodenerosion. Hauptauslöser sind im allgemeinen die Erosion selbst sowie die physikalische und chemische Degradation von Bodeneigenschaften als Ergebnis anthropogener Belastungen im Verbund mit klimatischen Faktoren. Allerdings kann die Situation nicht einfach auf die technische Beanspruchung der Umwelt in der jüngeren Vergangenheit zurückgeführt werden, auch wenn die Anzeichen für deren Intensivierung in den letzten Jahrzehnten nicht zu übersehen sind (Pérez-Trejo, 1992). Die Grundprobleme liegen in der langfristigen und wiederholten Zerstörung der Vegetation durch den Menschen und Naturgewalten wie Brände, unangepaßte Flächenbewirtschaftung, Überweidung, Übernutzung von Wäldern und Landressourcen sowie in letzter Zeit zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft, Ausbeutung von Mineralressourcen, Urbanisierung, übermäßigem Tourismus und demographischen Verschiebungen.

Ebenfalls von Bedeutung ist der große Wasserbedarf für eine Vielzahl gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Aktivitäten (siehe Abschnitt 9.3). Durch den starken Verbrauch ist der Wasserspiegel dramatisch gesunken, wodurch die Bewässerungskosten für landwirtschaftliche Nutzflächen steigen. Werden diese Flächen aufgegeben, weil sich die Bewirtschaftung nicht mehr lohnt, begünstigt dies das Eindringen von Meereswasser, was wiederum eine Minderung der Bodenfruchtbarkeit zur Folge hat (siehe Abschnitt 11.5). Derartige Bedingungen herrschen inzwischen im Gebiet des früheren Karla-Sees (Thessalien, Griechenland) und auch nahe der Ost- und Südküste Spaniens. Dort ist durch die Überbeanspruchung der Grundwasserleiter der Grundwasserstand unter den Meeresspiegel abgesunken, so daß Salzwasser eindringen kann.

#### **11.5 Versalzung**

Die Verwendung von Salzwasser zur Bewässerung schadet Boden und Pflanzen. Reichern sich Salze im Erdreich an, so werden die Absorptionsprozesse der Pflanzenwurzeln gehemmt. Dadurch gehen die Anbauerträge drastisch zurück, obwohl der Boden bewässert wurde. In Naturgebieten tritt an die Stelle des ursprünglichen Bewuchses eine Vegetation, die gegenüber hohen Salzgehalten tolerant ist. Diese



Pflanzen sind gemeinhin von geringem wirtschaftlichen Wert und eignen sich bestenfalls als Tierfutter u. ä.

Im Boden wirkt sich eine Versalzung langsamer aus als in der Vegetation, doch die Folgen können einschneidender und gefährlicher sein. Vor allem in Gebieten mit unzureichendem Abfluß und hohem Feuchtedefizit läßt wiederholtes Wässern mit Salzwasser die Salzkonzentrationen in der Salzlösung ansteigen. Im fortgeschrittenen Stadium kommt es, besonders in Verbindung mit einer spürbaren Degradation der Bodenstruktur, zur Alkalisierung.

Aus gesamt-europäischer Sicht sind in erster Linie die Böden im Mittelmeerraum und in Südosteuropa (Ungarn, Rumänien) von Versalzungs- und Alkalisierungsprozessen

<b>Kasten 11.2: Hauptursachen für Wasser- und Winderosion in Europa</b>
<i>Intensivierung des Ackerbaus</i> Durch nicht nachhaltige Landbautechniken an Hanglagen, z. B. Fehlen wirksamer Erosionsschutzmaßnahmen, Anbausysteme, bei denen die Bodenoberfläche während der Regenzeiten brach liegt, unzulängliche Bewässerungssysteme, Abbrennen von Pflanzenresten und Monokultur zu Lasten der Böden, ist die Bodenerosion immer rascher vorangeschritten. Eine Bearbeitung senkrecht zur Hangneigung erhöht den Oberflächenabfluß und dessen Sedimentfracht.
Der Einsatz schwerer Maschinen kann eine Bodenverdichtung bewirken, die die Erosionsanfälligkeit des Bodens erhöht. Durch Bodenbearbeitung im Übermaß oder auch bei geringer Bodenfeuchte kann sich die Bodenstruktur verschlechtern und damit die Erosionsanfälligkeit zunehmen. Überweidung führt u. U. zu einer Beschleunigung der Erosion, da die schützende Vegetation ausgedünnt wird und der Gehalt an organischer Bodensubstanz im Boden abnimmt. In Skandinavien steigt durch das Herbstpflügen die Erosionsgefahr bei Niederschlägen und Schneemelzen.
<i>Stillegung von Anbauflächen</i> Die Stillegung sensibler Ackerbauflächen, der eine Überweidung folgt, ist der erste Schritt auf dem Weg zu einer folgenschweren Erosion. Zu einem nahezu sprunghaftem Anstieg der Bodenerosion kommt es beim Abrutschen von Terrassen. In der Mittelmeerregion liegen bereits ausgedehnte Anbauflächen in entlegenen Gebieten brach (Sanroque, 1987; Rubio, 1995).
<i>Entwaldung</i> Die Abholzung von Wäldern kann dazu führen, daß sich Bodeneigenschaften verändern (z. B. der Gehalt an organischer Substanz oder auch die Permeabilität) und die den Boden schützende Vegetationsdecke zurückgedrängt wird. Damit wächst die Gefahr einer Bodenerosion. Eine wichtige Rolle spielen auch Waldbrände (siehe Kapitel 8, Abschnitt 8.3.2) wegen des damit verbundenen Vegetationsverlusts, was vielerorts in Europa - namentlich im Mittelmeerraum - eine Bodenerosion auslöst.
<i>Zerstörung von Flächen</i> Anlaß für eine Bodenerosion können auch die durch Bergbau, Steinbrüche und Abtragung von Erdreich für Deponien hervorgerufene Unterbrechung der Vegetationsdecke und topographische Veränderungen sein.
<i>Ausweitung industrieller und städtebaulicher Aktivitäten</i> Die Ausweitung industrieller und städtebaulicher Aktivitäten kann hauptsächlich dann zu einer Bodenerosion führen, wenn die Vegetationsdecke zerstört wird und Straßen wie auch andere Infrastrukturmaßnahmen nicht adäquat ausgelegt sind.

betroffen (Karte 11.3). Gründe sind sozioökonomische Zwänge (wie Bevölkerungszuwachs) und natürliche Ursachen (wie Klima). Zusätzlich begünstigend wirken vereinzelt anzutreffende semiaride Verhältnisse in den jeweiligen Staaten. In den NUS zogen der Zusammenbruch bestehender Ackerbaustrukturen und Mißwirtschaft eine großflächige Versalzung von bewässertem Land nach sich (Amt für Statistik der GUS, 1996). Europaweit sind bereits fast 4 Mio. ha versalzt (Oldeman et al., 1991; Szabolcs, 1991). Diesen Vorgang für ein derart großes Gebiet rückgängig zu machen wäre äußerst kostenaufwendig.

## 11.6 Andere Formen der Bodendegradation

### *Verlust an organischer Substanz*

Die Güte eines Bodens wird weitgehend von dessen Gehalt an organischer Substanz bestimmt, der unterschiedlich hoch ist und sich als Reaktion auf Veränderungen in der Bodenbewirtschaftung rasch verändert. Abgesehen von Gebieten mit einem Überschuß an Dünger tierischer Herkunft ist der Anteil organischer Stoffe auf vielen Anbauflächen in ganz Europa als Folge des modernen intensiven Ackerbaus rückläufig. Allgemein besteht die Befürchtung, daß die Werte unter das für einen stabilen, fruchtbaren und gesunden Boden notwendige Niveau fallen könnte, auch wenn dafür noch keine eindeutigen Anhaltspunkte bestehen.

### **Karte 11.3 Versalzung in Europa, 1993**

1 : 30 000 000

Versalzung

sehr gravierend

weniger gravierend

nicht gravierend

nicht zutreffend

**Quelle:** ISRIC

Abbildung 11.1 zeigt die Verteilung der Ackerkrume in England und Wales nach dem organischen Kohlenstoffgehalt für die Jahre 1980 und 1995. Daraus geht hervor, daß in diesem Zeitraum die Zahl der Flächen mit einem organischen Kohlenstoffgehalt von über 4 % leicht gesunken ist, gleichzeitig die Zahl der Standorte mit einem organischen Kohlenstoffgehalt von unter 4 % jedoch zugenommen hat.

Ein Absinken des Gehalts an organischer Substanz wirkt sich ebenso auf die Bodenstruktur und -stabilität, das Wasserrückhaltevermögen, die Pufferkapazität und die biologische Aktivität wie auf die Speicherung und den Austausch von Nährstoffen aus. Mittel- und langfristig kann dadurch auch die Anfälligkeit des Bodens gegenüber Erosion, Verdichtung, Versalzung, Nährstoffmangel und Trockenheit steigen.

### ***Verdichtung, Staunässe und Degradation der Bodenstruktur***

Der Verlust an organischer Substanz und die damit einhergehende Degradation der Bodenstruktur begünstigen in starkem Maße die Bodenverdichtung. Dies ist die in Europa am weitesten verbreitete Form der physikalischen Degradierung, von der etwa 90 % der Gesamtfläche betroffen sind (Van Lynden, 1995). Die Gründe dafür sind der wiederholte Einsatz schwerer Maschinen auf Böden mit geringer struktureller Stabilität sowie Überweidung und zu dichter Viehbesatz. In den Oberbodenschichten beeinflusst die Verdichtung die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, und in den tiefergelegenen Unterbodenschichten kann sie unumkehrbare Veränderungen der Bodenstruktur mit sich bringen (Van Lynden, 1995).

Staunässe im Boden ist das Resultat von Überschwemmungen durch Flüsse, eines Anstiegs des Wasserspiegels durch Bewässerung oder auch eines erhöhten Oberflächenabflusses bei gleichzeitig verringerten Infiltrationsraten. Hervorgerufen werden kann sie durch Eingriffe des Menschen, wie im Norden Rußlands und im unteren Donautal, oder durch zufällige Ereignisse. Konsequenz ist die Degradation des Bodengefüges. In der Karte 11.4 ist das Ausmaß (Ausdehnung und Schweregrad) dieser Prozesse in Europa dargestellt.

## 11.7 Politik, Rechtsvorschriften und Vereinbarungen zur Bodenschutzproblematik

Gemessen am Stand bei anderen Medien wie Luft und Wasser ist die Rechtsetzung zur Bodenschutzproblematik auf nationaler wie internationaler Ebene kaum entwickelt. Nur wenige Maßnahmen mit direktem Bezug zum Thema Boden sind bisher in die Wege geleitet worden. Die bestehenden Gesetze betreffen vielfach gesundheitliche und andere Aspekte und berücksichtigen Bodeneigenschaften lediglich mittelbar im Zusammenhang mit ökologischen Fragen oder Bodenfunktionen im Hinblick auf menschliche Aktivitäten.

### *Vermeidung einer Bodenkontaminierung*

Auf EU-Ebene schreibt die Nitrat-Richtlinie Grenzwerte für Nitratkonzentrationen in Grundwasser vor, das zur Trinkwasserversorgung genutzt wird, und begrenzt die Mengen an organischen und anorganischen Stickstoffdüngern, die auf Böden in empfindlichen Gebieten ausgebracht werden können. Im Zusammenhang mit dieser Richtlinie haben alle Mitgliedstaaten Wassergesetze verabschiedet, mit denen das Grundwasser geschützt und überwacht werden soll. Mit einer Klärschlamm-Richtlinie soll der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft dergestalt reguliert werden, daß es nicht zu schädlichen Effekten für Boden, Vegetation, Tiere und Menschen kommt. In einigen Staaten, z. B. in Dänemark, ist diese Form der gesetzlichen Regelung auf die Anwendung sämtlicher Abfallprodukte für landwirtschaftliche Zwecke ausgedehnt worden. Einige Elemente betreffend die Bodenproblematik finden sich auch in anderen Richtlinien, beispielsweise zu Habitaten, Grundwasser, gefährlichen Stoffen und Abfällen.

### *Haftung bei Umweltschäden*

Gegenwärtig bereitet die Kommission der Europäischen Gemeinschaften ein Weißbuch zur Haftung bei Umweltschäden vor. In diesem Weißbuch, das aller Wahrscheinlichkeit die Grundlage für eine Rahmenrichtlinie bilden wird, werden die Kernpunkte einer Gemeinschaftsregelung definiert. Maßgebliche Zielsetzungen werden die Sicherung einer wirksamen Altlastensanierung sowie die Behebung von Schäden an Naturressourcen und die Vermeidung künftiger Schäden auf der Basis des Verursacher- und des Vorsorgeprinzips sein. Diese Regelung wird allgemeinverbindliche Sanierungsstandards ebenso einschließen wie Mindestanforderungen im Hinblick auf die Pflicht zur Sanierung.

### *Bodenerosion/Wüstenbildung*

In einigen Staaten ist die Flächennutzung bestimmten Einschränkungen unterworfen, um einer Erosion vorzubeugen. Auch die Raumplanung wird zu diesem Zweck genutzt. In manchen Staaten konnte die Erosion durch das Anpflanzen von Bäumen und die Aussaat von Gras aufgehalten werden (u. a. in Frankreich, Österreich und Island).

Verschiedene Staaten verfügen über gesetzliche Vorschriften zur

### **Abbildung 11.1 Organischer Kohlenstoffgehalt der Ackerkrume (0-10 cm) in England und Wales, 1980 und 1995**

Häufigkeit

**Quelle:** Angaben des Soil Survey and Land Research Centre, Vereinigtes Königreich, 1997, im Auftrag des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft in London erfaßt.

Bodenentwässerung, die sich auf Kriterien wie die Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts und der Wasserressourcen sowie der Verhinderung von Erosion stützen.

Im regionalen Maßstab wird den Vertragsstaaten im nördlichen Mittelmeerraum (Portugal, Spanien, Frankreich, Italien, Malta und Griechenland) mit der UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung die Verpflichtung auferlegt, nationale Aktionsprogramme zu erarbeiten. Dies setzt die Abstimmung der Aktivitäten aller betroffenen Staaten voraus. Bisher ist kaum mehr als ein bescheidenes Maß an standortspezifischer Forschung erreicht worden, doch immerhin erfolgte in gewissem Umfang eine Untersuchung des Ausmaßes der Probleme. Auch einige vereinheitlichte Überwachungsprogramme sind aufgestellt worden.

### **Überwachungsprogramme**

Zur Erfassung der Bodenverhältnisse unter besonderer Berücksichtigung von Schwermetallen und organischen Substanzen nutzen einige Staaten Beobachtungsnetze. Nationale Überwachungsprogramme, die in manchen Staaten bereits realisiert werden, spielen bei den Überlegungen in immer mehr Staaten eine wichtige Rolle. Allerdings sind bislang Beobachtungssysteme vorwiegend für spezielle Forschungsprogramme oder bestimmte Ziele wie Schwermetall- und Klärschlamm-Überwachung oder landwirtschaftliche Ernährungsprogramme konzipiert worden und nur in seltenen Fällen zufriedenstellend integriert.

#### **Karte 11.4 Physikalische Bodendegradation in Europa, 1993**

Physikalische Degradation

Verdichtung/Oberflächenverkrustung	Rückgang organischer Substanz	Staunässe
sehr gravierend	sehr gravierend	
weniger gravierend	weniger gravierend	
nicht gravierend	nicht gravierend	
	nicht zutreffend	

Quelle: ISRIC

### **11.8 Zukunftsaussichten**

Derzeit gibt es nur wenige gesetzliche Regelungen, die direkt die Überwachung der Auswirkungen menschlichen Handelns und der Flächennutzung auf den Boden zum Inhalt haben. Ein gewisser Schutz wird mittelbar durch Maßnahmen zur Begrenzung der Wasser- und Luftverschmutzung erreicht. Eine Strategie zur Verbesserung der Situation sollte folgenden Punkten Rechnung tragen:

- Der Boden ist gesondert als Medium mit demselben Stellenwert wie Luft und Wasser zu betrachten
- Auf europäischer wie globaler Ebene sind Koordinierung und Zusammenarbeit vonnöten, da sich Probleme im Zusammenhang mit der Bodenqualität (auch wenn es sich überwiegend um Fragen von lokaler Bedeutung handelt) nicht mit örtlichen Maßnahmen allein klären lassen.
- Es gilt, ähnlich wie bei Luft und Wasser harmonisierte Bodenüberwachungsprogramme aufzustellen, die unter Erfassung einer Vielzahl von Parametern auf die Durchführung großflächiger Bewertungen des Bodenzustands abgestellt sind.

In folgenden Bereichen können Maßnahmen ins Auge gefaßt werden:

- Problemanalyse und -abschätzung, einschließlich Definition von Ursachen und Wirkungen;
- Beobachtung von Veränderungen im Zeitablauf;
- Bewältigung der Probleme durch Einführung vorbeugender Maßnahmen (darunter Aufklärung, Anpassung an die Umwelterfordernisse und nachhaltige Bewirtschaftungsformen sowie Aufstellung von Flächennutzungsplänen);
- Altlastenbeseitigung, soweit notwendig und durchführbar.

#### **Literatur**

Blum, W.E.H. (1990). The challenge of soil protection in Europe. In *Environmental Conservation*, Nr. 17, S. 72-74.

Ernstsen, V., Jensen, J., Olesen, S.E., Sidle, R. (1995). *Scoping study on establishing a European Topic Centre for Soil*. Geological Survey of Denmark, Service Report, Nr. 47.

English Partnerships (1995). *Investment Guide*. English Partnerships, London, Vereinigtes Königreich.

Forsvarets Bygningstjeneste (1996). Opprydding av forurensede sjøsedimenter og forurenset grunn på Håkonsvern, Orlogsstasjon i Bergen kommune, *Statusrapport pr. 31.12.1996*. Norwegen.

Hämman M., Hohl R., et al. (1997). *Evaluation plan for the Reuse of Excavated Soil*, R'97 Recovery, Recycling, Re-integration 3rd International Congress and Exhibition, 4-7.2.1997, Genf, Schweiz.

Karavayeva, N.A., Nefedova, T.G., Targulian, V.O. (1991). Historical Land Use Changes and Soil Degradation on the Russian Plain. In *Land Use Changes in Europe. Processes of Change, Environmental Transformations and Future Patterns*. Hrsg. von F.M. Brouwer, A.J. Thomas und M.J. Chadwick. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande.

Lampi, P., et al (1992). *Archives of Environmental Health*, Bd. 47 (Nr. 3).

Ministerium für Naturschutz der Russischen Föderation (1996). *Nationaler Bericht über den Zustand der Umwelt in der Russischen Föderation 1995*. Moskau.

Morgan, R.P.C. (1992). Soil Erosion in the Northern Countries of the European Community. EIW Workshop. *Elaboration of a Framework of a Code of Good Agricultural Practices*, Brüssel, 21. - 22. Mai 1992.

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. (1991). *World Map of the status of human-induced soil degradation, an explanatory note* (second revised edition), Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), ISRIC, Wageningen; UNEP, Nairobi.

Pérez-Trejo, F. (1992). *Desertification and land degradation in the European Mediterranean*, Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Umwelt und Lebensqualität.

Rubio, J.L. (1987). La Desertificación del territorio valenciano. In *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Hrsg. von Generalitat Valenciana. Valencia, Spanien.

Rubio, J.L. (1995). Soil erosion effects on burned areas. In: R. Fantechi, D. Peter, P. Balabanis and J.L. Rubio (Hrsg.), *Desertification in a European context: Physical and socio-economic aspects*. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, EGKS-KEG-EAG, Brüssel, Belgien.

Sanroque, P. (1987). La erosión del suelo. In *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Hrsg. von Generalitat Valenciana. Valencia, Spain.

Soil Survey and Land Research Centre (UK) et al. (1997). *Further analysis on presence of residues and impact of plant protection products in the EU. Possibilities for future EC environment policy on plant protection products, PES-A/Phase. 2*. Bericht für die Kommission der Europäischen Gemeinschaft und das Niederländische Umweltministerium.

Szabolcs, I. (1991). Salinisation potential of European soils. In *Land use changes in Europe: processes of change, environmental transformations and future patterns*. Hrsg. von F.M. Brower, A. Thomas, M.J. Chadwick. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande, S. 293-315.

Statistisches Komitee der GUS (1996). *Die Umwelt in den GUS-Staaten*. Moskau.

UBA (1997). *Altlastenatlas/Verdachtsflächenkataster und Altlastenatlas entsprechend den Bestimmungen des Altlastengesetzes*. Umweltbundesamt, Wien, Österreich, 1997.

Ulrici, W. (1995). *Internationale Erfahrungen zur Altlastensanierung: Synopse, Bewertung und prüfung der Übertragbarkeit von Methoden und Konzeption*. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Deutschland.

UNCCD Interim Secretariat (1997). *United Nation Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. Fassung mit Anhängen. Genf, Schweiz.

Van Lynden, G.W.J. (1995). European soil resources. Current status of soil degradation, causes, impacts and need for action. Council of Europe Press. *Nature and Environment*, Nr. 71, Straßburg, Frankreich.

Visser W., Elkenbracht E. et al. (1997). *Analysis of the Amsterdam Questionnaire*, Tauw Milieu (NL), Nottingham Trent University (UK), A&S Associates (UK), R<sup>3</sup> Environmental Technology Ltd. (UK), Bericht des Ministeriums für Wohnungsbau, Raumplanung und Umwelt, Den Haag, Niederlande.