



**Grundsätze und Maßnahmen  
für eine vorsorgeorientierte  
Begrenzung von Schadstoff-  
einträgen in landbaulich  
genutzten Böden**

VON

**Claus Gerhard Bannick, Elke Bieber, Holger Böken,  
Monika Brach, Holger Brackemann, Heike Ehrmann,  
Franziska Eichler, Volker Franzius, Jörg Friedrich,  
Heinz-Detlef Gregor, Dieter Gottlob, Jürgen Hahn,  
Sabine Huck, Outi Ilvonen, Dieter Joost, Harald Junker,  
Siegfried Kalmbach, Norbert Litz, Wolfgang Lohrer,  
Rudolf Mach, Gernot Müller, Hans-Jürgen Nantke,  
Hans-Jürgen Pluta, Steffi Richter, Karleen Rutherford-  
Rodek, Werner Schenkel, Simone Schmidt, Dietrich  
Schulz, Ellen Six, Gerhard Smetana, Till Spranger,  
Klaus Günter Steinhäuser, Konstantin Terytze, Horst  
Werner, Astrid Wiemann, Rüdiger Wolter, Joachim  
Wuttke**

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Claus Gerhard Bannick, Carol Eichmann, Jörg Friedrich,  
Ruth Odau, Monika Roth

Berlin, Oktober 2001

## **Vorwort**

Seit Jahrhunderten wird in der Landwirtschaft mit verschiedenen organischen und mineralischen Materialien gedüngt. Das Ziel ist es, die Ertragsfähigkeit der Böden zu steigern und die Ertragssicherheit der Ernten zu gewährleisten. Waren es in früheren Zeiten vor allem Abfälle aus dem häuslichen und dem agrarischen Bereich, kommen etwa ab Mitte des vergangenen Jahrhunderts auch Mineraldünger hinzu. Das Problem: Mit den erwünschten Nährstoffen werden auch immer unerwünschte Stoffe in die Böden eingetragen. Die Sorge, dass schädliche Bodenveränderungen entstehen können, besteht, falls wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen der Nutzung oder Maßnahme nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu erwarten sind.

Böden sind ein zentrales Umweltmedium mit Schnittstellen zu Luft und Gewässern. Im Vergleich zu diesen war der Boden aber lange Zeit ein „vergessenes“ Medium. Mit dem erst vor wenigen Jahren verabschiedeten Bundes-Bodenschutzgesetz wurden fachliche Maßstäbe des Bodenschutzes verankert, der Boden damit den anderen Umweltmedien gleichgestellt. Ein wichtiges Ziel ist die Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen. Die fachlichen Maßstäbe sind sowohl auf luftgetragene Einträge von Schadstoffen als auch auf solche Schadstoffeinträge, die durch die Bewirtschaftung verursacht werden, anzuwenden. Langfristig darf es durch diese Einträge zu keiner Aufkonzentration von Schadstoffen in den Böden kommen, die mit dem vorsorgenden Bodenschutz in Konflikt geräte. Die zu berücksichtigenden Stoffeinträge sind dabei - unabhängig von den eingesetzten Materialien - nach den selben Maßstäben zu bewerten. Auf der Basis der Grundsätze des vorsorgenden Bodenschutzes sind auch Art und Verhalten der Schadstoffe zu berücksichtigen. Es ist nicht relevant, ob es sich bei den zu bewertenden Materialien um Abfälle zur Verwertung oder um Produkte handelt.

Die Verwertung von Abfällen findet im Spannungsfeld zwischen ökologischen Erfordernissen, ökonomischen Zwängen und sozialer Verantwortung statt. Diese Aspekte sind für eine nachhaltige Entwicklung als miteinander verbunden zu betrachten. Es reicht aber nicht aus, mit Blick auf einen notwendigen vorsorgenden Boden- und Gewässerschutz allein die eingesetzten Abfälle zur Verwertung - oder besser Sekundärrohstoffdünger - zu betrachten.

Das Umweltbundesamt hat deshalb eine Position erarbeitet, die alle bewirtschaftungsbedingten Einträge in die landwirtschaftlich genutzten Böden umfasst und die mit dieser Veröffentlichung vorgelegt wird. Die hier dargestellten Grundsätze und Maßnahmen sind die fachwissenschaftlichen Grundlagen für künftige nationale und Regelungen auf der Ebene der Europäischen Union in diesem Bereich.

A handwritten signature in black ink, reading "Andreas Troge". The signature is written in a cursive style with a large, prominent initial 'A'.

Prof. Dr. Andreas Troge

Präsident des Umweltbundesamtes

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einführung	1
1	Allgemeines 5
1.1	Bodenschutz 6
1.1.1	Anforderungen an die Filter- und Pufferfunktion von Böden 11
1.1.2	Anforderungen an Böden als Pflanzenstandort 14
1.2	Nachhaltige Stoffpolitik 16
2	Schadstoffumsatz in Böden 18
2.1	Schätzung von Austrägen 20
2.1.1	Schwermetallausträge durch Bodensickerwasser 20
2.1.2	Schwermetallausträge durch Ernteabfuhr 22
2.2	Schätzung von Einträgen 23
2.2.1	Schwermetalleinträge über atmosphärische Niederschläge 23
2.2.2	Mögliche Schadstoffeinträge durch Bewirtschaftungsmaßnahmen 25
2.3	Schadstoffanreicherungen in Böden 26
3	Konzeption zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen 30
3.1	Begrenzung von Schwermetallen 31
3.2	Begrenzung von organischen Schadstoffen 41
4	Abschließende Betrachtung 44
Anhang I	48
	Beschluss der Agrarminister- und Umweltministerkonferenz am 13. Juni 2001 in Potsdam 48
Anhang II	53
II.	Landbaulich bodenbezogen eingesetzte Materialien 53
II.1	Düngemittel 53
II.1.1	Mineraldünger 54
II.1.1.1	Stickstoffdünger 54
II.1.1.2	Phosphordünger 56
II.1.1.3	Kaliumdünger 62
II.1.2	Wirtschaftsdünger 64
II.1.3	Sekundärrohstoffdünger 71
II.1.3.1	Klärschlamm 71
II.1.3.2	Bioabfallkomposte 79
II.1.3.3	Gärrückstände 84
II.2	Bodenhilfsstoffe 87

Anhang III		88
III.	Vorschläge zur Schadstoffminderung in den eingesetzten Materialien	88
III.1	Klärschlamm	88
III.1.1	Hochwertige stoffliche Verwertung	88
III.1.2	Schwarz- und Brauchwassertrennung	89
III.1.3	Struvit (N- und P-Verwertung), Magnesiumammoniumphosphat (MAP)	89
III.1.4	Entwicklungsstand Biologische Phosphorelimination und Calciumphosphat-Fällung	92
III.1.4.1	Wirtschaftlichkeit des Phostrip-Verfahrens	96
III.1.4.2	Kosten des Phosphorrecyclings aus Klärschlammaschen	102
III.2	Wirtschaftsdünger	103
III.3	Mineraldünger	104
III.4	Kompost und Gärrückstände	106
Anhang IV		107
IV.	Summarized Version	107
IV.1	General	107
IV.1.1	Soil protection	108
IV.1.2	Sustainable substance policy	111
IV.2	Turnover of pollutants in soil	112
IV.2.1	Estimate of average discharges	112
IV.2.1.1	Discharge of heavy metals via leachate	112
IV.2.1.2	Discharge of heavy metals during harvesting	113
IV.2.2	Estimate of average discharges from atmospheric precipitation	114
IV.3.	Concepts for precautionary limitation of pollutant discharges	116
IV.3.1	Limitation for heavy metals	116
IV.3.2	Limitation for organic pollutants	124
IV.4	Summary	125

## Tabellenverzeichnis:

		Seite
Tabelle 1	Vorsorgewerte für Böden nach § 8 Absatz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Metalle in Böden, angegeben in mg/kg Trockensubstanz, Königswasser-Extrakt	10
Tabelle 2	Maximale Schadstofffrachten durch Klärschlammverwertung	19
Tabelle 3	Anteile des Eintrages maximaler Schwermetallfrachten nach AbfKlärV am Bodenvorrat	19
Tabelle 4	Austräge über das Bodensickerwasser in g/(ha x a)	20
Tabelle 5	Durchschnittliche mittlere Austräge über die Ernteabfuhr in g/(ha x a)	22
Tabelle 6	Durchschnittliche Gesamtausträge über Sickerwasser und Ernteabfuhr in g/(ha x a)	23
Tabelle 7	Einträge über atmosphärische Niederschläge in g/(ha x a) (wet-only)	24
Tabelle 8	Einträge über atmosphärische Niederschläge in g/(ha x a) (bulk-Messungen) für das Jahr 1999	25
Tabelle 9	Zulässige Einträge nach AbfKlärV und BioAbfV in g/(ha x a)	26
Tabelle 10	Zeiträume bis zum Erreichen der Bodenvorsorgewerte nach BBodSchV am Beispiel landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung (Angabe in Jahren)	28
Tabelle 11	Vergleich von Schwermetallgehalten in Böden und Düngemitteln (in mg/kg m <sub>T</sub> , Königswasseraufschluss	33
Tabelle 12	Mittlerer Nährstoffbedarf an P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> bei mittlerem Ertragsniveau	37

Tabelle 13	Mittlere Schwermetalleinträge durch Phosphat-Düngemittel nach durchschnittlichem Pflanzenentzug in g/(ha x a) bezogen auf einen durchschnittlichen P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Bedarf von 50 kg/a und mittlere Dünger-Qualitäten	38
Tabelle 14	Mittlere Schwermetalleinträge über alle Düngemittel in g/(a x ha), bezogen auf einen durchschnittlichen P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Bedarf von 50 kg/a	39
Tabelle 15	Zulässige Zusatzbelastung nach BBodSchV Vorsorgeorientierte Frachten in g/(ha x a) für bewirtschaftungsbedingte Einträge entsprechend 50 % der zulässigen Zusatzbelastung nach BBodSchV	39
Tabelle 16	Zeiträume bis zum Erreichen der Bodenvorsorgewerte in Jahren (Vorsorgefrachten)	41
Tabelle 17	Vergleich der Vorsorgewerte für organische Schadstoffe in Böden (Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV) und von Komposten (in mg/kg m <sub>T</sub> ) bei Humusgehalten > 8 %	42
Tabelle II 1	Stickstoffverbrauch in Deutschland (1998/1999)	55
Tabelle II 2	Schwermetallgehalte verschiedener Stickstoff-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m <sub>T</sub>	55
Tabelle II 3	Gehalte an Nährstoffen verschiedener Stickstoff-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz	56
Tabelle II 4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Verbrauch (Mineraldünger) in Deutschland (1998/1999)	56
Tabelle II 5	Schwermetallgehalte verschiedener Phosphor-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m <sub>T</sub>	57
Tabelle II 6	Gehalte an P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> verschiedener Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz	58
Tabelle II 7	Reserven an mineralischem Phosphaterz weltweit (in Mio. t)	59

Tabelle II 8	Verbrauch von unterschiedlichen Phosphatdüngemitteln weltweit (in Mio. t Nährstoff)	60
Tabelle II 9	Inlandsabsatz von unterschiedlichen Phosphatdüngemitteln in Deutschland (in 1000 t Nährstoff)	61
Tabelle II 10	Kaliverbrauch in Deutschland	62
Tabelle II 11	Schwermetallgehalte verschiedener Kali-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m <sub>T</sub>	63
Tabelle II 12	Gehalte an K <sub>2</sub> O verschiedener Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz	64
Tabelle II 13	Aufkommen von Wirtschaftsdüngern in Deutschland im Jahr 1995	65
Tabelle II 14	Nährstoffaufkommen durch Wirtschaftsdünger im Bezugsjahr 1995	65
Tabelle II 15	Im- und Export von Wirtschaftsdüngern in Deutschland in t/a	66
Tabelle II 16	Schwermetallgehalte verschiedener Wirtschaftsdünger nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m <sub>T</sub>	66
Tabelle II 17	Die sechs wichtigsten Gruppen von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln in der landwirtschaftlichen Tierhaltung nach Anwendung, Mengenverbrauch und Informationsbasis	69
Tabelle II 18	Gehalte an Nährstoffen verschiedener Wirtschaftsdünger nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg m <sub>T</sub>	71

Tabelle II 19	Anteile an den Klärschlammuntersorgungswegen in Deutschland auf der Basis einer Erhebung der ATV von 1996	72
Tabelle II 20	Im- und Export von Klärschlämmen in Deutschland in t/a	73
Tabelle II 21	Gehalte an Nährstoffen von Klärschlämmen nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt für organische Düngemittel in g/kg m <sub>T</sub>	74
Tabelle II 22	Nährstoffaufkommen durch direkt bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm in Landwirtschaft und Landschaftsbau	74
Tabelle II 23	Durchschnittliche N-Verfügbarkeit von flüssigen Klärschlämmen mit circa 5 % Trockenmassegehalt	75
Tabelle II 24	Mittlere Konzentration von Schwermetallgehalten in Klärschlämmen (in mg/kg m <sub>T</sub> , Königswasseraufschluss)	76
Tabelle II 25	PCDD/F-Konzentrationen im Klärschlamm (ng TE/kg m <sub>T</sub> )	77
Tabelle II 26	PCB-Konzentrationen im Klärschlamm (mg/kg m <sub>T</sub> )	77
Tabelle II 27	AOX-Gehalte im Klärschlamm (mg/kg m <sub>T</sub> )	77
Tabelle II 28	Statistisch gesicherte Entwicklung (Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %) allgemeiner Merkmale deutscher Bioabfallkomposte (von 1991 bis 1997)	80
Tabelle II 29	Kompostqualität 1999	81
Tabelle II 30	Mittelwerte der Gehalte organischer Schadstoffe in Komposten in mg/kg m <sub>T</sub>	81
Tabelle II 31	Gehalte an Nährstoffen in Komposten nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt für organische Düngemittel in g/kg m <sub>T</sub>	82
Tabelle II 32	Nährstoffaufkommen durch direkt bodenbezogene Verwertung von Kompost, aus oben genannten Daten abgeschätzt	82

Tabelle II 33	Verwertungswege und –mengen von Gärrückständen	84
Tabelle II 34	Geeignete Substrate für Bioreaktoren zur Biogaserzeugung	86
Tabelle III 1	Zusammenstellung der wichtigsten Kostenpunkte der verschiedenen P-Eliminationsverfahren	101
Table IV 1	Discharges from soil leachate in g/(ha x a)	112
Table IV 2	Discharges from crop removal in g/(ha x a)	113
Table IV 3	Total discharges in g/(ha x a)	114
Table IV 4	Discharges via atmospheric precipitation in g/(ha x a) (wet-only)	115
Table IV 5	Discharges via atmospheric precipitation in g/(ha x a) (bulk) for the year 1999	116
Table IV 6	Comparison of precautionary values for metals in soils (Annex 2 Nr. 4 BBodSchV) and heavy metals content of compost, sewage sludge and slurry (in mg/kg of dry matter, Aqua Regia decomposition)	118
Table IV 7	Average phosphate requirement at average yield level	120
Table IV 8	Average of heavy metal discharges in g/(ha x a) at the basis of an average phosphate requirement of 50 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /a and average fertilizers qualities	121
Table IV 9	Mean heavy metal sums of all fertilizers in g/(ha x a) based on an average P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -requirement for 50 kg/a	122
Table IV 10	Precautionary load-values in g/(ha x a) for deposits stemming from cultivation based on 50 % of the admissible additional annual pollutant loads as according to BBodSchV	123

## Abkürzungsverzeichnis:

AbfG	Abfallgesetz
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AbfVerbrV	Abfallverbringungsverordnung
Abs.	Absatz
AbwV	Abwasserverordnung
ACK	Amtschefkonferenz
AMK	Agrarministerkonferenz
AN	Ammoniumnitrat
ANS	Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen
AOX	Adsorbiertes organisches Halogen
Ap-Horizont	Pflughorizont
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
C	Kohlenstoff
Ca	Kalzium
CAL	Calcium-Ammonium-Lactat
Cd	Kadmium
cm	Zentimeter
CVMP	Committee for Veterinary Medical Products
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DEHP	Di(2-ethylhexyl)phthalat
DMG	Düngemittelgesetz
DMVO	Düngemittelverordnung
DOC	dissolved organic carbon
DVO	Düngeverordnung
DVGW	Deutscher Verband für Gas- und Wasserwirtschaft

EFTA	European Free Trade Association
EGW	Einwohnergleichwert
EMEA	Europäische Arzneimittelagentur
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EPA	Environmental Protection Agency
EU	Europäische Union
F+E-Vorhaben	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
Fe	Eisen
ff.	folgende
FhG	Fraunhofer Gesellschaft
FKZ	Förderkennzeichen
FM	Frischmasse
g/ha	Gramm pro Hektar
Gew.-%	Gewicht-Prozent
ggf.	gegebenenfalls
ha	Hektar
HCH	Hexachlorcyclohexan
Hg	Quecksilber
K	Kalium
K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid
KBwS	Kommission zur Bewertung wassergefährdender Stoffe
kg	Kilogramm
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LAB	Länderausschuss Bergbau
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
LAS	Lineare Alkylbenzolsulfonate
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
MAP	Magnesiumammoniumphosphat
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
Mio.	Million
mm	Millimeter

m <sub>T</sub>	Trockenmasse
N	Stickstoff
NH <sub>4</sub>	Ammoniak
Ni	Nickel
Nr.	Nummer
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
P	Phosphor
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
ppm	parts per million
PVC	Polyvinylchlorid
QAV	Quarternäre Ammoniumverbindungen
R+D	Reinigungs- und Desinfektionsmittel
t	Tonnen
TE	Toxische Äquivalente
TS	Trockensubstanz
u.U.	unter Umständen
UBA	Umweltbundesamt
UFO-Plan	Umweltforschungsplan
UMK	Umweltministerkonferenz
UNEP	United Nations Environment Programme
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VO	Verordnung
VwVwS	Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe
WGK	Wassergefährdungsklassen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
ZEBS	Zentralstelle für die Erfassung und Bewertung von Stoffen
Zn	Zink

## Einführung

In Deutschland werden etwa 17 Mio. Hektar (ha) Böden landwirtschaftlich genutzt. Auf dieser Fläche werden jährlich ca. 36 Mio. t Düngemittel eingesetzt. Mit den Düngemitteln werden neben den Nährstoffen auch Schwermetalle und zum Teil organische Schadstoffe in die Böden eingetragen. Wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für eine Produktion gesunder Nahrungsmittel ist aus Vorsorgegründen sicherzustellen, dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (Aufbringung von Klärschlamm, Gülle, mineralischem Dünger und Kompost) zu keiner langfristigen Anreicherung von Schadstoffen im Boden kommt. Dazu haben das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und das Umweltbundesamt (UBA) eine gemeinsame Position erarbeitet:

### **Gemeinsame Position von BMU und UBA vom 07.06.2001: „Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in Böden“**

#### **Ziel:**

Wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für eine Produktion gesunder Nahrungsmittel ist aus Vorsorgegründen sicherzustellen, dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (Aufbringung von Klärschlamm, Gülle, mineralischem Dünger und Kompost) zu keiner langfristigen Aufkonzentration von Schadstoffen im Boden kommt.

BMU und UBA haben eine fachliche Überprüfung und Neubewertung vorgenommen und kommen dabei zu den nachfolgenden Ergebnissen. Dabei wurden Schadstoffeinträge unabhängig von den eingesetzten Materialien nach den selben Maßstäben bewertet.

#### **Erforderliche Maßnahmen:**

##### **I Klärschlamm**

Die bisher praktizierte Form der Klärschlammverwertung mit den derzeitigen Qualitätsanforderungen wird nicht fortgesetzt.

Die Klärschlammverordnung wird geändert. Es werden allenfalls noch sehr schadstoffarme Klärschlämme für Düngezwecke zugelassen.

Die Untersuchungsparameter bei den organischen Schadstoffen werden erweitert und ergänzt um Anforderungen an die Hygiene.

Nicht mehr stofflich verwertbare Klärschlämme sind gemäß der seit dem 01.03.2001 geltenden Artikelverordnung umweltverträglich zu entsorgen.

Es soll mit technischen Verfahren die Rückgewinnung von schadstofffreiem Phosphat als Düngemittel aus Klärschlämmen und Abwasser forciert werden.

**Begründung:**

Es wurde untersucht, welche Schadstoffeinträge in den Boden durch die Verwendung von Klärschlämmen entsprechend den Vorgaben der geltenden deutschen Klärschlammverordnung in der Praxis zu erwarten und welche Austräge gleichzeitig durch Auswaschung und Erntevorgang in Rechnung zu stellen sind:

Danach führt die Klärschlammdüngung zu erhöhten Einträgen von Schwermetallen und somit über die Jahre zu einer Anreicherung im Boden, die auf Dauer nicht akzeptabel ist.

Außerdem ist davon auszugehen, dass Klärschlämme aufgrund von Abwassereinleitungen aus privaten Haushalten und Gewerbe eine Vielzahl von problematischen organischen Schadstoffen enthalten, die in den Kläranlagen nicht abgebaut oder abgetrennt werden und die sich deshalb im Klärschlamm wiederfinden.

Die Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm und Abwasser ist notwendig, weil die Phosphatvorkommen weltweit begrenzt und Phosphate als Düngemittel nicht ersetzbar sind.

## **II Gülle**

Der Eintrag von Schwermetallen und organischen Schadstoffen über Fütterung, Tierarzneimittel und Stallbetrieb in die Gülle wird verringert.

Dabei sind die selben Maßstäbe wie bei Klärschlamm anzulegen.

**Begründung**

Gülle enthält bei der konventionellen Tierhaltung zum Teil ähnlich hohe Schwermetallgehalte wie Klärschlamm.

Zusätzlich enthält Gülle aus der konventionellen Tierhaltung organische Schadstoffe (Antibiotika, Wasch- und Desinfektionsmittel).

## **III Mineralische Dünger**

Der Einsatz von Thomasmehl wird unter Anlegung der selben Maßstäbe wie bei Klärschlamm überprüft.

Bei den anderen Mineraldüngern wird der Gehalt an Kadmium beschränkt.

**Begründung**

Die Stahlherstellung über das Thomasverfahren führt zu hohen Chromgehalten im Thomasmehl.

Andere Mineraldünger enthalten teilweise hohe Kadmiumgehalte.

#### **IV.1 Kompost**

Die Verwertung von Kompost als Düngemittel kann fortgesetzt werden.

##### ***Begründung***

Komposte weisen wegen der getrennten Sammlung ähnliche Qualitäten auf wie natürliche Böden. Bei Anwendung dieser Materialien kommt es zu keiner Schadstoffanreicherung im Boden.

Die dargestellten Grundsätze und Maßnahmen sollen sowohl in die nationalen als auch die EU-Regelungen eingebracht werden.

Die Diskussion über diese fachliche Position hat Anfang Juni 2001 in Potsdam zu einem entsprechenden Beschluss der gemeinsamen Konferenz der Agrar- und Umweltminister geführt (vgl. Anhang I).

Anhang I

Für die Umsetzung dieser gemeinsamen Position wird mit dem vorliegenden Bericht des Umweltbundesamtes ein Konzept vorgelegt, welches insbesondere die Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes und die Grundsätze einer nachhaltigen Stoffpolitik berücksichtigt. Die sich daraus ergebenden materiellen Anforderungen und Grundlagen orientieren sich an den folgenden fachlichen Maßstäben.

Maßstäbe hinsichtlich einer vorsorgeorientierten Begrenzung von Schwermetallen durch bewirtschaftungsbedingte Maßnahmen in Böden werden grundsätzlich über die beiden folgenden gleichwertigen Regeln beschrieben:

1. Die Gehalte der Schwermetalle im jeweiligen Düngemittel (bezogen auf den langfristig im Boden verbleibenden Teil) entsprechen den Gehalten im Boden am Aufbringungsstandort („Gleiches“ zu „Gleichem“; auf Gehalte bezogene Konzeption).
2. Die eingetragene Fracht von Schwermetallen pro Flächen- und Zeiteinheit ist gleich deren umweltverträglichem Austrag („Eintrag gleich Austrag“ auf Frachten bezogene Konzeption),

Diese beiden Handlungsoptionen stellen jeweils sicher, dass sich die Bodengehalte am Aufbringungsstandort nicht verändern: Eine dieser Handlungsoptionen muss erfüllt sein, um Anreicherungen in Böden zu vermeiden.

Die vorsorgeorientierte Begrenzung organischer Schadstoffe, die mit Düngemitteln in Böden eingetragen werden können, orientiert sich grundsätzlich am Vermeidungsgebot oder an den vorhandenen ubiquitären Konzentrationen dieser Stoffe. Um eine nachhaltige Schadstoffanreicherung im Boden zu vermeiden, sollen die organischen Schadstoffkonzentrationen in Düngemitteln nur in Größenordnungen enthalten sein, die der vorhandenen ubiquitären Belastung entsprechen. Dieser Vorsorge- und Nachhaltigkeitsgrundsatz ist ein einfaches und sinnfälliges Bewertungskriterium für organische Schadstoffe in den verschiedenen Düngemittelarten:

Mineraldünger enthalten herstellungsbedingt in der Regel keine organischen Schadstoffe und bedürfen deshalb keiner Regelung. In Bioabfällen werden prinzipbedingt nur die organischen Schadstoffe erwartet, die der ubiquitären Hintergrundbelastung entsprechen. Bei Gülle werden Einschränkungen zu den nachhaltig wirksamen organischen Futtermittelzusatzstoffen und Pharmazeutika erforderlich sein (zum Beispiel Antibiotika). Klärschlamm enthält entstehungsbedingt persistente und akkumulierbare Stoffe in hoch angereicherten Konzentrationen, die deutlich über den ubiquitären Hintergrundgehalten liegen, und darüber hinaus auch weitere Stoffe, die ubiquitär noch nicht in der Umwelt vorhanden sind.

## 1. Allgemeines

In Deutschland werden etwa 17 Mio. Hektar (ha) Böden landwirtschaftlich genutzt. Auf 64 % dieser Fläche wird Ackerbau betrieben. Dort werden jährlich etwa 45 Mio. Tonnen (t) Getreide, 50 Mio. t Hackfrüchte und 5 Mio. t Ölfrüchte als Nahrungs- und Futtermittel erzeugt. Dazu werden in der Landwirtschaft jedes Jahr mineralische Düngemittel (Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K)) in einer Größenordnung von insgesamt etwa 3 Mio. t ( $m_T$ ) eingesetzt<sup>1</sup>. Hinzu kommen etwa 29 Mio. t Wirtschaftsdünger<sup>2</sup> ( $m_T$ ), 1,4 Mio. t ( $m_T$ ) Klärschlämme<sup>3</sup> und 2,8 Mio. t ( $m_T$ ) Bioabfälle<sup>4</sup> (insbesondere Komposte) die landwirtschaftlich eingesetzt werden. Mit den Düngemitteln werden auch Schwermetalle und zum Teil organische Schadstoffe in die Böden eingetragen. Dies gilt es im Hinblick auf eine Anreicherung dieser Stoffe in den Böden zu verhindern.

Neben den bewirtschaftungsbedingten Einträgen von Schadstoffen werden auch über die atmosphärische Deposition Schadstoffe in Böden eingetragen. Um sowohl rechtzeitig als auch großräumig vorsorgenden Bodenschutz zu betreiben, ist es zunächst geboten, sich auf Einträge über Düngemittel zu konzentrieren, weil diese großräumig eingesetzt werden sowie teilweise erhebliche Gehalte an Schadstoffen aufweisen. Atmosphärische Einträge sind zwar auch flächenhaft bedeutsam, aber wegen des regelmäßig hohen Anteils grenzüberschreitender Immissionen nur auf lange Sicht im Rahmen der sich weiter entwickelnden internationalen Luftreinhaltung weiter zu mindern.

Wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für die Produktion gesunder Nahrungsmittel ist aus Vorsorgegründen durch kurzfristige Maßnahmen sicherzustellen, dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (Aufbringung von Klärschlamm, Gülle, mineralischen Düngemitteln und Kompost) zu keiner langfristigen Anreicherung von Schadstoffen in Böden kommt. Dabei sind die zu berücksichtigenden Schadstoffeinträge unabhängig von den eingesetzten

---

<sup>1</sup> Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1999, Herausgeber BML, Verlag Münster Hiltrup.

<sup>2</sup> Eurich-Menden, B.; Wegener, H.-R. u. Hackenberg, S. 1997: Überregionale Konzepte zur Verwertung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger notwendig; Müll und Abfall Heft 3.

<sup>3</sup> Esch, B. 2000: Reale Mengen und Qualitäten der in Deutschland anfallenden Klärschlämme.

<sup>4</sup> Reinhold, Jürgen 2000: Entwicklung und regionale Strukturen der Kompostqualität in Deutschland, Müllhandbuch Kennzahl 6583.

Materialien nach einheitlichen Maßstäben zu bewerten. Maßgebliches Kriterium für Quantität und Qualität der bewirtschaftungsbedingten Einträge in und auf landwirtschaftlich genutzten Böden ist der vorsorgende Bodenschutz.

## 1.1 Bodenschutz

Boden ist Zentralmedium mit Schnittstellen zu Luft und Gewässern. Mit Inkrafttreten des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG)<sup>5</sup> und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)<sup>6</sup> wurden fachliche Maßstäbe zum Bodenschutz gesetzlich verankert. Danach ist Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen. Die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen ist gegeben, wenn wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen der Nutzung oder Maßnahme nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu erwarten sind (Bachmann et al., 1997<sup>7</sup>). Nach § 7 BBodSchG sind Vorsorgemaßnahmen geboten, wenn die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Dazu sind Bodeneinwirkungen zu vermeiden oder zu vermindern.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Gehalte unerwünschter (schädlicher und potenziell schädlicher) Stoffe in den Böden auch langfristig nicht steigen sollen, um so insbesondere die natürlichen Bodenfunktionen auf Dauer zu erhalten. Sofern und soweit der vorsorgende Bodenschutz es erfordert, sind in diesem Zusammenhang grundsätzlich alle Eintragungspfade unerwünschter Stoffe zu betrachten.

Zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen wurde von Bachmann et al.<sup>8</sup> für den vorsorgenden Bodenschutz ein abgestuftes Handlungskonzept entwickelt, das unter Berücksichtigung der Art und des Verhaltens der Schadstoffe sowie des möglichen Handlungsspielraumes verschiedene Optionen zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen enthält. Ziel dieser Begrenzung ist der Schutz des Bodens, insbesondere hin-

---

<sup>5</sup> Bundesgesetzblatt I, S. 502 vom 24. März 1998

<sup>6</sup> Bundesgesetzblatt I, Nr. 36 vom 16.7.99, S. 1554

<sup>7</sup> Bachmann; G., König; W. und Kohl; R.: Handlungskonzept des Bodenschutzes zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden; LABO-internes Arbeitspapier, unveröffentlicht (1995).

<sup>8</sup> Bachmann; G., König; W. und Kohl; R.: Handlungskonzept des Bodenschutzes zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden; unveröffentlicht (1995). Siehe auch: LAI/LABO: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Bericht an die Umweltministerkonferenz 1997.

sichtlich seiner natürlichen Bodenfunktionen<sup>9</sup>. Dazu ist es in einem ersten Schritt notwendig dafür zu sorgen, dass sich Schadstoffe nicht über ein kritisches Maß hinaus anreichern. In Anlehnung an oben genanntes Konzept lassen sich insgesamt vier Handlungsoptionen ableiten:

Handlungsoption 1:

Vermeidung von Schadstoffeinträgen

Handlungsoption 2:

Begrenzung von Schadstoffeinträgen auf einem Gehaltsniveau, das dem des Aufbringungsstandortes entspricht („Gleiches zu Gleichem“)

Handlungsoption 3:

Begrenzung der Schadstoffeinträge auf ein Gleichgewicht mit tolerierbaren<sup>10</sup> Austrägen („Eintrag gleich Austrag“)

Handlungsoption 4:

Aufstellung von Konventionen über vorläufig tolerierbare Anreicherungen und Schadstoffeinträge unter definierten Randbedingungen.

Die Handlungsoption 1 bezieht sich insbesondere auf solche (speziell synthetisch hergestellte) Stoffe, die nur durch menschliche Tätigkeit in die Umwelt gelangt sind oder gelangen können und bei denen man prinzipiell davon ausgeht, dass sie schädliche Wirkungen haben können. Da es sich um eine große Vielfalt an Stoffen handelt, deren Verhalten in der Umwelt kaum untersucht oder überwacht werden kann, ist hier die Vermeidungsstrategie von besonderer Bedeutung. Beispiele für solche Stoffe, die bisher über den Abwasserpfad bei landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung in den Boden gelangen, sind im Bericht der UMK-Arbeitsgruppe „Ursachen der Klärschlammbelastung mit gefährlichen Stoffen – Maßnahmenplan“<sup>11</sup> aufgezeigt. Auch im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-

---

<sup>9</sup> vergleiche dazu § 2 BBodSchG

<sup>10</sup> Hinsichtlich rechtlich tolerierbarer Austräge ist auf die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA für das Schutzgut Grundwasser sowie die Höchstmengen VO für Lebensmittel zu verweisen, ggf. sind Qualitätsziele für Grundwasser und Oberflächengewässer zu beachten.

<sup>11</sup> Der UMK-Bericht „Ursachen der Klärschlammbelastung mit gefährlichen Stoffen, Maßnahmenplan“ wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

/AbfG)<sup>12</sup> (§ 5 Abs. 3), ist diese Option programmatisch mit der Forderung „keine Anreicherung von Schadstoffen im Wertstoffkreislauf“ angelegt.

Für persistente Stoffe, die sich als natürliche Spurenelemente oder wegen starker Verbreitung über menschliche Tätigkeit bereits ubiquitär in der Umwelt befinden (Säurebildner, Schwermetalle, ggf. auch PAK, PCB, PCDD/F), nimmt der Boden als Speicher- und Puffermedium eine besondere Stellung in Stoffkreisläufen ein. Zur nachhaltigen Sicherung der Umweltqualität und der Funktionen des Bodens ist bei persistenten Stoffen eine Begrenzung der unvermeidbaren Einträge in den Boden auf ein Gleichgewicht mit tolerierbaren Austrägen (Handlungsoption 3) oder die Begrenzung des Eintrages auf die am Standort vorhandenen Gehalte (Handlungsoption 2) erforderlich. Die Handlungsoptionen 2 und 3 sind als gleichwertig zu beurteilen, da es hinsichtlich der am Standort vorhandenen Gehalte von Schadstoffen in den Böden zu keiner Erhöhung und damit in beiden Fällen langfristig zu keiner Verschlechterung des Standortes kommt<sup>13</sup>. Für das Auf- und Einbringen von Materialien auf und in Böden bedeutet dies, dass sie mindestens eine der beiden Handlungsoptionen (2 oder 3) erfüllen müssen. Handlungsoption 2 basiert auf Bodengehalten und ist in der Ökolandbauverordnung der EU (für Komposte, siehe dort, Anhang 2)<sup>14</sup> sowie in der BBodSchV (für Bodenmaterial, siehe dort § 12) hinsichtlich der Begrenzung von Schadstoffen rechtlich verankert.

Bisher wurden übergangsweise Konventionen zur Begrenzung zulässiger Eintragsfrachten über tolerierbare Anreicherungen bis zum Erreichen bestimmter tolerierbarer Bodenwerte zu Grunde gelegt (Handlungsoption 4). Dieses Konzept, das bei den ersten Festlegungen für Schwermetallfrachtbegrenzungen für Staubniederschläge und Klärschlamm vor etwa 20 Jahren erstmalig angewendet wurde, basiert darauf, dass vor Erreichen kritischer Bodenwerte durch (technische) Maßnahmen eine Eintragsminderung auf ein Maß der Handlungsoptionen 2 oder 3 erreicht wird, da es sonst langfristig dem Prinzip der Nachhaltigkeit widersprechen würde. Auch heute bildet Handlungsoption 4 für die Bioabfallverordnung und die Klärschlammver-

---

<sup>12</sup> Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, BGBl. I S. 2705 vom 27.09.1994, zuletzt geändert am 09.09.2001 BGBl. I S. 2331

<sup>13</sup> Dabei werden zunächst jeweils gleiche Verfügbarkeiten/Mobilitäten der Schadstoffe vorausgesetzt

<sup>14</sup> EG-VO 2092/91/ ergänzt VO 2381/94

ordnung die fachliche Grundlage<sup>15</sup>. Als kritische Bodenwerte sind in diesen beiden Verordnungen unterschiedliche Werte genannt. In der Bioabfallverordnung entsprechen die Bodenwerte in ihrer numerischen Höhe aber bereits den Vorsorgewerten für Böden nach BBodSchV (Tabelle 1).

Für die Ableitung der Vorsorgewerte wurden folgende fachliche Anforderungen berücksichtigt:

1. Ausgangspunkt für die Begründung von Vorsorgewerten sind Daten zur Anreicherung und Wirkung von Schadstoffen in Böden. Dabei wird zunächst die Spannweite der in der Literatur für jeden Stoff genannten ökotoxikologischen Wirkungsschwellen betrachtet (Bodenfunktionen als Lebensraum und als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen). Ergänzend soll, soweit möglich, auch die Auswirkung von Boden-Schadstoffen auf Pflanzen und das Grundwasser geschätzt werden. Im Hinblick auf eine solche Bodenkonzentration, die Gefahren für die menschliche Gesundheit ausschließt, ist sicherzustellen, dass der Abstand zu dem mit den Prüfwerten für die Gefahrenbeurteilung der menschlichen Gesundheit angegebenen Konzentrationsniveau hinreichend groß ist. Die ermittelten Wirkungsschwellen sind mit Angaben zu den Hintergrundwerten für Böden abzugleichen, um der Bodenfunktion als Bestandteil des Naturhaushaltes Rechnung zu tragen.
2. Die Empfindlichkeit der Böden wird berücksichtigt, indem eine Differenzierung der Bodenarten in „schwer – mittel – leicht“ (Bodenartenhauptgruppen: Ton, Lehm/Schluff, Sand) unter Einbezug des pH-Wertes vorgenommen wird. Näherungsweise werden die Wirkungsschwellen auf diese Differenzierung bezogen. Gebiete mit deutlich erhöhten Hintergrundgehalten sollen gesondert bewertet werden. Die Zuordnung eines gegebenen Bodens zu den für die Vorsorgewerte eingeführten Kategorien muss vollzugsgerecht möglich sein.
3. Vorsorgewerte sind als mit Königswasser extrahierbare Gehalte (Schwermetalle) oder als Gesamtgehalte (organische Stoffe) anzugeben, um langfristige Wirkun-

---

<sup>15</sup> Auch in den beiden Diskussionsentwürfen zur Novellierung der EU-Klärschlammrichtlinie (vergleiche Anhang II.3.2) sowie für eine EU-Bioabfallrichtlinie (vergleiche Anhang II.3.3) stellt Handlungsoption 4 die fachliche Grundlage dar.

gen eines Stoffes unter Einschluss potenziell mobilisierbarer Stoffanteile zu charakterisieren. Für spezielle Vorsorgeüberlegungen im Hinblick auf die Bodenfunktion „Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften des Bodens, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers“ können ergänzend u.U. auch Angaben aus Sickerwasserprognosen aufgrund von Bodenuntersuchungen herangezogen werden.

4. Bei den Vorsorgewerten für Metalle in Böden ist der mobile Stoffgehalt mit Hilfe des Säuregrades der Böden wie folgt zu berücksichtigen:

- a) Bei Böden der Bodenart Ton mit einem pH-Wert von  $< 6,0$  gelten für Kadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm.
- b) Bei Böden der Bodenart Lehm mit einem pH-Wert von  $< 6,0$  gelten für Kadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Sand.
- c) Bei Böden mit einem pH-Wert von  $< 5,0$  sind die Vorsorgewerte für Blei entsprechend Buchstabe a) und b) herabzusetzen.

**Tabelle 1: Vorsorgewerte für Böden nach § 8 Absatz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Metalle in Böden, angegeben in mg/kg Trockensubstanz, Königswasser-Extrakt<sup>1)</sup>)**

Stoff	Bodenart Ton	Bodenart Lehm/Schluff	Bodenart Sand
Kadmium	1,5	1	0,4
Blei	100	70	40
Kupfer	60	40	20
Chrom	100	60	30
Quecksilber	1	0,5	0,1
Nickel	70	50	15
Zink	200	150	60

<sup>1)</sup> DIN 38 414 Teil 7, Analyseverfahren nach ICP-OES nach DIN 38 406 – E 22

Bei Überschreitung der Vorsorgewerte besteht die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung. Der Umkehrschluss, dass bei Unterschreitung dieser Werte in Bodenmaterial oder sonstigen Materialien eine generelle Unbedenklichkeit besteht, ist jedoch nicht in jedem Falle zulässig<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> König, Wilhelm 2000: Vollzugshilfe Bodenschutz und Altlastensanierung, Bodenschutz und Altlasten Bd. 7, Erich Schmidt Verlag, S. 314.

Hinzuweisen ist darauf, dass eine Vielzahl anderer Materialien, die zur Düngung eingesetzt werden, bislang keiner Begrenzung von Schadstoffeinträgen unterliegt, obwohl im Düngemittelgesetz (§ 5) Anforderungen an den Schutz der Böden zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit genannt sind. Zu nennen sind hier die Wirtschaftsdünger (zum Beispiel Gülle) und bestimmte Mineraldünger (zum Beispiel Thomaskali).

Durch die Begrenzung der Stoffeinträge in Böden soll erreicht werden, dass eine schädliche Beeinträchtigung von Bodenfunktionen nicht zu besorgen ist. Eine Besorgnis nach den fachlichen Maßstäben des Bodenschutzrechtes ist gegeben, wenn räumliche, langfristige oder komplexe Auswirkungen der Nutzung oder Maßnahme nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen (vergleiche dazu auch Kapitel 2.1).

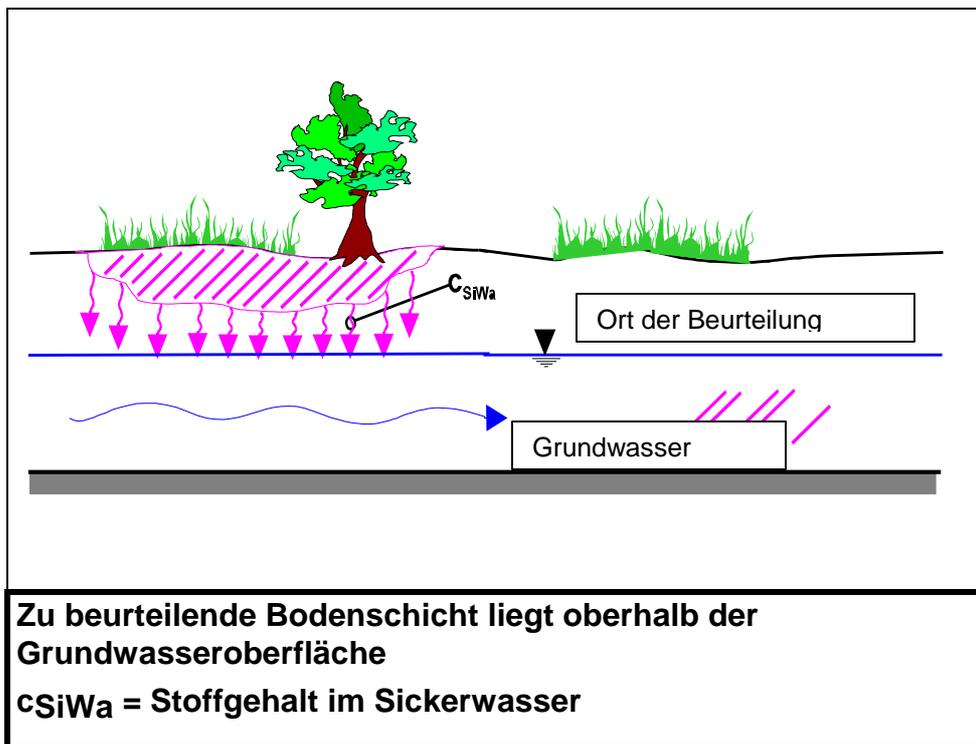
Bei landbaulich genutzten Böden sind insbesondere die Filter- und Pufferfunktion sowie die Funktion des Bodens als Pflanzenstandort zu berücksichtigen. Vorsorgender Bodenschutz ist dann sichergestellt, wenn keine Anhaltspunkte für unerwünschte oder schädliche Auswirkungen auf Pflanzen und Belastungen des Grundwassers zu besorgen sind. Als Kenngröße können auch in diesem Fall zur Beurteilung die Vorsorgewerte nach BBodSchV herangezogen werden.

### **1.1.1 Anforderungen an die Filter- und Pufferfunktion von Böden**

Böden stellen einen natürlichen Schutz für das Grundwasser dar, weil sie den Eintrag von Schadstoffen so lange verhindern, wie die Filter- und Pufferkapazität der Böden nicht überlastet wird. Die Notwendigkeit des Grundwasserschutzes ergibt sich aus dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG).

Um die Schutzwirkung des Bodens gegenüber dem Grundwasser beurteilen zu können, muss zunächst definiert werden, wann Grundwasser als verunreinigt einzustufen ist. Hierfür wurde im Zusammenhang mit der Erarbeitung der BBodSchV zur Beurteilung des Pfades Boden-Grundwasser von einer Arbeitsgruppe aus LAWA,

LABO und LAGA das Geringfügigkeitsschwellen-Konzept<sup>17</sup> entwickelt, das auch auf landbauliche Bewirtschaftungsmaßnahmen übertragen werden kann. Wichtige Kenngrößen sind dabei die Sickerwasserprognose und der Ort der (wasserrechtlichen) Beurteilung.



**Abb. 1: Schematische Darstellung des Ortes der Beurteilung<sup>18</sup>**

Die Grundwasseroberfläche stellt bei der Beurteilung von bewirtschaftungsbedingten Einträgen in Bezug auf Grundwasserschutz den Ort der Beurteilung dar. Zu beurteilen sind die Stoffgehalte im Sickerwasser am Ende der Sickerstrecke, das heißt beim Eintritt in die Grundwasseroberfläche. Mit der so genannten Geringfügigkeitsschwelle wird im Hinblick auf Stoffkonzentrationen im Sickerwasser konkretisiert, wann eine Grundwasserverunreinigung vorliegt. Grundwasser am Ort der Beurteilung kann nach den Grundsätzen der LAWA<sup>19</sup> dann als „in nur unerheblichem Ausmaß in seiner chemischen Beschaffenheit verändert“ (als im

<sup>17</sup> Bannick, C.G.; Leuchs, W.; Ruf, J.; 2000: Boden- und Altlastensanierung zum Schutz des Grundwassers – die Vorgaben der BBodSchV zum Ermessen im Einzelfall.

<sup>18</sup> Bannick, C.G.; Leuchs, W.; Ruf, J.; 2000: Boden- und Altlastensanierung zum Schutz des Grundwassers – die Vorgaben der BBodSchV zum Ermessen im Einzelfall.

<sup>19</sup> Grundsätze des Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz, Stand 21. März 2000, unveröffentlicht

rechtlichen Sinne nicht verunreinigt) bezeichnet werden, wenn trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber den regionalen Hintergrundwerten

- im oder durch das Grundwasser am Ort der Beurteilung keine relevanten ökotoxikologischen Wirkungen auftreten können
- und wenn außerdem
- die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleitete Werte eingehalten werden.

Für diese Konzentrationswerte wird hier der Begriff „Geringfügigkeitsschwelle“ verwendet. Die Geringfügigkeitsschwellen entsprechen hinsichtlich ihres Zahlenwertes im Wesentlichen den nach wasserrechtlichen Maßstäben abgeleiteten Prüfwerten der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser.

Liegen die regionalen geogenen Hintergrundwerte im Grundwasser bereits über den Geringfügigkeitsschwellen, können von den Wasserbehörden für solche Regionen im Einzelfall höhere Werte zugelassen werden. Für einzelne Stoffe, die nicht aufgeführt sind, ist in Abstimmung mit der LAWA oder den Wasserbehörden zu klären, ob eine Geringfügigkeitsschwelle zu beachten ist, und ggf. ein Konzentrationswert festzulegen. So wurde für Stickstoff in den „Technischen Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage“ des Länderausschuss Bergbau ein Wert von 11 mg N/l<sup>20</sup> für das Sickerwasser festgelegt. Kann eine Geringfügigkeitsschwelle nicht festgelegt werden (zum Beispiel wegen nicht ausreichender Datengrundlage), so ist ein mögliches Gefährdungspotenzial durch den betreffenden Stoff, sofern es nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann, über ökotoxikologische Daten zu belegen, die in Umfang und Aussagekraft den biologischen Wirkungstests entsprechen oder mit diesen identisch sind. Bei organischen Stoffen ist eine stoffspezifische Geringfügigkeitsschwelle in der Regel nicht sinnvoll, da diese anthropogenen Stoffe vom Grundsatz her im Grundwasser unerwünscht sind.

---

<sup>20</sup> Technische Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage, Länderausschuss Bergbau 1998 Bodenschutz und Abfallverwertung, Bannick, Bertram, Embert, Rölleke, Erich Schmidt Verlag Berlin.

Bewirtschaftungsmaßnahmen und mit ihnen verbundene Verwertungsmaßnahmen sind nur dann zulässig, wenn die Filter- und Pufferfunktion des Bodens nicht überlastet und damit das Grundwasser nicht verunreinigt wird. Unter Beachtung der Definition einer Grundwasserverunreinigung ergibt sich damit als Kriterium für die Zulässigkeit zum Beispiel einer Verwertungsmaßnahme, dass die Sickerwasserkonzentrationen am Ort der Beurteilung nicht über der Geringfügigkeitsschwelle liegen dürfen. Die Konzentration im Sickerwasser hängt von den Materialeigenschaften sowie von der Art der Verwertung ab. Um festzustellen, ob die Geringfügigkeitsschwellen am Ort der Beurteilung eingehalten oder überschritten sind, müssen fallspezifisch Sickerwasserprognosen durchgeführt werden.

Um standortunabhängig (insbesondere hinsichtlich der Beschaffenheit des Untergrundes) die Einhaltung der Geringfügigkeitsschwelle am Ort der Beurteilung zu gewährleisten, ist diese aus Sicht eines vorsorgenden Bodenschutzes bereits unterhalb der Ein- oder Aufbringungsschicht (bei Bewirtschaftungsmaßnahmen wäre dies der Ap-Horizont<sup>21</sup>, ggf. Teile des B-Horizontes<sup>22</sup> [Bereich der Hauptwurzelmasse]) einzuhalten.

Untersuchungen von Böden im agrarischen Intensivgebiet Südoldenburg zeigen, dass Kadmium-, Kupfer- und Zinklösungskonzentrationen nahe der Trinkwassergrenzwerte bei Gesamtgehalten unterhalb der Bodengrenzwerte nach AbfklärV im Gleichgewicht stehen<sup>23</sup>.

### 1.1.2 Anforderungen an Böden als Pflanzenstandort

Hinsichtlich der Anforderungen an Böden als Pflanzenstandort steht das Schutzgut „Bodenfunktion als Standort für den Anbau von Nutzpflanzen“ im Vordergrund. Hinsichtlich der Pflanzen sind folgende Fallgestaltungen und Schutzgüter zu unterscheiden<sup>24</sup>:

---

<sup>21</sup> Erster Bodenhorizont in der Regel 0 – 30 cm.

<sup>22</sup> Zweiter Bodenhorizont in der Regel 30 – 100 cm.

<sup>23</sup> Leinweber, Peter 1996: Schwermetallgehalte und Schwermetallbindungsvermögen der Böden im agrarischen Intensivgebiet Südoldenburg, ISPA Eigenverlag

<sup>24</sup> Bachmann et al. 1998; Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes, Bodenschutz & Altlasten Nr. 4, Erich Schmidt Verlag Berlin.

- Ausschluss von humantoxischen Wirkungen beim Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln, insbesondere von Weizen, Kartoffeln und Gemüse,
- Vermarktbarkeit von Nahrungspflanzen aus Acker- und Erwerbsgartenbau als Lebensmittel,
- Verwertbarkeit von Ackerfutter und Grünlandaufwuchs als Futtermittel,
- Ausschluss phytotoxischer Wirkungen auf Nahrungs- und Futterpflanzen infolge schädlicher Bodenveränderungen (ertragsbezogene Wachstumsbeeinträchtigungen).

Soweit Stoffe in lebens- oder futtermittelrechtlichen Vorschriften geregelt sind, sollen diese Regelungen als eine Bezugsgröße für die in der Pflanze nicht zu überschreitenden Schadstoffgehalte dienen. Dies wurde zum Beispiel bei der Ableitung der Bodenprüfwerte der BBodSchV berücksichtigt.

Die Aufnahme von Schwermetallen ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Die wichtigsten sind:

- der Bodengehalt an Schadstoffen
- die Bodenart
- der pH-Wert
- die Pflanzenart
- die Pflanzensorte

Liegen Bodengehalte unterhalb der Vorsorgewerte nach BBodSchV vor, sollte sichergestellt sein, dass es zu keinen Überschreitungen lebens- oder futtermittelrechtlich festgelegter Grenzwerte in den angebauten Kulturen kommt.

Die von der LABO abgeleiteten Hintergrundwerte für Kadmium zeigen jedoch, dass die mobilen Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden in einem derzeit flächenmäßig nicht quantifizierbaren Anteil oberhalb der Maßnahme-Werte von 0,04/0,1 mg/kg TS (AN<sup>25</sup>) für den Pfad Boden-Pflanze liegen. Bei Überschreitung des Boden-

---

<sup>25</sup> Extraktion nach DIN 19730

wertes für Weizenanbau besteht eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit, dass die doppelten ZEBS<sup>26</sup>-Werte für Kadmium im Weizen überschritten werden.

## 1.2 Nachhaltige Stoffpolitik

Die unter 1.1 dargestellten Handlungsoptionen eines vorsorgenden Bodenschutzes decken sich teilweise auch mit den fünf Umwelthandlungszielen, die das Umweltbundesamt in seinem Bericht „Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC“ formuliert hat. Sie haben grundsätzlichen Charakter und lassen sich auf andere Stoffe und Stoffgemische übertragen.

### Umwelthandlungsziel 1

Der irreversible Eintrag von persistenten und/oder bioakkumulierenden Fremdstoffen in die Umwelt ist unabhängig von ihrer Toxizität vollständig zu vermeiden. Dies gilt auch für Metaboliten mit solchen Eigenschaften. Sind sie einmal in der Umwelt, können sie nicht mehr zurückgeholt werden. Sie verbleiben dort langfristig und können sich in Organismen anreichern. Diese Forderung gilt unabhängig von der Toxizität solcher Stoffe. Es gibt heute zwar ein umfassendes Prüfinstrumentarium für Stoffe, aber abgesehen davon, dass dieses bisher nur auf wenige Stoffe vollständig angewandt wurde, ist das Wissen über die Wirkungen von Stoffen immer noch ungenügend. Sind neue Erkenntnisse zu Schadwirkungen vorhanden, kommen die Maßnahmen häufig zu spät.

### Umwelthandlungsziel 2

Der Eintrag von Fremdstoffen mit kanzerogenen, mutagenen oder reproduktionstoxischen Wirkungen in die Umwelt ist vollständig zu vermeiden. Dies gilt auch für Metaboliten mit solchen Eigenschaften.

Diese Eigenschaften betreffen zentrale Funktionen von Organismen – auch des Menschen – und Ökosystemen, die dadurch irreversibel beeinträchtigt werden können.

---

<sup>26</sup> Höchstmengen für Lebensmittel der Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Stoffen, die jedoch im Jahr 2000 zurückgezogen wurden.

### Umwelthandlungsziel 3

Die anthropogene Freisetzung von Naturstoffen mit persistenten und/oder bioakkumulierenden Eigenschaften oder kanzerogenen, mutagenen oder reproduktionstoxischen Wirkungen in die Umwelt darf nicht zu einer Erhöhung der geogenen oder biogenen Hintergrundbelastung führen.

Eine Nullbelastung ist allerdings für Naturstoffe, wie zum Beispiel Schwermetalle, grundsätzlich nicht erreichbar.

### Umwelthandlungsziel 4

Der anthropogene Eintrag von anderen toxischen oder ökotoxischen Stoffen (auch Naturstoffe), die nicht bereits in eine der o.g. Kategorien fallen, ist auf das technisch unvermeidbare Maß zu reduzieren. Dies gilt auch für Metaboliten mit solchen Eigenschaften.

### Umwelthandlungsziel 5

Eine Erhöhung stofflicher Einträge in die Umweltmedien ist unabhängig von bisher erkannten Wirkungen und anderen intrinsischen Eigenschaften zu vermeiden, falls eine Rückholbarkeit aufgrund der hohen Verteilung und/oder des geringen Austausches praktisch nicht möglich ist.

Das entspricht dem auf dem Vorsorgeprinzip basierenden Minimierungsgebot. Dieses Ziel, das zum Beispiel auf die Begrenzung der Salzbelastung der Gewässer zielt, betrifft alle Stoffe, die den o. g. Kategorien nicht zuzuordnen sind.

Die für den Bodenschutz abgeleiteten Handlungsoptionen und die am Beispiel PVC abgeleiteten Handlungsfelder entsprechen sich weitgehend. Auf ihrer Basis stützt sich das in diesem Bericht dargelegte fachliche Konzept. Dabei sind insbesondere die Schadstoffanreicherungen in Böden zu berücksichtigen.

## 2. Schadstoffumsatz in Böden

Hinsichtlich der Erhöhung von Schadstoffgehalten in Böden auf Grund bewirtschaftungsbedingter Einträge liegen zur Zeit nur unzureichende Erkenntnisse vor. Dies gilt sowohl für Schadstoffe, die zum Beispiel in der Klärschlammverordnung, Bioabfallverordnung oder Düngemittelverordnung geregelt sind, als auch für Schadstoffe, die bislang nicht in den eben genannten Verordnungen konkretisiert sind. Gründe dafür sind,

- dass diesbezügliche Untersuchungen (zum Beispiel Vergleich der Schadstoffanreicherungen von Flächen, auf denen Klärschlamm aufgebracht wurde, zu Flächen ohne Klärschlammausbringung) bislang kaum durchgeführt wurden,
- im Rahmen der vorhandenen Regelungen ein Vergleich der Schadstoffgehalte zwischen den unterschiedlich bewirtschafteten Flächen nicht vorgesehen ist.

Würden zum Beispiel Flächen betrachtet, auf denen Gesamtfrachten aufgebracht wurden, die im Rahmen der Klärschlammverwertung seit 1983 bei maximaler Ausschöpfung der Grenzwerte und angenommener kontinuierlicher Klärschlammapplikation möglich gewesen wären, hätte elementspezifisch eine Erhöhung der Bodengehalte zwischen 6,5 und 21,6 % eines mittleren Bodenvorrates stattgefunden, wie aus Tabellen 2 und 3 ersichtlich wird. Damit befindet sich die Erhöhung im Bereich der Untersuchungsgenauigkeit bei Bodenuntersuchungen und ist somit zur Zeit nicht nachweisbar.

Dies bedeutet aber auch, dass im Boden durchaus Anreicherungen stattgefunden haben können. Für den Zeitraum vor 1983, das heißt, vor der Begrenzung von Mengen und Schadstoffen durch die 1983 in Kraft getretene Klärschlammverordnung, wurden durch Diez und Biehler<sup>27</sup> Erhöhungen auf langjährig beschlammten Flächen gegenüber vergleichbaren Kontrollstandorten nachgewiesen. Zu gleichen Ergebnissen kommen Untersuchungen aus der Schweiz<sup>28</sup>. Weitere Einträge (sonstige Bewirtschaftung/Luftemissionen) bleiben hierbei unberücksichtigt.

---

<sup>27</sup> Diez und Biehler, 1983: "Schwermetallgehalte bayerischer Ackerböden nach mehrjähriger Klärschlammdüngung im Vergleich zu unbeschlammten Böden", Heft 7, 1983 der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.

<sup>28</sup> Mitteilung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, 2000.

**Tabelle 2: Maximale Schadstofffrachten durch Klärschlammverwertung**

Schadstoff	max. Jahresfracht in g/ha	maximale Gesamtfracht 1983 - 2001 in g/ha (19 Jahre)
Cd	17	323
Cr	1.500	28.500
Cu	1.333	25.327
Hg	13	247
Ni	333	6.327
Pb	1.500	28.500
Zn	4.167	79.173
PCB	0,33333	6,27
AOX	833	15.827
PCDD/F	167 *	3.173*

\* in µg/ha

**Tabelle 3: Anteile des Eintrages maximaler Schwermetallfrachten nach AbfKlärV am Bodenvorrat**

Schadstoff	Bodengrenzwert AbfKlärV in mg/kg	Bodenvorrat 50 % des Bodengrenzwertes in 30 cm in g/ha	% des max. Ges.-Eintrages am Bodenvorrat
Cd	1,5	2.925	11,0
Cr	100	195.000	14,6
Cu	60	117.000	21,6
Hg	1	1.950	12,7
Ni	50	97.500	6,5
Pb	100	195.000	14,6
Zn	200	390.000	20,3
PCB	-		
AOX	-		
PCDD/F	-		

Wie lange es dauert, bis die Vorsorgewerte für Böden nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV (vgl. Tabelle 1) durch Einträge von Schadstoffen erreicht werden, ist

abhängig von der jeweiligen Vorbelastung der Böden, ihrer Bewirtschaftung und ihrer Emissionssituation sowie dem Austrag, zum Beispiel über Ernteprodukte und Sickerwasser, und dem Abbau bei den organischen Schadstoffen.

## 2.1. Schätzung von Austrägen

### 2.1.1. Schwermetallausträge durch Bodensickerwasser

Zur Berechnung des Austrages von Schwermetallen in der Bodenlösung wurde auf Sickerwasseruntersuchungen unbelasteter Standorte zurückgegriffen, die im Rahmen des UBA-Forschungsvorhabens „Boden-Eluat-Gehalte zur Prognose von Inhaltstoffen des Boden-Sickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk/BBodSchV<sup>29</sup>“ durchgeführt worden waren. In Lysimeteruntersuchungen wurden insgesamt 340 Sickerwasserproben aus 16 Böden analysiert. Es zeigte sich, dass eine Zuordnung der Sickerwasserkonzentrationen zu bestimmten Bodensubstraten nicht möglich war. Insofern können die hier gefundenen Sickerwasserkonzentrationen (Medianwerte) als Grundlage der weiteren Berechnungen für alle Bodenarten angenommen werden. In Tabelle 4 sind die Austragsfrachten für unterschiedliche Grundwasserneubildungsraten (Sickerwasserspenden) dargestellt, die für Deutschland typisch sind.

**Tabelle 4: Austräge über das Bodensickerwasser in g/(ha x a)**

Schadstoffe	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Sickerwasserkonzentrationen in µg/l <sup>30</sup>	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
Sickerwasserfracht bei 100 mm	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
<b>Sickerwasserfracht bei 200 mm</b>	<b>0,28</b>	<b>9,2</b>	<b>8</b>	<b>0,28</b>	<b>17,8</b>	<b>0,56</b>	<b>38</b>
Sickerwasserfracht bei 300 mm	0,42	13,8	12	0,42	26,7	0,84	57
Sickerwasserfracht bei 400 mm	0,56	18,4	16	0,56	35,6	1,12	76

29 UBA 1999: „Boden-Eluat-Gehalte zur Prognose von Inhaltstoffen des Boden-Sickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk/BBodSchV“ Texte 86/99.

30 UBA Texte 86/99 Medianwerte (S. 29).

Die jährliche Nettosickerwasserspende (Grundwasserneubildung in mm oder l/m<sup>2</sup>) weist zum Teil erhebliche regionale Unterschiede auf (Ostdeutschland < 100 mm, Schleswig-Holstein und Bayern bis 400 mm). Die mittlere jährliche Nettosickerwasserspende liegt bei 200 mm<sup>31</sup>. Damit stellen die Frachten dieser Klasse die Basis für die mittleren Austräge dar.

---

31 DVWG-1993-Einfluss von Bodennutzung und Düngung in Wasserschutzgebieten auf den Nitratreintrag in das Grundwasser.

## 2.1.2 Schwermetallausträge durch Ernteabfuhr

Austräge von Schwermetallen über die Ernte sind abhängig von der angebauten Pflanzenart, dem Ertragsniveau sowie den Schwermetallgehalten in dem vom Standort abgeführten Pflanzenmaterial. Für diese Bilanzierung wurden für die Hauptfruchtarten die durchschnittlichen Erträge der Erntejahre 1995 - 1999 zu Grunde gelegt und mit den durchschnittlichen Schwermetallgehalten in Beziehung gesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Durchschnittliche mittlere Austräge über die Ernteabfuhr in g/(ha x a)**

Schadstoffe <sup>32</sup> Kultur	Ertrag in kg/ha <sup>33</sup>	Cd	Cr	Cu	Hg <sup>34</sup>	Ni	Pb	Zn
Weizen	6.286	0,25	0,19	45,64	-	7,35	3,14	296,95
Roggen	4.620	0,09	1,34	26,75	-	1,43	0,83	69,58
Gerste	5.079	0,15	0,97	17,27	-	1,88	2,79	178,32
Hafer	4.327	0,13	1,34	23,37	-	5,89	2,21	223,81
Körnermais	6.937	0,14	6,45	12,69	-	11,65	14,43	198,19
Kartoffeln	8.177	2,45	12,18	55,28	-	14,96	14,39	59,61
Zuckerrüben <sup>35</sup>	13.129	1,44	14,44	56,46	-	28,88	3,68	183,81
<b>Mittel über alle Fruchtarten</b>		<b>0,67</b>	<b>5,27</b>	<b>33,92</b>	-	<b>10,29</b>	<b>5,92</b>	<b>172,90</b>

Die Austräge an Cu und Zn liegen am höchsten und unterstreichen damit auch die essentielle Bedeutung dieser Schwermetalle als Mikronährstoffe.

<sup>32</sup> Gehalte nach Angaben KTBL 1995: Schwermetalle in der Landwirtschaft, Arbeitspapier 217.

<sup>33</sup> In Trockenmasse, Durchschnitt über die Jahre 1995 – 1999, Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, 1999, BML Herausgeber, Verlag Münster Hiltrup und KTBL 1995 (siehe Fußnote 32)

<sup>34</sup> Für Quecksilber wurden keine Daten in der Literatur angegeben.

<sup>35</sup> Daten zu Zuckerrüben aus Heyn u. Janssen 1995 VDLUFA Schriftenreihe 40, Kongressband 1995, S. 753.

Eine weitere Möglichkeit, flächenbezogen zu durchschnittlichen Austrägen von Schwermetallen über die Ernte zu kommen, ist die Bilanzierung über in Deutschland typische Standardfruchtfolgen, zum Beispiel Weizen, Gerste und Zuckerrüben. Weitere Fruchtfolgen, zum Beispiel unter Einbeziehung von Kartoffeln oder Raps als Hackfrucht oder Weizenmonokultur (über 20 Jahre Weizendaueranbau zum Beispiel in Schleswig-Holstein üblich) und Maisdaueranbau (zum Beispiel in Bayern) oder Dauergrünland wären denkbar. Bei Getreide kann eine Erhöhung der Entzüge über eine (allerdings immer weiter zurückgehende) Strohabfuhr in Ansatz gebracht werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass bei Eigennutzung eine Rückführung mit dem Stallmist erfolgt. Gleiches gilt für die Abfuhr von Rübenblatt.

Unter Berücksichtigung eines mittleren Schwermetallaustrages über das Bodensickerwasser (200 mm, vergleiche Tabelle 4) sowie eines mittleren Schwermetallentzuges durch das Erntegut (Tabelle 5) ergibt sich eine Gesamtabfuhr von Schwermetallen pro Jahr und Hektar, die bei Anreicherungsszenarien zu berücksichtigen ist (Tabelle 6).

**Tabelle 6: Durchschnittliche Gesamtausträge über Sickerwasser und Erntefuhr in g/(ha x a)**

Schadstoffe	Cd	Cr	Cu	Hg <sup>36</sup>	Ni	Pb	Zn
<b>Gesamtausträge in g/(ha x a)</b>	0,95	14,47	41,92	0,28	28,09	6,48	210,90

## 2.2 Schätzung von Einträgen

### 2.2.1 Schwermetalleinträge über atmosphärische Niederschläge

Die exakte flächenhafte Bestimmung der mittleren Einträge durch atmosphärische Niederschläge ist aufgrund der vorhandenen Datenlage nicht möglich. Die Höhe der Depositionen wird standortabhängig durch verschiedene Faktoren beeinflusst, zum Beispiel

- emissionsbedingte Faktoren (zum Beispiel Nähe der Messstelle zu

<sup>36</sup> Es ist nur ein Austrag über Sickerwasser berücksichtigt.

Emissionsquellen)

- orographische, meteorologisch-klimatologische Faktoren.

Zudem hat das Messverfahren (bulk, wet-only, Bergerhoff) Einfluss auf die Höhe der ermittelten Werte.

Um zumindest Größenordnungen miteinander vergleichen zu können, können Ergebnisse aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes zu Schwermetallen im Niederschlag (Schwermetall-Screening, wet-only) als Jahresdepositionssummen zum Vergleich mit den Austragsfrachten herangezogen werden. Die Daten wurden im Rahmen eines langfristig angelegten Messprogrammes erhoben, das der bundesweiten Schätzung der Schwermetalleinträge über den Niederschlag im Rahmen des Schwermetall-Protokolls der UN ECE-Luftreinhaltekonvention dient.

Die UBA-Stationen sind Teil des EMEP<sup>37</sup>-Messnetzes zur Untersuchung des weiträumigen grenzüberschreitenden Transports von Luftverunreinigungen. Sie befinden sich daher in ländlichen Gebieten, im Hinblick auf die zu untersuchende Fragestellung nicht in der Nähe bedeutender Emissionsquellen. Das Messverfahren "wet-only" wurde in Abstimmung mit den EMEP-Vorgaben gewählt und kann witterungs- und standortabhängig systematisch niedrige Messwerte bedingen.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse für die vier untersuchten Metalle Blei, Kadmium, Kupfer und Zink dargestellt.

**Tabelle 7: Einträge über atmosphärische Niederschläge in g/(ha x a) (wet-only)**

Schadstoffe	Cd		Cu			Pb	Zn
Mittelwert über 27 Messstationen 1999/2000	0,5		11			12	101

<sup>37</sup> EMEP-European Monitoring and Evaluation Programme (Cooperation Programme for Monitoring and Evaluation of Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe).

Hinsichtlich des Kadmiums liegen Schätzungen anderer Quellen in einer Größenordnung von 1,7 g Cd/(ha x a)<sup>38</sup>.

In Tabelle 8 sind für das Jahr 1999 bulk-Messwerte aus dem UBA-Messnetz dargestellt. Es handelt sich hierbei aber auch nicht um Gesamtdositionen, da die trockene Deposition durch bulk-Messungen ebenfalls nicht vollständig erfasst wird. Die exakte Beschreibung der trockenen Deposition erfolgt rezeptorabhängig und erfordert in der Regel aufwendige Messungen oder wird auf der Basis von Modellrechnungen vorgenommen.

**Tabelle 8: Einträge über atmosphärische Niederschläge in g/(ha x a) (bulk-Messungen) für das Jahr 1999**

Schadstoffe	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Messstation Deuselbach	0,8	2,1	11	-	8,2	18	229
Messstation Waldhof	0,8	1,9	13	-	9,9	15	146

Für die weiteren Berechnungen (Kapitel 2.3) wurden die Ergebnisse der bulk-Messungen herangezogen.

### 2.2.2 Mögliche Einträge durch Bewirtschaftungsmaßnahmen

Hinsichtlich der Einträge über Bewirtschaftungsmaßnahmen sind zunächst die zulässigen Frachten innerhalb der geltenden Umweltgesetzgebung zu betrachten. Die im Rahmen von Bewirtschaftungsmaßnahmen zulässigen Schwermetallfrachten für Bioabfälle und Klärschlämme sind in nachstehender Tabelle dargestellt. Auf die mittleren Gehalte dieser Materialien wird verwiesen (vergleiche Anhang II.1.3.1 und II.1.3.2)

Anhang II.1.3.1 und II.1.3.2
---------------------------------------

<sup>38</sup> Hessische Landesanstalt für Landwirtschaft und Landwirtschaftskammer Rheinland, beides im Cd-Bericht an die 26. AMK.

**Tabelle 9: Zulässige Einträge nach AbfKlärV und BioAbfV in g/(ha x a)**

Stoffe	AbfKlärV		BioAbfV	
	alle Böden	leichte Böden oder pH < 6	Grenzwert Klasse 1 (bei 20 t TS/(ha x 3a))	Grenzwert Klasse 2 (bei 30 t TS/(ha x 3a))
<b>Cd</b>	16,7	8,3	10	10
<b>Cr</b>	1.500	1.500	667	700
<b>Cu</b>	1.330	1.330	667	700
<b>Hg</b>	13,3	13,3	6,7	7,0
<b>Ni</b>	333	333	333	350
<b>Pb</b>	1.500	1.500	1.000	1.000
<b>Zn</b>	4.170	3.330	2.670	3.000
<b>AOX</b>	833	833		
<b>PCB</b>	0,3	0,3		
<b>PCDD/F</b>	167	167		

### 2.3 Schadstoffanreicherungen in Böden

Auf Grundlage der unter Kapitel 2.1. und Kapitel 2.2 lassen sich nun für bestimmte Standardsituationen Anreicherungszeiträume berechnen, in denen nicht mehr tolerierbare Bodengehalte erreicht werden.

Ausgehend vom 25sten Perzentil und 75sten Perzentil für Boden-Hintergrundwerte<sup>39</sup> für die Bodensubstrate nach BBodSchV (siehe Tabelle 1) wurden Anreicherungszeiträume bis zum Erreichen der jeweiligen Vorsorgewerte für Schwermetalle unter Berücksichtigung der unter Kapitel 2.1 und Kapitel 2. 2 genannten Ein- und Austräge berechnet. Bei den Berechnungen wurde von einer Düngung mit Klärschlamm ausgegangen, da die in der Klärschlammverordnung enthaltenen Grenzwerte zu den höchsten zulässigen Frachten (vergleiche Tabelle 9) führen. Daneben wurden aber auch Berechnungen mit durchschnittlich vorkommenden Klärschlammgehalten (vergleiche Anhang II.1.3.1) durchgeführt. Die

Anhang  
II.1.3.1

<sup>39</sup> European Commission, JRC Ispra 2000: Heavy Metal (Trace Element) and Organic Matter Contents of European Soils, Bericht einer Vorstudie über vier Mitgliedsländer, unter Federführung der BGR, Hannover.

geringeren Auftragsfrachten bei leichten Böden<sup>40</sup> wurden berücksichtigt. Ebenso wurden die Einträge über die Luft sowie die Austräge über Ernteentzug und Sickerwasser berücksichtigt.

Als Bezugsgröße wurden die ersten 30 cm (in der Regel der Ap-Horizont) gewählt. Für die Bodendichte wurde ein Wert von  $1,3 \text{ g/cm}^3$  angenommen.

In Tabelle 10 sind die Zeiträume für die unterschiedlichen Fallgestaltungen dargestellt. Sie geben einen Eindruck über die zur Verfügung stehenden Zeiträume bis zum Erreichen der Bodenvorsorgewerte. Aufgrund der geringen „Auffüllungsspielräume“ werden die Vorsorgewerte bei Sand eher erreicht als bei Lehm/Schluff und Ton.

---

<sup>40</sup> Bei pH-Werten  $< 5$  ist die Aufbringung von Klärschlämmen nach AbfKlärV nicht zulässig.

**Tabelle 10: Zeiträume bis zum Erreichen der Bodenvorsorgewerte nach BBodSchV am Beispiel landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung (Angabe in Jahren)**

Bodenart, Perzentil, Fracht	Cd	Cr	Cu	Hg <sup>41</sup>	Ni	Pb	Zn
Sand 25stes, maximale Fracht	144	65	46	21	171	61	50
Sand 25stes, durchschnittliche Fracht	537	1.500	139	196	2.311	804	120
Lehm/Schluff 25stes, maximale Fracht	189	121	86	129	485	114	99
Lehm/Schluff 25stes, durchschnittliche Fracht	1.431	2.794	261	1.206	7.905	1.492	311
Ton 25stes, maximale Fracht	330	217	132	282	617	200	127
Ton 25stes, durchschnittliche Fracht	2.505	5.018	401	2.637	10.074	2.628	399
Sand 75stes, maximale Fracht	96	41	24	9	47	9	19
Sand 75stes, durchschnittliche Fracht	358	948	74	84	628	122	42
Lehm/Schluff 75stes, maximale Fracht	141	71	45	105	235	35	53
Lehm/Schluff 75stes, durchschnittliche Fracht	1.073	1.640	137	982	3.831	454	166
Ton 75stes, maximale Fracht	259	167	84	267	373	119	96
Ton 75stes, durchschnittliche Fracht	1.968	3.864	256	2.497	6.081	1.560	301

Hinsichtlich der organischen Schadstoffe ist auf Folgendes hinzuweisen. Nach einer im Auftrag des Deutschen Bundestages vorgelegten Studie<sup>42</sup> wurden von verschiedenen Autoren in Klärschlämmen Benzo[a]pyren-Gehalte von bis zu 15 mg/kg gemessen. Legt man diesen Wert zu Grunde, ergibt sich ein jährlicher Eintrag von 0,0064 mg/kg. Demnach wäre ohne Berücksichtigung der Vorbelastung der Vorsorgewert für Böden nach ca. 47 Jahren erreicht.

<sup>41</sup> Bei Quecksilber wurden wegen fehlender Daten Lufteinträge sowie Austräge über die Ernte nicht berücksichtigt.

<sup>42</sup> Beisecker et al. 1996: Flächenhafte Verwendung von organischen Abfällen einschließlich der landwirtschaftlichen Wirtschaftsdünger im Spannungsfeld von Bodenschutz und Kreislaufwirtschaft, Deutscher Bundestag.

In Niedersachsen lagen die Medianwerte von Benzo[a]pyren im Klärschlamm 1999 zwischen 0,09 mg/kg (Kalkschlämme) und 0,24 mg/kg (Trockenschlämme)<sup>43</sup>. Hinsichtlich der vorher genannten Gehalte ergeben sich hieraus allerdings wesentlich längere Zeiträume.

---

<sup>43</sup> Gunreben, Marion 2000: Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in Niedersachsen. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.

### 3. Konzeption zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen

Die nachfolgende Konzeption basiert auf den in Kapitel 1.1 genannten Handlungsoptionen des Bodenschutzes und den in Kapitel 1.2 genannten Umwelthandlungszielen.

Aufgrund der Ausführungen in Kapitel 2.3 - insbesondere im Hinblick auf die Schwermetalle - wird deutlich, dass mit der bislang angewendeten Strategie von tolerierbaren Anreicherungen über Stoffeinträge (vgl. Kapitel 1.1, Handlungsoption 4 des Bodenschutzes) unter Beibehaltung der bisher zulässigen Frachten in Abhängigkeit der Vorbelastung der Böden bereits in wenigen Jahren eine Auffüllung bis zu den Bodenvorsorgewerten erreicht ist. Um diesen Prozess zu beenden, ist es notwendig zu erreichen, dass absehbar keine Zunahme der Gehalte von Schwermetallen im Boden erfolgt. Dazu sind materielle Kriterien auf der Basis der beiden nachfolgenden (gleichwertigen) Anforderungen abzuleiten:

1. Die Gehalte der Schwermetalle im jeweiligen Düngemittel (bezogen auf den langfristig im Boden verbleibenden Teil) entsprechen den Gehalten im Boden am Aufbringungsstandort (auf Gehalte bezogene Konzeption siehe Handlungsoption 2).
2. Die eingetragene Fracht von Schwermetallen pro Flächen- und Zeiteinheit ist gleich deren tolerierbarem Austrag<sup>44</sup> (frachtenbezogene Konzeption siehe Handlungsoption 3),

Für persistente oder bioakkumulative organische Schadstoffe ist anzustreben, sie überhaupt nicht vorsätzlich in Böden einzubringen, weil – stellt sich später ein Gefährdungspotenzial heraus – diese Stoffe und Gefährdungen nicht mehr rückholbar sind (vgl. Handlungsoption 1 des Bodenschutzes Kapitel 1.1). Angesichts bestehender ubiquitärer Belastungen mit einzelnen dieser Stoffe ist für diese pragmatisch die Regel anwendbar: Falls das Düngemittel keine höheren Gehalte dieser Stoffe als die ubiquitäre Belastung der Böden enthält (bezogen auf den langfristig im Boden verbleibenden Teil), ist die Verwendung des Düngemittels

---

<sup>44</sup> Hinsichtlich rechtlich tolerierbarer Austräge ist auf die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA für das Schutzgut Grundwasser sowie die Höchstmengen VO für Lebensmittel zu verweisen, ggf. sind Qualitätsziele für Grundwasser und Oberflächengewässer zu beachten.

tolerierbar, weil sich dadurch die Böden nicht verschlechtern (vgl. Handlungsoption 2 des vorsorgenden Bodenschutzes Kapitel 1.1).

Bei den Ableitungen wird im Folgenden immer von mittleren Gehalten oder mittleren Frachten ausgegangen. Die Bewertung erfolgt unabhängig vom rechtlichen Status des Materials, d. h. ob es Abfall zur Verwertung oder Produkt ist. Für alle Materialien ist anzustreben, die vorhandenen Qualitäten hinsichtlich der Schadstoffgehalte weiterhin zu verbessern (vergleiche Anhang III).

Anhang III
---------------

Hinsichtlich einer nachhaltigen Abfallverwertung ist anzustreben, Wertstoffkreisläufe zu schließen und Schadstoffkreisläufe zu unterbrechen.

### 3.1 Begrenzung von Schwermetallen

Zur Begrenzung von Schwermetalleinträgen mit dem Ziel, Bodengehalte nicht weiter zu erhöhen, stehen zwei gleichwertige Handlungsoptionen zur Wahl. Diese beiden Handlungsoptionen sind notwendig, um den jeweils unterschiedlichen Materialeigenschaften der verschiedenen Düngemittel gerecht zu werden. Insofern sind die zu prüfenden Materialien vor einer Beurteilung einer der jeweiligen Handlungsoptionen zuzuweisen.

Bei der Handlungsoption 2 „Gleiches zu Gleichem“ ist es Voraussetzung, dass das dem Standort zugeführte Material hinsichtlich seiner Qualität den dortigen Standorteigenschaften entspricht. Dies bezieht sich hier insbesondere auf die Schwermetallgehalte, die – bezogen auf den langfristig im Boden verbleibenden Anteil – denen des Standortes entsprechen müssen. **Insofern ist die Übertragung dieser Handlungsoption nur auf solche Materialien möglich, die einen hohen mineralischen Anteil in ihrer Trockenmasse aufweisen und somit als „bodenähnlich“ zu bezeichnen sind.**

Für Materialien, die nur geringe mineralische Anteile in ihrer Trockenmasse aufweisen, würde die eben genannte Handlungsoption dazu führen, dass in Bezug auf ihren langfristig im Boden verbleibenden Teil bei einer Bewertung sehr hohe Schadstoffgehalte in Rechnung zu stellen wären, die eine Ausbringung verbieten

würden. Für diese Materialien ist deshalb die Handlungsoption 3 „Eintrag gleich Austrag“ eine gleichwertige Variante, die ebenfalls verhindert, dass sich die Schadstoffgehalte im Boden erhöhen.

Hinsichtlich der in Anhang II dargelegten Materialeigenschaften lässt sich im Bezug auf die zu untersuchenden Materialien folgende Zuordnung treffen:

- „Gleiches zu Gleichem“
  - Komposte
  
- „Eintrag gleich Austrag“
  - Klärschlämme
  - Gülle
  - Mineraldünger

Diese Zuordnung scheint aus folgenden Gründen sachgerecht:

Fertigkomposte (größter Anteil am Kompostabsatz) weisen sehr hohe Anteile an mineralischer Substanz auf (bis zu 85 %<sup>45</sup>). Auf die Vorgehensweise in der EU-Ökolandbauverordnung wird verwiesen. In der Trockensubstanz von Gülle und nicht kalkstabilisierten Schlämmen wird von einem mineralischen Gehalt von etwa 5 Gew-% ausgegangen. Ähnliches gilt für den langfristig im Boden verbleibenden Teil bei Mineraldüngern.

In Tabelle 11 sind die Schwermetall-Vorsorgewerte nach BBodSchV (siehe Tabelle 1) und die Grenzwerte für Komposte nach EU-Ökolandbauverordnung sowie die Richtwerte für Bodenverbesserungsmittel den mittleren Schwermetallgehalten in Komposten gegenübergestellt. Darüber hinaus sind die Gehalte weiterer Düngemittel informativ aufgenommen.

---

<sup>45</sup> Kehres, Bertram 2000: Müllhandbuch, Kennzahl 6582, RAL-Gütesicherung Kompost

**Tabelle 11: Vergleich von Schwermetallgehalten in Böden und Düngemitteln<sup>46(1)</sup> (in mg/kg m<sub>T</sub>, Königswasseraufschluss)**

Böden und Materialien	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Bodenart Ton (T)	1,5	100	60	1	70	100	200
Bodenart Lehm/Schluff (L/U)	1	60	40	0,5	50	70	150
Bodenart Sand (S)	0,4	30	20	0,1	15	40	60
GW der EU-ÖkolandbauVO <sup>47</sup>	0,7 <sup>48</sup>	70	70	0,4	25	45	200
EU-UZ <sup>49</sup>	1	100	100	1	50	100	300
Kompost <sup>50</sup>	0,51	25,6	49,6	0,16	15,9	52,7	195
Klärschlämme <sup>51</sup>	1,4	46	274	1	23	63	809
Rindergülle	0,28	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,40	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Geflügelkot	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336
Festmist, Rind	0,29	12,9	39,0	0,03	5,2	5,8	190
Festmist, Schwein	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1.068
Superphosphat	10,8	114	17,2		28,8	18,5	236
Triplephosphat	26,8	288	27,3	0,04	36,3	12,0	489
Rohphosphate, diverse (1)	7,80	168	15,6		15,6	1,3	199
min. NPK-Dünger, 15/15/15 u. a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116
min. NP-Dünger, 20/20/0 u. a.	9,15	91,4	21,5	0,02	18,0	5,5	151
min. PK-Dünger, 0/15/20 u. a.	7,98	191	19,3	0,08	19,9	14,4	152

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Eine Bewertung von Komposten müsste nach oben genannten Kriterien bodenartbezogen (S, L/U, T) erfolgen. Aufgrund der zur Zeit mangelnden Datenlage als auch aus pragmatischen Erwägungen einer späteren Umsetzung wird als Bezugsgröße zunächst der Bodenvorsorgewert der Bodenart Lehm/Schluff für eine

<sup>46</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>47</sup> hinsichtlich rechtlich tolerierbarer Austräge ist auf die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA für das Schutzgut Grundwasser sowie die Höchstmengen VO für Lebensmittel zu verweisen, ggf. sind Qualitätsziele für Grundwasser und Oberflächengewässer zu beachten.

<sup>48</sup> Für Mineraldünger ist zur Zeit ein Wert von 90 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in der EU-Ökolandbauverordnung festgelegt.

<sup>49</sup> EU-Kommission 2001: Entscheidung zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe eines EG-Umweltzeichens für Bodenverbesserer und Kultursubstrate 2001/688/EG, K (2001) 2597

<sup>50</sup> UBA 2001: Daten zur Umwelt 2000

<sup>51</sup> UBA 2001: Daten zur Umwelt 2000

Bewertung herangezogen. Diese Werte entsprechen in ihrer Größenordnung den Grenzwerten, die in der Ökolandbauverordnung der EU niedergelegt sind.

Da sich bodenart- oder standortspezifisch der langfristig im Boden verbleibende Anteil zur Zeit nicht ableiten lässt, wird ein Vergleich mit den Schwermetallgehalten in der Trockensubstanz vorgenommen. Dies erscheint sachgerecht, da sich die Bezugsgröße aufgrund des hohen mineralischen Anteils nur um wenige Prozent verschieben würde. Darüber hinaus wird auf natürliche Böden verwiesen, die Gehalte an organischer Substanz von > 15 % aufweisen.

Der Vergleich zeigt, dass die mittlere Qualität von Bioabfällen in der Regel den Bodenvorsorgewerten von Lehm/Schluff entspricht, diese zum Teil sogar im direkten Vergleich unterschreitet. Eine Ausnahme bilden hier die geringen Überschreitungen bei Cu und Zn<sup>52</sup>. Komposte halten in der Regel auch die Anforderungen der EU-Ökolandbauverordnung ein. Dies gilt sogar in der Regel für den Fall, dass der Bezug mineralischen Teil - also nach Abzug der organischen Substanz - erfolgt. Die Lehm/Schluff-Werte stellen in Bezug auf die Bodenwerte eine mittlere Qualität dar. Eine Verwertung von Komposten nach dieser Bewertung ist möglich.

Für Gülle, Mineraldünger und Klärschlamm ist wie oben ausgeführt die frachtenbezogene Konzeption zur Bewertung heranzuziehen. Dazu wird eine Massenbilanz zu Grunde gelegt, für die sich folgende Beziehung formulieren lässt:

Unbedenklicher Austrag über alle Pfade = Zulässiger Eintrag über alle Pfade

Hinsichtlich des unbedenklichen Austrages sind die Frachten an Schwermetallen zu berücksichtigen, die über die Ernte sowie über das Bodensickerwasser dem Boden entzogen werden (vgl. dazu Kapitel 2.1). Für die Ableitung vorsorgeorientierter Frachten sind neben den Einträgen durch die Bewirtschaftung auch die Einträge über die atmosphärische Deposition zu berücksichtigen (vgl. dazu Kapitel 2.2.1). Bezugsgrößen für die folgenden Betrachtungen sind in räumlicher Hinsicht ein Hektar, in zeitlicher Hinsicht ein Jahr. Dabei wird jeweils von mittleren Werten ausgegangen. Dies bezieht sich sowohl auf die Einträge als auch auf die Austräge. Bei der

---

<sup>52</sup> Austragsfrachten von Schwermetallen, die auch zu einer Reduktion der Bodengehalte führen, wurden innerhalb dieses Ansatzes bislang nicht berücksichtigt.

atmosphärischen Deposition wird von der allgemeinen Hintergrundbelastung ausgegangen. Spezifische Belastungen, wie sie zum Beispiel in der Nähe von Straßen oder bestimmten Industrieanlagen auftreten, werden im Folgenden nicht berücksichtigt.

Auch Austräge über Erosion werden im Weiteren nicht betrachtet, da es wegen des gleichzeitigen Austrages von Bodenmaterial nicht zu einer Veränderung der Bodengehalte kommt. Außerdem erscheint ein (unerwünschter) Schadstoffeintrag aufgrund möglicher (unerwünschter) Erosionsereignisse als Bilanzgröße nicht sachgerecht. Gleiches gilt im übrigen auch für das am Erntegut anhaftende Bodenmaterial, das zum Teil auch wieder auf die Flächen zurückgebracht wird (zum Beispiel Rübenerde).

Ebenso wird die Freisetzung von Schwermetallen als Folge natürlicher Verwitterung aus Vereinfachungsgründen nicht betrachtet.

Die Ausführungen in Kapitel 2 machen deutlich, dass das oben formulierte Ziel „Eintrag gleich Austrag“ nicht ohne weiteres kurzfristig erreichbar ist. Dies liegt zum einen daran, dass die Austräge über Sickerwasser und Erntegut auf recht niedrigem Niveau liegen, andererseits Einträge über die Luft in dieser ersten groben Schätzung zumindest für einige Parameter zu einer fast vollständigen Ausfüllung dieser Werte führen. Es ist deshalb notwendig, sich bei der Festlegung von vorsorgeorientierten Eintragsfrachten bei der Landbewirtschaftung zunächst auch weiterhin im Rahmen einer Konvention am Stand der Technik zu orientieren, mit dem Ziel, die Schadstoffeinträge weitgehend zu vermindern. Dies gilt sowohl für den Einsatz betriebsexterner als auch betriebsinterner Düngemittel.

Insofern wird für die im Nachfolgenden zu prüfenden Materialien die Handlungsoption 4 (Konvention über tolerierbare Anreicherungen) zur Bewertung herangezogen.

Um zu prüfen, in welcher Größenordnung Schwermetalle im Rahmen des Standes der Technik bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in Böden eingetragen werden, wird in einem ersten Schritt die Anwendung verschiedener

Düngemittel untersucht. Aus Anhang II.1.1 ergibt sich, dass in Bezug auf die Schwermetalle die Phosphatdüngemittel besonders zu berücksichtigen sind. Insbesondere hinsichtlich des Eintrags von Kadmium sind die Phosphat-Düngemittel von größter Bedeutung. Deshalb wird im folgenden auf diese Düngemittelgruppe abgestellt. Auch die organischen Düngemittel werden ausschließlich hinsichtlich des Phosphates bewertet, da eine anteilige Reduktion des Schwermetalleintrages durch Substitution anderer Nährstoffe vernachlässigt werden kann.

Ausgangspunkt für die folgende Ableitung ist eine Düngung nach Entzug. Bei den Berechnungen bleiben die Bodenversorgungsstufen unberücksichtigt. Dies erscheint insofern sachgerecht, da Mangelstandorte zum Beispiel der Kategorie A nach LUFA-Klassierung in Deutschland bezüglich des Phosphates mit unter 5 % an der Gesamtfläche beteiligt sind<sup>53</sup>. Der Düngungsbedarf ergibt sich aus dem Pflanzenbedarf, der wiederum von der Pflanzenart und dem Ertragsniveau abhängig ist. Hinsichtlich des Schwermetalleintrages über Düngemittel ist neben der Düngemittelmenge auch deren Qualität von Bedeutung.

Für die Bilanzierung des Pflanzenbedarfes wurden die durchschnittlichen Erträge in Deutschland der Jahre 1995 - 1999 der Hauptfruchtarten zu Grunde gelegt und beispielhaft mit den Düngungsempfehlungen des Landes Brandenburg<sup>54</sup> in Beziehung gesetzt. In Tabelle 12 sind die für die zu erreichenden Erträge erforderlichen Nährstoffmengen dargestellt. Dies sind Ertragsniveaus und Düngungsmengen des konventionellen Landbaus.

---

<sup>53</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>54</sup> Düngungsempfehlung Brandenburg 2000.

**Tabelle 12: Mittlerer Nährstoffbedarf an P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bei mittlerem Ertragsniveau**

<b>Fruchtart</b>	<b>Durchschnittlicher Ertrag 1995 - 99 in dt<sup>55</sup></b>	<b>P-Bedarf in kg/dt</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bedarf kg/(ha x a)</b>
<b>Weizen</b>	72	0,35	58
<b>Roggen</b>	54	0,35	43
<b>Gerste</b>	58	0,35	46
<b>Hafer</b>	50	0,35	40
<b>Körnermais</b>	79	0,3	54
<b>Kartoffeln</b>	368	0,06	51
<b>Zuckerrüben</b>	525	0,04	48
<b>Durchschnitt über alle Kulturen</b>			49

In Tabelle 13 sind in einem Vergleich die Frachten an Schwermetallen dargestellt, die durch die verschiedenen P-Düngemittel in Böden in Bezug auf eine durchschnittlich notwendige Nährstofffracht von etwa 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> eingetragen werden.

<sup>55</sup> Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1999, Herausgeber BML, Verlag Münster Hiltrup.

**Tabelle 13: Mittlere Schwermetalleinträge durch Phosphat-Düngemittel<sup>56</sup> nach durchschnittlichem Pflanzenentzug in g/(ha x a) bezogen auf einen durchschnittlichen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bedarf von 50 kg/a und mittlere Dünger-Qualitäten**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Klärschlamm</b>	1,51	47,23	<b>281,31</b>	<b>1,03</b>	23,61	64,68	<b>830,60</b>
<b>Rindergülle</b>	0,61	15,87	96,74	0,13	12,83	16,74	586,96
<b>Schweinegülle</b>	0,35	8,15	<b>267,76</b>	0,02	8,93	5,37	<b>743,50</b>
<b>Geflügelkot</b>	0,35	6,11	73,06	0,03	11,25	10,00	466,67
<b>Festmist, Rind</b>	0,76	33,77	102,09	0,08	13,61	15,18	497,38
<b>Festmist, Schwein</b>	0,33	10,38	<b>453,63</b>	0,04	9,58	5,14	<b>1.076,61</b>
<b>Triplesuperphosphat</b>	2,98	32,00	3,03	0,00	4,03	1,33	54,33
<b>Rohphosphate, diverse</b>	1,44	31,11	2,89	0,00	2,89	0,24	36,85
<b>miner. NPK-Dünger, 15/15/15</b>	1,26	15,27	3,77	0,02	3,63	4,93	38,67
<b>miner. NP-Dünger, 20/20/0</b>	2,29	22,85	5,38	0,01	4,50	1,38	37,75
<b>miner. PK-Dünger, 0/15/20</b>	2,66	63,67	6,43	0,03	6,63	4,80	50,67
<b>Thomaskali, 10+20+3</b>	0,15	<b>464</b>	9,5	-	1,5	2	4,5
<i>Kompost</i>	<i>3,11</i>	<i>156,10</i>	<i>302,44</i>	<i>0,98</i>	<i>96,95</i>	<i>321,34</i>	<i>1.189,02</i>

Die in Tabelle 13 dargestellten Frachten beziehen sich auf eine jeweilige Alleinanwendung der jeweils dargestellten Düngemitteltypen. Eine in der Landwirtschaft durchaus übliche Aufteilung des Pflanzenbedarfes auf verschiedene Düngemitteltypen - zum Beispiel auf Wirtschafts- und Mineraldünger - wurde hier aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt, würde jedoch im Einzelfall zu einer entsprechenden Reduktion von Schwermetallfrachten führen können.

Ausgehend von der mittleren Eintragsfracht an Schwermetallen über alle Düngemittel kann eine vorsorgeorientierte Fracht festgelegt werden. Die Mittelwertbildung über alle Phosphatdünger ist zulässig, da alle Schwermetallfrachten auf 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> normiert sind. Eine Wichtung hinsichtlich der anteilig eingesetzten Phosphatdünger wurde nicht berücksichtigt. Um die

<sup>56</sup> Aufgrund der geringen Schwermetallgehalte können an dieser Stelle N- und K-Düngemittel vernachlässigt werden.

Schwankungsbreiten innerhalb als auch zwischen den Düngemitteltypen aufzufangen, wird ein Zuschlag von 50 % in Anrechnung gebracht. Die mittleren Schwermetalleinträge über alle Düngemittel sowie die mittleren Schwermetalleinträge mit einem Aufschlag von 50 % sind in nachstehender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 14: Mittlere Schwermetalleinträge über alle Düngemittel in g/(ha x a), bezogen auf einen durchschnittlichen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bedarf von 50 kg/a**

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>mittlerer Eintrag</b>	1,37	69,73	123,69	0,18	15,38	34,86	431,81
<b>mittlerer Eintrag plus 50 %</b>	2,05	104,60	185,54	0,27	23,07	52,28	647,71

Als anspruchsvoller Maßstab für die Festlegung von vorsorgeorientierten Schadstofffrachten kann aber auch die zulässige Zusatzbelastung nach BBodSchV herangezogen werden (vergleiche Tabelle 15). Die zulässige Zusatzbelastung berücksichtigt alle Eintragspfade. Bei landwirtschaftlich genutzten Böden sind dies in der Hauptsache bewirtschaftungsbedingte Einträge und die atmosphärische Deposition. Quotiert man die Frachten der zulässigen Zusatzbelastung zu jeweils 50 % (andere Quotierungen sind denkbar), ergeben sich für die Bewirtschaftung mögliche zulässige Frachten, die in Tabelle 15 dargestellt sind:

**Tabelle 15: Zulässige Zusatzbelastung nach BBodSchV<sup>57</sup>  
Vorsorgeorientierte Frachten in g/(ha x a) für bewirtschaftungsbedingte Einträge entsprechend 50 %<sup>58</sup> der zulässigen Zusatzbelastung nach BBodSchV**

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Zulässige Zusatzbelastung</b>	6	300	360	1,5	100	400	1200
<b>Vorsorgeorientierte Fracht in g/(ha x a)</b>	3	150	180	0,75	50	200	600

<sup>57</sup> nach BBodSchV, Anhang 2, Nr. 5

<sup>58</sup> Andere Quotierungen sind mit Blick auf die Lufteinträge denkbar.

Der Vergleich der Frachten von Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 macht Folgendes deutlich:

Die mittleren Frachten über alle Düngemittel mit einem Aufschlag von 50 % korrespondieren gut mit den Frachten der 50 % Quote der zulässigen Zusatzbelastung nach BBodSchV. Insofern erscheint es sachgerecht, die 50 %-Quote der zulässigen Zusatzbelastung als Bewertungsgrundlage für die Begrenzung bewirtschaftungsbedingter Einträge zu verwenden. Im Durchschnitt über alle Düngemittel werden die vorgeschlagenen Frachten nach Tabelle 15 eingehalten.

Klärschlämme überschreiten im Mittel die vorgeschlagenen Frachten in den Parametern Cu, Hg und Zn deutlich (vergleiche Fettdruck). Dies bedeutet unabhängig von der Bewertung der organischen Schadstoffe eine weitergehende Einschränkung der Klärschlammverwertung auf Grund der Schwermetallbelastung.

Besonders hohe Überschreitungen liegen bei der Schweinegülle und Schweinefestmist bei den Kupfer- und Zink-Werten vor, die im Wesentlichen fütterungsbedingt sind. Die Überschreitung der vorsorgeorientierten Fracht beträgt zum Teil über 100 %.

Der Chrom-Wert beim Thomas-Kali (mineralischer Abfall bei der Stahlproduktion) wird um mehr als 100 % überschritten. Chrom ist produktionsbedingt im Thomaskali enthalten.

Die weiteren Mineraldünger halten die vorgeschlagenen Vorsorge-Frachten ein. Hinzuweisen ist allerdings auf die hohen Frachten bei Kadmium, die den vorgeschlagenen Frachtenwert von 3 g/(ha x a) fast ausschöpfen (Triple-Phosphat).

Unter Berücksichtigung von Austrägen durch Ernteentzug und Bodensickerwasser sowie den Eintrag über atmosphärische Deposition ergeben sich aufgrund der neu vorgeschlagenen Eintragsfrachten folgende in Tabelle 16 dargestellten Anreicherungszeiträume.

**Tabelle 16: Zeiträume bis zum Erreichen der Bodenvorsorgewerte in Jahren (Vorsorgefrachten)**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg<sup>59</sup></b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Sand 25stes	411	700	395	581	1.438	440	275
Lehm/Schluff 25stes,	1.095	1.304	743	3.568	4.921	817	714
Ton 25stes	1.916	2.342	1.141	7.800	6.271	1.439	916
Sand 75stes	274	442	210	249	391	67	97
Lehm/Schluff 75stes	1.505	1.804	728	7.385	3.785	854	692
Ton 75stes	1.656	1.984	800	8.124	4.164	940	761

Es bleibt anzumerken, dass die vorgeschlagenen Frachten auf Basis der Werte der zulässigen Zusatzbelastung für bewirtschaftungsbedingte Einträge zum Teil wesentlich über den real vorkommenden Frachten liegen, so dass ohne Weiteres eine Festlegung niedrigerer Frachten möglich wäre. Dies würde zum Beispiel für die Metalle Pb und Zn, die bei Sandböden, die bereits das 75ste Perzentil erreicht haben und zu einer Auffüllung der Vorsorgewerte in einem Zeitraum unter 100 Jahren führen würde (graue Unterlegung), zu einer deutlichen Verlängerung der Auffüllungszeiträume führen. In wie weit solche Frachtreduzierungen parameterspezifisch möglich sind, muss an dieser Stelle offen bleiben und bedarf weiterer eingehender Diskussionen.

### 3.2 Begrenzung von organischen Schadstoffen

Hinsichtlich der organischen Schadstoffe ist zu unterscheiden zwischen solchen, die bereits ubiquitär in größerem Umfang in der Umwelt vorhanden sind, und solchen Stoffen, die einerseits aufgrund ihrer Vielzahl nicht in jedem Einzelfall auf ihre Wirkung geprüft werden können, von denen jedoch angenommen wird, dass sie schädliche Auswirkungen haben können und andererseits noch nicht ubiquitär in der Umwelt vorkommen.

<sup>59</sup> Bei Quecksilber konnten wegen fehlender Daten Lufteinträge und Austräge über das Erntegut nicht berücksichtigt werden.

Bei organischen Schadstoffen, die bereits ubiquitär in der Umwelt vorliegen, ist der Eintrag an der Höhe der ubiquitären Hintergrundgehalte zu orientieren. Hilfsweise können die für wenige organische Schadstoffe vorhandenen Bodenvorsorgewerte für eine Bewertung herangezogen werden. Um eine Begrenzung weiterer organischer Schadstoffe vornehmen zu können, wäre zur Ableitung entsprechender Grenzwerte für Düngemittel die Ermittlung ubiquitärer Hintergrundgehalte in Böden erforderlich.

**Tabelle 17: Vergleich der Vorsorgewerte für organische Schadstoffe in Böden (Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV) und von Komposten (in mg/kg m<sub>T</sub>) bei Humusgehalten > 8 %**

	PCB (Summe 6)	Benzo[a]pyren	PAK – 16 EPA
BBodSchV	0,1	1	10
Bioabfallkomposte	0,0957	0,332	4,260
Grüngutkomposte	0,0746	0,593	6,337
Klärschlamm	0,15 <sup>60</sup>	bis 15 <sup>61</sup>	keine Daten
Gülle	keine Daten	keine Daten	keine Daten

Hinsichtlich der Belastung mit organischen Schadstoffen in Komposten ist deren Vorkommen durch den Entstehungsprozess weitgehend auf die ubiquitär vorhandenen organischen Schadstoffe begrenzt. Ausgenommen werden müssen von dieser Feststellung allerdings Komposte, die unter Einbezug von Klärschlamm hergestellt wurden. Daten zur Belastung mit organischen Schadstoffen sind in Anhang II.1.3. dargestellt.

Anhang  
II.1.3.

Hinsichtlich der Belastung mit organischen Schadstoffen liegt in Klärschlämmen, neben den allgemein ubiquitär vorkommenden Stoffen, eine Vielzahl – im einzelnen nicht bestimmbarer – organischer Schadstoffe vor. Diese stammen sowohl aus den Haushaltungen (unter anderem Wasch- und Reinigungsmittel) als auch aus Industrie und Gewerbe<sup>62</sup>. Insofern werden die gestellten Anforderungen nach Handlungsoption 1 (siehe Kapitel 1.1) auch in Bezug auf die organischen Schadstoffe nicht erfüllt.

<sup>60</sup> Summe aus 6 PCB für das Jahr 1996, vgl. Tabelle II 26

<sup>61</sup> Beisecker et al. 1996: Flächenhafte Verwendung von organischen Abfällen einschließlich der landwirtschaftlichen Wirtschaftsdünger im Spannungsfeld von Bodenschutz und Kreislaufwirtschaft, Deutscher Bundestag.

<sup>62</sup> UMK-Bericht „Ursachen der Klärschlammbelastung mit gefährlichen Stoffen, Maßnahmenplan“ wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

Bei Wirtschaftsdüngern treten in Abhängigkeit von den  
Haltungsbedingungen insbesondere Tierarznei- sowie Wasch- und  
Desinfektionsmittel in den Wirtschaftsdüngern auf (siehe auch  
Anhang II.1.2).

Anhang II.1.2
------------------

#### 4. Abschließende Betrachtung

Maßgebliches Kriterium für Quantität und Qualität bewirtschaftungsbedingter Einträge in und auf landwirtschaftlich genutzten Böden ist der vorsorgende Bodenschutz. Ziel des vorsorgenden Bodenschutzes ist es, dass Schadstoffgehalte, die eine nachteilige Veränderung der Bodenfunktionen besorgen lassen, in Böden nicht erreicht werden.

Es wurde am Beispiel der Schwermetalle dargestellt, dass unter bestimmten Rahmenbedingungen die Zeiträume bis zum Erreichen der Vorsorgewerte nach BBodSchV unterhalb eines Zeitraums von 50 Jahren liegen. Insbesondere bei leichten Böden werden aufgrund der geringen „Auffüllungsspielräume“ die Vorsorgewerte zuerst erreicht. Auf Grund fehlender Daten ist zur Zeit nicht zu schätzen, wie viele Flächen tatsächlich in den genannten Zeiträumen betroffen sind. Eine Orientierung der Begrenzung von Schadstoffeinträgen am Gehaltskonzept führt zu keiner Veränderung der Bodengehalte am Standort. Eine Begrenzung von Schadstoffeinträgen nach dem frachtenbezogenen Ansatz auf ein Niveau von „Eintrag = Austrag“ ist kurzfristig nicht erreichbar. Die Festlegung neuer niedriger Frachten, die sich an der zulässigen Zusatzbelastung nach BBodSchV orientieren, führen aber zu einer deutlichen Verlängerung der Auffüllungszeiträume.

Die Vorlage notwendiger Anpassungen vorliegender rechtlicher Regelungen (AbfKlärV, BioabfallV) wäre aus fachtechnischer Sicht auf Basis der unter Kapitel 3.1 und 3.2 dargestellten Ableitungen kurzfristig möglich. Eine Ausweitung des Anwendungsbereiches einer solchen Verordnung auf Gülle ist durch die Ermächtigung in § 8 KrW-/AbfG gegeben, zum Beispiel in Kombination mit der Klärschlamm- oder Bioabfallverordnung. Andere rechtliche Lösungen sind möglich oder sogar notwendig (Mineraldünger).

Hinsichtlich der organischen Schadstoffe ist zu unterscheiden zwischen solchen, die bereits ubiquitär in größerem Umfang in der Umwelt vorhanden sind und solchen Stoffen, die aufgrund ihrer Vielzahl nicht in jedem Einzelfall auf ihre Wirkung geprüft werden können, von denen jedoch angenommen wird, dass sie schädliche Auswirkungen haben können und die noch nicht ubiquitär vorliegen.

Bei organischen Schadstoffen, die bereits ubiquitär in der Umwelt vorliegen, ist der Eintrag an der Höhe der ubiquitären Hintergrundgehalte zu orientieren. Eine diesbezügliche Parameterliste wäre in Erweiterung der in Kapitel 3.2 genannten Stoffe festzulegen.

Insbesondere um einen weiteren Eintrag von organischen Schadstoffen kurzfristig zu beenden, die nicht in jedem Einzelfall bewertet werden können und die noch nicht in ubiquitären Gehalten in Böden vorliegen, ist aktuell bei bestimmten Materialien Handlungsbedarf gegeben. Dies gilt vor Allem für Klärschlämme und Gülle in denen das Vorkommen solcher Stoffe (Pharmaka, Reinigungs- und Desinfektionsmittel) vielfach nachgewiesen worden ist (siehe auch Anhang II).

Anhang II
-----------

Für die jeweiligen Materialien ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften spezifische Maßnahmen, allerdings unter Beachtung gleicher Bewertungsmaßstäbe, die sich aus den Anforderungen des Bodenschutzes und einer nachhaltigen Stoffpolitik ergeben. Unter Berücksichtigung der dazu in Kapitel 3 abgeleiteten materiellen Kriterien, ergibt sich Folgendes:

### Klärschlamm

Es wurde untersucht, welche Schadstoffeinträge in den Boden durch die Verwendung von Klärschlämmen nach den Vorgaben der geltenden deutschen Klärschlammverordnung in der Praxis zu erwarten und welche Austräge gleichzeitig durch Auswaschung und Erntevorgang in Rechnung zu stellen sind:

Danach führt die Klärschlammdüngung zu erhöhten Einträgen von Schwermetallen und somit über die Jahre zu einer Anreicherung im Boden, die in der bisherigen Form auf Dauer nicht akzeptabel ist.

Außerdem ist davon auszugehen, dass Klärschlämme aufgrund von Abwassereinleitungen aus Gewerbe und privaten Haushalten eine Vielzahl von problematischen organischen Schadstoffen enthalten, die in den Kläranlagen nicht abgebaut oder abgetrennt werden und sich deshalb im Klärschlamm wiederfinden.

Deshalb sollte die bisher praktizierte Form der Klärschlammverwertung mit den derzeitigen Qualitätsanforderungen nicht fortgesetzt werden. Die materiellen Anforderungen der Klärschlammverordnung sind den Ansprüchen eines vorsorgenden Bodenschutzes (siehe dazu Kapitel 3) anzupassen. Es können allenfalls noch sehr schadstoffarme Klärschlämme für Dünge Zwecke zugelassen werden. Die Untersuchungsparameter bei den organischen Schadstoffen sollten erweitert und um Anforderungen an die Hygiene ergänzt werden.

Nicht mehr stofflich verwertbare Klärschlämme sollten gemäß der seit dem 1.3.2001 geltenden Artikelverordnung (Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und biologische Abfallbehandlungsanlagen) umweltverträglich entsorgt werden. Mit technischen Verfahren sollte die Rückgewinnung schadstofffreien Phosphats als Düngemittel aus Klärschlämmen und Abwasser forciert werden (siehe auch Anhang III). Die Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm und Abwasser ist notwendig, weil die Phosphatvorkommen weltweit begrenzt und Phosphate als Düngemittel nicht ersetzbar sind.

Anhang  
III

### Gülle

Gülle enthält bei der konventionellen Tierhaltung zum Teil ähnlich hohe Schwermetallgehalte wie Klärschlamm. Zusätzlich enthält Gülle aus der konventionellen Tierhaltung organische Schadstoffe (Antibiotika, Wasch- und Desinfektionsmittel).

Deshalb sollte der Eintrag von Schwermetallen und organischen Schadstoffen über Fütterung, Tierarzneimittel und Stallbetrieb in die Gülle verringert werden. Hinsichtlich der Qualitäten der Gülle vor einer Ausbringung sind die selben Maßstäbe eines vorsorgenden Bodenschutzes wie für den Klärschlamm anzulegen.

### Mineralische Düngemittel

Die Stahlherstellung über das Thomasverfahren führt zu hohen Chromgehalten im Thomaskali. Andere Minerale Dünger enthalten teilweise hohe Kadmiumgehalte.

Der Einsatz von Thomaskali sollte unter Anlegung der selben Maßstäbe eines vorsorgenden Bodenschutzes wie für den Klärschlamm überprüft werden. Bei den anderen Mineraldüngern sollte insbesondere der Gehalt an Kadmium beschränkt werden. Die Aufnahme weiterer kritischer Stoffe ist zu prüfen.

### Kompost

Komposte weisen wegen der getrennten Sammlung von Bioabfällen aus privaten Haushaltungen ähnliche Qualitäten auf wie natürliche Böden. Bei Anwendung dieser Materialien kommt es praktisch zu keiner Veränderung der Schadstoffgehalte im Boden. Die Verwertung des Komposts als Düngemittel kann daher fortgesetzt werden.

## **Anhang I:**

### **Agrarminister- und Umweltministerkonferenz am 13. Juni 2001 in Potsdam**

#### **TOP 3: Eckpunkte für eine zukunftsfähige Agrar- und Verbraucherpolitik**

(Weiterentwicklung der Agrarpolitik durch eine verstärkte Einbeziehung von Verbraucher-, Natur-, Umwelt- und Tierschutzaspekten)

#### **Beschluss:**

Die Ministerinnen, Minister und Senatoren der für Agrar- bzw. Umweltpolitik zuständigen Ressorts von Bund und Ländern unterstreichen die Notwendigkeit einer nachhaltigen Produktion sicherer und hochwertiger Nahrungsmittel in Deutschland. Gemessen an den Zielen

- optimaler Verbraucherschutz
- Erzeugung von Qualitätsprodukten
- artgerechte Tierhaltung
- Schutz von Umwelt und Natur
- Entwicklung der ländlichen Räume
- Einkommensmöglichkeiten für die in der Landwirtschaft Tätigen
- Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft
- grundlegende Vereinfachung der EU-Agrarpolitik

ist eine Neuorientierung der deutschen und europäischen Agrarpolitik erforderlich.

Kurzfristig geht es um eine wirksame Strategie zur BSE-Bekämpfung. Ebenso steht jedoch eine Neuorientierung in der Agrarpolitik, die sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene die Belange des Verbraucher-, Natur-, Umwelt- und Tierschutzes integriert, auf der Tagesordnung. Über den Bereich der Landwirtschaft hinaus sind die Ernährungswirtschaft, der Lebensmittelgroß- und -einzelhandel, die Vorleistungsbereiche, die Verbraucher und die Politik in ein Konzept der

verbraucher-, tierschutz- und umweltorientierten Agrar- und Ernährungspolitik einzubeziehen.

Die BSE-Bekämpfungsstrategie hat durch das „Gesetz zur Änderung futtermittelrechtlicher, tierkörperbeseitigungsrechtlicher und tierseuchenrechtlicher Vorschriften im Zusammenhang mit der BSE-Bekämpfung (BSE-Maßnahmegesetz)“ die erforderliche rechtliche Grundlage erhalten. Im Übrigen dokumentieren die Beschlüsse der Sonderkonferenz der Agrarminister vom 7. Februar 2001 in Potsdam und der Sonderkonferenz der für den gesundheitlichen Verbraucherschutz zuständigen Ministerinnen und Minister, Senatorinnen und Senatoren der Länder vom 29. Januar 2001 in Bremen, die EntschlieÙung des Bundesrates für ein Maßnahmenpaket zur Bekämpfung von BSE und zur Wiederherstellung des Verbrauchervertrauens vom 16. Februar 2001 sowie der Beschluss der Ministerpräsidentenkonferenz vom 16. Februar 2001 in Berlin den Handlungsbedarf für eine wirksame BSE-Bekämpfung.

Für eine Neuorientierung der Agrar- und Ernährungspolitik besteht nachfolgend genannter Handlungsbedarf.

### **1. Lebensmittelsicherheit erhöhen – Vertrauen zurückgewinnen**

### **2. Natur- und umweltverträglich wirtschaften, Tiere artgerecht halten**

Nachhaltiges, natur- und umweltverträgliches Wirtschaften setzt die Beachtung natürlicher Stoffkreisläufe voraus. Weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe vermindern die Notwendigkeit überregionaler Futtermittel- und Nährstofflieferungen. Sie liefern zudem einen entscheidenden Beitrag zur Verminderung diffuser Einträge in naturnahe Flächen und Gewässer sowie zur Sicherung der Trinkwassergewinnung. Im Sinne des vorbeugenden Umweltschutzes bedenkliche Stoffeinträge in die Umweltmedien Boden, Wasser, Luft müssen verhindert werden. Wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für eine Produktion gesunder Nahrungsmittel ist aus Vorsorgegründen sicherzustellen, dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Aufbringung von

Klärschlamm, Gülle und andere Wirtschaftsdünger, mineralischem Dünger und Kompost) zu keiner Anreicherung von Schadstoffen im Boden kommt.<sup>63 64</sup>

Über Grenzwerte, Übergangsfristen und Maßnahmen soll im Herbst 2001 in einem Symposium und anschließend zwischen Bund und Ländern beraten werden.

Die dargestellten Grundsätze und Maßnahmen sollen sowohl in die nationalen als auch die EU-Regelungen eingebracht werden.

Artenreiche Agrarökosysteme sind zu fördern.

Umweltgerechte Produktionsverfahren, artgerechte Tierhaltung sowie die Umsetzung der guten fachlichen Praxis sind keine Frage von Betriebsgrößen und Rechtsformen.

Zur konsequenteren Umsetzung der o. g. Ziele müssen folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- ein attraktives, flächendeckendes und ausreichend finanziertes Angebot von Agrarumweltprogrammen;
- eine deutliche Stärkung des ökologischen Landbaus vor allem über die Erschließung neuer Marktpotenziale und die spürbare Ausdehnung der Flächenanteile:

---

<sup>63</sup> Protokollnotiz der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Thüringen:

Baden-Württemberg, Bayern und Thüringen sprechen sich dafür aus, dass die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen untersagt werden sollte. Hinsichtlich der jetzt anzustrebenden Neubewertung sind die genannten Länder der Auffassung, dass das Ziel der Betrachtung die weitgehende Reduktion von Schadstoffen auch aus Bodenschutz- und Verbraucherschutzgründen sein muss. Dabei ist die Zahl der zu beurteilenden Parameter entsprechend neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse zu erhöhen.

<sup>64</sup> Protokollnotiz des BMU, des BMVEL und des Landes Nordrhein-Westfalen:

BMU, BMVEL und das Land Nordrhein-Westfalen halten folgende Maßnahmen für erforderlich:

- **1. Klärschlamm**

Die Klärschlammverordnung wird geändert. Es werden allenfalls noch sehr schadstoffarme Klärschlämme für Düngezwecke zugelassen. Die Untersuchungsparameter bei den organischen Schadstoffen werden erweitert und ergänzt um Anforderungen an die Hygiene.

- **2. Gülle**

Der Eintrag von Schwermetallen und organischen Schadstoffen über Fütterung, Tierarzneimittel und Stallbetrieb in die Gülle wird verringert. Dabei sind die selben Maßstäbe wie bei Klärschlamm anzulegen.

- **3. Mineralische Dünger**

Der Einsatz von Thomasphosphat wird unter Anlegung der selben Maßstäbe wie bei Klärschlamm überprüft. Bei den anderen Mineraldüngern wird der Gehalt an Kadmium beschränkt.

- **4. Kompost**

Die Verwertung von Kompost als Düngemittel kann bei Einhalten strenger Anforderungen fortgesetzt werden.

- durch eine verbesserte Förderung der Verarbeitung und Vermarktung der Produkte des Ökolandbaus aber auch der Erzeugung,
  - durch eine von den beteiligten Partnern unter Mithilfe des Bundes und der Länder getragene Informations- und Werbekampagne für Ökoerzeugnisse,
  - durch die Überführung des derzeitigen ÖPZ-Zeichens in ein staatliches ÖkoPrüfzeichen und
  - durch eine übersichtliche, administrativ einfachere nationale Umsetzung der EU-Verordnung Ökologischer Landbau;
- eine stärkere Flächenbindung der Tierhaltung und deren entsprechende Berücksichtigung als Fördervoraussetzung für landwirtschaftliche Unternehmen und die Überprüfung des Bewertungsgesetzes zur Abgrenzung der bäuerlichen gegenüber der gewerblichen Tierhaltung;
  - eine Überprüfung der Vorgaben der Düngeverordnung;
  - die Anpassung der Fördervoraussetzungen für die einzelbetriebliche investive Förderung an neuere Erkenntnisse über artgerechte Haltungs- und umweltgerechte Produktionsverfahren;
  - die Weiterentwicklung von Tierhaltungsverordnungen unter Zugrundelegung der aktuellen Rechtsprechung und des wissenschaftlichen Kenntnisstandes über artgerechte Tierhaltung;
  - die Vermeidung extremer Zuchtziele und deren stärkere Ausrichtung an Tiergesundheit und Wohlbefinden sowie die Nutzung der Vielfalt des genetischen Potenzials als Grundlage züchterischer Arbeit;
  - eine verstärkte Förderung der Bildung, Ausbildung und Beratung für umweltgerechte Landbewirtschaftung und Qualitätsmanagement;
  - eine fortwährende Weiterentwicklung und Konkretisierung der Grundsätze und Handlungsempfehlungen der guten fachlichen Praxis;
  - eine Stärkung des Vertragsnaturschutzes.

**3. Perspektiven für die Landwirtschaft – Nahrungs- und Rohstoffproduzent  
sowie Dienstleister im ländlichen Raum**

...

**4. Die europäischen und nationalen Agrarpolitiken weiterentwickeln**

...

**5. Das Konzept der multifunktionalen Landwirtschaft bei den WTO-  
Verhandlungen durchsetzen**

...

## **Anhang II:**

### **II. Landbaulich bodenbezogen eingesetzte Materialien**

Im Düngemittelgesetz wird zwischen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Kultursubstraten unterschieden. Ausschlaggebend für den Eintrag von Schadstoffen in Böden sind die Qualitäten der eingesetzten Materialien hinsichtlich ihrer Nähr- und Schadstoffgehalte als auch der aufgebrauchten Materialmenge, die sich aus dem Bedarf der Pflanzen und Böden ergibt. Dabei ist der Eintrag auf einer bestimmten Fläche (zum Beispiel 1 Hektar (ha)) auf eine bestimmte Zeiteinheit (zum Beispiel 1 Jahr) zu beziehen.

Im folgenden werden die am häufigsten eingesetzten Materialien beschrieben. Um die Dimensionen und die Bedeutung im Hinblick auf die Auswirkungen von veränderten Rahmenbedingungen (Anforderungen) deutlich zu machen, ist unter anderem auch das Gesamtaufkommen in Deutschland dargestellt, obwohl dies für die Bewertung eines Standortes zunächst keine Rolle spielt.

#### **II.1 Düngemittel**

Düngemittel werden pflanzenbaulich eingesetzt, um unter anderem

1. einen bestimmten Pflanzenertrag zu erreichen
2. bestimmte Qualitätskriterien von Pflanzen zu erreichen (zum Beispiel N-Gehalt im Getreide)
3. die Ertragssicherheit zu gewährleisten
4. Mangelsymptomen entgegenzuwirken.

Düngemittel müssen bei sachgerechter Anwendung das Wachstum von Nutzpflanzen wesentlich fördern, ihren Ertrag wesentlich erhöhen oder ihre Qualität wesentlich verbessern. Die applizierte Düngemittelmenge sollte sich dabei am Bedarf des Pflanzenbestandes orientieren (vergleiche Kapitel 3.1).

## II.1.1 Mineraldünger

Die Mengenangaben der im folgenden dargestellten Düngemittel wurden dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten entnommen<sup>65</sup>. Die Angaben beruhen auf Meldungen der Herstellerfirmen und Importeure über den Absatz von Handelsdüngern an Handel und Genossenschaften für den Inlandverbrauch. Diese Angaben werden mangels anderer Feststellungen mit den Verbrauchsmengen der Landwirtschaft gleichgesetzt.

Hinsichtlich der Belastung mit Schadstoffen liegen verschiedene Einzeluntersuchungen vor. Das UBA hatte 1992 mit seiner Studie „Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln“<sup>66</sup> erstmals eine Übersicht der verschiedenen Düngemittel bereitgestellt. Bis heute liegen keine weiteren Studien in dieser Bandbreite vor. Auch neuere Arbeiten, die sich mit Schwermetallen in der Landwirtschaft<sup>67,68</sup> beschäftigen, greifen auf die Ergebnisse der UBA-Studie zurück.

Es werden im weiteren nur die Düngemittel für die Hauptnährstoffe (N, P, K) betrachtet. Kalke bleiben im Folgenden unberücksichtigt. Sie können zwar mengenmäßig hinsichtlich der Zufuhr von Schwermetallen von Relevanz sein (bundesweit werden jährlich 2,2 Mio. t Kalk eingesetzt), werden jedoch sehr spezifisch zu bestimmten Fruchtarten (zum Beispiel Zuckerrüben) oder auf bestimmten Böden zur pH-Wert Regulierung eingesetzt, so dass eine generelle Betrachtung an dieser Stelle aus fachlicher Sicht nicht notwendig ist. Im Einzelfall sind Einträge, die aus der Kalkaufbringung resultieren, zu berücksichtigen.

### II.1.1.1 Stickstoffdünger

#### Düngemittelverbrauch

Die in Deutschland eingesetzten Stickstoffmengen des Wirtschaftsjahres 1998/1999 sind der Tabelle II 1 zu entnehmen.

<sup>65</sup> Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1999, Herausgeber BML, Verlag Münster Hiltrup

<sup>66</sup> UBA-Texte 55/92

<sup>67</sup> Schwermetalle in der Landwirtschaft, KTBL 1995, Arbeitspapier 217.

<sup>68</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK zur Kenntnis genommen.

**Tabelle II 1: Stickstoffverbrauch in Deutschland (1998/1999)**

Sorte	Menge in t
Ammonsalpetersorten	1.271.500
Harnstoff	216.800
andere Einnährstoffdünger	158.300
NP-Dünger	56.000
NK- und NPX-Dünger	200.300
Gesamt - N	1.902.900

Schadstoffe

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Stickstoffdüngemittel sind in Tabelle II 2 dargestellt.

**Tabelle II 2: Schwermetallgehalte verschiedener Stickstoff-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m<sub>T</sub><sup>(1)69</sup>**

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Kalkammonsalpeter	0,25	8,7	4,0	0,02	3,8	21,4	38,3
Ammonnitrat-Harnstofflösung	0,03	1,3	6,3	-	0,3	0,2	2,3
Harnstoff	0,13	0,5	0,5	-	0,7	0,6	1,9
mineral. NPK-Dünger, 15/15/15 u. a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116
mineral. NP-Dünger, 20/20/0 u. a.	9,15	91,4	21,5	0,02	18,0	5,5	151

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Nährstoffe

Die Stickstoffgehalte der wesentlichen Stickstoffdüngemittel sind in Tabelle II 3 dargestellt.

<sup>69</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

**Tabelle II 3: Gehalte an Nährstoffen verschiedener Stickstoff-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz<sup>(1)70</sup>**

Düngemittel angegeben als:	Stickstoff [ N ]
Kalkammonsalpeter	270
Ammonnitrat-Harnstofflösung	280
Harnstoff	460
mineralischer NPK-Dünger, 15/15/15	150
mineralischer NP-Dünger, 20/20/0	200

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

### II.1.1.2 Phosphordünger

#### Düngemittelverbrauch

Die in Deutschland eingesetzten Phosphormengen (Phosphat) des Wirtschaftsjahres 1998/1999 sind der Tabelle II 4 zu entnehmen.

**Tabelle II 4: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verbrauch (Mineraldünger) in Deutschland (1998/1999)**

Sorte	Menge in 1000 t
Superphosphat	39,8
Thomasphosphat	0,0
andere Einnährstoffdünger	12,1
PK-Dünger	64,3
NP- und NPK-Dünger	290,6
Gesamt-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	406,8

#### Schadstoffe

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Phosphordüngemittel sind in Tabelle II 5 dargestellt.

<sup>70</sup> LABO 2000: Kadmianreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

**Tabelle II 5: Schwermetallgehalte verschiedener Phosphor-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m<sub>T</sub><sup>71</sup>**

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Superphosphat	10,8	114	17,2	n. b.	28,8	18,5	236
Triplesuperphosphat	26,8	288	27,3	0,04	36,3	12,0	489
Rohphosphate, diverse (1)	7,80	168	15,6	n. b.	15,6	1,3	199
mineral. NPK-Dünger, 15/15/15 u. a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116
mineral. NP-Dünger, 20/20/0 u. a.	9,15	91,4	21,5	0,02	18,0	5,5	151
mineral. PK-Dünger, 0/15/20 u. a.	7,98	191	19,3	0,08	19,9	14,4	152

(1) Bei den Rohphosphaten gibt es je nach Herkunft beim Kadmiumgehalt ganz erhebliche Streubreiten von 2 - 80 mg/kg m<sub>T</sub>. Aktuell werden nur solche Phosphate zur Herstellung von Phosphatdüngern verwendet, deren Gehalte deutlich unter 40 mg/kg m<sub>T</sub><sup>72</sup> liegen. In der Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Düngemittelindustrie von 1984 galt noch die Vorgabe 90 mg/kg m<sub>T</sub>.

### Nährstoffe

Die Nährstoffgehalte der wesentlichen Phosphordüngemittel sind in Tabelle II 6 dargestellt.

<sup>71</sup> LABO 2000: Kadmianreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>72</sup> Hier liegt ein Fehler im Cd-Bericht vor. Die 40 mg Cd sind auf kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bezogen (mündliche Mitteilung Dr. Pradt, IVA auch niedergelegt im Tagungsband „Kadmianreicherung in Böden“ Niedersachsen 1999). Daraus würde bei einem Einsatz von durchschnittlich 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> eine Cd-Fracht von 2 g/(a x ha) resultieren.

**Tabelle II 6: Gehalte an  $P_2O_5$  verschiedener Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz<sup>(1)</sup>**

Düngemittel angegeben als:	Phosphor [ $P_2O_5$ ]
Superphosphat	180
Triplesuperphosphat	450
Rohphosphate, diverse	270
mineralischer NPK-Dünger, 15/15/15	150
mineralischer NP-Dünger, 20/20/0	200
mineralischer PK-Dünger, 0/15/20	150
Thomaskali, 10+20+3	100

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Hinsichtlich ihrer Wirkung ist zwischen aufgeschlossenen Phosphaten (beispielsweise Superphosphat) und nicht aufgeschlossenen Phosphaten (beispielsweise Rohphosphat) zu unterscheiden. Aufgrund vieler Versuche hat sich ergeben, dass Superphosphat eine schnelle Anfangswirkung hat und leicht immobilisierbar ist. Superphosphat hat seine beste Wirkung auf neutralen bis schwach alkalischen Böden. Eine optimale Anwendung ist zur Zeit der Saat gegeben. Rohphosphate haben eine sehr langsame Wirkung, daher sind sie zur Ergänzung von Reserven der Böden geeignet. Sie sollten insbesondere auf sauren oder biotisch aktiven Böden angewendet werden, auf denen ein ausreichender chemischer Aufschluss gewährleistet ist.

#### Phosphatreserven und Phosphatproduktion

Eine intensive Landwirtschaft ist ohne Phosphatdüngung nicht möglich. Alle bekannten Lebewesen und Lebensprozesse sind mit dem Element Phosphor verbunden. Dabei kann Phosphat als Düngemittel nicht durch andere Stoffe substituiert werden.

Mehr als 99 % der Phosphat-Düngemittel stammen aus mineralischem Phosphat, nur eine geringe Menge wird aus Stahlwerksschlacken gewonnen. Die US Geological Survey schätzte 1998, dass die weltweiten Reserven an mineralischem

Phosphat 11 Mrd. t betragen und Marokko allein eine zu heutigen Preisen noch nicht wirtschaftlich abbaubare Ressourcenbasis von 21 Mrd. t besitzt. Bei der gegenwärtigen Abbaurate würden die Phosphat-Reserven noch 80 Jahre ausreichen (basierend auf Produktionskosten von unter 36 US \$ /t). Bei Produktionskosten bis 90 US \$ /t erweitert sich der Zeitraum auf 240 Jahre.<sup>73</sup>

**Tabelle II 7: Reserven an mineralischem Phosphaterz weltweit (in Mio. t):**

	<b>Reserven</b>	<b>Ressourcenbasis</b>
Welt	11.000	33.000
Marokko	5.900	21.000
USA	1.200	4.400
Andere	1.810	7.920

Quelle: US Geological Survey

Die Gesamtproduktion von mineralischem Phosphat fiel von 166 Mio. t in 1988 auf 137 Mio. t in 1997. Hauptproduzenten sind die USA (32 %), China (15 %) und Marokko (17 %). In den USA und in Marokko befinden sich auch die Abbaustätten mit den geringsten Kosten (< 22 US\$/t).<sup>74</sup>

#### Phosphatdüngemittelproduktion

Die größten Produzenten von Phosphatdüngemitteln sind die USA, China, Indien, die Nachfolgestaaten der Sowjetunion und Marokko. Diese Staaten produzieren mehr als 2/3 der weltweit hergestellten Menge an Phosphatdüngemitteln.

Aufgrund der begrenzten Phosphatreserven und der aufwendigen Reinigung der abgebauten Phosphate von Kadmium und radioaktiven Elementen ist die Phosphatindustrie sehr an der Rückgewinnung von Phosphaten aus Abwässern interessiert<sup>75</sup>. Aber auch die Zementindustrie zeigt Interesse an der Phosphorrückgewinnung<sup>76</sup>.

<sup>73</sup> Zitiert aus <http://www.fertilizer.org>

<sup>74</sup> <http://www.potashcorp.com>

<sup>75</sup> E. Kaschka, S. Weyrer, Phostrup Handbuch, Posch & Partner GmbH, Innsbruck, 1999, S. 36 ff.

<sup>76</sup> Laut telefonischer Auskunft von Herrn Dr. Bartl, Südhessische Gas und Wasser AG, Darmstadt.

### Phosphatdüngemittelverbrauch

Der Welt-Phosphatdüngemittelabsatz ist seit Ende der 80er Jahre von 36 Mio. t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> im Wirtschaftsjahr 1987/1988 auf 29 Mio. t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> im Wirtschaftsjahr 1993/1994 zurückgegangen, hat sich jedoch in den letzten Jahren auf rund 33 Mio. t eingependelt<sup>77</sup>.

**Tabelle II 8: Verbrauch von unterschiedlichen Phosphatdüngemitteln weltweit (in Mio. t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):**

	1973/1974	1987/1988	1997/1998
Stahlwerksschlacke	0,83	0,15	0,02
Rohphosphat (direkt ausgebracht)	1,41	1,38	0,21
Single-Superphosphat	6,32	6,64	6,23
Triple-Superphosphat	2,84	4,48	2,17
Ammonium-Phosphat (und andere NP-Erzeugnisse)	4,35	13,32	14,91
PK / NPK	8,90	9,26	7,74
Anderer <sup>1)</sup>	1,07	1,08	1,45
Summe	25,72	36,31	32,63

Quelle: <http://www.fertilizer.org>

<sup>1)</sup> Dicalciumphosphat, Phosphorsäure (direkt ausgebracht), und weiteres

Laut Statistischem Bundesamt hat sich der Absatz von Phosphatdüngern in Deutschland kaum verändert, wie aus Tabelle II 9 ersichtlich wird.

<sup>77</sup> <http://www.ifa.org> und <http://www.iva.de>

**Tabelle II 9: Inlandsabsatz von unterschiedlichen Phosphat-Düngemitteln in Deutschland (in 1000 t Nährstoff)**

Wirtschaftsjahr	Superphosphat <sup>1)</sup>	Thomasphosphat	Andere Phosphatdünger <sup>2)</sup>	Mehrnährstoffdünger	Summe
1993/1994	30	10	10	365	415
1994/1995	41	8	10	392	451
1995/1996	35	7	9	351	402
1996/1997	34	2	11	368	415
1997/1998	33	2	16	358	410
1998/1999	40	0	12	355	407

Quelle: Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2000

<sup>1)</sup> einschl. Triple-Superphosphat

<sup>2)</sup> weicherdiges und teilaufgeschlossenes Rohphosphat, Dicalciumphosphat, Rohphosphat mit wasserlöslichem Anteil und mit kohlesauerm Kalk

Setzt man einen Gesamtbedarf von 50 kg  $P_2O_5$ /ha/a zu Grunde (vergleiche Kapitel 3.1) ergibt sich bei einer landwirtschaftlichen Fläche von 17 Millionen Hektar in Deutschland ein Gesamtbedarf von 833.000 t  $P_2O_5$ . Summiert man die  $P_2O_5$ -Mengen von Mineraldünger (407.000 t), Gülle (664.000 t) sowie von Klärschlamm (74.000 t) und Kompost (6.000 t), ergibt sich eine Gesamtmenge von 1.151.000 t  $P_2O_5$ , die jährlich auf Böden ausgebracht wird. Somit ergibt sich ein Bilanzüberschuss von etwa 318.000 t  $P_2O_5$ , was etwa 19 kg  $P_2O_5$ /ha entspricht. Ähnliche Angaben liegen in der Literatur vor.<sup>78</sup>

#### Phosphatdüngemittelpreise

Die in den Düngemitteln enthaltenen Phosphate werden auf Dollarbasis gehandelt. Deshalb ist die US\$-Wechselkursentwicklung in die Preisentwicklung für Phosphatdüngemittel mit einzubeziehen. Eine wichtige Rolle spielt auch der Markt für Phosphorsäure. Prognostiziert wird, dass der Verbrauch von phosphathaltigen Düngemitteln in Form von Phosphorsäure-basierten Düngemitteln, insbesondere Diammonium-Phosphat (DAP) zukünftig weiter zunehmen wird. Der Preis für Diammonium-

<sup>78</sup> Frede et al 2000: Nährstoffbilanzen der Landwirtschaft in Deutschland, aid

Phosphat bestimmt im wesentlichen die Wirtschaftlichkeit neuer Investitionen in den Phosphatabbau.<sup>79</sup>

Die durchschnittlichen Spotpreise für Phosphatdüngemittel waren in der Vergangenheit starken Schwankungen unterworfen. Die Preise (US Gulf) für Diammonium-Phosphat bewegten sich in den 90er Jahren von einem Tiefstand von 121 US \$/t in 1993 bis über 247 US \$/t in 1996 und sinken seitdem kontinuierlich. Im Mai 2001 wurde Diammonium-Phosphat in Jordanien mit 167 – 169 US \$/t und in Nordafrika mit 150 - 157 US \$/t gehandelt. Der Preis für Diammonium-Phosphat vom US Gulf betrug 141 – 144 US \$/t. Die Preise für Triple-Superphosphat (TSP) zeigten in der Vergangenheit nicht so starke Schwankungen. Nach einem langsamen Preisanstieg Mitte der 90er Jahre bis über 184 US \$/t (Nordafrika) haben sich die Preise auf einem Niveau von 121 – 129 US \$/t (Nordafrika), bzw. 123 – 128 US \$/t (US Gulf) stabilisiert (Mai 2001).<sup>80</sup>

### II.1.1.3 Kaliumdünger

#### Düngemittelverbrauch

Die in Deutschland eingesetzten Kalimengen ( $K_2O$ ) des Wirtschaftsjahres 1998/1999 sind der Tabelle II 10 zu entnehmen.

**Tabelle II 10: Kaliverbrauch in Deutschland**

Sorte	Menge in 1000 t
Kaliohsalz	18,3
Kaliumchlorid	261,7
Kaliumsulfat	22,7
NK- Dünger	109,9
PK-Dünger und NPK-Dünger	216,0
Gesamt-Kali ( $K_2O$ )	628,7

<sup>79</sup> L. M. Maene, Phosphate Fertilizer Production, Consumption and Trade / The Present Situation and Outlook to 2010, Vortragsmanuskript zum 17. Sulphur Phosphat Symposium in Boca Raton, Florida, USA des Sulphur Instituts (TSI), 1999

<sup>80</sup> <http://www.fadinap.org> und <http://www.fao.org>

### Schadstoffe

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Kalidüngemittel sind in der Tabelle II 11 dargestellt.

**Tabelle II 11: Schwermetallgehalte verschiedener Kali-Düngemittel nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m<sub>T</sub><sup>(1)81</sup>**

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
min. NPK-Dünger, 15/15/15 u. a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116
min. PK-Dünger, 0/15/20 u. a.	7,98	191	19,3	0,08	19,9	14,4	152
Thomaskali	0,30	928	19,0	n. b.	3,0	4,0	9,0
Kaliumchlorid, 40+6	0,08	3,5	2,9	0,02	1,5	0,5	3,7
Kaliumsulfat mit Mg, Patentkali	0,11	5,2	3,6	n. b.	4,1	2,5	17,4

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

### Nährstoffe

Die K<sub>2</sub>O-Gehalte der wesentlichen Kalidüngemittel sind in Tabelle II 12 dargestellt.

<sup>81</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

**Tabelle II 12: Gehalte an K<sub>2</sub>O verschiedener Düngemittel nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg Originalsubstanz<sup>(1)82</sup>**

Düngemittel angegeben als:	Kalium [ K <sub>2</sub> O ]
mineralischer NPK-Dünger, 15/15/15	150
mineralischer PK-Dünger, 0/15/20	200
Thomaskali, 10+20+3	200
Kaliumchlorid, 40+6	400
Kaliumsulfat mit Mg, Patentkali	300

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

## II.1.2 Wirtschaftsdünger

### Wirtschaftsdüngeranfall

Der Wirtschaftsdüngeranfall für das Jahr 1995 ist in Tabelle II 13 dargestellt<sup>83</sup>. Die Autoren greifen dabei auf ein bereits vorhandenes Berechnungsverfahren sowie die Tierzahlen von 1995 zurück. Gegenüber den Tierzahlen von 1995 haben sich die Tierzahlen von 1999 nur unwesentlich verändert, so dass die Größenordnungen des Wirtschaftsdüngeranfalls in Deutschland in etwa gleich geblieben sind. Insbesondere der Rinderbestand hat eine Abnahme erfahren, demgegenüber erfolgte aber ein Anstieg der Schweinebestände.

<sup>82</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>83</sup> Eurich-Menden, B.; Wegener, H.-R. u. Hackenberg, S. 1997: Überregionale Konzepte zur Verwertung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger notwendig; Müll und Abfall Heft 3.

**Tabelle II 13: Aufkommen von Wirtschaftsdüngern in Deutschland im Jahr 1995**

Wirtschaftsdüngerart	Frisch-/Flüssigmasse in 1995 (Mio. t/m <sup>3</sup> )	Trockenmassegehalt in %	Trockenmasse in Mio. t
Rindergülle	107,7	7,5	8,1
Schweinegülle	48,8	3-5*	1,5
Geflügelgülle	2,2	10	0,2
<b>Gülle gesamt</b>	<b>158,7</b>		<b>9,8</b>
Rindermist	64,7	25	16,2
Schweinemist	6,8	25	1,7
Geflügelmist	1,8	25	0,5
<b>Mist gesamt</b>	<b>73,3</b>		<b>18,4</b>
Rinderjauche	11,2	3	0,3
Schweinejauche	3,8	3	0,1
<b>Jauche gesamt</b>	<b>15</b>		<b>0,4</b>
<b>Wirtschaftsdünger gesamt</b>	<b>247,0</b>		<b>28,6</b>

\* Trockenmasse wurde mit 3% berechnet

Bezogen auf das Jahr 1995 ergibt sich daraus ein Gesamtnährstoffaufkommen, das in Tabelle II 14 dargestellt ist.

**Tabelle II 14: Nährstoffaufkommen durch Wirtschaftsdünger im Bezugsjahr 1995<sup>84</sup>**

Gülleart	Stickstoff in t als N	Phosphat in t als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Kalium in t als K <sub>2</sub> O
Rind	766.000	371.000	1.143.000
Schwein	347.000	250.000	255.000
Geflügel	45.000	43.000	31.000
Gesamt	1.158.000	664.000	1.429.000

<sup>84</sup> UBA 2000: Daten zur Umwelt, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Nicht berücksichtigt wurden dabei die Importe von Wirtschaftsdüngern nach Deutschland, bei denen es sich weitgehend um Hühnerfäkalien aus den Niederlanden handelt. Die Transporte gehen bis nach Brandenburg. Für diese Materialien besteht nach Abfallverbringungsrecht eine Meldepflicht.

**Tabelle II 15: Im- und Export von Wirtschaftsdüngern in Deutschland in t/a**

	1994 <sup>1</sup>	1995	1996	1997	1998	1999	2000 <sup>2</sup>
Import	0	11.099	52.263	84.220	61.225	89.222	90.000
Export	0	0	0	6.812	9.581	1.520	400

<sup>1</sup> das Jahr 1994 wurde erst ab Inkrafttreten der EU-Abfallverbringungsverordnung erfasst.

<sup>2</sup> vorläufige Zahlen, 1 Bundesland fehlt noch

### Schadstoffe

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Wirtschaftsdüngemittel sind in Tabelle II 16 dargestellt.

**Tabelle II 16: Schwermetallgehalte verschiedener Wirtschaftsdünger nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m<sub>T</sub><sup>85</sup>**

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	0,28	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,40	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Geflügelkot	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336
Festmist, Rind	0,29	12,9	39,0	0,03	5,2	5,8	190
Festmist, Schwein	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1.068

Neben den Schwermetallen sind bei den Wirtschaftsdüngern aber auch eine Vielzahl organischer Schadstoffe zu berücksichtigen, die aus der Tierernährung oder der Stallhygiene stammen.

<sup>85</sup> LABO 2000: Kadmianreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

Im F+E-Vorhaben des UBA „Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung unter Berücksichtigung verschiedener Böden“<sup>86</sup> erfolgte für die Region Weser-Ems die statistische Erfassung der eingesetzten Tierarzneimittel (TAM) und pharmakologisch wirksamer Substanzen. Ziel des Vorhabens war eine Abschätzung, in wie weit durch den Einsatz o.g. Mittel das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung bzw. eine Grundwasserverunreinigung zu besorgen ist. Die Quantifizierung von Stoffeinträgen in Böden durch Tierarzneimittel und sogenannte pharmakologisch wirksame Futterzusatzstoffe stand im Vordergrund der vorliegenden Studie.

Für 1997 wurde ein hochgerechneter Gesamtaufwand von ca. 112.000 kg pharmakologisch wirksamen Futterzusatzstoffen ermittelt, der sich zu 47 % aus seit 1999 nicht mehr zugelassenen und daher nicht mehr eingesetzten Substanzen zusammensetzte. Der Anteil dotierter Futtermittel betrug im Erhebungszeitraum zwischen 91 % (Mastrind/Schwein) und 71 % (Mastgeflügel). In der aktuellen Situation ist neben der Verbotssituation für bestimmte Zusatzstoffe v. a. aufgrund von Marktbedingungen mit einem weiteren Rückgang des Einsatzes zu rechnen.

Über tierärztliche Herstellungsaufträge wurden 1997 als Fütterungsarzneimittel im Untersuchungsgebiet knapp 76.000 kg Reinwirkstoffe verordnet; der Anteil antibiotisch wirksamer Substanzen betrug 91 %. Während 89 % der Herstellungsaufträge für Schweine erteilt wurden (Geflügel: 9 %, Rindermast: 2 %), entfielen darauf lediglich 72 % der Gesamtwirkstoffmenge (Geflügel: 27 %). Bezogen auf die Gesamtzeugung lagen für 39 % der Masthähnchen, 53 % der Puten, 27 % der Aufzuchtferkel sowie 71 % der Mastschweine Herstellungsaufträge für medikierte Futtermittel vor; etwaige Doppelbehandlungen konnten jedoch bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

Tetrazykline stellten mit 58 % der Antibiotikamenge die bedeutendste Substanzklasse. Hervorzuheben sind weiterhin die Sulfonamide (21 %), Aminoglykoside (10 %),  $\beta$ -Lactame (5 %) und Polymyxine (3 %). 78 % des Tetrazyklinverbrauchs konnten der Schweinehaltung zugeordnet werden.

---

<sup>86</sup> UBA Texte 44/2000.

Aus der Befragung von Tierarztpraxen im Untersuchungsgebiet, an der sich ca. 20 % der angesprochenen Tierärzte beteiligten, ging hervor, dass die direkte Abgabe von Tierarzneimitteln an den landwirtschaftlichen Betrieb zur Bestandsbehandlung über Futter oder Trinkwasser sowohl in der Schweineals auch der Geflügelhaltung eine große Rolle spielt. Trotz insgesamt recht unsicherer Datengrundlage lässt sich vermuten, dass die direkte Abgabe von Tierarzneimitteln an die landwirtschaftlichen Betriebe noch größer ist als in den oben genannten tierärztlichen Herstellungsaufträgen. Die Gesamtwirkstoffmenge aus Tierarzneimitteln liegt daher vermutlich in einer Größenordnung von 150.000 bis 200.000 kg pro Jahr im Untersuchungsgebiet.

Der Anteil der Direktabgaben wird zukünftig vermutlich weiter zunehmen und damit einer behördlichen Erfassung nicht mehr zugänglich sein.

Expositionsabschätzungen unter worst-case-Annahmen für Ausscheidung und Persistenz ergaben in Anlehnung an EMEA/CVMP für einmalige Bestandsbehandlungen mit durchschnittlicher Dosierung Endkonzentrationen von ca. 20 ppm in Gülle (Mastschweine) bzw. 90 ppm in Festmist (Mastputen). Bei Ausbringung in zulässiger Höhe lt. DüngeVO errechneten sich theoretische PECs (predicted environmental concentrations) im Boden zwischen 0,45 und 0,9 ppm. Damit liegen sie deutlich höher als die Triggerwerte, bei deren Überschreitung weitere ökotoxikologische Untersuchungen nach seit 1998 angewendeten Zulassungsrichtlinien (EMEA/CVMP-Leitlinie<sup>87</sup>) vorgesehen sind.

Die Ausscheidung von Tetrazyklin mit Kot und Harn ist durch einen deutlichen Anstieg bis zum letzten Applikationstag gekennzeichnet und geht danach wieder stark zurück; Einzeltiere können jedoch noch über einen längeren Zeitraum signifikante Tetrazyklin-Mengen ausscheiden. Bereits am siebten Tag nach Beginn der Applikation konnten 42 bzw. 70 % der verabreichten Wirkstoffmenge wiedergefunden werden.

---

<sup>87</sup> CVMP 1998: Note for Guidance: Environmental Risk Assessment for Veterinary Medicine Products, 055/96

Entgegen den Ergebnissen anderer Untersuchungen<sup>88</sup> wies Tetrazyklin in UBA-Vorhaben eine hohe Stabilität in Schweinegülle auf. Der maximale Rückgang betrug über einen Zeitraum von 7 Wochen ca. 50 %. Stoffkonzentration, Umgebungstemperatur oder Lufteintrag durch zeitweiliges Aufrühren hatten nur geringen Einfluss auf das Lagerverhalten. Im feststoffreichen Sediment der Versuchsbehälter wurden um den Faktor 3 bis 5 höhere TC-Konzentrationen als in der flüssigen Phase ermittelt.

In dem F+E-Vorhaben des Umweltbundesamtes zu „Einträgen von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials“<sup>89</sup> wurden auch in der Landwirtschaft eingesetzte Reinigungs- und Desinfektionsmittel untersucht. Diese gezielt eingesetzten synthetischen Chemikalien nehmen nach Handelsdüngern und Pflanzenschutzmitteln mengenmäßig den dritten Platz ein.

Als Ergebnis von Anfang 1997 durchgeführten Befragungen von Verbänden, Forschungseinrichtungen, Händlern und Herstellerfirmen ergibt sich folgende mengenmäßige Gliederung des Einsatzes von R+D<sup>90</sup>-Mitteln (Tabelle II 17):

**Tabelle II 17: Die sechs wichtigsten Gruppen von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln in der landwirtschaftlichen Tierhaltung nach Anwendung, Mengenverbrauch und Informationsbasis**

Anwendung	t/a	Informationsquellen*
R+D von Melkanlagen	22.000	Melkreiniger-Hersteller
Iod-haltige Zitzentauchmittel	3.500	Zitzentauchmittel-Hersteller
Kupfersulfat für Klauendesinfektion	1.000	v.a. Chemikalienhändler
Stalldesinfektion	860	Stalldesinfektionsmittel-Hersteller
Organ. Gülleentseucher	< 1.000	v.a. Universität Hohenheim
Cyanamidlösung zur Gülledesinfektion		

\* Im nachfolgenden Text werden die Informationsquellen detaillierter angegeben.

<sup>88</sup> Kühne und Agthe 1998: pers. Mitteilung in „Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung“, UBA Texte 44/2000.

<sup>89</sup> Kaiser T., W. Schwarz und M. Frost 1998: Einträge von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials, LOGOS-Verlag Berlin

<sup>90</sup> Reinigungs- und Desinfektionsmittel.

Die quantitativ bedeutendste Gruppe sind Reinigungs- und Desinfektionsmittel für Melkanlagen mit Einsatzmengen von ca. 22.000 t/a. Es handelt sich um Konzentrate oder um Pulver zum Ansatz verdünnter Lösungen. An zweiter Stelle folgen Zitzentauchmittel auf Iod-Basis mit ca. 3.500 t/a. Diese werden in der Regel nicht weiter verdünnt. Auf 1.000 t/a wird der Verbrauch von Kupfersulfatpulver geschätzt, das in 5-10-prozentiger wässriger Lösung zur vorbeugenden Desinfektion und Härtung von Rinderklauen benutzt wird. Zwischen 800 und 900 t/a Stalldesinfektionsmittel (Fertigzubereitungen aus dem Handel) werden verbraucht. Ihre Gebrauchskonzentration in Wasser beträgt zwischen 1 und 4 Volumenprozent. Im anzeigepflichtigen Seuchenfall wird direkt die Gülle außer durch hier nicht weiter zu betrachtende anorganische kalkhaltige und Ätznatron-Zubereitungen chemisch auch mit organischen Stoffen wie Formaldehyd, Peressigsäure, Ameisensäure und Calciumcyanamid desinfiziert. Über deren Einsatzmengen gibt es wegen des unregelmäßigen Anwendungsbedarfs nur vage Schätzungen. Die jährlichen Verbrauchsmengen von Formaldehyd und Calciumcyanamid zur Gülleentseuchung dürften sich im Bereich von 1.000 t bewegen. Ca. 250 t Cyanamid werden in der großbetrieblichen Schweinehaltung zur regelmäßigen Bekämpfung von Krankheitserregern und Fliegeneiern im Güllekanal des Stalles eingesetzt.

Natriumhypochlorit und Dichlorisocyanurat aus Melkreinigern können sowohl im Klärschlamm als auch in der Gülle zu einer zusätzlichen AOX-Belastung führen. Nonylphenoethoxylate aus Zitzentauchmitteln können in der Rindergülle zu Nonylphenolwerten von maximal 0,9 mg/kg TS führen. Quarternäre Ammoniumverbindungen (QAV), die außer aus Melkreinigern auch aus Stalldesinfektionsmitteln stammen, führen in Rinder- und Schweinegülle zu keiner toxischen Gefährdung. Allenfalls Geflügelgülle kann eine QAV-Konzentration von 100 mg/kg TS erreichen.

Dagegen führt Kupfersulfatlösung, die in landwirtschaftlichen Großbetrieben zur Desinfektion von Rinderklauen eingesetzt wird, zu einer nennenswerten Schwermetallbelastung der Gülle und damit des Bodens. In den (schätzungsweise) 1.000 t Kupfersulfat sind 250 t Kupfer enthalten, die vom jährlichen Kupfer-Gesamteintrag in landwirtschaftlichen Böden (rd. 3.500 t) immerhin 7 % ausmachen, wobei lokal Spitzengehalte weit über diesen Mittelwert liegen dürfen – in Einzelfällen auch über dem hilfsweise herangezogenen Klärschlammgrenzwert von 800 mg/kg TS. Nonylphenole

aus Zitzentauchmitteln können zu Konzentrationen von etwa 3 - 4 mg/kg in der Gülle führen. Das stellt etwa 15 % des Nonylphenolgehalts im Klärschlamm dar.

### Nährstoffe

Die Nährstoffgehalte der wesentlichen Wirtschaftsdünger sind in der Tabelle II 18 dargestellt.

**Tabelle II 18: Gehalte an Nährstoffen verschiedener Wirtschaftsdünger nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in g/kg  $m_T$ <sup>(1)91</sup>**

Düngemittel angegeben als:	Stickstoff [ N ]	Phosphor [ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	Kalium [ K <sub>2</sub> O ]
Rindergülle	50,0	23,0	65,9
Schweinegülle	105	57,7	69,4
Geflügelkot	55,0	36,0	30,0
Festmist, Rind	25,3	19,1	32,3
Festmist, Schwein	34,8	49,6	36,6

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

### II.1.3 Sekundärrohstoffdünger

Sekundärrohstoffdünger sind "...Abwasser, Fäkalien, Klärschlamm und ähnliche Stoffe aus Siedlungsabfällen und vergleichbare Stoffe aus anderen Quellen...".

#### II.1.3.1 Klärschlamm

##### Klärschlammanfall und -entsorgungswege

Die letzte Erhebung der ATV zum Klärschlammanfall ergab eine hochgerechnete Entsorgungsmenge von 2,7 Mio. t Klärschlamm-trockenmasse ( $m_T$ ) im Jahr 1996<sup>92</sup>. Zur Zeit wird ein Anfall von knapp 3 Mio. t angenommen. Die anteiligen Entsorgungswege sind in Tabelle II 19 dargestellt:

<sup>91</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>92</sup> Esch, B. und Krüger, G. 1999: Entsorgung von Kläranlagen-Rückständen in Deutschland. Ergebnisse der ATV-Umfrage 1996, Korrespondenz Abwasser 6.

**Tabelle II 19: Anteile an den Klärschlammensorgungswegen in Deutschland auf der Basis einer Erhebung der ATV von 1996**

Landwirtschaftliche Verwertung nach AbfKlärV	44,1 %
Landschaftsbauliche Verwertung (Rekultivierung, Deponiebegrünung usw.)	11,8 %
Kompostierung	10 %
Verbrennung	19,5 %
Deponie	11,4 %
Sonstiges	3,2 %

Die letzte veröffentlichte Erhebung des Statistischen Bundesamtes über 10273 Kläranlagen aus dem Jahr 1995 führt zu ähnlichen Größenordnungen des Klärschlamm-anfalls. Die Zahlen der Erhebung von 1998 stehen zur Zeit noch nicht zur Verfügung.

Die Entwicklung der Klärschlammmenge seit 1991 zeigt keinen Trend zu höheren Mengen. Die Gesamtmenge blieb mit knapp 3 Mio. t  $m_T/a$  annähernd konstant.

Bei den Entsorgungswegen fällt auf, dass

- die Deponierung<sup>93</sup> seit 1991 von ca. 50 % auf 11 % zurückging,
- die Verwertung in der Landwirtschaft (AbfKlärV) von ca. 35 % auf ca. 45 % zu-nahm und
- die Klärschlammverbrennung von ca. 10 % auf ca. 20 % anstieg.

Die Entwicklung des grenzüberschreitenden Klärschlammtransportes ist in Tabelle II 20 dargestellt. Verglichen mit dem Klärschlammgesamtaufkommen innerhalb Deutschlands ist der Import weitgehend vernachlässigbar, jedoch zuletzt mit stark steigender Tendenz. Von der 1999 importierten Menge wurden ca. 80 % bei der Rheinbraun-AG verbrannt. Die Zahlen in Tabelle II 20 geben außerdem nicht den Trockensubstanzanteil, sondern die tatsächlich transportierte Masse an. Zum Ent-wässerungsgrad der importierten Schlämme liegen nur unzureichende Daten vor. Zum Vergleich wurden auch die Zahlen zum Export dargestellt. Für das Jahr 2000 hat sich der Import gegenüber 1999 verdoppelt. Der größte Teil der Importe geht nach Nordrhein-Westfalen. Nach Abfallverbringungsrecht besteht beim Im- oder Export dieser Materialien eine Meldepflicht.

<sup>93</sup> Mit der am 1. März 2001 in Kraft getretenen Abfallablagereungsverordnung ist die Ablagerung unbehandelter Klärschlämme ab 2005 nicht mehr gestattet. In Einzelfällen bleibt die Ablagerung bis 2009 erlaubt.

**Tabelle II 20: Im- und Export von Klärschlämmen in Deutschland in t/a**

	<b>1994<sup>1</sup></b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000<sup>2</sup></b>
Import	80	100	1.179	3.292	11.142	33.194	71.000
Export	13.151	52.242	63.468	45.594	13.389	8.495	11.700

<sup>1</sup> das Jahr 1994 wurde erst ab Inkrafttreten der EU-Abfallverbringungsverordnung erfasst.

<sup>2</sup> vorläufige Zahlen, 1 Bundesland fehlt noch

### Nährstoffe

Die landwirtschaftliche Klärschlammensorgung wird im Wesentlichen mit der Verwertung der Hauptnährstoffe (P, N, K) und der Bodenverbesserung (C/Huminbildung) begründet.

Mengenmäßig wesentliche Wertstoffkomponenten im Klärschlamm sind

- organische Kohlenstoffverbindungen,
- Stickstoffverbindungen und
- Phosphorverbindungen.

Die übrigen Komponenten sind mit Anteilen von weniger als 0,1 % Massenprozent hinsichtlich des Verwertungscharakters von untergeordneter Bedeutung. Ebenso ist Kalium mit ca. 0,4 % keine mengenmäßig relevante Wertstoffkomponente und kann deshalb nicht als Kriterium für die Nützlichkeit als Düngemittel herangezogen werden. Die Übersicht in Tabelle II 21 macht dies anschaulich.

**Tabelle II 21: Gehalte an Nährstoffen von Klärschlämmen nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt für organische Düngemittel in g/kg m<sub>T</sub><sup>(1)94</sup>**

Düngemittel angegeben als:	Stickstoff [ N ]	Phosphor [ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	Kalium [ K <sub>2</sub> O ]
Klärschlamm nach AbfklärV	34,9	48,7	5,0

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Daraus ergibt sich ein Gesamtnährstoffaufkommen, das in Tabelle II 22 dargestellt ist.

**Tabelle II 22: Nährstoffaufkommen durch direkt bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm in Landwirtschaft und Landschaftsbau**

	Stickstoff in t [ N ]	Phosphor in t [ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	Kalium in t [ K <sub>2</sub> O ]
Klärschlamm	53.000	74.000	7.500

Klärschlämme enthalten den Stickstoff nur in geringen Anteilen in pflanzenverfügbare Form. Ein erheblicher Anteil des Stickstoffs im Klärschlamm ist organisch gebunden und somit erst nach seiner Mineralisation im Boden pflanzenverfügbar. Dieser Umstand bedingt die erhebliche Unsicherheit in der Stickstoffausnutzung der Klärschlämme<sup>95,96,97,98</sup>.

Wegen der stark schwankenden Nährstoffgehalte ist Klärschlamm ein eher problematisch zu bezeichnendes Düngemittel<sup>99</sup>. Diesem Umstand wurde in der Klärschlammverordnung Rechnung getragen. Dort wird unter anderem die Bestimmung des Gesamtstickstoffs gefordert. Hinweise über die N-Verfügbarkeit von Klär-

<sup>94</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK zur Kenntnis im Oktober 2000 genommen.

<sup>95</sup> Poletschny, H. 1996: Verwertung von Abwasserklärschlämmen im Landbau, Müllhandbuch Kennzahl 6560.

<sup>96</sup> Ottow, J.C.G. 1978: Chemie und Biochemie des Humuskörpers unserer Böden, Naturwissenschaften 65, S. 413.

<sup>97</sup> Niedersächsisches Landesamt für Ökologie 2000: Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in Niedersachsen

<sup>98</sup> Kloke, A. 1984: Die Düngewirkung des Klärschlammes, GEA 65.

<sup>99</sup> Poletschny, H. 1988: Bewertung des Klärschlammes aus der Sicht der Landwirtschaft, WAR-Schriftenreihe 33.

schlamm geben in erster Linie den Ammoniumanteil, aber auch das C/N-Verhältnis, die chemische Stabilität der organischen Verbindungen sowie Ergebnisse von biologischen Bebrütungsversuchen<sup>100</sup>.

Unterschiede in der N-Verfügbarkeit von Klärschlamm ergeben sich auch beim Aufbringen auf Acker- oder Grünland und der Zeit des Aufbringens. Dies belegt Tabelle II 23.

**Tabelle II 23: Durchschnittliche N-Verfügbarkeit von flüssigen Klärschlämmen mit ca. 5 % Trockenmassegehalt<sup>101</sup>**

% N-Verfügbarkeit des Gesamtstickstoffs		
Zeit des Aufbringens	Acker	Grünland
Herbst	15	20
Winter	25	30
Frühjahr	40	50

Phosphor ist die wichtigste Wertstoffkomponente im Klärschlamm. Der Gesamtphosphorgehalt ist je nach Herkunft der Klärschlämme verschieden und beträgt durchschnittlich rund 2 % (bezogen auf Klärschlamm-TS).

Orientierende Untersuchungen des Umweltbundesamtes nach der vorgeschriebenen Methode der AbfKlärV<sup>102</sup> ergaben bei 15 verschiedenen Klärschlämmen Gesamt-P-Gehalte von 0,8 bis 3,4 % (bezogen auf TS). Nach der standardisierten VDLUFA-Methode<sup>103</sup> zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors in Böden wurde gefunden, dass davon aber nur bis zu 20 % kurzfristig pflanzenverfügbar sind. Über Mechanismus und Geschwindigkeit der Mobilisierung des verbleibenden Gesamtphosphor-Anteils liegen bisher keine validen Erkenntnisse vor.

Durch die überstöchiometrische Zugabe von Fällungs- und Formulierungskemikalien bei der Abwasser- und Schlammbehandlung (Fe-, Al-, Ca-Salze) kann nicht nur der Phosphor im Klärschlamm, sondern durch die Ausbringung in der Landwirtschaft

<sup>100</sup> Furrer, O.J. u. Candinas, T. 1984: Art, Menge und Wirksamkeit des Stickstoffs im Klärschlamm, GWA 65, S. 519 – 547.

<sup>101</sup> Fischer, D 1982: Empfehlungen der Landwirtschaftskammer Rheinland.

<sup>102</sup> DIN 38414 Teil 12 Ausgabe November 1986, Königswasseraufschluss

<sup>103</sup> VDLUFA 1986: VDLUFA-Schriftenreihe, Bd. 15, Untersuchung von Klärschlamm und Bodenproben

auch zusätzlich Phosphor, der sich bereits im Boden befindet, in schwer pflanzenverfügbare Verbindungen umgewandelt werden<sup>104,105</sup>.

### Schadstoffe

Hinsichtlich der Belastung mit Schadstoffen sind Schwermetallbelastungen und Belastungen mit organischen Schadstoffen zu unterscheiden.

Bezüglich der Belastung mit Schwermetallen wird auf die Berichterstattung gegenüber der Europäischen Union verwiesen. Die Schwermetallwerte der letzten Berichterstattung sind in Tabelle II 24 dargestellt.

**Tabelle II 24: Mittlere Konzentration von Schwermetallgehalten in Klärschlämmen (in mg/kg m<sub>T</sub>, Königswasseraufschluss)<sup>106</sup>**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Klärschlämme</b>	1,4	46	274	1	23	63	809

Zur Belastung mit organischen Schadstoffen wurden verschiedene Umfragen und Forschungsvorhaben durchgeführt. Die Ergebnisse zu den in der Klärschlammverordnung bereits geregelten Stoffen ist in den Tabellen II 25 - 27 dargestellt<sup>107</sup>.

<sup>104</sup> Classen et al. 2000: Pflanzenverfügbarkeit von P und K aus Klärschlamm und Kompost, Protokoll der VDLUFA-Fachgruppentagung I,II u. X.

<sup>105</sup> Suntheim, L. 2001: Zur Phosphorverfügbarkeit von Klärschlamm, Berichtsband TK-Verlag Neuruppin, S. 329.

<sup>106</sup> UBA 2001: Daten zur Umwelt 2000.

<sup>107</sup> Bergs et al. 2000: Stand der Angleichung der Klärschlammregelungen in Europa, Müllhandbuch, Kennzahl 6826.

**Tabelle II 25: PCDD/F-Konzentrationen im Klärschlamm (ng TE/kg m<sub>T</sub>)**

Jahr	Mittelwerte	Medianwerte	gewogenes Mittel
1990 <sup>a)</sup>	-	48	(62)
1994 <sup>b)</sup>	16-29	18-25	22
1996 <sup>b)</sup>	9-24	7-28	17

a) F+E-Vorhaben „Bundesweite Analyse von Klärschlämmen auf polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane mit statistischer Stichprobenplanung und Quellenanalyse, UBA -Forschungsbericht 103 03 532, Berlin 1990 -.

b) Zusammengestellt aus Angaben der Bundesländer.

**Tabelle II 26: PCB-Konzentrationen im Klärschlamm (mg/kg m<sub>T</sub>)**

	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 138	PCB 153	PCB 180
1989 <sup>a)</sup>	0,022	0,020	0,040	0,070	0,070	0,043
1989 <sup>b)</sup>	0,041	0,028	0,052	0,082	0,084	0,053
1994 <sup>c)</sup>	0,015	0,015	0,024	0,039	0,039	0,026
1996 <sup>c)</sup>	0,016	0,017	0,020	0,037	0,038	0,026

a) F+E-Vorhaben „Untersuchungen zum Eintrag von organischen Schadstoffen in Boden und Pflanze durch die landw. Klärschlammverwertung - UBA-Forschungsbericht 103 01 249 - Berlin 1989; Medianwerte aus 57 untersuchten Klärschlämmen.

b) Gleiches F+E-Vorhaben wie bei a), jedoch Angabe der arithmetischen Mittelwerte.

c) Arithmetisches Mittel aus Angaben der Bundesländer.

**Tabelle II 27: AOX-Gehalte im Klärschlamm (mg/kg m<sub>T</sub>)**

Jahr	Spannbreiten der Länderangaben			gewogenes Mittel
	Mittelwerte	Medianwerte	90-er Perzentil	
1994 <sup>a)</sup>	144 - 251	162 - 220	104 - 370	206
1995 <sup>a)</sup>	137 - 291	165 - 309	222 - 400	201
1996 <sup>a)</sup>	148 - 258	111 - 255	233 - 363	196

a) Zusammengestellt nach Angaben der Länder.

Um die Relevanz weiterer organischer Schadstoffe in Klärschlämmen zu bewerten, bat die 34. UMK vom 29./30.03.1990 den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter Beteiligung verschiedener Länder-Arbeitsgemeinschaften um Bildung einer Arbeitsgruppe, die ein Aktionsprogramm „Ursachen der Klär-

schlammbelastung mit gefährlichen Stoffen, Maßnahmenplan“<sup>108</sup> erarbeiten sollte. Zur Bewertung wurden nach Abfragen bei den Ländern und Durchführung von F+E-Vorhaben für insgesamt 44 verschiedene Stoffe und Stoffgruppen Stoffdatenblätter zusammengestellt. In ihnen wurden die Herkunft, der Anwendungsbereich und das allgemeine Vorkommen aufgeführt. Zur Ermittlung der säuger- und humantoxischen Eigenschaften wurden Daten zur akuten oralen Toxizität, zur Bewertung der Mutagenität, Teratogenität und Kanzerogenität sowie die Einstufungen der MAK-Werteliste herangezogen. Zur Beurteilung der „Ökotoxizität“ der Stoffe wurden in erster Linie die Daten zur terrestrischen Toxizität (höhere Pflanzen, Bodenorganismen) genutzt, bei mangelnder Datenlage Angaben zur aquatischen Toxizität sowie zur Bioakkumulation herangezogen. Ferner wird das Transferverhalten Boden-Grundwasser oder Boden-Pflanze und das Verhalten im Boden (Wasserlöslichkeit,  $\log K_{ow}$ ,  $K_{oc}$ , Persistenz und eventuell vorhandene Hinweise zur Anreicherung sowie zur Bildung von Metaboliten und/oder gebundenen Rückständen) beurteilt.

Der inzwischen vorliegende Abschlussbericht vom 25.08.2000 enthält eine Bewertung organischer Schadstoffe sowie Quellenanalysen und Maßnahmenblätter mit 35 Einzelmaßnahmen durch Rechtsvorschriften für die als vorrangig relevant angesehenen Stoffe und belegt weiteren Forschungsbedarf für Stoffe mit ungenügender Datenlage. Dadurch wird aber vor allem deutlich, dass das mit der Wertstoff/Schadstoffvermischung im Klärschlamm verbundene Vielstoffdilemma grundsätzlich nicht hinreichend transparent gemacht werden kann, weil der größte Teil der organischen Schadstoffe im Klärschlamm unbekannt ist.

---

<sup>108</sup> UMK-Bericht „Ursachen der Klärschlammbelastung mit gefährlichen Stoffen, Maßnahmenplan“ wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

### II.1.3.2 Bioabfallkomposte

#### Kompostanfall und -entsorgungswege

Zum Stand der Kompostierung in Deutschland werden<sup>109</sup> folgende Zahlen genannt:

- Getrennt erfasste Bioabfälle (1997)	6,4 Mio. Tonnen pro Jahr
Realistisches Potential getrennt erfassbarer Bioabfälle	10 - 12 Mio. Tonnen pro Jahr
- Aus Bioabfällen erzeugte Komposte (1997)	3 - 4 Mio. Tonnen
bzw.	4 - 6 Mio. m <sup>3</sup>
- Anschlussgrad an die getrennte Erfassung (1996)	27,4 %
- Anzahl an Kompostierungsanlagen (1997)	517
- Anlagenbetreiber nach Branchen	
• private Entsorgungswirtschaft	61,2 %
• Kommunen und Zweckverbände	27,8 %
• Unternehmen des Landschaftsbaus	5,3 %
• Sonstige	5,7 %

Die fünf wichtigsten Absatzbereiche für Komposte sind<sup>110</sup>:

- Landwirtschaft:	39 %
- Garten- und Landschaftsbau:	17 %
- Sonderkulturen:	13 %
- Erdenwerke:	10 %
- Hobbygartenbau:	9 %

Nachfolgend sind Angaben zu allgemeinen Qualitätsmerkmalen, zu wertgebenden Inhaltsstoffen sowie zu Fremd- und Schadstoffen von Komposten dargestellt. Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen statistische Auswertungen (lineare Trendschätzungen) von Untersuchungsergebnissen der Jahre 1991 bis 1997 aus der gesamten Bundesrepublik Deutschland<sup>111</sup>.

<sup>109</sup> Reinhold, Jürgen u. Kehres, Bertram 1998: Bioabfallkompostierung in der Bundesrepublik Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Gewährleistung der Qualitätseigenschaften von Kompost, in: Kompost - A Quality Approach in the European Union, EU-Symposium vom 29. bis 30. Oktober 1998 in Wien, Hrsg. Republik Österreich, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie in Reinhold, Jürgen 2000: Entwicklung und regionale Strukturen der Kompostqualität in Deutschland, Müllhandbuch Kennzahl 6583.

<sup>110</sup> Bergs, C.G. 2000: Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von Komposten und anderen Bioabfällen im Landbau, Müllhandbuch, Kennzahl 6502.

<sup>111</sup> Reinhold, Jürgen 2000: Entwicklung und regionale Strukturen der Kompostqualität in Deutschland, Müllhandbuch, Kennzahl 6583.

**Tabelle II 28: Statistisch gesicherte Entwicklung (Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %) allgemeiner Merkmale deutscher Bioabfallkomposte (von 1991 bis 1997)<sup>112</sup>**

<b>Merkmal</b>	<b>Masseinheit</b>	<b>Datenmenge</b>	<b>Grundqualität* im Jahr 1997</b>	<b>Änderung pro Jahr</b>	<b>Korrelationskoeffizient</b>
<b>Rottegrad</b>		6387	4,5	-0,026	-0,040
<b>Feuchtrohdichte</b>	g FS/l	6425	674	-2,42	-0,026
<b>Wassergehalt</b>	% FS	6485	35,3	-0,334	-0,059
	Vol.-%	6420	23,9	-0,335	-0,061
<b>Maximalkorn</b>	mm	6307	17,3	-0,588	-0,079
<b>C:N-Verhältnis</b>		6439	16,6	-0,526	-0,136
<b>pH-Wert</b>		6459	7,62		
<b>Salzgehalt</b>	g KCl/l	6370	5,31	+0,210	+0,113
<b>Pflanzentest</b>	25 %	5455	112,8	+0,717	+0,055
	50 %	5454	101,0		
<b>* Median bzw. Schätzmittelwert</b>					

### Schadstoffe

Die Schadstoffgehalte in Komposten unterliegen erheblichen Schwankungsbreiten. So ist neben möglichen regionalen Vorbelastungen auch im Jahresverlauf mit unterschiedlichen Kompostqualitäten zu rechnen.

Die durchschnittlichen Gehalte von Schwermetallen in Komposten sind Tabelle II 29 dargestellt.

<sup>112</sup> Reinhold, Jürgen 2000: Entwicklung und regionale Strukturen der Kompostqualität in Deutschland, Müllhandbuch, Kennzahl 6583.

**Tabelle II 29: Kompostqualität 1999<sup>113</sup>**

Merkm <sup>al</sup>	Maßeinheit	
Blei	mg/kg TS	52,7
Kadmium	mg/kg TS	0,51
Chrom	mg/kg TS	25,6
Kupfer	mg/kg TS	49,6
Nickel	mg/kg TS	15,9
Quecksilber	mg/kg TS	0,16
Zink	mg/kg TS	195

Daten zu organischen Schadstoffen in Komposten liegen zur Zeit nur in begrenztem Umfang und deshalb in nicht repräsentativer Form vor. Wesentliche Untersuchungsergebnisse stammen aus Erhebungen des Landes Baden-Württemberg, die im Zusammenhang stehen mit dem bereits vor der BioAbfV erlassenen Kompostierungserlass. Die durchschnittlichen Gehalte von organischen Schadstoffen in Komposten sind in nachfolgenden Tabellen dargestellt.

**Tabelle II 30: Mittelwerte der Gehalte organischer Schadstoffe in Komposten<sup>114</sup> in mg/kg m<sub>T</sub>**

	PAK, 16 nach US EPA	PCB (Summe 6)	HCH - Summe	DDT	PCDD/F <sup>115</sup> in ng TE /kg
Bioabfall- Kompost	4,260 0,332 <sup>(a)</sup>	0,0957	0,0156	0,0039	7 - 18
Grüingut- Kompost	6,337 0,593 <sup>(a)</sup>	0,0746			5 - 16

(a) Benzo[a]pyren

Zu ähnlichen Größenordnungen kommen auch andere Studien<sup>116</sup>. Auch gegenüber der vorhergehenden Studien aus Anfang der 90er Jahre<sup>117</sup> hat es hinsichtlich der Schadstoffbelastung keine wesentlichen Veränderungen gegeben.

<sup>113</sup> UBA 2000: Daten zur Umwelt, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

<sup>114</sup> Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 1997: Hohe Kompostqualität ist möglich, Heft 2 der Schriftenreihe Boden F+E.

<sup>115</sup> Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 1992: Bioabfallkompostierung III, Heft 20 der Schriftenreihe Luft, Boden, Abfall.

<sup>116</sup> FhG 1999: Endbericht zu Entwicklung einer Untersuchungs- und Bewertungsstrategie zur Ableitung von Qualitätskriterien für Komposte.

<sup>117</sup> Kraus, Peter 1994: Potentielle Schadstoffe in Bioabfallkomposten, ANS-Schriftenreihe Heft 27.

## Nährstoffe

Ähnlich den Verhältnissen bei den Schadstoffen sind auch die Nährstoffgehalte jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die durchschnittlichen Gehalte von Nährstoffen in Komposten sind in Tabelle II 31 dargestellt.

**Tabelle II 31: Gehalte an Nährstoffen in Komposten nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt für organische Düngemittel in g/kg  $m_T^{(1)118}$**

Düngemittel angegeben als:	Stickstoff [ N ]	Phosphor [ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	Kalium [ K <sub>2</sub> O ]
Kompost nach BioAbfV	14,3	8,2	10,1

(1) Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Daraus ergibt sich ein Gesamtnährstoffaufkommen, das in Tabelle II 32 dargestellt ist.

**Tabelle II 32: Nährstoffaufkommen durch direkt bodenbezogene Verwertung von Kompost, aus oben genannten Daten abgeschätzt**

	Stickstoff in t	Phosphor in t	Kalium in t
Kompost	21.000	6.000	15.000

Der Anteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs ist im Vergleich zu den Gesamtgehalten zu vernachlässigen. So wurden in Bioabfallkomposten CaCl<sub>2</sub>-lösliche NO<sub>3</sub>-N- und NH<sub>4</sub>-N-Gehalte von 266 und 5,8 mg/l Frischsubstanz (FS) festgestellt<sup>119</sup>. Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 624 g/l FS und einem Trockensubstanz-Gehalt von 72 % entspricht dies einer verfügbaren N-Menge von 4,6 %. In dieser Zahl ist der leicht hydrolysierbare organische Stickstoff nicht kalkulatorisch erfasst. In Pflanzenabfallkomposten wurden entsprechend 57,6 mg NO<sub>3</sub>-N/l FS und 5,8 mg NH<sub>4</sub>-H/l FS festgestellt. In der gleichen Arbeit wurde

<sup>118</sup> LABO 2000: Kadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

<sup>119</sup> Schaaf 1994: Müllhandbuch, Kennzahl 6512, Nährstoffgehalte in Komposten

festgestellt, dass mit der CAL-Extraktion im Vergleich zum Gesamtgehalt erhebliche Mengen ausgeschüttelt werden, was auf eine gute Verfügbarkeit des Kompostkaliums hinweist. So werden vom Gesamtkaliumvorrat in Bioabfallkompost 83 %, in Pflanzenabfallkompost 72 %, in Müllkompost 97 % und in Rindenkompost 59 % mit CAL extrahiert. In der Routine wurden in Pflanzenabfallkomposten durchschnittliche CAL-K<sub>2</sub>O-Gehalte von 2.500 mg/l FS, in Bioabfallkomposten von 5.800 mg/l FS gefunden. Auf der Basis des CAL-Extraktes sind 73 % des Gesamt-K<sub>2</sub>O von Bioabfallkompost und 75 % des Gesamt-K<sub>2</sub>O von Pflanzenabfallkompost als pflanzenverfügbar anzurechnen.

Bezüglich der Phosphatverfügbarkeit wurden durchschnittlich CAL-extrahierbare P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalte von 690 mg/l FS in Pflanzenabfallkomposten und 1.670 mg/l FS in Bioabfallkomposten gefunden. Auf der Basis des CAL-Extraktes sind 39 % des Gesamt-Phosphats aus Pflanzenabfallkompost und 37 % des Gesamtphosphats aus Bioabfallkompost als pflanzenverfügbar anzusetzen.

### II.1.3.3 Gärrückstände

#### Gärrückstandsanfall und -entsorgungswege

**Tabelle II 33: Verwertungswege und –mengen von Gärrückständen<sup>120</sup>**

Verwertungsweg	Standort (Bundesland)	Kapazität (Tonnen/Jahr)
Landwirtschaft	Alzey (RP)	28.750
	Barth (MV)	60.000
	Behringen (TH)	23.000
	Boden (RP)	25.000
	Eitting (BY)	20.000
	Finsterwalde (BB)	87.600
	Fürstenwalde (BB)	85.000
	Gröden (BB)	118.000
	Groß Mühlingen (ST)	42.000
	Kaiserslautern (RP)	20.000
	Sagard/Rügen (MV)	48.000
	Schwanebeck (BB)	50.000
	St. Michaelisdonn (SH)	40.000
	Volkenschwand (BY)	13.000
	Wittmund (NI)	128.000
	Wünschheim (RP)	10.000
	<b>Summe</b>	<b>798.350</b>
Landwirtschaft, Garten- und Landschaftsbau	Zobes/Plauen (SN)	40.000
		<b>Summe</b>
Landwirtschaft, Rekultivierung	Hamburg-Bergedorf (ATF Pilotanlage) (HH)	1.000
	Leppe (NRW)	35.000
		<b>Summe</b>
Landwirtschaft, Erwerbsgartenbau	Baden-Baden/Sinsheim (BW)	5.000
	Freiburg i. Br. (BW)	36.000
	Peine (NI)	10.000
		<b>Summe</b>
Landwirtschaft, Erwerbsgartenbau, Rekultivierung	Herten I (NRW)	18.000
	Herten II (NRW)	500
	Münster (NRW)	16.000
	Teugn (BY)	13.000
		<b>Summe</b>
Erwerbsgartenbau, Rekultivierung	Kleinfurra (TH)	16.200
		<b>Summe</b>
Erwerbsgartenbau,	Erkheim (BY)	11.500

<sup>120</sup> Kern, Michael, 2000: Müllhandbuch, Kennzahl 5911, Vergärungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland

Verwertungsweg	Standort (Bundesland)	Kapazität (Tonnen/Jahr)	
		Summe	
Rekultivierung, Erdenwerk		<b>Summe</b>	<b>11.500</b>
Erwerbsgartenbau, Rekultivierung, Hobbygartenbau	Mögglingen (BW)		2.000
		<b>Summe</b>	<b>2.000</b>
Erwerbsgartenbau, private Kunden	Kaufbeuren (BY)		3.000
		<b>Summe</b>	<b>3.000</b>
Rekultivierung, Bodenbehandlung	Bottrop (NRW)		6.500
		<b>Summe</b>	<b>6.500</b>
Rekultivierung	Radeberg (SN)		55.000
		<b>Summe</b>	<b>55.000</b>
Vermarktung über das Kompostwerk	Brilon (NRW)		2.500
	Hamburg-Bergedorf (HGG-Verfahren) (HH)		500
	Karlsruhe (BW)		8.000
	Singen (BW)		25.000
		<b>Summe</b>	<b>36.000</b>
Erdenwerk	Burgberg (BY)		10.000
		<b>Summe</b>	<b>10.000</b>
keine Angaben	Braunschweig (NI)		40.000
	Brunnthal (BY)		20.000
	Ganderkesee (NI)		6.000
	Heppenheim (HE)		42.000
	Wadern-Lockweiler (SL)		20.000
		<b>Summe</b>	<b>128.000</b>
	<b>Gesamtsumme</b>		<b>1.241.200</b>

Geeignete Substrate für Bioreaktoren sind in Tabelle II 34 genannt. Wie bei den Bioabfallkomposten ist der Anhang 1 der Bioabfallverordnung ausschlaggebend für eine Behandlung der organischen Abfälle in Gäranlagen.

**Tabelle II 34: Geeignete Substrate für Bioreaktoren zur Biogas-erzeugung<sup>121</sup>**

<b>Substrat</b>
Treber aus Brauereien
Obst- und Weintrester aus Keltereien
Schlachthofabfälle
Abfälle aus der Fischverarbeitung
Grüngut (Landwirtschaft und Gartenbaubetriebe)
Produktionsabfälle aus Lebensmittel- und Futtermittelindustrie
unvergorener, frischer Schlamm aus kommunalen Kläranlagen
pflanzliche Extraktionsrückstände aus der Pharmaindustrie
biologisch abbaubare Verpackungskunststoffe (zum Beispiel Polyhydroxy-Buttersäure PHB)
biologische Öle und Schmiermittel
Biomüll aus dem Haushalt
Abfälle aus der Papier und Kartonagenproduktion
Fettabscheiderreste, Fettreste aus der Gastronomie und aus Großküchen
Gülle und Festmist aus der Landwirtschaft
Kartoffelschlempe aus Brennereien

### Schadstoffe

Hinsichtlich der Schadstoffbelastung liegen zur Zeit keine validen Daten vor. Sofern Gärrückstände nach Bioabfallverordnung verwertet werden, gelten die Anforderungen der BioAbfV (insbesondere Anhang 1). Es ist davon auszugehen, dass die Belastung mit Schadstoffen in der gleichen Größenordnung wie die der Komposte liegt.

### Nährstoffe

In Bezug auf die Nährstoffgehalte liegen zur Zeit keine validen Daten vor. Sofern Gärrückstände nach Bioabfallverordnung verwertet werden, gelten die Anforderungen der BioAbfV (insbesondere Anhang 1). Deshalb ist davon auszugehen, dass die Gehalte an Nährstoffen in einer ähnlichen Größenordnung wie die der Komposte liegen. In der Nährstoffverfügbarkeit können allerdings

<sup>121</sup> Frunzke K. 1999: Verfahrens- und Anlagentechnik von Biogasanlagen, Vortrag.

Unterschiede auftreten. Hinsichtlich ihrer Konsistenz entsprechen die Gärrückstände eher Klärschlämmen.

## **II.2 Bodenhilfsstoffe**

Bodenhilfsstoffe sind "...Stoffe ohne wesentlichen Nährstoffgehalt, die den Boden biologisch, chemisch oder physikalisch beeinflussen, um seinen Zustand zu beeinflussen, um seinen Zustand oder die Wirksamkeit von Düngemitteln zu verbessern..." Bundesweite Daten zu Aufkommen und Qualität von eingesetzten Bodenhilfsstoffen liegen zur Zeit nicht vor.

## **Anhang III:**

### **III Vorschläge zur Schadstoffminderung in den eingesetzten Materialien**

#### **III.1 Klärschlamm**

Vorrangiges Ziel der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ist die direkte stoffliche Verwertung von Pflanzennährstoffen (vorwiegend P und N).

Bei dieser einfachen und preiswerten stofflichen Verwertung von Düngestoffen muss im Wesentlichen geprüft werden,

- ob ein wesentlicher düngerelevanter Nutzen erzielt werden kann (Pflanzenverfügbarkeit),
- ob eine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf vermieden werden kann,
- ob seuchenhygienisch unbedenkliche Schlämme in Verkehr gebracht werden können,

die eine noch tolerierbare Schadstoffbelastung aufweisen,

die wiederum in nicht nennenswerten Mengen in den Boden, das Grundwasser oder die Lebensmittelrohprodukte transferiert werden.

In Anbetracht der geringen Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe und der hohen Schadstoffbelastung ist zu prüfen, ob es „höherwertige Verwertungsverfahren“ gegebenenfalls in Kombination mit „umweltverträglicheren Beseitigungsverfahren“ gibt, die die oben genannten Anforderungen besser erfüllen, ökologisch sinnvoll und ökonomisch angemessen sind.

#### **III.1.1 Hochwertige stoffliche Verwertung**

Das Dilemma der direkten Klärschlammverwertung liegt im prozessbedingten vermischten Anfall von Schad- und Wertstoffen in ähnlicher Größenordnung. Hochwertige Verwertungsansätze zielen deshalb auf eine Schadstoff-/Wertstofftrennung im Abwasser oder im Klärschlamm.

Diese Schadstoff-/Wertstofftrennungen haben den zusätzlichen Vorteil, dass die Wertstoffe des gesamten Klärschlammes verwertet werden können (3 Mio. t/a) und nicht nur die Wertstoffe des landwirtschaftlich verwertbaren Anteils (zur Zeit 1,4 Mio. t/a).

Im Folgenden werden 4 Verwertungsbeispiele aus der Vielzahl stofflicher Verwertungsmöglichkeiten skizziert <sup>122,123,124,125</sup>.

### III.1.2 Schwarz- und Brauchwassertrennung

Die Trennung von Fäkalien (Schwarzwasser) und gebrauchtem Trinkwasser (Brauchwasser) wird bei der nahezu flächendeckend installierten Schwemmkanalisation in Deutschland zur Zeit als unverhältnismäßig angesehen. Weltweit bietet sich dieser Weg in vielen Fällen jedoch als die einfachste Schadstoff-/Wertstofftrennung an, um die Nährstoffe (Fäkalien) getrennt zu nutzen oder zusätzlich vorab Biogas daraus zu erzeugen (zum Beispiel aride oder erdbebengefährdete Gebiete).

Als notwendige Voraussetzung für diesen Ansatz ist eine ausreichende Hygienisierung der Fäkalinnährstoffe zu beachten (Unterbrechung der Infektionsketten, und die Relevanz der Pharmazeutika-Belastung ist zu prüfen).

### III.1.3 Struvit (N- und P-Verwertung), Magnesiumammoniumphosphat (MAP)

Eine gleichzeitige Fällung der Ammonium- und Phosphatgehalte des Abwassers ist durch Zugabe von Magnesiumoxid möglich, sofern die stöchiometrischen Verhältnisse ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ ) und der pH-Wert (pH 8,5 - 9) richtig eingestellt sind <sup>126,127,128</sup>. Der

<sup>122</sup> Neudel, Müller, Richtel 1999: Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen.

<sup>123</sup> N.N. 2001: Scope Newsletter, No 41, Special edition, Begleitende Veröffentlichung zur 2. Internationalen Konferenz zum Phosphatrecycling am 12. – 14. März 2001 in Amsterdam, CEFIC, CEEP, 43 Seiten.

<sup>124</sup> Hoechst Symposium 1986: „Entfernung von Phosphaten aus Abwässern und Nutzbarmachung von Klärschlämmen“, 28.11.1986 in Frankfurt, 257 Seiten.

<sup>125</sup> U. Loll: „Recycling von Klärschlamm 2“, EF-Verlag für Energie und Umwelt-Technik GmbH, 406 Seiten.

<sup>126</sup> Neudel, Müller, Richtel 1999: Im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen „Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

<sup>127</sup> Schulze-Rettmer: Mitteilung an das Umweltbundesamt.

<sup>128</sup> Scope Newsletter: No 41, Special edition, Begleitende Veröffentlichung zur 2. Internationalen Konferenz zum Phosphatrecycling am 12. – 14. März 2001 in Amsterdam, CEFIC, CEEP, 43 Seiten.

Hauptanwendungsbereich wird bei „passenden“ Ammonium- und Phosphatkonzentrationen, zum Beispiel bei Trübwässern aus der Schlammbehandlung, Schlachtereiabwässern, Deponiesickerwässern und Industriebwässern, als sinnvoll angesehen<sup>129</sup>. Die resultierenden  $MgNH_4PO_4$ -Kristalle sind gut lagerfähig, pflanzenverfügbar, weitgehend ohne Fremdeinschlüsse und hygienisch unbedenklich. Die Kosten für die Struvit(MAP)-Fällung werden durch den Erlös für dieses Mischdüngesalz zur Zeit (N+P) nicht gedeckt.

Im Rücklaufwasser aus der Klärschlammfäulung fällt Magnesiumammoniumphosphat (MAP) ohne Zusatz von Fällungsmitteln von selbst aus und inkrustiert die Rohrleitungen<sup>130</sup>. Die aus der Wasserhärte resultierenden Mg-Ionen und die hohen Phosphor- und Ammoniumkonzentrationen führen zu einer spontanen MAP-Fällung, die bisher als unerwünschte Störung möglichst kunstgerecht vermieden wurde. Bis zu 30 % der mit dem Rohwasser zulaufenden P-Fracht und 20 % der N-Fracht könnten in der Kläranlage allein an dieser Stelle zurückgewonnen werden<sup>131</sup>. Neben dieser Möglichkeit gibt es im Klärverfahren verschiedene Stellen im Verfahrensablauf, die eine mengenmäßig relevante einfache Rückgewinnung des Phosphors oder/und des Stickstoffs ermöglichen (B. Heinzmann, BWB<sup>132</sup>).

In Japan (Shimane Prefecture Shinjii East Clean Center) wurde die getrennte Struvitfällung im Schlammfäulungsrücklaufwasser 1994 großtechnisch realisiert<sup>133</sup> (45.000 m<sup>3</sup>/Tag Behandlungskapazität. Das Struvit (MAP) führt zu einer 90 %-igen Phosphorentnahme als N/P-Dünger.

---

<sup>129</sup> Neudel, Müller, Richtel 1999: Im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen „Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

<sup>130</sup> B. Heinzmann: Berliner Wasserbetriebe „Phosphorus Recovery in Wastewater Treatment Plants“, Vortrag 12.03.2001 in Amsterdam, Internationaler P-Recycling-Kongress, 9. Seiten.

<sup>131</sup> Neudel, Müller, Richtel 1999: Im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen „Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

<sup>132</sup> Neudel, Müller, Richtel 1999: Im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen „Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

<sup>133</sup> Y. Ueno, M. Fujii: “3 years operating experience selling recovered struvite from full scale plant”, Vortrag am 12.03.2001 in Amsterdam, P-Recycling-Kongress.

**Daten**<sup>134</sup>:

P-Rohwasserzulauf	4-5	mg/l P
P-Reinwasserablauf	0,2-0,7	mg/l P
P-Gehalt, (pflanzenverfügbar)	ca. 15	% P
N-Gehalt	ca. 5	% N
Cd-Gehalt	ca. 0, 5	mg kg
Hg-Gehalt	< 0,05	mg kg

Der Schadstoffgehalt ist vernachlässigbar gering. Der Abwasserablaufwert liegt sicher unter 1 mg/l P. Das Produkt ist gut pflanzenverfügbar.

Die spontane Ausfällung eines gut pflanzenverfügbaren schadstoffarmen N/P-Düngers führt zu prozesstechnischen und ökologischen Nachteilen (z.B. Zusatz von Komplexbildnern).

Die gezielte Fällung von MAP führt dagegen zu mehreren Vorteilen:

- Der entnommene Ammoniumstickstoff müsste bei einer MAP-Entnahme nicht mehr energieaufwendig in der Belebung zu Nitrat oxidiert werden (Energieeinsparung).
- Der entnommene Phosphor müsste nicht mit zusätzlichen Eisen- und Aluminiumsalzen gefällt werden (Einsparung Abwasserchemikalien, Verminderung des Fällschlammanfalls).
- Die verringerte Phosphor-Fällsalzzugabe würde zu einer entsprechenden Senkung (1/3) der Salzemissionen der Abwasserbehandlungsanlage führen (Verringerung der Salzbelastung der Gewässer).

---

<sup>134</sup> B. Heinzmann: Berliner Wasserbetriebe „Phosphorus Recovery in Wastewater Treatment Plants“, Vortrag 12.03.2001 in Amsterdam, Internationaler P-Recycling-Kongress, 9 Seiten.

### III.1.4 Entwicklungsstand biologische Phosphorelimination und Calciumphosphat-Fällung

Eine selektive Fällung des Phosphors in kommunalen Kläranlagen mit Calciumphosphat wurde großtechnisch bereits 1986 in Holland<sup>135,136</sup> und 1984 in Japan<sup>137</sup> realisiert und inzwischen an mehreren Kläranlagen installiert. Eine Calciumphosphatfällung über den Einsatz von Calcit als Kristallisationshilfe - ohne Behinderung durch Kohlensäure und Magnesium im Abwasser - ist zum Beispiel seit 1996 bei Daimler/Chrysler in Betrieb<sup>138</sup>.

Neben der Fällung des Phosphors aus dem Abwasser ist weltweit ein Verfahrensweg realisiert, bei dem durch Rücklösung des Phosphors aus dem Klärschlamm mit anschließender getrennter Fällung ein weitgehend schadstoffreies Calciumphosphat ohne Fällmitteleinsatz<sup>139</sup> gewonnen werden kann. Der Überschussschlamm gibt dabei im Bypass unter anoxischen Bedingungen (kein Sauerstoff oder Sauerstofflieferant) Phosphatphosphor in Konzentrationen bis zum zehnfachen der Zulaufkonzentration ab, der ohne Fällungsmittel durch die im Abwasser ohnehin vorhandenen Calcium-Ionen als Calciumphosphat ausgefällt und abgezogen wird. In dem so genannten „erweiterten biologisch-chemischen Phostrip-Verfahren“ kann mit diesem Ansatz die Kläranlagenablaufanforderung von  $<1 \text{ mg/l PO}_4\text{-P}$  eingehalten werden<sup>140</sup>.

Die Stadt Darmstadt entschied sich hinsichtlich der Phosphorelimination 1987 für das biologisch-chemische Phostrip-Verfahren, das damit erstmals in der Bundesrepublik Deutschland im großtechnischen Maßstab im Klärwerk Darmstadt-Eberstadt (50.000 EGW) und anschließend im Zentralklärwerk Darmstadt (250.000 EGW) realisiert werden sollte. Die Anlage in Darmstadt-Eberstadt ging 1992 in Betrieb. Vorlaufend waren weltweit bereits mehr 20 Phostrip-Anlagen in Betrieb<sup>141</sup>.

<sup>135</sup> Eggers, Dirkzwager, van der Honing, H.: Full-scale experiences with phosphate Crystallization in a crystalactor, *Wat, Sci. Techn.* 23 (1986), S. 819.

<sup>136</sup> P.G. Piekema, SB Gaastra: „Upgrading of an wastewater treatment plant in the netherlands: Combination of several nutrient removal process“, *European Water Pollution Control*, Volume 3, No. 3, 1993, S. 21-26.

<sup>137</sup> Okuno, Furohata: „New Approach to P-Removal-Crystallization, 2. Japanisch Deutscher Workshop zur Abwasser- und Schlammbehandlung, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 5.10.1984.

<sup>138</sup> Donnert, Eberle et al.: Elimination von Phosphat aus industriellem Mischabwasser durch impfkristallinduzierte Abscheidung, *Korrespondenz Abwasser*, 1998, Nr. 11, S. 2123.

<sup>139</sup> In Ländern ohne Phosphathöchstmengen-Regelungen liegen die Werte höher.

<sup>140</sup> I. Bartel: „Phosphatgewinnung aus Klärschlamm nach dem Phostrip-Verfahren“, 2. Berliner Klärschlammtagung am 20. und 21. Februar 2001, S. 343 – 351.

<sup>141</sup> Donnert, Eberle et al.: Elimination von Phosphat aus industriellem Mischabwasser durch impfkristallinduzierte Abscheidung, *Korrespondenz Abwasser*, 1998., Nr. 11, S. 2123.

Der theoretische Hintergrund für die Möglichkeit der selektiven Selbstfällung des Calciumphosphates liegt in einer verringerten Keimbildungswahrscheinlichkeit unter den Verfahrensbedingungen der Kläranlagen. Die meisten Abwässer enthalten neben Phosphat auch Calcium in ausreichenden Konzentrationen, so dass sie in Bezug auf die meisten (schwerlöslichen) Calciumphosphate stark übersättigt sind. Würde sich ein chemisches Gleichgewicht mit dem thermodynamisch stabilsten und gleichzeitig am wenigsten löslichen Calciumphosphat, dem Hydroxylapatit, einstellen, müsste fast das gesamte Phosphat bereits in der Kläranlage ausfallen. Das bedeutet, dass das Phosphatproblem im Abwasserbereich gar nicht existieren würde, denn die für eine repräsentative Zusammensetzung von Kommunalabwasser berechnete Gleichgewichtskonzentration mit Hydroxylapatit beträgt bei 15 °C und pH 8,0 nur 0,002 mg/l P (Ablaufwert der AbwV: 1 mg/l P). Die Ablaufgrenzwerte sind folglich in der Regel knapp tausendfach größer, als es der theoretischen Restlöslichkeit entspricht. Die realen Ablaufwerte (ohne P-Elimination) liegen zur Zeit in Deutschland bei 8 mg/l, ohne dass jedoch Calciumphosphat ausfällt. Die Ausfällung des Calciumphosphates kann ohne Fremdsalze allein durch Erhöhung der Keimbildungswahrscheinlichkeit erfolgen, zum Beispiel durch Calcit als Impfkristall<sup>142</sup> oder zum Beispiel durch Sand<sup>143</sup>. Das weiß ausfallende Calciumphosphat ist vermutlich eine Mischform (amorphes Calciumphosphat, Apatit, Dicalciumphosphat-Dihydrat, Octacalciumphosphat).

Der Vorteil einer selektiven Calciumphosphatfällung im Zulauf, im Anlagenbypass oder im Ablauf liegt in

- der weitgehenden Schadstofffreiheit der verwertbaren Salze,
- der hygienisch einwandfreien Phosphor-Modifikation,
- der guten Lagerfähigkeit des Produktes
- der deutlichen Verringerung der restlichen Klärschlammmenge (bis zu 50 % weniger bezogen auf die Metallsalz-P-Mitfällung) und
- der vermiedenen Abwasser-Aufsalzung gegenüber der herkömmlichen Fe- und Al-Fällung (Chlorid, Sulfat).

---

<sup>142</sup> Donnert, Eberle et al.: Elimination von Phosphat aus industriellem Mischabwasser durch impfkristallinduzierte Abscheidung, Korrespondenz Abwasser, 1998., Nr. 11, S. 2123.

<sup>143</sup> Eggers, Dirkzwager, van der Honing, H.: Full-scale experiences with phosphate crystallization in a crystalactor, Wat, Sci. Techn. 23 (1986), S. 819.

Der Nachteil liegt nach Auffassung verschiedener Experten in den höheren Kosten des Verfahrens, das sich nur bei höheren Phosphatkonzentrationen und hohen Schlammensorgungskosten rechnet<sup>144</sup>. Die konkurrierende direkte Entsorgung des gesamten Klärschlammes in der Landwirtschaft ist heute in Deutschland bereits ab 70 DM/t möglich<sup>145,146</sup>. Wegen fehlender Betriebs- und Investitionskosten bei der direkten landwirtschaftlichen Entsorgung des Schlammes ist der Landwirt in der Lage, jeden konkurrierenden Preis alternativer Entsorgungsverfahren - bis zur Speditionsgrenze - zu unterbieten. Eine „hochwertige“ Verwertung von Klärschlamm-Wertstoffen kann sich deshalb im freien Wettbewerb mit der Landwirtschaft nicht durchsetzen. Das Niedersächsische Umweltministerium hat 1999 alle bekannten „Technischen Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“<sup>147</sup> zusammengestellt (ca. 50 Verfahren). Kein einziges Verfahren kann danach das „Preisniveau der direkten Verwertung in der Landwirtschaft unter den heute gegebenen Randbedingungen erreichen“.

Anhang  
III.1.4.1

Unabhängig davon zeigen differenzierte Kostenbetrachtungen, dass das erweiterte Phostrip-Verfahren ökonomisch durchaus verhältnismäßig ist (Anhang III.1.4.1).

Die großtechnische Verfahrensrealisation wurde in Darmstadt in einem dreijährigen Verbund-Forschungsprojekt unter der Beteiligung der Gesamthochschule Kassel, der Universitäten Stuttgart und Freiburg sowie des Fraunhofer Instituts Karlsruhe untersucht. Die Finanzierung des Projektes mit einem Volumen von etwa 1,3 Mio. DM erfolgte zu 40 % durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück. Das Ziel lag sowohl in der kritischen Beurteilung des Verfahrens hinsichtlich weiterer Anwendungsempfehlungen zur Realisation als auch in der allgemeinen Offenlegung von Bemessungsgrößen<sup>148,149,150</sup>. (Der amerikanische Grundpatentschutz für das

<sup>144</sup> Woods, Sock, Daigger: P-Recovery Technology Modeling and Feasibility Evaluation for Municipal Wastewater Treatment Plants, Environmental Technology, Juli 1999.

<sup>145</sup> von Sothen: Nutzen und Kosten der Entsorgung von Klärschlamm-trockengut, WAP 2/2000, S. 30 ff.

<sup>146</sup> Könemann: Kosten der Klärschlammensorgung, Korrespondenz Abwasser, 4/2000, S. 490.

<sup>147</sup> Neudel, Müller, Richtel: Juli 1999, im Auftrag des Umweltministers in Niedersachsen „Technische Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung von Klärschlämmen“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

<sup>148</sup> I. Bartel: „Phosphatgewinnung aus Klärschlamm nach dem Phostrip-Verfahren“, 2. Berliner Klärschlammtagung am 20. und 21. Februar 2001, S. 343 – 351.

<sup>149</sup> ATV-Handbuch: „Biologische und weitergehende Abwasserbehandlung“, S. 265 ff, S. 315ff, 4. Aufl. 1997.

<sup>150</sup> ATV-Arbeitsberichte: „Biologische Phosphorentfernung“, Korrespondenz Abwasser 3/1989, 36. Jahrgang, S. 337 – 348.

Verfahren (Dr. Levin) lief 1993 aus.). Die getrennte Phosphatentnahme erfolgt weiterhin in Darmstadt-Eberstadt. In der zweiten Anlage in Darmstadt wurde sie im November 2000 wegen einer Anlagenvergrößerung eingestellt.

Der zur Zeit in einer holländischen Kläranlage beschrittene Weg<sup>151</sup>, das Calciumphosphat ebenfalls durch biologische Phosphorelimination und anschließende getrennte chemische Fällung (Cristallactorverfahren) der Element-Phosphorherstellung zuzuführen (Reduktion des Calciumphosphates im Phosphorreduktionsofen zu Elementphosphor in Vlissingen) war<sup>152</sup> und ist<sup>153</sup> zwar großtechnisch realisiert, ist aber zur Zeit wegen zu hoher Kosten mit anderen P-Rückgewinnungsverfahren nicht wettbewerbsfähig.

---

<sup>151</sup> Scope Newsletter: No 41, Special edition, Begleitende Veröffentlichung zur 2. Internationalen Konferenz zum Phosphatrecycling am 12. – 14. März 2001 in Amsterdam, CEFIC, CEEP, 43 Seiten.

<sup>152</sup> Hoechst Symposium 1986: „Entfernung von Phosphaten aus Abwässern und Nutzbarmachung von Klärschlämmen“, 28.11.1986 in Frankfurt, 257 Seiten.

<sup>153</sup> ATV-Arbeitsberichte: „Biologische Phosphorentfernung“, Korrespondenz Abwasser 3/1989, 36. Jahrgang, S. 337 – 348.

### III.1.4.1 Wirtschaftlichkeit des Phostrip-Verfahrens

#### Phostrip-Verfahren

Zur Phosphorelimination in kommunalen Kläranlagen stehen verschiedene chemische, biologische und kombinierte Verfahren zur Verfügung. Ein besonderes P-Eliminationsverfahren ist das sogenannte erweiterte Phostrip-Verfahren als biologisches Nebenstromverfahren. Die wichtigsten Eigenschaften des Verfahrens sind:

- eine hohe Reinigungsleistung
- eine hohe Prozessstabilität aufgrund der weitgehenden Abkopplung der P-Rücklösung vom Hauptstrom und der Möglichkeit einer Schlammzischenspeicherung im Nebenstrom
- eine gute Regelbarkeit des Prozesses
- verfahrensintegrierte Möglichkeiten zur Elimination der P-Rückbelastung aus den Schlammwässern
- bessere Verwertungsmöglichkeiten aufgrund des hohen P-Anteils des getrennt anfallenden Fällschlammes (hygienisch, weitgehend schadstofffrei, pflanzenverfügbar, lagerfähig).

Sämtliche bisher errichteten, projektierten und in Bau befindlichen Phostrip-Anlagen sind das Ergebnis eingehender Wirtschaftlichkeitsvergleiche auf der Basis der LAWA-Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen<sup>154</sup> mit anderen Verfahren. Unter Einbeziehung sämtlicher Kostenkomponenten (Betriebskosten, Investitionskosten, Reinvestitionen und weitere) erwies sich dabei auf lange Sicht das Phostrip-Verfahren als die wirtschaftlichste Komponente, auch gegenüber der klassischen Fällung.<sup>155</sup>

Die folgenden Kosten-/Nutzenrelationen beruhen auf den Erfahrungen eines österreichischen Ingenieurbüros mit den folgenden Anlagen:<sup>156</sup>

- Kläranlage Hofkirchen des Reinhaltverbandes Mittleres Trattnachtal (A)  
Inbetriebnahme 1997  
Ausbaugröße 7.000 Einwohnergleichwerte (EGW)

<sup>154</sup> „LAWA-Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen“, ausgearbeitet vom Arbeitskreis Kosten-Nutzen-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 1992.

<sup>155</sup> E. Kaschka, S. Weyrer, Phostrip Handbuch, Posch & Partner GmbH, Innsbruck, 1999, S. 44 ff.

<sup>156</sup> E. Kaschka, S. Weyrer, Phostrip Handbuch, Posch & Partner GmbH, Innsbruck, 1999, S. 44 ff.

(Phosphatgewinnung derzeit eingestellt)

- Kläranlage Darmstadt-Eberstadt der Südhessischen Gas und Wasser AG (D)

Inbetriebnahme 1992

Ausbaugröße 50.000 EGW

(Phosphatgewinnung derzeit eingestellt)

- Zentralkläwerk Darmstadt der Südhessischen Gas und Wasser AG (D)

Inbetriebnahme 1997

Ausbaugröße 240.000 EGW

- Kläranlage Schlacken des RHV Mattig Hainbach (A) im technischen Betrieb von 1994 bis 1998 als Pilotanlage

30.000 EGW

seit 1999 mit 50.000 EGW in Betrieb

- Kläranlage Wallang des RHV Trattnachtal (A)

geplante Inbetriebnahme 2001

70.000 EGW

#### Kostenkomponenten einer Phostrip-Anlage:

Die absoluten Investitionskosten einer Phostrip-Anlage hängen von der speziellen Situation der Kläranlage, von der Bauweise, vom Qualitätsstandard und dem gewünschten Bedienungskomfort ab. Nach Classen et al. kann zum Beispiel oftmals bestehende Bausubstanz (Eindicker) als Stripperbecken verwendet werden<sup>157</sup>.

Bei den bisher errichteten Anlagen machten die Investitionskosten für die Phostrip-anlage 5 – 10 % der Gesamtinvestition der Kläranlage aus.

Der wirtschaftliche Betrachtungszeitraum, aus dem sich die Höhe der erforderlichen Reinvestitionskosten ergibt, wird wie folgt angesetzt:

- Leitungen	50 Jahre
- Bauwerke	40 Jahre
- Maschinelle Ausrüstung	17 Jahre
- Elektrotechnische Ausrüstung	17 Jahre
- Regeltechnische Ausrüstung	17 Jahre

<sup>157</sup> Classen et al., Protokoll der VDLUFA-Fachgruppentagung I, II und X vom 15.03.1000 „Pflanzenverfügbarkeit von P und K aus Klärschlamm und Kompost“, zitiert nach Hahn, J. UBA-interner Bericht zur Klärschlammsorgung, 2001.

Über diese Dauer werden z. B. bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Posch und Partner GmbH, Innsbruck, auch die Betriebskosten mit berücksichtigt wie:

- Energiekosten
- Wartung und Instandhaltung
- Personalkosten
- Betriebsmittelkosten wie Fällung, Schmiermittel und weitere, die hier beispielhaft zugrunde gelegt wurden.

Diesen Investitionskosten und Betriebskosten können folgende Nutzenfaktoren im Vergleich zu den anderen P-Eliminationsverfahren angesetzt werden.

#### Monetäre Nutzenfaktoren einer Phostrip-Anlage:

- Verminderte Beckenvolumen für die Biologie:  
Je nach Bemessungssituation kann durch den verminderten Fällschlammanfall nach ATV 131 15 – 35 % Belebungsvolumen eingespart werden. Vor allem bei einer getrennten Phosphatabscheidung oder Rückgewinnung wirkt sich dieser Faktor stark auf das Ergebnis aus, da somit Investitionskosten minimiert werden. Vor allem bei der Kapazitätserweiterung einer bestehenden Kläranlage kann dies ein entscheidender Kostenfaktor sein. Die Einsparung an Beckenvolumen durch die Denitrifikations-Kapazität des Vorstrippers wurde bis jetzt nicht in Rechnung gestellt, sie wird als zusätzliche Reserve betrachtet.

Auch der verbesserte Schlammindeks (sicher unter 10 ml/l) wird meist nicht monetär berücksichtigt, da immer wieder argumentiert wird, dass diese Indexverbesserung auch durch die Fällmittel erreicht wird. Gerade die Kombination aus Einsparung an Belebungsvolumen und Indexverbesserung kann nach Integration des Phostrip-Prozesses zusätzliche Investitionen zur Kapazitätssteigerung einer bestehenden Anlage hinfällig machen!

- Geringere Betriebsmittelkosten:  
Diese Position wirkt sich am stärksten auf die wirtschaftliche Vergleichsrechnung aus. Hier entscheiden meist die Fällmittelkosten das Resultat der Vergleichsrechnung.

- Geringere Schlammbehandlungskosten:

Die errechnete Differenz zur Fällung im Hauptstrom wird monetär durch die Entwässerungskosten (Konditionierungsstoffe, Betriebskosten, Kammerfilterpresse pro kg TS) und durch die Deponie- oder Entsorgungskosten berücksichtigt. Wird der Stripper auch zur Voreindickung verwendet oder als Vorlagebehälter zur Schlammbehandlung, kann auch dies in Form von Ersatzinvestitionen monetär berücksichtigt werden.

Bei gezielter Rückgewinnung des Phosphatschlammes und Vermarktung des Produktes könnte hier sogar eine direkte Einnahme angesetzt werden.

Alle anderen Vorteile des Phostrip-Verfahrens wie:

- keine Aufsatzung des Vorfluters,
- keine Herabsetzung der Säurekapazität,
- die Unterstützung der Denitrifikation,
- Mikrobiologische Pufferwirkung und Stabilisierung der Nitrifikation und Denitrifikation,
- höhere P-Gehalte im Schlamm bei landwirtschaftlicher Verwertung,
- besserer Hygienestatus des P-Schlammes,
- geringere Schadstoffbelastung des P-Schlammes und
- bessere Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors im P-Schlamm

werden nicht monetär berücksichtigt.

Zum Kostenvergleich und zu den Verfahrensgrundlagen hinsichtlich spezifischer Einzellösungen haben sich darüber hinaus Bartel, Scheer und Seyfried dezidiert geäußert<sup>158</sup>:

- Phosphorelimination beim Hauptstromverfahren,
- Neubau von Phosphatrüchlösebecken,
- Umbauten vorhandener Becken zu Phosphatrüchlösebecken,
- Neubauten und Umbauten,
- Fällmitteleinsparungen,

---

<sup>158</sup> Zitiert nach Hahn, J. UBA-interner Bericht zur Klärschlamm Entsorgung, 2001.

- spezifische Abwasserbehandlungskosten im Einzelfall usw.

#### Kostenstrukturen der unterschiedlichen P-Eliminationsverfahren:

Die Kostenstrukturen der verschiedenen P-Eliminationsverfahren unterscheiden sich stark. Bei biologischen Verfahren liegen die Investitionskosten deutlich höher, während bei chemischen Verfahren die Betriebskosten höher sind. Vergleichsrechnungen zwischen chemischer Fällung und biologischen Hauptstromverfahren mit ergänzender Fällung in der Literatur zeigten, dass die höheren Investitionskosten bei den biologischen Hauptstromverfahren durch niedrigere Betriebskosten in der Regel ausglich werden können.<sup>159</sup> Bei günstigen Rahmenbedingungen (Abwasserzusammensetzung, hohe P-Zulaufkonzentrationen) ergaben sich wirtschaftliche Vorteile für die Bio-P-Verfahren.

Die Kosten des erweiterten Phostrip-Verfahrens liegen in der Größenordnung der Hauptstrom-Verfahrens mit ergänzender Fällung, da die Beckenvolumen und die Fällmittelmengen vergleichbar sind. Grobe Schätzungen ergeben einen Mittelmehrbedarf von circa 10 Pfg/m<sup>3</sup> Abwasser. Erlöse durch den Phosphatverkauf und die Schlammengenreduktion sind dabei nicht kalkuliert.

Die Kosten für die Entsorgung des zusätzlichen Schlammanfalls können aber niedriger liegen, falls eine getrennte Verwertung realisiert werden kann. Zusätzlich ist die Integration des Nebenstromverfahrens in bestehende Anlagen relativ einfach möglich, da der Nebenstrom weitestgehend getrennt von einer bestehenden Anlage errichtet werden kann. Somit besteht eine höhere Flexibilität bei Erweiterung der Anlage, und der Betrieb der bestehenden Anlage wird während der Bauphase nicht gestört.

---

<sup>159</sup> Zitiert nach Hillenbrand, T. et al, Bewertung des erweiterten Phostrip-Verfahrens und Vergleich mit anderen Verfahren zur Phosphorelimination, gwf Wasser Abwasser (1999), Nr. 2, S. 86-92.

**Tabelle III 1: Zusammenstellung der wichtigsten Kostenpunkte der verschiedenen P-Eliminationsverfahren**

	<b>Chem. P-Fällung</b>	<b>Hauptstrom Bio-P</b>	<b>Nebenstrom Bio-P</b>	<b>Hauptstrom mit ergänzender Fällung</b>
Investitionen	Dosierstation mit Lagerbehälter, Pumpen, Leitungen Steuer-/Regelungseinheit ggf. P-Prozessmessgerät ggf. zusätzliches Beckenvolumen zur Einhaltung des Schlammalters	anaerobes Beckenvolumen (inkl. Rührwerk, Pumpen, Leitungen)	anaerobes Beckenvolumen (inkl. Rührwerk, Pumpen, Leitungen) Dosierstation mit Lagerbehälter, Pumpen, Leitungen Steuer-/Regelungseinheit ggf. P-Prozessmessgerät	anaerobes Beckenvolumen (inkl. Rührwerk, Pumpen, Leitungen) Dosierstation mit Lagerbehälter, Pumpen, Leitungen Steuer-/Regelungseinheit ggf. P-Prozessmessgerät
Betriebskosten	Fällmittel Schlamm-behandlung/-entsorgung Energiekosten Wartung	Energiekosten Wartung	Fällmittel Schlamm-behandlung/-entsorgung Energiekosten Wartung	Fällmittel Schlamm-behandlung/-entsorgung Energiekosten Wartung

Quelle: Endbericht des Verbundforschungsvorhabens „Verfahrensentwicklung zur simultanen biologischen Stickstoff- und Phosphorelimination mit hoher Prozessstabilität“, 1996, DBU-AZ: 02277.

Angesichts des erheblichen Investitionsbedarfes, verbunden mit steigenden Betriebskosten im Bereich kommunaler Kläranlagen einerseits und der angespannten Finanzlage der öffentlichen Haushalte andererseits, gewinnt der Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit verschiedener Abwasserbehandlungsverfahren immer mehr an Bedeutung. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur vermehrten biologischen P-Elimination mit und ohne P-Getrennfällung zeigten, dass diese Verfahrenstechnik nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht eine überaus interessante Alternative zu den Verfahren der chemischen Phosphorfällung in der Belebung darstellt.<sup>160</sup>

#### Absatzchancen des gewonnenen Phosphats:

Eine quantitative Wirtschaftlichkeitsberechnung des Phostrip-Verfahrens und damit eine Bewertung der Absatzmöglichkeiten des gewonnenen Phosphats ist sehr

<sup>160</sup> E. Kaschka, S. Weyrer, Phostrip Handbuch, Posch & Partner GmbH, Innsbruck, 1999 und Literaturverweise in J. Hahn, UBA-interner Bericht zur Klärschlamm Entsorgung, 2001.

schwierig zu bewerkstelligen. Denn die absoluten Investitionskosten sind sehr stark von der spezifischen Situation und Ausstattung der Kläranlage abhängig. Die Betriebskosten hingegen bestimmen sich nach den eingesetzten Fällungsmitteln. Eine Telefonrecherche<sup>161</sup> hat ergeben, dass keine Untersuchungen bekannt sind, die die Kosten des (erweiterten) Phostrip-Verfahrens auf den Phosphat-Output bezogen ausdrücken. Damit ist gegenwärtig keine kostenmäßige Vergleichbarkeit des gewonnenen Phosphats aus Kläranlagen mit Phostrip-Technik mit mineralischem Phosphat möglich.

Aus der Literatur liegen lediglich Kostendaten bezogen auf die eliminierte P-Fracht für Simultanfällungsanlagen vor. Diese bewegen sich zwischen 40 und 70 DM pro kg Phosphor, bei Berücksichtigung von Einsparungen bei der Abwasserabgabe ergeben sich Werte zwischen 20 und 50 DM/kg P<sup>162</sup>. Bei günstigen Rahmenbedingungen dürften sich die Kosten beim erweiterten Phostrip-Verfahren in ähnlichen Bereichen bewegen. Insgesamt aber muss darauf hingewiesen werden, dass eine seriöse Schätzung der Absatzchancen des gewonnenen Phosphats aus Phostrip-Anlagen nicht nur einer langfristigen Analyse des Phosphatdüngemittelmarktes und der Phosphatreserven, sondern auch der Beobachtung verwandter Märkte wie des Getreidemarktes sowie der Welternährungssituation insgesamt bedarf. Darüber hinaus ist eine detaillierte Bestandsaufnahme der existierenden Phostrip-Anlagen bzgl. der Kostendaten und der durchschnittlich eliminierten P-Fracht notwendig.

#### **III.1.4.2 Kosten des Phosphorrecyclings aus Klärschlammaschen**

Im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums wurden 1999<sup>163</sup> der Stand der verschiedenen technischen Lösungen zur Wert- und Schadstofffraktionierung recherchiert und die Verfahrenswege bewertet. In dieser Verfahrensübersicht ist Phosphor schwerpunktmäßig behandelt worden. Die vorgestellten Verfahren sind

---

<sup>161</sup> Gesprochen wurde mit Herrn Dr. Bartl, Südhessische Gas und Wasser AG, Darmstadt und Herrn Koschka, Posch&Partner GmbH, Innsbruck.

<sup>162</sup> Vgl. Vorläufiger Endbericht des UFOPLAN-Vorhabens „Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz“ (FKZ: 299 21 289).

<sup>163</sup> ATV-Arbeitsberichte: „Biologische Phosphorentfernung“, Korrespondenz Abwasser 3/1989, 36. Jahrgang, S. 337 – 348

weitgehend identisch mit den Verfahren, die bereits 1986 im Hoechst<sup>164</sup> P-Recycling-Kongress skizziert wurden.

Die Aussagen sind widersprüchlich geblieben. Während Schimmel (Hoechst)<sup>165</sup> die kostenlose „Übernahme der Berliner Klärschlammasche in die reguläre Elementar-Phosphor-Produktion“ in Aussicht stellt, halten Antusch und Dening die P-Gehalte in Höhe von 5,9 - 8,7 % in den Aschen für nicht ausreichend, um Klärschlammaschen als Rohsubstitute bei der Phosphorherstellung einzusetzen<sup>166</sup>.

Belastbare Kostenschätzungen liegen zur Zeit für diesen Verfahrensweg nicht vor.

### III.2 Wirtschaftsdünger

Derzeit in der Diskussion befindliche Minderungsmaßnahmen könnten sein:

- Reduktion von Cu und Zn in der Tierernährung, da sie gezielt eingesetzt werden (insb. Schwein und Geflügel), zum Beispiel Verstärkung der Beratung<sup>167</sup>
- Absenkung der gesetzlich zulässigen Höchstmengen (Zusatzstoffe in der Tierernährung; Cu)
- Erarbeitung und Anwendung von Reinheitskriterien für Industrie (Selbstverpflichtung) diskutabel
- Vermeidung der Anreicherung von Schadstoffen im Futtermittel durch Verarbeitungsprozesse (Änderungen in der Prozessgestaltung, Abtrennung der Aspirationsstäube)
- Entwicklung von Reinheitskriterien und Qualitätsmanagement beim Einsatz von Kupfervitriol

Nähere Hinweise werden derzeit in dem in Bearbeitung befindlichen UBA-F+E-Vorhaben 299 72 104 „Schwermetalleinträge in Agrarökosysteme durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft“ erwartet. In dem Vorhaben sollen Schwermetallströme in

<sup>164</sup> ATV-Handbuch: „Biologische und weitergehende Abwasserbehandlung“, S. 265 ff, S. 315 ff, 4. Aufl. 1997

<sup>165</sup> ATV-Handbuch: „Biologische und weitergehende Abwasserbehandlung“, S. 265 ff, S. 315 ff, 4. Aufl. 1997

<sup>166</sup> ATV-Arbeitsberichte: „Biologische Phosphorentfernung“, Korrespondenz Abwasser 3/1989, 36. Jahrgang, S. 337 - 348

<sup>167</sup> Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass insbesondere Zn-Verbindungen als Ersatz für Antibiotika in der Tierhaltung einsetzbar sind und die Minderung des Antibiotika-Einsatzes als vorrangig zu betrachten ist, sofern dieser aus tiergesundheitlichen Gründen notwendig ist.

landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben erfasst und eine Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme entwickelt werden.

Hinsichtlich der Belastung mit organischen Schadstoffen ist zu prüfen, in wie weit ein Abbau während der Lagerung oder durch eine Behandlung der Wirtschaftsdünger zum Beispiel in Biogasanlagen erhöht und damit die Gehalte dieser Stoffe und ihrer Metabolite reduziert werden können.

### **III.3 Mineraldünger**

Hinsichtlich der Umsetzung einer Schwermetallreduktion in mineralischen Düngemitteln sind die Einflussmöglichkeiten national wie europäisch begrenzt, da es keine europäischen Produktionsstätten (Abbaustätten für Roh-Phosphate) sowie auch keine europäischen Aufbereitungsanlagen mehr gibt. Phosphat-Düngemittel werden heute entweder direkt vom Herkunftsland als Rohphosphate oder nach entsprechender Aufbereitung nach Europa verkauft.

Hinsichtlich der Reduktion von Schwermetallen liegen zur Zeit prinzipiell verschiedene Verfahren vor, die im Rahmen von Patentschriften beschrieben sind. Technische Verfahren zur Dekadmierung des Rohphosphats oder der Phosphorsäure sind bekannt und zusammen mit einer Abschätzung der aufzuwendenden Kosten für deren Einsatz auf einem OECD-Workshop von 1995 zu „Kadmium in Düngemitteln“ diskutiert worden.

Dekadmierungsverfahren von Rohphosphaten lassen sich wie folgt unterteilen:

- Kalzinierung (Vorerhitzung und „Abdampfung“ des Kadmioms – energetisch aufwendig).

Ein Vergleich der Verfahren zeigt, dass sich die Dekadmierung der Phosphorsäure kostengünstiger gestalten lässt als die Verfahren zur Behandlung des Rohphosphates. Es sind folgende Dekadmierungstechniken von Phosphorsäure entwickelt worden:

- Mitfällung von Kadmium mit Kalziumsulfat (60 – 70 % Cd-Minderung),
- Fällung von Kadmium mit Sulfiden,
- Extraktion in organischen Lösemitteln unter Zugabe von Komplexbildnern (90 % Cd-Minderung),
- Ionenaustausch.

Das Verfahren zur Extraktion von Kadmium ist am weitesten ausgereift und in der chemischen Fabrik Budenheim entwickelt und angewendet worden. Nach Schätzungen aus 1993 würde sich der Verkaufspreis von  $P_2O_5$  um 3 - 4 % erhöhen. Bei diesem Verfahren wird das Kadmium durch Kristallisation und Fällung abgetrennt. Der konzentrierte Rückstand mit einem Gehalt von 15 bis 20 % Kadmium wird entweder deponiert oder der Kadmium produzierenden Industrie als Wertstoff zugeführt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die chemische Fabrik Budenheim das Verfahren zur Dekadmierung von Phosphorsäure aus Wirtschaftlichkeitsgründen Mitte der 90er Jahre einstellen musste.

Auch hinsichtlich der anderen Verfahren ergibt sich, dass sich die Kosten der Dekadmierung – *allgemein* – bezogen auf  $P_2O_5$  unter Annahme einer Minderung des Kadmium-Gehaltes von 90 % um 1 bis 7 % erhöhten<sup>168</sup>.

Inwiefern diese Abschätzungen zur Kostensituation für die Anwendung von Dekadmierungsverfahren von Phosphatdüngemitteln noch aktuell sind, kann zur Zeit nicht endgültig bewertet werden.

Zur Zeit werden in der Regel magmatische Rohphosphate eingesetzt, die sehr kadmiumarm sind. Wie unter Anhang II.1.1 niedergelegt, sind diese Ressourcen begrenzt.

Anhang II.1.1
------------------

---

<sup>168</sup> European Environmental Research Group 1995: Kadmium in Fertilisers, Consultant Report

### **III.4 Kompost und Gärrückstände**

Die Verminderung von Schadstoffbelastungen in Kompost ist zum Teil nicht steuerbar, da sie einer regionalen Grundbelastung unterliegen, die nicht zu unterschreiten ist. Dies gilt insbesondere für die organischen Schadstoffe, die ein Abbild der atmosphärischen Deposition darstellen, wie Untersuchungen aus Baden-Württemberg gezeigt haben. Hinsichtlich der Belastung mit Schwermetallen kann das Hinwirken auf eine konsequente Trennung der organischen Fraktion im Haushalt und die Überwachung und Verminderung der Störstoffanteile – auch unter Anwendung von Kontrollgeräten (Müllsheriff) – zu verbesserten Qualitäten hinsichtlich der Schwermetallbelastung führen, wie auch hier Untersuchungen aus Baden-Württemberg gezeigt haben.

## **Anhang IV: Summarized Version**

### **Principles and measures for precautionary limitation of pollutant discharge into agriculturally used soil**

- 1 General**
  - 1.1 Soil protection**
  - 1.2 Sustainable substance policy**
  
- 2 Turnover of pollutants in soil**
  - 2.1 Estimate of average discharges**
    - 2.1.1 Discharge of heavy metals via leachate**
    - 2.1.2 Discharge of heavy metals during harvesting**
  - 2.2 Estimate of average discharges from atmospheric precipitation**
  
- 3 Concepts for precautionary limitation of pollutant discharges**
  - 3.1 Limitation for heavy metals**
  - 3.2 Limitation for organic pollutants**
  
- 4 Summary**

#### **1 General**

About 17 million hectares (ha) of soil is worked for agricultural purposes in Germany. 64% of this area is used for arable farming. Every year it produces about 45 million tons (t) of cereals, 50 million t of root crops, and 5 million t of oleaginous fruits for foodstuffs and feed. In agriculture, an annual amount of about 3 million t ( $m_T$ ) of mineral fertilizer (nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K)) is used<sup>169</sup>. In addition, about 17 million t ( $m_T$ ) of farmyard manure<sup>170</sup>, 1,4 million t ( $m_T$ ) of sewage sludge<sup>171</sup>, and 2.8 million t ( $m_T$ ) of biowaste<sup>172</sup> (especially composts) are used in agriculture.

---

<sup>169</sup> Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1999, Herausgeber BML, Verlag Münster Hiltrup

<sup>170</sup> Eurich-Menden, B.; Wegener, H.-R. u. Hackenberg, S. 1997: Überregionale Konzepte zur Verwertung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger notwendig; Müll und Abfall Heft 3.

<sup>171</sup> Esch, B 2000: Reale Mengen und Qualitäten der in Deutschland anfallenden Klärschlämme.

<sup>172</sup> Reinhold, Jürgen 2000: Müllhandbuch, Kennzahl 6583, Entwicklung und regionale Strukturen der Kompostqualität in Deutschland,.

These fertilizers release pollutants (i.e. heavy metals and organic pollutants) into the soil where they can accumulate. This accumulation should be avoided.

Besides the discharge of pollutants stemming from cultivation, pollutants are also released into soil via atmospheric deposition. In order to carry out both timely and large-scale precautionary soil protection, it is necessary to concentrate first on the discharge resulting from fertilizers, since these are used over large areas and in part contain significant amounts of pollutants. Atmospheric deposition is also significant over large areas, but because of the consistently high amount of cross-border emissions, they can only be further reduced in the long term within the framework of international developments in air quality control.

Because of the important role played by agricultural soil in producing healthy foodstuffs, it is necessary for precautionary reasons to ensure that cultivation activities (spreading of sewage sludge, liquid manure, mineral fertilizers and compost) do not lead to a long-term accumulation of pollutants in soils. The pollutant emissions should be assessed according to the same standards regardless of the materials used. The decisive criterion for quantity and quality of cultivation-related discharges into and onto agricultural soil is precautionary soil protection.

## 1.1 Soil protection

Soil is a central medium with connections to air and waters. Prior to the coming into effect of the Federal Soil Protection Act (BBodSchG)<sup>173</sup> and the Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (BBodSchV)<sup>174</sup>, technical criteria in soil protection were laid down in law. Therefore precaution must be taken to avoid the occurrence of harmful soil changes. Cause for concern about the occurrence of harmful soil changes is given when adverse impacts on soil functions due to spatial, long-term or complex impacts of use or action can be expected (Bachmann et al., 1997<sup>175</sup>). Pursuant to § 7 of BBodSchG, precautionary measures must be taken when there is cause for concern of the formation of harmful soil changes. This entails soil impacts being avoided or reduced.

---

<sup>173</sup> Bundesgesetzblatt I, S. 502 vom 24. März 1998

<sup>174</sup> Bundesgesetzblatt I, Nr. 36 vom 16.7.99, S. 1554

<sup>175</sup> Bachmann, G., König, W. and Kohl, R.: Handlungskonzept des Bodenschutzes zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden; unpublished (1995).

This means that the content of pollutants in soil may not increase in the long term, so that natural soil functions are sustained. Precautionary soil protection requires that all input pathways of undesirable substances be considered.

In line with precautionary soil protection, Bachmann et al.<sup>176</sup> developed a graduated action concept for the limitation of pollutant discharges that takes into account the type and behavior of pollutants and provides for some flexibility in the various action options to limit pollutant discharges. The aim of this limitation is to protect soil, particularly with regard to its natural soil functions<sup>177</sup>. Therefore, as a first step, care shall be taken that pollutants do not accumulate beyond a critical level. Based on this, 4 options for action were derived:

Action option 1:

*Avoidance of discharges of harmful substances*

Action option 2:

*Limitation of harmful substance discharges to a content level that corresponds to that of the cultivation site (“one to one”)*

Action option 3:

*Limitation of harmful substance discharges to a balance level with tolerable<sup>178</sup> discharge (equal input by equal output)*

Action option 4:

*Setting up conventions on provisionally tolerable accumulation and harmful substance discharges according to defined ancillary conditions*

Action option 1 relates especially to synthetically-produced substances that have or could have entered the environment by human activity only and which can be generally presumed to have harmful effects. Since this concerns a large variety of substances whose behaviour in the environment can hardly be investigated or

---

<sup>176</sup> Bachmann, G., König, W. and Kohl, R.: Handlungskonzept des Bodenschutzes zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden; unpublished (1995). See also: LAI/LABO: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Report to the Environment Ministers Conference 1997.

<sup>177</sup> cf. § 2 BBodSchG

<sup>178</sup> With regard to legally tolerable discharges, refer to LAWA's thresholds of insignificance for protected groundwater and the regulation on maximum values for foodstuffs; if applicable, corresponding quality targets for groundwater and surface bodies of water are to be observed

controlled, a strategy of avoidance is of particular importance. Examples of such substances that have entered soil via waste water pathways from agricultural use of sewage sludge are listed in the report by the German Environment Ministers Conference working group „Ursachen der Klärschlammbelastung mit gefährlichen Stoffen – Maßnahmenplan<sup>179</sup>“ (*Causes of sewage sludge pollution with hazardous substances –Action plan*).

Persistent substances, which are already present everywhere in the environment as natural trace elements or because of spreading by human activities (acidifiers, heavy metals, possibly also PAH, PCB, PCDD/F), cause soil to assume a special role in material cycles as a storage medium and buffer. For the sake of the sustainable safeguarding of environmental quality and soil functions, a limitation of the unavoidable discharges into soil from persistent substances is to be kept in balance with tolerable discharges (**Action option 3**) or a limitation of the soil content level at the cultivation site be made (**Action option 2**). Action options 2 and 3 are to be considered equal, since the contents of pollutants present in soils on the site leads to no increase, and in both cases, to no deterioration of the site. This means that for the application of materials into or onto soils, they have to fulfil the requirements of at least one of both action options (2 or 3). Action option 3 is based on soil contents and is legally founded in the EU regulation on organic production of agricultural products<sup>180</sup> (organic material) and in § 12 BBodSchV (soil material) in terms of the restrictions on heavy metals.

Previously, temporary conventions were applied, that limited permissible discharge loads from tolerable accumulations up to the point where certain tolerable soil values are reached (**Action option 4**). This concept which was implemented some 20 years ago in accordance with the first regulations to restrict heavy metal loads from dust precipitation and sewage sludge assumed that a discharge reduction as per Action option 2 or 3 is achieved before critical soil values due to (technical) activities are reached, since otherwise it would contradict the principle of sustainable development.

---

<sup>179</sup> Report to the 26th ACK

<sup>180</sup> EU 2092/91 amends Regulation 2381/94

It should be noted that many of the materials currently used for fertilization are not as yet subject to any restrictions with regard to pollutant emissions. Of particular note here is farmyard manure (e.g. slurry) and mineral fertilizer.

## **1.2 Sustainable substance policy**

The options for action in precautionary soil protection shown in chapter 1.1 largely correspond to the five environmental action targets which the Federal Environmental Agency formulated in its report titled “Action Areas and Criteria for a precautionary, sustainable substance policy using the example of PVC”<sup>181</sup>. The targets it formulates are fundamental and can be applied to other substances and substance mixtures, including fertilizers. A key demand is the complete avoidance of the irreversible discharge of persistent and/or bioaccumulative substances into the environment since once they are released, they are no longer retrievable. This is also valid for organic substances that have carcinogenic, mutagenic, or reproduction-toxic effects. In addition, anthropogenic release into the environment of natural substances with persistent and/or bioaccumulative properties or carcinogenic, mutagenic, or reproduction-toxic effects, may not lead to an increase of geogenic or biogenic background load. Moreover, anthropogenic discharge of other toxic or eco-toxic substances (including natural substances) is to be reduced to a technically unavoidable scale.

---

<sup>181</sup> Federal Environmental Agency, 2000, Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, Ziele für die Umweltqualität

## 2 Turnover of pollutants in soil

### 2.1 Estimate of average discharges

#### 2.1.1 Discharge of heavy metals via leachate

To calculate the discharge of heavy metal in the soil solution of uncontaminated sites, information was used on leachate analyses that were carried out in the FEA research project “*Validation of Soil Eluate Values for the Prognosis of Compounds in Soil Seepage Water in the Framework of the Federal Soil Protection Ordinance (BBodSchV)*”<sup>182</sup>. In these lysimeter tests, a total of 340 leachate samples from 16 different soils were analyzed. They showed that leachate concentrations could not be ascribed to specific soil substrate. Therefore, the leachate concentrations (median values) found here can be taken as a basis for further calculations for all soil types. Table IV 1 shows the discharge loads for various rates of new groundwater formation (infiltration rates) which are typical for Germany.

**Table IV 1: Discharges from soil leachate in g/(ha x a)**

Pollutants	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
leachate concentrations in $\mu\text{g/l}$ <sup>183</sup>	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
leachate load at 100 mm	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
<b>leachate load at 200 mm</b>	<b>0,28</b>	<b>9,2</b>	<b>8</b>	<b>0,28</b>	<b>17,8</b>	<b>0,56</b>	<b>38</b>
leachate load at 300 mm	0,42	13,8	12	0,42	26,7	0,84	57
leachate load at 400 mm	0,56	18,4	16	0,56	35,6	1,12	76

The annual net infiltration rate (new formation of groundwater in mm or  $\text{l/m}^2$ ) shows some significant regional differences (eastern Germany < 100 mm, Schleswig-Holstein and Bavaria up to 400 mm). Mean annual net infiltration rate is at 200 mm<sup>184</sup>. The loads in this category form the basis of average discharges.

<sup>182</sup> UBA Texte 86/99

<sup>183</sup> UBA Texte 86/99 median values (p. 29)

<sup>184</sup> DVWG-1993-Einfluss von Bodennutzung und Düngung in Wasserschutzgebieten auf den Nitratreintrag in das Grundwasser

### 2.1.2 Discharge of heavy metals during harvesting

Discharge of heavy metals during harvesting depends on plant species, crop yield and heavy metal content in plant material, which is removed from the site. The basis for the balance were the average yield of the years 1995 – 1999 in Germany which are combined with the average heavy metal contents of the crops. The results are shown in table IV 2.

**Table IV 2: Discharges from crop removal in g/(ha x a)**

<b>Pollutants<sup>185</sup> crop</b>	<b>Yield<sup>186</sup> in kg/ha</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Wheat	6.286	0,25	0,19	45,64	-	7,35	3,14	296,95
Rye	4.620	0,09	1,34	26,75	-	1,43	0,83	69,58
Barley	5.079	0,15	0,97	17,27	-	1,88	2,79	178,32
Oat	4.327	0,13	1,34	23,37	-	5,89	2,21	223,81
Maize (corn)	6.937	0,14	6,45	12,69	-	11,65	14,43	198,19
Potatoes	8.177	2,45	12,18	55,28	-	14,96	14,39	59,61
Sugar beets <sup>187</sup>	13.129	1,44	14,44	56,46	-	28,88	3,68	183,81
<b>Average over all crops</b>		<b>0,67</b>	<b>5,27</b>	<b>33,92</b>	<b>-</b>	<b>10,29</b>	<b>5,92</b>	<b>172,90</b>

Another possibility for calculation of average discharges is a balance based upon a three-field crop rotation (wheat, barley, beets), which is the standard case for Germany. Other crop rotations, for example including potatoes or rape as roop crops, should be carried out as well as an estimate based on wheat monoculture (e.g. as common in Schleswig-Holstein for over 20 years), or the permanent cultivation of maize or grassland. These other crop types will presumably not lead to significantly higher uptakes. For cereals, an initial increase of uptake from straw removal could occur (this decreases steadily after time), although if it is used, re-release occurs via stable manure. The same goes for the removal of beet tops.

<sup>185</sup> contents after KTBL 1995: Heavy metals in agriculture, Guideline 217.

<sup>186</sup> in dry mass, average 1995 – 1999, Landwirtschaftlich statistisches Jahrbuch und KTBL 1995.

<sup>187</sup> Daten zu Zuckerrüben aus Heyn u. Janssen 1995: VDLUFA, Schriftenreihe 40, Kongressband 1995, S. 753.

Taking into account a mean heavy metal discharge via soil leachate (200 mm, cf. Table IV 1) as well as an average heavy metal uptake based on an average loads from different crops (Table IV 2), a total heavy metal discharge rate per year and hectare can be derived.

**Table IV 3: Total discharges in g/(ha x a)**

<b>Pollutants</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg<sup>188</sup></b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Total discharges</b>	0,95	14,47	41,92	0,28	28,09	6,48	210,90

Assessment difficulties related to the applied testing approach must be mentioned. Firstly, plant analyses demonstrated no mercury values, and secondly, nitric acid decomposition is applied here which is not directly comparable to the aqua regia decomposition applied in environmental analysis. It generally leads to higher results.

## **2.2 Estimate of average discharges from atmospheric precipitation**

An exact definition of the mean deposits from atmospheric precipitation in extensive areas is not possible, due to the actual state of data. The level of deposits is dependent on location and various other factors,

for example

- depositional factors (e.g. distance from the sources of emission)
- orographic, meteorological-climatological factors.

Additionally, the measuring procedure (bulk, wet-only, Bergerhoff) influences the measurements.

In order to be able to at least compare the different systems of measurements with each other, the results of measurements made by the Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt) on heavy metals precipitation (Schwermetall-Screening, wet only) as annual deposition sums can be placed in relation to the discharge loads. Measurements were attained by means of extensive measurement of heavy metal

---

<sup>188</sup> only via leachate

deposits stemming from precipitation throughout the whole of Germany following a protocol on heavy metals for the UN ECE-convention.

The stations of the Federal Environmental Agency (UBA) are part of the EMEP-measuring network on the investigation of cross-border movements of air pollution on a wide sectional basis. They are located in rural areas and therefore not in the vicinity of any influencing emissary sources, in order to meet the requirement of the investigation. The measuring procedure "wet-only" is chosen to meet the EMEP-requirements and can result in systematically low measurements, influenced by weather conditions and locations.

Table IV 4 shows the results of the four analyzed metals, lead, cadmium, copper and zinc.

**Tabelle IV 4: Discharges via atmospheric precipitation in g/(ha x a) (wet-only)**

<b>pollutants</b>	<b>Cd</b>		<b>Cu</b>			<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
average of 27 measuringstations 1999/2000	0,5		11			12	101

Other sources estimate cadmium levels on a similar scale (1.7 g Cd/(ha x a))<sup>189</sup>.

The following table shows bulk values for the year 1999, from the UBA-measuring stations. However these values do not represent sum deposits, as dry deposits are also not entirely represented through bulk values. An exact representation of the dry deposits is derived through receptor-influenced values and normally requires complex measuring or is attained by means of model calculations.

<sup>189</sup> Hessische Landesanstalt für Landwirtschaft und Landwirtschaftskammer Rheinland, both in Cd Report to the 26<sup>th</sup> ACK

**Table IV 5: Discharges via atmospheric precipitation in g/(ha x a) (bulk) for the year 1999**

<b>pollutants</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
station Deuselbach	0,8	2,1	11	-	8,2	18	229
station Waldhof	0,8	1,9	13	-	9,9	15	146

### **3 Concepts for precautionary limitation of pollutant discharges**

The following concept is based on the action options and environmental action targets mentioned in chapters 1.1 and 1.2.

#### **3.1 Limitation for heavy metals**

For heavy metals there are two equal options in order to reach the target of not increasing soil contents:

- **the heavy metal input load per surface unit and time period equals its output (cf. Action option 2 for load-based concept),**

or

- **the content of heavy metals in each fertilizer (based on the part remaining in soil on a long-term basis) corresponds to the content in soil at the entry site (cf. Action option 3 for content-based design).**

Action option 3 „equal input by equal output“ requires that at the site, the quality of the input material, corresponds with the characteristics of the site. This is particularly important in relation to the heavy metal percentage – in relation to the long-term soil remains - which must be suitable for the site. Therefore, the implementation of this option is only possible with those materials, which contain a high mineral percentage in their dry state.

Substances which have only a minimal mineral content in their dry state would result in very high pollutant measurements in terms of their long-term accumulation in the soil when subjected to the above-mentioned action option, which in turn would stand

in the way of use. It can therefore be said that option 2 “one to one” would be an equivalent version, which similarly prevents an increase in the pollutant content of the soil.

In relation to the composition of materials as shown in Annex II, the materials analysed can be classified as follows:

- “one to one”

- composts

- “equal input by equal output”

- sewage sludge
- slurry
- mineral fertilizers

This classification seems plausible for the following reasons:

Manufactured-composts, which is the greater percentage of all composts, contain a very high mineral content ( up to 85 %<sup>190</sup>). Slurry in its dry state as well as sludges with no lime-stabilising effect are considered to contain a mineral constituency of 5 % by weight . This applies also for long-term remains of mineral fertilizers in the soil.

Table IV 6 shows the heavy metals content of compost as well as the precautionary values pursuant to BBodSchV and the limit values for bio-wastes, which can be applied pursuant to the EU regulation on organic production of agricultural products.

---

<sup>190</sup> Kehres, Bertram 2000: Müllhandbuch, Kennzahl 6582, RAL-Gütesicherung Kompost

**Table IV 6: Comparison of precautionary values for metals in soils (Annex 2 Nr. 4 BBodSchV) and heavy metals content of compost, sewage sludge and slurry (in mg/kg of dry matter, Aqua Regia decomposition)**

<b>Soils</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>
<b>Soil type <i>clay</i></b>	1,5	100	100	60	1	70	200
<b>Soil type <i>loam/silt</i></b>	1	70	60	40	0,5	50	150
<b>Soil type <i>sand</i></b>	0,4	40	30	20	0,1	15	60
<b>Limit value of EU organic production ordinance</b>	0,7	45	70	70	0,4	25	200
<b>Compost<sup>191*</sup></b>	51	52,7	25,6	49,6	0,16	15,9	195
<b>Sewage sludge**</b>	1,4	63	46	274	1	23	809
<b>Slurry (Cattle)**</b>	0,28	7,3	44,5	0,06	5,9	7,1	270
<b>Slurry (pig)**</b>	0,40	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
<b>Slurry (poultry)**</b>	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

\* *separate collection*

\*\* *only for information*

The comparison shows that the mean quality of compost essentially corresponds to the precautionary values for loam/silty soils. In a direct comparison, it is occasionally even lower than these values. Biowastes generally adhere to the requirements of the EU regulation on organic production of agricultural products.

<sup>191</sup> Content values from "Environment Data 2000" (mean values not weighted)

For slurry, sewage sludge and mineral fertilizers a mass balance is taken as the basis for a recommendation of a precautionary limitation of heavy metals in cultivation activities according to the ancillary conditions of Action option 3 mentioned above. The following relationship can be formulated:

Harmless discharge via all pathways = permissible entry via all pathways

To determine harmless discharge, the heavy metal loads that are removed from soil through harvesting and by ground leachate are taken into account. To derive precautionary loads, both cultivation-related discharges and atmospheric deposition must be considered. Standards for comparison are one hectare for area and one year for time.

Discharges from erosion are not considered in detail, since simultaneous application of soil material does not lead to alteration of soil content. Moreover, (undesired) pollutant discharge stemming from possible (undesired) erosion seems improper as a balance value. The same goes for soil material adhering to harvested goods which is returned in part to fields (e.g. soil material from a sugar plant).

For the sake of simplicity, the release of heavy metals due to natural weathering is not considered.

The results of chapter 2 show, that the aim "*equal input by equal output*" cannot be reached within a short term. It is therefore necessary to continue to orientate a convention towards the state of technology with the goal of reducing pollutant discharges. This applies to the use of farm internal and farm external fertilizers.

Phosphate fertilizers account for the largest share of pollutants discharge of all mineral fertilizers. With respect to cadmium they have very large importance. In the following all calculations are based on this fertilizer types. Also the organic fertilizers are assessed on the basis of their phosphate content.

Basis for the calculation is fertilization with respect to phosphate requirement of the plants. An initial estimate was carried out on the basis of the average yield of

different crops of the years 1995 - 1999. Table IV 7 shows the amounts of nutrients required to achieve average yields, oriented on plant uptake<sup>192</sup>.

**Table IV 7: Average phosphate requirement at average yield level**

<b>crop</b>	<b>average yield 1995 - 99 in dt<sup>193</sup></b>	<b>P-requirement in kg/dt</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-requirement kg/(ha x a)</b>
Wheat	72	0,35	58
Rye	54	0,35	43
Barley	58	0,35	46
Oat	50	0,35	40
Maize (corn)	79	0,3	54
Potatoes	368	0,06	51
Sugar beets	525	0,04	48
Average over all crops			49

Since phosphate fertilizers have the highest share of heavy metal discharge as compared to other mineral fertilizers, Table IV 8 shows a comparison of heavy metal loads which are discharged into soils by various P fertilizers based on a nutrient load of about 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

<sup>192</sup> Fertilization recommendation for Brandenburg

<sup>193</sup> Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1999, Herausgeber BML, Verlag Münster Hiltrup

**Table IV 8: Average of heavy metal discharges in g/(ha x a) at the basis of an average phosphate requirement of 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/a and average fertilizers qualities**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Sewage sludge</b>	1,51	47,23	<b>281,31</b>	<b>1,03</b>	23,61	64,68	<b>830,60</b>
<b>Slurry (Cattle)</b>	0,61	15,87	96,74	0,13	12,83	16,74	586,96
<b>Slurry (Pig)</b>	0,35	8,15	<b>267,76</b>	0,02	8,93	5,37	<b>743,50</b>
<b>Slurry (Poultry)</b>	0,35	6,11	73,06	0,03	11,25	10,00	466,67
<b>Solid dung, cattle</b>	0,76	33,77	102,09	0,08	13,61	15,18	497,38
<b>Solid dung, pig</b>	0,33	10,38	<b>453,63</b>	0,04	9,58	5,14	<b>1.076,61</b>
<b>Triple super phosphate</b>	2,98	32,00	3,03	0,00	4,03	1,33	54,33
<b>Rock phosphate, various</b>	1,44	31,11	2,89	0,00	2,89	0,24	36,85
<b>miner. NPK-fertilizer, 15/15/15</b>	1,26	15,27	3,77	0,02	3,63	4,93	38,67
<b>miner. NP-fertilizer, 20/20/0</b>	2,29	22,85	5,38	0,01	4,50	1,38	37,75
<b>miner. PK-fertilizer, 0/15/20</b>	2,66	63,67	6,43	0,03	6,63	4,80	50,67
<b>Thomaskali, 10+20+3</b>	0,15	<b>464</b>	9,5	-	1,5	2	4,5
<b>Compost*, **</b>	3,11	156,10	302,44	0,98	96,95	321,34	1.189,02

\* separate collection

\*\* only for information

The load values in Table IV 8 represent the respective single usages of the respective fertilizer types. The common practice in the agricultural sector in securing

plant requirements by using different fertilizer types (as seen in the case of slurry and mineral fertilizers). This was not taken into consideration at this point, but would in individual cases result in a relative reduction in the heavy metal loads.

A precautionary value is determined based on a mean calculation of all registered fertilizer loads. An average-value calculation for all phosphor fertilizers is permissible as all heavy metal loads are standardized at 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The relative input percentage of phosphor fertilizer was taken into consideration. In order to recognise fluctuations within, as well as between the fertilizer types, an extra 50% is added into the calculations. The following table shows the mean heavy metal sums of all fertilizers as well as the mean heavy metal sums supplemented by 50%.

**Table IV 9: Mean heavy metal sums of all fertilizers in g/(ha x a) based on an average P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-requirement for 50 kg/a**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>mean sum</b>	1,37	69,73	123,69	0,18	15,38	34,86	431,81
<b>mean sum plus 50 %</b>	2,05	104,60	185,54	0,27	23,07	52,28	647,71

A high-quality standard for the determination of pollutant loads, can for example be reached by taking into account the admissible additional annual pollutant loads (through all pathways) as according to BBodSchV. This admissible additional annual pollutant loads integrates all depositional paths. In agricultural soils, these are mainly deposits stemming from cultivation activities and atmospheric depositions. If the loads of the admissible additional annual pollutants are respectively given at a 50% quote (other quotings are possible), this would result in the possible permissible values for cultivation as show in Table IV 10.

**Tabelle IV 10: Precautionary load-values in g/(ha x a) for deposits stemming from cultivation based on 50 % of the admissible additional annual pollutant loads as according to BBodSchV**

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Admissible additional annual pollutant loads</b>	6	300	360	1,5	100	400	1200
<b>Precautionary load in g/(ha x a)</b>	3	150	180	0,75	50	200	600

A comparison between the loads of Table 8, Table 9 and Table 10 results in the following:

The mean value for all fertilizers, including an extra 50%, corresponds well with the values of the 50% quote of the admissible additional annual pollutant loads as pursuant to BBodSchV. It seems therefore plausible to use the 50% quote of the admissible additional annual pollutant loads as a qualitative standard for controlling deposits stemming from cultivation activities. The suggested loads are an average sum of all fertilizer values in keeping with Table 9.

Sewage sludges contain percentages, which clearly surpasses the mean values of the suggested loads for the parameters Cu, Hg and Zn (see bold prints). This means that, independent of the values of organic pollutants, continued restriction in sewage sludge usage, due to the corresponding heavy metal hazard.

Pig slurry and pig manure/hard droppings contain values, which particularly exceeds the copper and zinc limits. This results mainly from the feed. The precautionary loads exceed at times the limit values by 100%.

The chromium value of Thomas-Kali (mineral waste during the production of steel) exceeds the limit by more than 100%. Chromium is a component in Thomas-Kali due to the production process.

The other mineral fertilizers remain within the limits of the determined precautionary loads. However, the quite high load of cadmium, which almost equals (in Triple-P) the proposed limit value of 3g/(ha x a) should be regarded.

### **3.1 Limitation for organic pollutants**

For persistent or bioaccumulative organic pollutants, it would be desirable not to deliberately introduce them into soils at all, for if a potential for danger is later determined, these substances and dangers are no longer retrievable. In light of the existence of ubiquitous pollution with several of these substances, the following pragmatic rule is applicable: if the fertilizer does not contain higher amounts of these substances than the ubiquitous soil load (based on the part remaining in soil long-term), use of the fertilizer is admissible since it does not lead to a deterioration of the soil.

## **4 Summary**

The decisive criterion for quantity and quality of cultivation-related discharges into and onto agriculturally-used land is precautionary soil protection.

### **Sewage sludge**

The objective was to analyse which pollutant discharges into soil can be expected from the use of sewage sludge as according to the enforced guidelines of the German Sewage Sludge Ordinance as well as which discharges from both leaching and the harvesting procedure must be accounted for.

Results show that fertilization with sewage sludge leads to increased discharges of heavy metals and over a period of time result in accumulations in soil that is not acceptable on a long-term basis.

It can also be assumed that because of waste water discharges from industry and private households, sewage sludge contain a large number of problematic organic pollutants which are neither decomposed nor filtered out in sewage treatment plants and thus remain in the sewage sludge.

Therefore, the use of sewage sludge as is common to date should not be continued in light of the current quality standards. The material standards of the Sewage Sludge Ordinance are to be adjusted to the demands of precautionary soil protection. At most, only sewage sludge that is very low in its pollutant content is to be authorized for use as fertilizer. The sewage sludge ordinance should be revised to include hygiene standards and further testing parameters for organic pollutants.

Sewage sludge that is no longer recyclable should be disposed of in accordance with the regulation on ecological deposition of municipal waste and biowaste treatment plants, which are in effect since 1.3.2001. Technical engineering should intensify the recovery of pollutant-free phosphate from sewage sludge and waste water for use as fertilizer. Recovery of phosphate from sewage sludge and waste water is necessary because the global supply of phosphate is limited, and the use of phosphate as fertilizers is irreplaceable.

**Slurry**

The slurry produced in conventional animal husbandry partly contains heavy metals at levels similar to those of sewage sludge. It also contains organic pollutants (antibiotics, detergents, and disinfectants).

Therefore the discharge of heavy metals and organic pollutants into liquid manure stemming from feeding, veterinary medicines and farm management should be reduced. Before manure is spread, the same quality standards of precautionary soil protection should apply for sewage sludge.

**Mineral fertilizers**

The Thomas process in steel production leads to high chromium content in Thomas slag. Some other mineral fertilizers have high cadmium content.

The same standards of precautionary soil protection for sewage sludge should apply to the use of Thomas phosphate. Cadmium content in other mineral fertilizers should be restricted.

**Compost**

Because biowaste from households is collected separately, compost demonstrates qualities similar to natural soil. The use of these materials leads to virtually no change of the soil pollutant content. The use of compost as fertilizer can therefore be continued.