

Inhalt

	Kurzfassung	XVII
A.	Zustandsbeschreibung	1
1	<i>Einleitung</i>	1
1.1	Land- und Forstwirtschaft	1
1.2	Nahrungsmittelindustrie	1
1.3	Trink- und Betriebswasserkonditionierung	2
1.4	Wasch- und Reinigungsmittel	2
1.5	Industrie	2
2	<i>Herkunft</i>	3
2.1	Import von Rohphosphaten und Phosphorsäure	3
2.2	Import aus Eisenerz	5
2.3	Import von Fertigprodukten	6
2.4	Import als Nahrungs- und Futtermittel	6
2.5	Import von Phosphor aus Brennstoffen	8
2.6	Böden	10
3	<i>Gewinnung und Verarbeitung</i>	13
3.1	Herstellungsverfahren	13
3.1.1	Phosphor und Phosphorverbindungen (Technologie)	13
3.1.2	Düngemittel	15
3.1.3	Wasch- und Reinigungsmittel	16
4	<i>Verwendung</i>	17
4.1	Mengenaufschlüsselung	17
4.2	Düngemittel	19
4.2.1	Bedeutung der P-Düngung in der intensiven Landwirtschaft	19
4.2.2	Verbrauch an Düngemitteln	19
4.3	Futtermittel	23
4.3.1	Bedeutung der P-Zufuhr für die tierische Produktion	23
4.3.2	Aspekte der P-Bedarfsdeckung	24
4.3.3	Verbrauch an Futterphosphaten	24
4.4	Nahrungsmittelzusätze	25
	Milchprodukte	25
	Wurst- und Fleischwaren	25
	Getränke	25
	Sonstige Produkte	25
4.5	Korrosionsschutzmittel	26
4.5.1	Metallbearbeitung	26
4.5.2	Konditionierung von Trink- und Betriebswasser	26

4.6	Wasch-, Spül- und Reinigungsmittel	26
	Produkte zur Reinigung des menschlichen Körpers	27
	Produkte zur Reinigung von Textilien	27
	Reinigungsmittel für Gegenstände und Oberflächen im Haushalt	27
4.7	Industriechemikalien	29
4.8	Phosphorhaltige Zwischen- und Endprodukte	29
	Zwischenprodukte	29
	Pflanzenschutzmittel	30
	Flammschutzmittel	30
5	<i>Wege und Verbleib</i>	31
5.1	Luft und Niederschlag	31
5.2	Boden	33
5.2.1	Phosphat-Auswaschung	34
5.2.2	Organisch gebundenes Phosphat	35
5.2.3	Anorganisches Phosphat	35
5.2.4	Verhalten der Düngerphosphate im Boden	40
5.2.5	Bemerkungen zur Ausnutzung von Düngerphosphaten	40
5.2.6	Erosion von Boden-Phosphaten	41
5.2.7	Dränwässer	42
5.2.8	P-Bilanz des Teilsystems Boden – Gestein	43
5.3	Pflanzen	45
5.3.1	Aufnahme und Funktion des Phosphors im pflanzlichen Stoffwechsel	45
5.3.2	Bemessung der Phosphatdüngung	46
5.3.3	Phosphor-Entzüge durch die Pflanze	49
5.3.4	Phosphorhaushalt im Wald	52
5.3.5	Phosphor-Entzug durch landwirtschaftliche Produktion für gewerbliche und industrielle Weiterverarbeitung	54
	Zuckerfabriken	55
	Brennereien	55
	Brauereien	55
	Stärkefabriken	55
5.4	Tier	56
5.4.1	Funktion des Phosphors im Tier und im Menschen	56
5.4.2	Phosphor in Futtermitteln	56
5.4.3	Nahrungsmittel tierischen Ursprungs	58
5.4.4	Futtermittel tierischen Ursprungs	59
5.4.5	Knochen	59
5.4.6	Bilanzierung der Phosphorzufuhr zum Tier und der Ausscheidung	61
5.4.7	Abschätzung der Phosphorverluste von tierischen Ausscheidungen an Gewässer und Böden	64
5.4.8	Beurteilung der P-Düngewirkung von tierischen Exkrementen	66
5.5	Mensch und Haushalt	67
5.6	Abwasser	70
5.6.1	Abwasser aus dem kommunalen Sektor einschl. Klärschlamm	71

5.6.1.1	Abwasser, das nicht über Kanalisation abgeleitet wird	71
5.6.1.2	In Vorfluter über Kanalisation abgeleitetes kommunales Abwasser einschl. Klärschlammbeseitigung	72
5.6.2	Abwasser von Industrie- und Gewerbebetrieben einschl. Abfallschlamm	75
5.7	Grundwasser	77
5.8	Oberflächengewässer und Sediment	78
5.8.1	Oberflächengewässer	79
	Auswaschung	79
	Erosion	80
	Abschwemmung	81
	Diffuse Belastungen aus Siedlungen	82
	Streu	83
	Fischereiliche Bewirtschaftung	84
	Eintrag von Stoffen durch Badebetrieb	85
	Flächenbezogene Phosphorausstragswerte	85
	Verhalten des Phosphors im Flußlauf	86
	Austrag aus der Bundesrepublik Deutschland	90
5.8.2	Sediment	95
	Der Austausch des Phosphors zwischen Sediment und anstehendem Wasser	95
	Fixierung von Phosphaten am Sediment durch Fällung	96
	Fixierung gelösten Phosphats am Sediment durch Sorption	97
	Der Einfluß des Redoxpotentials auf die Phosphatfixierung	98
	Die Verfügbarkeit des Phosphors in Sedimenten für Organismen	102
	Phosphor-Retention in stehenden Gewässern	102
5.9	Deponie und sonstige Senken	103
	Müllmengen	103
	Phosphormenge im Hausmüll	103
	Phosphormenge in hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen	104
	Verbleib des Phosphors aus Müll	104
5.10	Export	105
5.10.1	Wasch-, Spül- und Reinigungsmittel	105
5.10.2	Zwischen- und Endprodukte	106
5.10.3	Dünge-, Nahrungs- und Futtermittel	106
6	<i>Zusammenfassende Betrachtung der Wege und des Verbleibs von Phosphor anhand von Modellen</i>	109
6.1	Diskussion verschiedener hierauf anwendbarer Modelle	109
6.2	Gesamt-Modell „Wege des Phosphors“	110
	Industrielle P-Verbindungen	111
	Teilsystem „Boden“	111
	Aufgliederung der P-Zufuhr zu Boden/Gestein	112
	Niederschläge	112
	Teilsystem „Tier“	112
	Teilsystem „Mensch und Haushalt“	113
	Teilsystem „Gewässer“	113

6.3	Integrales Modell für die Bundesrepublik Deutschland einschl. Berlin (West)	116
7	<i>Bilanz im Hinblick auf die Gewässerbelastung</i>	119
	Auswaschung	119
	Erosion	119
	Abschwemmungen tierischer Ausscheidungen	120
	Abschwemmung von befestigten Flächen über Regenwasserabläufe	120
	Niederschläge auf die Seeoberfläche	120
	Futter- und Düngemittel für fischereiliche Zwecke, Wassergeflügel	120
	Eintrag von Stoffen durch Badebetrieb	121
7.1	Abgrenzung nach Einzugsgebieten (Einzelbeispiele)	121
7.1.1	Möhnetalesperre (Beispiel für vorwiegend durch kommunale Abwässer belastete Talsperre)	121
7.1.2	Hopfensee (Allgäu, Bayern) (Beispiel für einen vorwiegend durch Abschwemmungen aus der Weidewirtschaft belasteten See)	123
7.1.3	Wahnachtalsperre (Beispiel für vorwiegend aus diffusen P-Quellen (Landwirtschaft und Streusiedlungen) belastete Talsperre)	127
7.1.4	Bodensee als Beispiel für zivilisationsbedingte Eutrophierung	140
8	Gewässerschädigung durch Eutrophierung	149
8.1	Eutrophierung	149
8.2	Unterschiedliche Eutrophierungsgefährdung der Gewässer	152
8.3	Grenzbelastungen	153
9	<i>Maßnahmen zur Abwehr von Schädigungen</i>	159
9.1	Punktförmiger Anfall	159
9.1.1	Fällungsverfahren	159
	Grundlagen der Fällungsreinigung	159
	Praktische Ergebnisse der Fällungsreinigung	161
	Eingesetzte Fällmittel	161
	Kosten	163
	Technische Probleme	165
	Schlammverwertung	166
9.1.2	Abwasserfernhaltung durch überörtliche Kanalisationssysteme (Ringleitungen)	168
9.2	Diffuse Quellen	174
	Düngemittelrestriktionen und Kanalisationsmaßnahmen	174
	Die Versickerung kleiner nährstoffreicher Zuläufe über Hanggräben	175
	Die Phosphoreliminierung in Vorsperren	177
	Die Eliminierung des Phosphors aus dem Zufluß durch chemische Verfahren	179
	Belüftung stehender Gewässer	181
	Abzug hypolimnischen Wassers	183
	Chemische Fällung im See	184
	Durchflußerhöhung	185
	Bodenabdeckung	185
	Sediment-Entnahme (Ausbaggerung)	186
9.3	Ersatzstoffe	186

9.4	Gesetzgeberische und administrative Maßnahmen	187
9.4.1	Zwischenstaatliche Vereinbarungen und regionale praktische Maßnahmen ..	187
9.4.2	Zwischenstaatliche Vereinbarungen und regionale praktische Maßnahmen am Beispiel des Bodensees	194
B.	Aufgabenkonzepte	199
10	<i>Rohstoffversorgung und Recycling</i>	199
10.1	Aspekte der Rohstoffversorgung	199
10.2	Entwicklung von Technologien zur Verarbeitung minderwertiger Rohphosphate	202
10.3	Technische und wirtschaftliche Aspekte der Mehrfachnutzung (Recycling) ..	205
10.3.1	Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Klärschlämmen und Müllklär- schlammkomposten in Land- und Forstwirtschaft	206
	Zusammensetzung der Schlämme	206
	Phosphorgehalte der Schlämme und Phosphorzufuhr durch Klär- schlämme zum Boden	207
	Schwermetallgehalte in Klärschlämmen	208
	Bemessung der Klärschlammgaben	209
	Einsatz von Müllkomposten bzw. Müllklärschlammkomposten in Land- und Forstwirtschaft	210
	Einsatz von Wohnsiedlungsabfällen in der Forstwirtschaft	211
10.3.2	Gezielte Rückführung tierischer Exkremepte	212
	Verringerung der Phosphorverluste	212
	Gezieltes Recycling durch Verteilung von Mistüberschüssen	213
10.3.3	Verwendung phosphorhaltiger Abfallprodukte in der Industrie	214
10.4	Möglichkeiten zur besseren Ausnutzung des Phosphors in Böden und Dünge- mitteln	214
	Bindung im Boden	214
	Kalkung	215
	Zufuhr von Silikat	215
	Organische Düngung	215
	Erosion	216
	Auswaschung	216
	Applikationsweise von P-Düngern	216
11	<i>Technische und wirtschaftliche Aspekte des Einsatzes von Ersatzstoffen</i> ...	217
11.1	Wasch- und Reinigungsmittel	217
11.2	Sonstiges (z. B. Korrosionsverhütung, Industrieprodukte, Nahrungsmittelher- stellung)	219
12	<i>Aspekte des Umweltschutzes</i>	221
12.1	Auswirkungen einer Mehrfachnutzung	221
	Verwertung von Klärschlämmen, Müll, Klärschlammkomposten und Müll- komposten in Land- und Forstwirtschaft	221
	Verminderung der Verluste und Intensivierung der Wiederverwertung tierischer Exkremepte	222

12.2	Einsatz von Ersatzstoffen	223
12.3	Weitergehende Abwasserreinigungsverfahren	224
12.3.1	Sorptionsverfahren	225
	Ionenaustausch	226
	Chemisorption an anorganischen Sorbentien	227
12.3.2	Extraktionsverfahren	228
12.3.3	Reversible Bioakkumulation in Belebtschlammorganismen	228
12.3.4	Behandlung der Konzentrate	230
13	<i>Zusammenstellung von Forschungsvorhaben</i>	231
	Land- und Forstwirtschaft	231
	Phosphat-Technologie	233
	Gewässerkunde und Wasserwirtschaft	233
14	<i>Folgerungen und Prioritäten für optimale Rohstoffnutzung</i>	235
14.1	Phosphatdüngemittel	235
14.2	Mineralfutter-Phosphate	237
14.3	Waschmittel	238
14.4	Sonstige P-Verbindungen	238
15	<i>Zusammenfassung</i>	241
A.	<i>Einleitung</i>	241
1	Inhalt der Studie	241
1.1	Bestandsaufnahme	241
1.2	Aufgabenkonzepte	242
2	Limitierende Bemerkungen	242
3	Definitionen	242
3.1	Eintrag (Input)	242
3.2	Austrag (Output)	242
3.3	Senkenflux/Quellflux	243
4	Wertung der Daten	243
5	Generelle Bemerkungen	244
5.1	Technische und volkswirtschaftliche Relevanz	244
5.2	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	244
B.	<i>Ergebnisse</i>	245
1	Phosphorbilanz für die Bundesrepublik Deutschland einschl. Berlin (West) ..	245
2	Modelle zur Beschreibung der Wege und des Verbleibs des Phosphors im System Bundesrepublik Deutschland einschl. Berlin (West)	246
2.1	Teilsystem „Boden und Gestein“	247
2.2	Teilsystem „Mensch und Haushalt“	248
2.3	Teilsystem „Kläranlage“	249
2.4	Teilsystem „Gewässer“	249
2.5	Generelle Aussagen des Gesamt-Modells und der Teilsysteme	250
3	Gewässerschutz	250

4	Rohstoff-Sicherung	250
5	Maßnahmen zur Verminderung des Phosphor-Verbrauchs	251
5.1	Verfahren zur Ausnutzung minderwertiger Rohphosphatvorkommen	252
5.2	Recycling	252
5.3	Verbesserung der Ausnutzung des Düngemittelphosphors in den Böden	253
5.4	Herabsetzung von Erosionsprozessen	253
6	Maßnahmen zur Verminderung des Phosphoreintrages in die Gewässer	254
6.1	Punktförmige Quellen	254
	Weitergehende Abwasserreinigungsverfahren	254
	Einsatz von Phosphat-Ersatzstoffen	254
6.2	Diffuse Nährstoffquellen	255
C.	<i>Ausblick</i>	257
	<i>Literatur</i>	259
	<i>Summary</i>	271