Die Bedeutung des Phosphormanagements in der Siedlungswasserwirtschaft am Beispiel des Donaueinzugsgebietes

The importance of phosphorus in residential water management as demonstrated in the Danube Basin

von H. KROISS, M. ZESSNER und C. LAMPERT

KURZFASSUNG/SUMMARY

Aus einer Analyse der Phosphorströme in Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft können für den künftigen Gewässer- und Ressourcenschutz bezüglich Phosphor die folgenden Schlüsse gezogen werden: Für den Gewässerschutz im Rahmen von Flussgebieten inklusive der betroffenen Meeresküstengewässer sowie von Seen ist eine konsequente Phosphorentfernung bei allen Kläranlagen (> 1000 EW) sinnvoll, wirtschaftlich vertretbar und technisch einfach. Die Einführung phosphatfreier Waschmittel im gesamten Donaueinzugsgebiet ist ökologisch sinnvoll und verringert die Kosten der Abwasserreinigung. Über die Anforderung an die Phosphorentfernung werden etwa 85 bis 90 % der Phosphorfrachten im Abwasser in den Klärschlamm verlagert. Diese Phosphorfracht hat in Österreich das Potenzial knapp 30 % der derzeitigen Phosphorzufuhr in die Landwirtschaft über Handelsdünger- und Futtermittelimporte zu substituieren. Der ökonomische Wert des Phosphors im Klärschlamm von Kläranlagen mit Phosphorentfernung ist höher als die Kosten für die Phosphorentfernung. Für die nationale Landwirtschaft ist der ökonomische Wert des Phosphors im Klärschlamm jedoch nicht relevant, solange der Preis von Düngerphosphaten sich nicht wesentlich erhöht. Für eine/n einzelne/n LandwirtIn hingegen, der/die seinen/ihren Phosphorbedarf weitgehend über Verwertung von entwässertem Klärschlamm deckt, stellt diese Maßnahme einen deutlichen ökonomischen Vorteil dar. Die Problematik der potenziellen Schadstoffe wird auch in Zukunft zu beachten sein. Die Gefährdung für landwirtschaftliche Böden und Produkte erscheint jedoch nach dem heutigen Stand des Wissens gering zu sein, wenn über Vorsorgemaßnahmen die Belastungen der Klärschlämme gering gehalten werden, wie dies in Österreich in den letzten Jahren geschehen ist. Als Alternative zu einer direkten landwirtschaftlichen Verwertung müssen in Zukunft aber auch die Möglichkeiten einer Aufbereitung von Klärschlamm und Klärschlammasche zu Phosphordüngern im Auge behalten werden, wenn das Phosphorpotenzial des Klärschlammes vor allem aus Ballungszentren genutzt werden soll.

Analysis of the phosphorus flows in residential water management and agriculture in the Danube Basin allows the following conclusions in terms of future protection of water and resources. Consistent removal of phosphorus from all water-treatment plants (larger than 1000 population equivalents) is sensible, for the sake of protecting water in river basins including the coastal waters involved as well as lakes, and is economically justified and technically simple. The introduction of phosphate-free detergents in the entire catchment area of the River Danube is of ecological advantage and reduces the cost of waste water treatment. The requirement of phosphorus removal means that about 85 to 90 % of the phosphorus loads in sewage are transferred to the sewage sludge. The phosphorus load that could potentially be recovered in Austria could substitute almost 30% of the amount of phosphorus imported for agricultural use in the form of commercial fertiliser and feedstuff. The economic value of the phosphorus contained in the sewage sludge of water treatment plants equipped with phosphorus-removal facilities exceeds the cost of phosphorus removal. However, this sludge is of no great economic importance to domestic agriculture as long the price of fertiliser phosphate does not rise substantially. But such a measure offers a clear economic advantage to individual farmers meeting the greater part of their phosphorus demand through dewatered sewage sludge. Nevertheless, the potential contaminants will continue to be a problem calling for a solution. According to the present state of knowledge, the hazard for agricultural soils and products appears to be low provided precautions are taken to keep the contaminant level in sewage sludge down, as has been practised in Austria over the past years. But the possibilities of processing sewage sludge and sludge ash for phosphorus fertiliser production will need to be kept in mind as an alternative to direct agricultural use, if use is to be made of the phosphorus potential in sewage sludge, especially at population centres.

1. FRAGESTELLUNG

Phosphor ist eines der Elemente, die für alle Lebensvorgänge von den Mikroben bis zu den Menschen essenziell sind. Ohne ausreichende laufende Versorgung mit Phosphor werden daher alle Stoffwechselprozesse durch Mangel an Phosphor begrenzt, weil der gesamte Energiestoffwechsel an Phosphor gebunden ist. Der tägliche Phosphorbedarf eines Menschen liegt bei etwa 1,6 g P/d, er muss durch die Nahrung zugeführt werden, sonst treten Mangelerscheinungen auf. Die starke Zunahme der Weltbevölkerung hat zur Folge, dass auch die Nahrungproduktion einen laufend steigenden Bedarf an Phosphor verursacht. Nachdem die Wachstumsvorgänge so wie bei allen Organismen durch die Konzentration am verfügbaren Phosphor

in der Umgebung gesteuert werden, muss zur Erzielung höherer flächenbezogener Erträge in der Landwirtschaft die Konzentration von Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden in vielen Regionen der Erde gegenüber den natürlichen Bodengehalten deutlich erhöht werden. Dies kann durch eine entsprechende Ausbringung von Wirtschafts- und Handelsdünger erreicht werden und ist Teil einer guten landwirtschaftlichen Praxis. Dabei ist zu beachten, dass über den Wirtschaftsdünger im Wesentlichen ein Phosphorkreislauf bewerkstelligt wird, aus dem nur jene Phosphorfrachten ausgeschleust werden, die über die verkauften Produkte den landwirtschaftlichen Betrieb verlassen. Dieser Fehlbetrag muss laufend über die Ausbringung von Han-

delsdünger aus Phosphorerzlagerstätten oder über den Einsatz von Klärschlamm oder Kompost ausgeglichen werden.

Durch die heute meist weitgehende Trennung von Nahrungsproduktion in der Landwirtschaft und der Ernährung sind die Phosphorkreisläufe aufgebrochen worden, was sich in steigenden Phosphorverlusten niederschlägt, die aus den Siedlungsgebieten über das Abwasser in die Flüsse, Seen und Meeresküstenbereiche transportiert werden. Dort führt das zunehmende Angebot an Phosphor zu einem erhöhten Potenzial an Biomasseproduktion durch Photosynthese, das als Eutrophierungsproblem inzwischen weltweit Aufmerksamkeit erregt, weil es zu einer Minderung der Qualität der Gewässer führt. Insbesondere

Abb. 1. Stofffluss von Phosphor im Haushalt am Beispiel Österreichs

sind die von den großen Flüssen beeinflussten Küstenregionen der Meere betroffen (Rhein, Donau, Mississippi, Seine, Jangtsekiang etc.)

Zu den durch die Ernährung bedingten und für unser Leben auch unbedingt notwendigen Phosphorströmen gelangen noch die über den Gebrauch von Waschmitteln verursachten Phosphorfrachten in das Abwasser. Je nach dem Phosphorgehalt der eingesetzten Waschmittel kann dies zu mehr als einer Verdoppelung der Phosphorfrachten im Abwasser der Siedlungen führen. Auch der Phosphortransport aus den landwirtschaftlichen Flächen ist anthropogen erhöht worden: einerseits durch erhöhte Erosion von Ackerböden oder anderer anthropogen genutzter Böden, andererseits durch den erhöhten Phosphorgehalt des von Ackerböden in die Gewässer eingetragenen Bodenmaterials.

Wie viele Forschungsarbeiten belegen, ist das oben beschriebene Phosphorproblem in der Wassergütwirtschaft nur auf der Ebene von Flussgebieten zu lösen, eine Erkenntnis, die hinter den Grundlagen der EU-Wasserrahmenrichtlinie steht. In vielen Flussgebieten ist dazu eine internationale Kooperation der Anrainerstaaten erforderlich, wie sie in den internationalen Flusskommissionen an Donau, Rhein, Elbe etc. organisiert werden kann.

Weil Phosphor für alle Lebewesen nicht durch andere Elemente substituiert werden kann, ergibt sich bei Phosphor neben den wassergütwirtschaftlichen Fragestellungen auch noch ein Ressourcenmanagementproblem, was die Nachhaltigkeit betrifft, weil die Lager an wirtschaftlich ausbeutbaren Phosphorerzen auf der Erde begrenzt sind. Hinter der Frage nach der Be-

grenztheit der Ressource Phosphor und den durch Eutrophierung verursachten Minderungen der Nutzbarkeit der Gewässer ergeben sich sowohl ökonomische wie politische Fragestellungen.

Ökonomische Bedingungen steuern den Wettbewerb um die Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse. Die laufende Versorgung der Menschen mit Phosphor über die Nahrung stellt ein unbedingtes Bedürfnis dar, ein diesbezüglicher Mangel führt über Marktmechanismen zu einem globalen Preisanstieg, der bis zu militärischen Auseinandersetzungen führen kann. Bei den Waschmitteln kann Phosphor durch andere Stoffe substituiert werden. Damit ergeben sich Möglichkeiten der Steuerung des „Bedarfes“ an Phosphor entweder durch legislative Maßnahmen oder durch wirtschaftliche Anreize die Phosphorsubstitution voranzutreiben und damit das Problem an der Quelle zu bekämpfen.

Auch bei der Abwasserbehandlung kann sehr gut steuernd eingegriffen werden, weil dort ein großer Teil der Phosphorströme aus den Siedlungsgebieten ankommen. Über Phosphorrückhalt auf den Kläranlagen können die „Verluste“ von Phosphor in die Gewässer deutlich reduziert werden, was sich einerseits in zusätzlichen Kosten für die Abwasserentsorgung und andererseits in einem Potenzial zur Nutzung des phosphorreichen Klärschlammes niederschlägt. Er kann direkt oder nach Behandlung als Rohstoff für die landwirtschaftliche Düngung eingesetzt werden. Auch hier spielen wirtschaftliche Überlegungen eine wichtige Rolle.

Abb. 2. Phosphorfrachten je Einwohnerwert (EW-BSB5-6o) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert (LINDTNER und ZESSNER, 2003)

2. PHOSPHORSTRÖME IN DER SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT

2.1 Phosphor Bilanz Haushalt

Abbildung 1 zeigt den Stofffluss von Phosphor durch den privaten Haushalt am Beispiel Österreichs, welcher über Verbrauchszahlen von Nahrungsmitteln und anderen Verbrauchsgütern, sowie Daten über die menschlichen Ausscheidungen errechnet wurde (LINDTNER und ZESSNER, 2003). Es zeigen sich die Nahrungsmittel als die entscheidenden Quellen für den Eintrag Phosphor in das Abwasser. Der wesentlichste Eintragspfad sind die menschlichen Ausscheidungen, wobei der Eintrag über Urin überwiegt.

Neben dem Phosphor aus Nahrungsmitteln, welcher überwiegend über die menschlichen Ausschei-

dungen in das Abwasser eingetragen wird, kann der Phosphoreintrag über Reinigungsmittel eine wesentliche Rolle spielen. Durch die Einführung phosphatfreier Waschmittel sind diese Einträge in Österreich mit etwa 0,2 g P/(E.d) – überwiegend aus Geschirrspülmitteln – vergleichsweise gering. In anderen Ländern des Donaeinzugsgebietes werden teilweise noch phosphorhaltige Waschmittel eingesetzt, wodurch der spezifische Phosphoreintrag ins Abwasser pro EinwohnerIn deutlich höher ist als in Österreich. Nach einer aktuellen Studie (INIA 2006) beträgt der Verbrauch an P-haltigen Waschmitteln beispielsweise in Ungarn je EinwohnerIn und Tag rund 0,8 g P, also etwa der Hälfte der P-Menge, die über Fäkalien ins Abwasser emittiert wird. Die verbrauchten Mengen P-haltiger Waschmittel liegen jedoch zumeist deutlich unter den westeuropäischen Spitzenwerten aus den 1980er Jahren von bis zu 3 g P/(E.d).

2.2 Gesamteinträge von Phosphor in das kommunale Abwasser

Neben dem Phosphoreintrag aus den Haushalten gelangt Phosphor auch über Abwasser aus Industrie und Gewerbe in das kommunale Abwasser. Einträge erfolgen hier einerseits aus der Nahrungsmittelverarbeitung, aber z. B. auch über Wäscherein und Großküchen. Bei LINDTNER und ZESSNER (2003) wurden Daten von ca. 70 Kläranlagen genutzt, um den Phosphoreintrag aus Gewerbe und Industrie ins Abwasser ableiten zu können. Für diese Auswertungen, die in Folge dargestellt sind, wurden jeweils nur jene Daten herangezogen, die bei der Datenprüfung (CSB-, P- und N-Bilanz) als plausibel angesehen wurden.

Zur Erläuterung sei darauf hingewiesen, dass die EinwohnerInnenwerte (EW) der Summe aus EinwohnerInnen (E) und EinwohnerInnen-gleichwerten (EGW) entsprechen ($EW = E + EGW$). Für die Berechnung des EinwohnerInnenwertes (= EW) wurde die BSB₅-Fracht herangezogen und davon ausgegangen, dass ein EW einer Fracht von 60 g je Tag entspricht. Für die Ermittlung der durchschnittlichen Phosphorfrachten je EinwohnerIn bzw. je EinwohnerInnen-gleichwert wurden die einwohnerInnenwertspezifischen Phosphorfrachten berechnet und in Abhängigkeit vom Verhältnis EinwohnerInnen zu EinwohnerInnenwert in Abb. 2 dargestellt. Nähere Erläuterungen zu der Abbildung können

Tabelle 1. EinwohnerInnen-spezifische Phosphoremissionen in das kommunale Abwasser für einige Länder des Donaeinzugsgebietes (VAN GILS et al., 2005)

Länder	DE	AT	CZ	SK	HU	SI	HR	RO	MD
gP/(E.d)	3,0	3,0	3,4	3,1	3,4	3,8	4,1	3,0	4,1

bei LINDTNER und ZESSNER (2003) nachgelesen werden.

Aus der Abbildung kann zu den Phosphorfrachten aus dem kommunalen Abwasser folgendes abgeleitet werden:

- Die aus den Kläranlagendaten abgeleitete mittlere Phosphorfracht eines Einwohners/einer Einwohnerin im häuslichen Abwasser liegt bei 1,6 g je Tag und liegt daher an der Untergrenze der über die Abwasserproduktion eines Einwohners/einer Einwohnerin errechneten Frachten von 1,6 bis 2 g (siehe Stofffluss durch den privaten Haushalt). Es ist somit eine recht gute Übereinstimmung gegeben, da auch Verluste aus dem Kanalnetz zu berücksichtigen sind.
- Die je EGW aus Industrie und Gewerbe anfallende Phosphorfracht liegt zwischen 0,3 g/d und 2 g/d, wobei im Mittel (Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Y-Achse) mit 1,3 g/d gerechnet werden kann.
- Im Mittel kann aus der Auswertung der vorliegenden Kläranlagendaten eine spezifische Phosphorfracht von 1,5 g je EinwohnerInnenwert und Tag abgeleitet werden.

Da in Österreich mit einem Anfall von ca. 2 EinwohnerInnenwerten (1 E + 1 EGW) pro EinwohnerIn gerechnet werden kann, ergibt sich, auf den/die EinwohnerIn bezogen, eine Phosphoremission von rund 3 g P/d ins kommunale Abwasser. Etwa 0,2 g davon kommen aus dem Einsatz von Detergenzien im Haushalt etwa 1,5 g aus dem Verbrauch von Lebensmitteln und etwa 1,3 g aus verschiedenen industriellen und gewerblichen Quellen. In Ländern mit höherem Eintrag von Phosphor über Waschmittel kann der Gesamtphosphoreintrag ins Abwasser auch deutlich höher sein. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der einwohnerInnen-spezifischen Phosphoremissionen in das kommunale Abwasser für einige Länder des Donaeinzugsgebietes aus van Gils et al. (2005).

3. STEUERUNGSMÖGLICHKEITEN IN DER SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT

3.1 Vermeidung

Die Vermeidung von Phosphoremissionen in das Abwasser kann im wesentlichen auf drei Arten erfolgen:

- 1) Verwendung phosphatfreier Waschmittel
- 2) Optimierung von gewerblichen und industriellen Verarbeitungsprozessen

Abb. 3. Ablaufkonzentrationen für Gesamt-Phosphor (Ges.P) bei unterschiedlichem spezifischen Fällmitteleinsatz (zur besseren Vergleichbarkeit für alle Verfahren bezogen auf die P-Fracht im Zulauf abzüglich einer biologischen P-Aufnahme im Schlamm von 0,6 g/(EW.d)) (NIKOLAVCIC et al., 1998).

Abb. 4. Vereinfachte Phosphorbilanz für Österreich.

Abb. 5. Einsparungspotenzial an Phosphorimporten über Handelsdünger und Futtermittelimporte (FM-Import) durch eine Rückführung von Phosphor aus dem Abwasser in die landwirtschaftliche Produktion.

- 3) Separate Sammlung von Abwasserteilströmen des häuslichen Abwassers (Urin oder gesamte Fäkalien)

Ad 1) Über die Verwendung phosphatfreier Waschmittel lässt sich die Belastung des Abwassers mit Phosphor auf etwa 3 g/(E.d) senken, wie dies in Österreich und Deutschland bereits geschehen ist. Geschirrspülmittel beinhalten auch in Österreich nach wie vor Phosphor (ca. 0,2 g/(E.d)). Hier ist ein Ersatz von Phosphaten zurzeit nicht abzusehen. In einer Reihe von Ländern des Donaueinzugsgebietes werden noch phosphathaltige Waschmittel eingesetzt. Durch den flächendeckenden Einsatz von phosphatfreien Waschmitteln könnte der Eintrag von Phosphor in das Abwasser im Mittel des Donaueinzugsgebietes um ca. 0,6 g P/(E.d) gesenkt werden. Dies ist in zweierlei Hinsicht von Bedeutung: Zum einen führt

dies direkt zu einer Verminderung des Verbrauches der begrenzten Ressource Phosphor, da eine vollständige Verwertung des Phosphors des Abwassers nicht erreicht werden kann, zum anderen würde dies unmittelbar zu einer Verringerung der Belastung der Gewässer im Donaueinzugsgebiet führen. Kurzfristig wirksam würde diese Maßnahme vor allem dort, wo heute Abwasserreinigung noch ohne gezielte Phosphorentfernung betrieben wird, und dies ist derzeit noch in den meisten Ländern des Donaueinzugsgebietes der Fall (Ausnahmen: DE, AT und CZ).

Der Einsatz phosphatfreier Waschmittel hat für den Gewässerschutz aber auch dann Bedeutung, wenn eine Phosphorentfernung als Stand der Technik angesehen und umgesetzt wird, wie dies im Donaueinzugsgebiet voraussichtlich geschehen wird. Zum einen wird es auch dann Abwasseremissionen ohne Phosphorentfernung

geben (z.B. Kläranlagen < 1000 EW/Österreich; Kläranlagen < 10000 EW/EU bzw. Mischwasserentlastung). Zum anderen würden Vorgaben an die Reinigungsleistung, welche Entfernungsraten in Prozent des Zulaufes festschreiben, wie es nach Abwasserrichtlinie der EU zulässig ist, ebenfalls zu höheren Emissionen führen, wenn Phosphoreinträge über Waschmittel in relevantem Umfang vorliegen. Wenn Anforderungen für die Phosphorentfernung erst für Kläranlagen > 10000 EW gefordert werden, kann dies zu Emission aus der Abwasserentsorgung führen, die bei einem Einsatz von phosphathaltigen Waschmitteln ca. 0,3 g P/(E.a) bzw. 50 % über den Emissionen liegen, die bei Einsatz von phosphatfreien Waschmitteln erreicht werden können (0,6 kt P/a) (KROISS et al., 2007).

Ad 2) Eine generelle Aussage zu Möglichkeiten einer Verringerung der Phosphoreinträge in das Abwasser aus gewerblichen und industriellen Prozessen (insbesondere aus der Phosphordüngerproduktion) wird hier nicht gemacht, weil dazu Einzelfälle in Betracht gezogen werden müssen.

Ad 3) Rund 1 g P/(E.d) ist im menschlichen Urin enthalten, weitere rund 0,5 g P/(E.d) im Kot. Durch eine getrennte Sammlung von Urin und menschlichen Fäkalien könnte das kommunale Abwasser um rund ein Drittel (nur Urin) bzw. rund die Hälfte (Urin + Fäkalien) der Phosphorfracht entlastet werden. Dies ist natürlich keine Vermeidung einer Verschmutzung im eigentlichen Sinn, da die Schmutzfracht ja anfällt und nur getrennt gesammelt wird. Die entscheidende Frage ist daher die weitere Verwertung oder Entsorgung der getrennt gesammelten Fäkalien. Nur wenn diese einen ökonomischen und/oder ökologischen (z.B. Ressourcenschonung und/oder Ausschleusung von Schadstoffen) Nutzen bringt, kann diese Maßnahme Bedeutung erlangen.

3.2 Abwasserreinigung

Bei einer biologischen Abwasserreinigung werden ohne gezielte Phosphorentfernung etwa 0,6 gP/(EW.d) im Klärschlamm zurück gehalten und somit aus dem Abwasser entfernt. Bei Anlagen mit gezielter Phosphorentfernung kann je nach gewähltem Verfahren und eingesetzter Fällmittelmenge deutlich mehr Phosphor im Klärschlamm zurückgehalten werden. Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen Fällmitteldosierung (β =

mol Fällmittel pro mol Phosphor) und erreichbarer Ablaufkonzentration für verschiedene Verfahren.

Drückt man die Reinigungsleistung in Prozent bezogen auf die Fracht im Rohabwasser aus, dann sind mit einer Simultanfällung bzw. mit einer Simultanfällung in Kombination mit biologischer Phosphorentfernung Entfernungsraten von 80–90 % zu erreichen. Mit hohem Fällmitteleinsatz ($\beta > 2,5$) können auch Entfernungsraten bis annähernd 95 % erreicht werden. Für Entfernungsraten > 95 % sind zusätzliche Verfahren wie zum Beispiel eine nachgeschaltete Flockungsfiltration erforderlich.

Der zurückgehaltene Phosphor befindet sich immer im Klärschlamm. Dies bedeutet, dass bei einer flächendeckenden Abwasserentsorgung mit Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung etwa 2,4–2,7 g P/(E.d) im Klärschlamm zurückgehalten werden, wenn vom einem flächendeckenden Einsatz von phosphatfreien Waschmitteln ausgegangen wird. Der Einsatz von phosphathaltigen Waschmitteln erhöht die P-Menge im Schlamm, wenn der zusätzlich anfallende Phosphor über die Abwasserreinigung zurückgehalten wird.

3.3 Potenzial einer Nutzung des Phosphorfracht des Abwassers

Am Beispiel von Österreich soll im Folgenden die Bedeutung von Phosphor des Abwassers im Zusammenhang mit der nationalen Phosphorbilanz diskutiert werden. In Abb. 4 ist eine stark vereinfachte Phosphorbilanz für Österreich dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der größte Phosphorumsatz im Bereich Bodennutzung und Ernährung erfolgt. Es wird jedoch auch deutlich, dass bei einer Abwasserentsorgung über Abwasserreinigungsanlagen ohne Phosphorentfernung diese Quelle die Phosphoreinträge in die Gewässer dominieren würde, wie dies auch in vergangenen Jahrzehnten (etwa 1960–1990) der Fall gewesen ist. Durch eine Abwasserentsorgung nach dem Stand der Technik, wird der Großteil der rund 1,0 kg P/(E.a) aus dem Abwasser in den Klärschlamm verlagert und so von den Gewässern ferngehalten. Nur der kleinere Teil dieser Phosphormenge wird zurzeit über landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in der Fläche genutzt. Dieser Phosphor macht knapp 5 % der Zufuhr in die österreichische Landwirtschaft über Handelsdünger und Futtermittelimporte aus. Der Rest erfährt eine abfallwirtschaft-

liche Entsorgung. Auch wenn ein Teil dieses Phosphors über Kompostierung von Klärschlamm wieder auf den Boden gelangt, geschieht dies in den seltensten Fällen in einer Art und Weise, dass er für die landwirtschaftliche Produktion nutzbar gemacht werden und damit zu einer Einsparung des Aufwandes an Handelsdünger führen kann.

Gelingt es, den gesamten im Klärschlamm zurückgehaltenen Phosphor für die landwirtschaftliche Produktion zu nutzen, könnten etwa 25 % der derzeitigen Zufuhr an Phosphor über Handelsdünger und Futtermittelimporte substituiert werden und damit der Anteil der Phosphorzufuhr zur Landwirtschaft über Klärschlamm bzw. aus dem Abwasser auf knapp 30 % erhöht werden. Aus dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung ist dies jedenfalls ein Anteil, der relevant ist. Für die Rückführung des Phosphors aus der Abwasserwirtschaft in die Landwirtschaft bestehen folgende Möglichkeiten:

- direkte landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm oder Klärschlammkomposten;
- Verwertung von getrennt gesammeltem Urin oder Fäkalien und
- Aufbereitung von Klärschlamm oder Klärschlammmasche zu Phosphordüngern

Die Wahl der Methode wird neben dem technischen Entwicklungsstand der Verfahren von ökonomischen, ökologischen und gesellschaftspolitischen Überlegungen abhängen. Zurzeit ist nur die direkte landwirtschaftliche Verwertung aus dem Gesichtspunkten der technischen Umsetzbarkeit und der ökonomischen Konkurrenzfähigkeit als praktikabel anzusehen. Sie sollte daher solange weiterverfolgt werden können, solange keine ökologischen Erkenntnisse und gesellschaftspolitischen Überlegungen klar dagegen sprechen. Eine getrennte Deponierung von Klärschlammmasche aus Monoverbrennungsanlagen würde heute anfallenden Klärschlamm für zukünftige Aufbereitungsschritte nutzbar machen, wenn diese technisch ausgereift und ökonomisch vertretbar werden.

Unabhängig von der Siedlungswasserwirtschaft ist Abb. 5 zu entnehmen, dass heute in Österreich der Schlüssel für einen optimierten, nationalen Phosphorhaushalt in der landwirtschaftlichen Produktion liegt, da große Lagerveränderungen, aber auch die größten Verluste an Phosphor in diesem Bereich auftreten. Wird kei-

ne Abwasserreinigung betrieben und werden phosphathaltige Waschmittel eingesetzt, werden die Phosphorverluste aus dem Abwasser dominant, so wie das bis etwa 1970 der Fall war. Durch die flächendeckende Einführung phosphatfreier Waschmittel und Abwasserreinigung mit lediglich BSB₅-Entfernung würden die P-Verluste aus der Abwasserseite etwa in der gleichen Größe wie jene aus der Landwirtschaft liegen.

4. PHOSPHOR-EMISSIONEN IM DONAURAUM UND DEREN BEDEUTUNG FÜR DIE EUTROPHIERUNG DES SCHWARZEN MEERES

Eine große Gefahr für das Schwarze Meer stellt die Eutrophierung dar. Durch einen übermäßigen Eintrag von Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) kam es beginnend mit den 70er Jahren bis in die frühen 90er zu Massenentwicklungen von Algen und in weiterer Folge zu Sauerstoffmangel am Meeresboden und damit zu einer Beeinträchtigung der gesamten Biozönose bis hin zu Massensterben von Fischen. Im Schwarzen Meer sind diese Vorgänge vor allem im flachen Schelfbereich der West- und Nordwestküste ein Problem und gerade dieser Bereich ist für die Flora und Fauna des Schwarzen Meeres von besonderer Bedeutung. Die Donau als Hauptzubringer zum westlichen Schwarzen Meer liefert auch die größten Nährstofffrachten. Der Zustand dieser Küstenbereiche ist damit eng mit Vorgängen im Donaeinzugsgebiet verbunden. Phosphor stellt nachgewiesenermaßen (daNUbs, 2005) im direkten Einflussbereich der Donau den limitierenden Faktor für das Algenwachstum im nordwestlichen Schelfbereich dar. Das Phosphormanagement im Donaeinzugsgebiet ist daher neben dem Ressourcenaspekt von besonderer Bedeutung für eine gesunde und nachhaltige Entwicklung des westlichen Küstenbereiches des Schwarzen Meeres.

Wenn Phosphor das Algenwachstum limitiert, wird es über die Konzentration des gelösten Phosphates gesteuert. Daraus ergibt sich, dass die Wirkung von Phosphorfrachten, die in die Gewässer gelangen, auch davon abhängt, ob der Phosphor in gelöster Form oder an Feststoffe gebunden (partikulär) vorliegt. Von der Seeneutrophierung weiß man, dass die Verfügbarkeit des partikulären Phosphors für Algenwachstum davon abhängt, ob im Sediment aerobe oder anaerobe Bedingungen herrschen. Unter aeroben Bedingungen ist die Löslichkeit

Abb. 6. Summenbild von ca. 800 Satellitenaufnahmen aus den Jahren 1998–2002. Die dünne durchgehende Linie grenzt Zonen intensiver, die dünne gestrichelte Linie jene moderater Algenentwicklung ab. Zum Vergleich ist die Situation in den 80er Jahren dargestellt, wobei die Zone mit intensiver Algenentwicklung durch eine durchgehende dicke Linie und jene mit moderater Algenentwicklung durch eine gestrichelte dicke Linie dargestellt sind (HORSTMANN, 2004).

sehr gering. Der partikuläre Phosphor aus der Erosion von Ackerböden ist demnach für Algenwachstum kaum verfügbar, solange aerobe Verhältnisse herrschen.

Anaerobe Verhältnisse treten vorwiegend in Sedimenten auf (Stauräume, Auegebiete, Küstenstreifen nahe der Mündung von Flüssen). Für die Ausbildung von anaeroben Bedingungen ist der Gehalt an organischen, biologisch abbaubaren Feststoffen im Sediment maßgebend, der einerseits aus ungereinigtem Abwasser andererseits über abgesetzte Algenmasse dorthin gelangen kann. Letztere steht in engem Zusammenhang mit der verfügbaren Fracht an gelösten Phosphorverbindungen.

Es gibt also starke Hinweise, dass zumindest für die Bekämpfung der Eutrophierung in den stehenden Gewässern (Seen, Meeresküsten) der Rückhalt der leicht verfügbaren gelösten Phosphorverbindungen von primärer Bedeutung ist, weil damit auch zumindest eine deutliche Verminderung der Verfügbarkeit des partikulären Phosphors aus Erosionsmaterial für das Algenwachstum erreicht werden kann.

Während es für den Ressourcenschutz vorerst irrelevant ist, in welcher

Form der Phosphor über die Gewässer abtransportiert wird, gibt es starke Indizien dafür, dass für die Eutrophierungsbekämpfung die Entfernung der leicht verfügbaren Phosphorverbindungen aus allen Abwässern die primär wirksame Maßnahme darstellt, wenn dadurch die Ausbildung anaerober Bedingungen in den Sedimenten weitgehend verhindert werden kann. Damit kann der partikulär gebundene Phosphor nur mehr sehr eingeschränkt für das Algenwachstum genutzt werden. Für eine quantitative Beschreibung dieser sehr komplexen Zusammenhänge insbesondere im Bereich der von den Flüssen beeinflussten Meeresküsten wird allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf vermutet (daNUbs, 2005). Das Ziel solcher Forschung wäre, dass man quantitative Aussagen über maximal zulässige Belastungen der Gewässer mit leicht verfügbaren Phosphorverbindungen angeben könnte, bei deren Überschreitung auch der erosionsbedingte partikuläre Phosphor verfügbar würde, was eutrophe Zustände massiv verstärkt.

Wie aus Abb. 6 ersichtlich, hat sich der Zustand des westlichen Schwarzen Meeres deutlich verbessert. Die Ausdehnung der Zonen mit intensiven Algenblüten ist deutlich geringer geworden, was auch zu höheren Sauerstoffkonzentrationen am Boden der Schelfzone geführt hat. Letzteres führte dazu, dass die Phytobenthosgemeinschaft sich deutlich erholt hat. Heute hat der Schelfbereich des westlichen Schwarzen Meeres wieder annähernd einen „guten ökologischen Zustand“ erreicht.

Eine entscheidende Ursache für diese Entwicklung ist in Abb. 7 dargestellt. Während die Phosphoremissionen im Zeitraum 1955–1985 deutlich angestiegen sind, ist danach eine deutliche Abnahme zu erkennen. Während der Anstieg vor allem auf eine zunehmende Industrialisierung (auch in der Landwirtschaft), einen verstärkten Anschluss der Bevölkerung an die Kanalisation und ein zunehmender Waschmittelbedarf zurückzuführen ist, geht der Rückgang der Phosphoremissionen einerseits auf gezielte Maßnahmen wie die Einführung phosphatfreier Waschmittel oder die Phosphorentfernung auf Kläranlagen, andererseits aber auch auf den wirtschaftlichen Zusammenbruch (auch in Industrie und Landwirtschaft) in den ehemaligen Ostblockstaaten zurück.

Die Summe der Emissionen in die Fließgewässer des Donaeinzugs-

gebietes (rund 70 kt P/a) ist deutlich höher als die über die Donau in das Schwarze Meer transportierte Fracht (ca. 23 kt P/a). Dies bedeutet, dass rund zwei Drittel der Phosphoremissionen in und an den Gewässersystemen gespeichert werden. Der größte Teil der Speicherung erfolgt dabei in und an den kleineren Gewässern des Donaeinzugsgebietes (Abb. 8; daNUbs, 2005). Daneben ist auch eine Speicherung im Staubereich der großen Donaukraftwerke Eisernes Tor I und II von Bedeutung.

Die Problematik dabei liegt in der Tatsache, dass eine bedeutende Phosphormenge in die Umwelt emittiert und dort gelagert wird. Zum einen handelt es sich dabei um Verluste von nutzbarem Phosphor, zum anderen kann es ausgehend von diesen Phosphorspeichern z.B. durch Rücklösungen oder Resuspension auch langfristig zu einer Phosphorbelastung der Gewässer kommen, die einer Einflussnahme durch den Menschen weitgehend entzogen ist.

Eine zusätzliche Gefährdung des Schwarzen Meeres durch Phosphoreinträge aus dem Donaeinzugsgebiet besteht für den Fall, dass die Kanalisation bisher noch nicht kommunal entsorgter EinwohnerInnen, welche im Schnitt des Donaeinzugsgebietes noch etwa 50 % ausmachen, vorangetrieben wird, ohne dass gleichzeitig die Phosphorentfernung auf Kläranlagen implementiert wird. In diesem Fall wäre mit einer deutlichen Erhöhung insbesondere der gelösten Phosphoremissionen zu rechnen. Diese Gefahr muss auch bei einer starken industriellen Entwicklung ohne entsprechende Maßnahmen zum Phosphorrückhalt bei der Abwasserbehandlung befürchtet werden. Auch die landwirtschaftliche Entwicklung in den Ländern des ehemaligen Ostblocks hat das Potenzial einer Emissionssteigerung für Phosphorverbindungen, allerdings vor allem für partikulär gebundene aus der Erosion. Wesentlich dramatischer stellt sich das Potenzial an zunehmender Belastung mit Stickstoffverbindungen aus einer wieder erstarkenden Landwirtschaft dar.

5. RELEVANZ DES EINSATZES PHOSPHORHÄLTIGER WASCHMITTEL FÜR DIE KOSTEN DER ABWASSER-ENTSORGUNG

Während etwa in Deutschland und Österreich phosphorhaltige Waschmittel bereits vor mehr als 15 Jahren vom Markt verschwunden sind, gibt es im Donaauraum zahlreiche Staaten,

die phosphorhaltige Waschmittel einsetzen. Nach einer aktuellen Studie (INIA 2006) beträgt der Verbrauch an phosphorhaltigen Waschmitteln beispielsweise in Ungarn je EinwohnerIn und Tag 0,84 g P, also etwa der Hälfte der Phosphormenge, die über Fäkalien ins Abwasser emittiert wird. Die verbrauchten Mengen phosphorhaltiger Waschmittel liegen jedoch deutlich unter den westeuropäischen Spitzenwerten aus den 80er Jahren von bis zu 3 g P/(E.d). Dies hat einerseits damit zu tun, dass sich die Rezepturen der Waschmittel verändert haben und der Anteil von STPP (Sodium Tri-Poly-Phosphate) von 50 % auf unter 25 % gesenkt wurde, andererseits liegt der derzeitige Waschmittelverbrauch in vielen osteuropäischen Staaten deutlich unter dem Verbrauch vor dem ökonomischen Zusammenbruch, hier kann durchaus davon ausgegangen werden, dass der Waschmittelverbrauch noch weiter ansteigen kann.

Für die Phosphorentfernung auf Kläranlagen kann festgehalten werden, dass jedes kg an P das zusätzlich gefällt werden muss, um die Abwassergrenzwerte einhalten zu können, auch zusätzliche Betriebskosten verursacht. Neben dem erhöhten Fällmitteleinsatz bei erhöhten Anforderungen an die Phosphorentfernung ist auch ein höherer Schlammfall zu bewältigen, der zu höheren Gesamtkosten für Schlammbehandlung und die Entsorgung führt.

Einerseits verursacht jedes g P, das je EinwohnerIn und Tag (0,36 kg P/(E.a)) zusätzlich ins Abwasser emittiert wird, Fällmittelkosten von rund 1 €/E.a). Andererseits fallen je kg P, der gefällt wird, 6 bis 8 kg Schlamm-trocken-substanz an. Bei einer zusätzlichen Phosphoremission über Waschmittel von 1 g P/(E.d) fallen somit jährlich zwischen 2 und 3 kg Schlamm-Trockensubstanz an. Auch der Ersatz von STPP durch Zeolithe erzeugt einen zusätzlichen Schlammfall und damit erhöhte Kosten für Schlammmentwässerung und Entsorgung. Der Zeolithverbrauch in Deutschland betrug 1999 4,5 g/E.d (UBA 2007), also rund 1,5 kg/E.a. Zeolithe werden in den Kläranlagen fast vollständig im Schlamm zurückgehalten. Der Schlammfall ist dennoch beim Einsatz von phosphorfreien Waschmitteln etwas geringer als beim Einsatz phosphathaltiger Waschmittel, wenn der Phosphor durch Fällung weitgehend aus dem Abwasser entfernt wird. Dies ist auch bei den Behandlungs- und Entsorgungskosten zu berücksichtigen.

Um eine Tonne Schlamm (auf TS

Abb. 7. Veränderungen der Phosphoremissionen in die Gewässer des Donaeinzugsgebietes sowie der Phosphorfracht in der Donau vor der Mündung

Abb. 8. Emissionen, Transport und Speicherung von Phosphor im Donaeinzugsgebiet in der Periode 1998 bis 2002 (daNUbs, 2005)

bezogen) zu entwässern, entstehen Kosten von 90 bis 120 €. Bei den in weiterer Folge anfallenden Mehrkosten zur Schlammmentsorgung ist anzumerken, dass ein hoher Anteil an Fällschlamm (aber auch an Zeolith) die Entwässerbarkeit des Schlammes verbessert wird und damit bei der Entwässerung höhere TS-Gehalte erreicht werden können. Da die Entsorgungskosten üblicherweise nach der Schlammmenge und nicht nach der TS-Menge berechnet werden, steigen somit die Entsorgungskosten für den zusätzlich anfallenden Schlamm nicht

linear an, sondern werden um rund ein Drittel gedämpft.

Die Entsorgungskosten für Klärschlamm unterscheiden sich teilweise sehr stark von Kläranlage zu Kläranlage, weil auch die Kosten der Schlammbehandlung sehr stark von den Entsorgungswegen abhängen. Letztere sind von einer Fülle lokaler und regionaler Besonderheiten beeinflusst. Die folgenden Werte dienen deshalb vor allem der Orientierung (Preise jeweils ohne Entwässerung): Die preisgünstigste Entsorgung bzw. Verwertung ist die landwirtschaftliche

Verbringung mit 80 bis 200 €/t TS und ist damit etwas günstiger als die Kompostierung (160–240 €/t TS) und die mechanisch biologische Behandlung (160–260 €). Die thermischen Verfahren sind teurer, wobei die Mitverbrennung (200–480 €) günstiger als die Monoverbrennung (330–500 €/t) ist. Als Monoverbrennung wird in dieser Arbeit eine Verbrennung von Klärschlamm bezeichnet, bei der es zu keiner nennenswerten „Verdünnung“ des Phosphorgehaltes der Asche durch Zusatz anderer Stoffe kommt).

Basierend auf diesen Daten können die zusätzlichen Betriebskosten für Fällmittel und Schlammbehandlung und Verwertung aufgrund einer zusätzlichen spezifischen P-Fracht von 1 g P/(E.d) durch Waschmittel mit ca. 1,4 bis 2 €/E.a) abgeschätzt werden. Im Vergleich zu den gesamten jährlichen Kosten der Abwasserbehandlung (ohne Kanalisation) von € 35 (große Anlagen) bis € 60 (kleine Anlagen) je EinwohnerIn sind diese Kosten von keiner großen Bedeutung. In den Abwassergebühren (≈ 80 bis 100 €/E.a) sind auch noch die Kosten für die Abwassersammlung und -ableitung enthalten. Auf die Abwassergebühren hat daher die Phosphorentfernung nur untergeordnete Bedeutung, weil der Einfluss geringer ist als die Annahmen für Gebührenberechnung. Der entscheidende Vorteil des flächendeckenden Einsatzes von phosphatfreien Waschmitteln liegt demnach überwiegend in den bereits zuvor dargestellten ökologischen Bereichen (Ressourcenschonung, Emissionsreduktion).

6. ANALYSE DER RELEVANZ DER FRAGESTELLUNG

Steigende Weltbevölkerung führt zu einem nicht vermeidbaren Anstieg des Phosphorbedarfs für die Nahrungproduktion und für die Ernährung, der bei mangelndem Phosphormanagement zu einem großen Teil über das Abwasser in die Gewässer und schließlich in die Meere abtransportiert wird. Europa ist besonders arm an guten Phosphorerzen und sollte daher frühzeitig diese lebenswichtige Ressource so bewirtschaften, dass auch die kommenden Generationen ausreichend versorgt werden können.

Eine wesentliche Ursache für den bisher relativ sorglosen Umgang mit Phosphor ist seine relativ geringe wirtschaftliche Relevanz einer Phosphordüngung mit Handelsdüngern für die Landwirtschaft (KROISS und ZESSNER, 2004). Der weitaus wich-

tigere Ansatz zum Rückhalt von Phosphor aus dem kommunalen Abwasser kam bisher von der Bekämpfung der Eutrophierung in den Oberflächengewässern. Diese hat schon vor Jahrzehnten zu Maßnahmen zum Phosphorrückhalt im Einzugsgebiet von Alpenseen geführt (z.B. Bodensee-kommission, Abwasserringleitungen). Heute wird über die EU Richtlinie für kommunales Abwasser (271/92) für empfindliche Gebiete, bzw. über die 1. allgemeine Emissionsverordnung für kommunales Abwasser (1996) in Österreich ein nahezu flächendeckender, weitgehender Rückhalt von Phosphor aus den Abwässern erzwungen. In beiden Fällen stand die Bewirtschaftung der Ressource Phosphor nicht im Vordergrund der Überlegungen.

Aus der Analyse der Phosphorstrome in Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft können für den künftigen Gewässer- und Ressourcenschutz bezüglich Phosphor die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Für den Gewässerschutz im Rahmen von Flussgebieten inklusive der betroffenen Meeresküstengewässer sowie von Seen ist eine konsequente Phosphorentfernung bei allen Kläranlagen (> 1000 EW) sinnvoll, wirtschaftlich vertretbar und technisch einfach. Es ist wirtschaftlicher, die Phosphorentfernung auch auf kleine Kläranlagen (< 10000 EW) auszudehnen als die Anforderungen bei den großen Kläranlagen zu verschärfen um den gleichen Effekt zu erreichen.
- Über die Anforderung an die Phosphorentfernung werden etwa 85 bis 90 % der Phosphorfrachten im Abwasser in den Klärschlamm verlagert. Je höher die Zulaufkonzentration desto höher wird der Wirkungsgrad. Niedrige Fremdwasseranteile und sinkender Trinkwasserverbrauch wirken sich daher positiv auf das Kosten Nutzenverhältnis der Phosphorentfernung aus. Einen so hohen Wirkungsgrad des Phosphorrückhaltes kann man mit den bestehenden zentralen Abwassersammelsystemen sehr preiswert sicherstellen.
- Der ökonomische Wert des Phosphors im Klärschlamm (1,5 €/EW.a) von Anlagen mit weitgehender Phosphorentfernung ist höher als die dafür anfallenden Kosten (1 €/EW.a). Es gibt Anzeichen für steigende Preise für Rohphosphat auf dem Weltmarkt, weil die Nachfrage insbesondere aus Indien und China steigt.

- Für die nationale Landwirtschaft ist der ökonomische Wert des Phosphors im Klärschlamm nicht relevant, solange der Preis für Handelsdünger nicht wesentlich ansteigt. Für einen einzelnen Landwirt hingegen, der seinen Phosphorbedarf weitgehend über Verwertung von (entwässertem) Klärschlamm deckt, stellt diese Maßnahme einen deutlichen ökonomischen Vorteil dar.
- Die Problematik der potenziellen Schadstoffe wird auch in Zukunft zu beachten sein. Die Gefährdung für landwirtschaftliche Böden und Produkte erscheint jedoch nach dem heutigen Stand des Wissens gering zu sein, wenn über Vorsorgemaßnahmen die Belastungen der Klärschlämme gering gehalten werden, wie dies in Österreich in den letzten Jahren geschehen ist. Ein generelles Verbot dieses Weges der Ressourcenschonung kann derzeit nur über ein strenges Vorsorgeprinzip begründet werden.
- Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit eines aus Klärschlamm hergestellten Phosphordüngers, der die gesetzlichen Anforderungen bezüglich zulässiger Schadstoffgehalte von Handelsdünger einhält, hängt stark von der Höhe und der Zuordnung der Kosten für die Entsorgung des Klärschlammes ab.

Die konsequente Phosphorentfernung bei allen Kläranlagen ist auch aus Sicht eines nachhaltigen Ressourcenmanagements der erste wichtige Schritt, wenn danach sichergestellt werden kann, dass:

- die im Klärschlamm zurückgehaltenen Phosphorfrachten das Land nicht verlassen (kein Klärschlammexport),
- die Phosphorfrachten bzw. der Klärschlamm nicht auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen verteilt wird (kein Landschaftsbau),
- die Lager (Deponiestandorte) dauerhaft registriert werden,
- die Wirtschaftlichkeit der Rückgewinnung der Ressource Phosphor nicht durch „Verdünnung“ mit anderen Stoffen (z.B. Mitverbrennung von Klärschlamm in Abfallverbrennungsanlagen oder Kohlekraftwerken) drastisch gesenkt wird und
- keine Verlagerung des Phosphors in Produkte erfolgt, die sich für die P-Rückgewinnung nicht eignen (Zement, Ziegel).

Die Geschwindigkeit ein nachhaltiges Phosphormanagement zwingend einzuführen ist von geringerer Bedeutung als die mittelfristig konsequente Verfolgung des Zieles einer Reduktion der Phosphorfrachten, die in die Oberflächengewässer aller Flussgebiete gelangen, auf ein Maß, das langfristig ökonomisch und ökologisch verträglich ist. Für Europa erscheint dies derzeit bei einem Rückhalt von 85 bis 90 % der P-Frachten aus allen kommunalen Abwässern der Fall zu sein. Diese Maßnahme zum Ressourcenschutz für Phosphor stellt auch einen wesentlichen Beitrag zum Eutrophierungsschutz der Oberflächengewässer, insbesondere auch der Küstengewässer dar. Im Einzugsgebiet von Seen und schwachen Vorflutern können auch höhere Anforderungen an die P-Entfernung erforderlich sein, um das Eutrophierungsproblem zu

beherrschen, allerdings trägt dies zum Schutz der Ressource Phosphor nur wenig bei.

Die flächendeckende Einführung phosphatfreier Waschmittel (EU, global) stellt einen wichtigen Schritt zur Nachhaltigkeit der Nutzung der Ressource Phosphor und zum Schutz der Gewässer vor Eutrophierung dar, insbesondere solange die Abwässer ohne Phosphorentfernung in Kläranlagen in die Gewässer gelangen. Weiters verringert die Einführung phosphatfreier Waschmittel die Kosten der Abwasserreinigung und stellt eine sinnvolle Maßnahme zur Vermeidung von Stoffströmen (auch Fällmittel) an der Quelle dar, solange die Ersatzstoffe nicht ökologisch bedenklich sind.

Der Beitrag einer 85- bis 90%igen Phosphorentfernung aus allen kommunalen Abwässern führt in Mittel- und Westeuropa bei überwiegendem

Einsatz phosphatfreier Waschmittel zu einer Erhöhung der Gebühren für die Abwasserentsorgung (derzeit ca. 50 bis 100 €/EW) um 1 bis 2 %, der Wert des zurückgehaltenen Phosphors beträgt schon heute etwa das Doppelte, wenn damit Handeldünger substituiert werden kann.

7. SCHLUSSBEMERKUNG

Die Notwendigkeit eines flächendeckenden Phosphormanagements für eine nachhaltige Nahrungsversorgung der Weltbevölkerung und für einen nachhaltigen Gewässerschutz ist wissenschaftlich anerkannt und erhält sukzessive politische Bedeutung. Plötzlich auftretende Preissteigerungen bei Phosphordüngemitteln helfen bei der Bewusstseinsbildung auf globaler Ebene.

LITERATUR

INIA (2006) Development of a European Quantitative Eutrophication Risk Assessment of Polyphosphates in Detergents; Green Planet Research Report GPR-CEEP-o6-2

daNUbs (2005) "Nutrient Management in the Danube Basin and its Impact on the Black Sea - final report" supported under contract EVK1-CT-2000-00051 by the Energy, Environment and Sustainable Development (EESD) Programme of the 5th EU Framework Programme, Koordinator: Institut für Wassergüte, Technische Universität Wien, <http://danubs.tuwien.ac.at/>.

HORSTMANN U. (2004) Die Donau und das Schwarze Meer – für und wider die Eutrophierung, Vortrag im Rahmen des Seminars: Standortbestimmung in der Wassergütwirtschaft, Institut für Wassergüte, Technische Universität Wien, 13.10.2004.

KROISS H., ZESSNER M. (2004) Die Bedeutung der Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft – eine nationale Standortbestimmung, Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 9–10, September/Oktober 2004, Seiten 133–138

KROISS H., ZESSNER M., LAMPERT C. (2007) Provision of technical support on Danube nutrients, final report, UNDP/GEF-Danube Regional Project.

LINDTNER S., ZESSNER M. (2003). Abschätzungen von Schmutzfrachten in der Abwasserentsorgung bei unvollständiger Datenlage. Wiener Mitteilungen. Band 183: 195–227.

NIKOLAVCIC B., ZESSNER M., NOWAK O. (1998). Maßnahmen zur Phosphorentfernung. Wiener Mitteilungen. 145: 205–259.

UBA (2007) <http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/waschmittel/trends.htm#Daten>

VAN GILS J., BEHRENDT H., COSTANTINESCU A., ISERMANN K., ISERMANN R., ZESSNER M. (2005) Assessment results for scenarios, deliverable D5.12 of the project "Nutrient Management in the Danube Basin and its Impact on the Black Sea" (daNUbs) supported under contract EVK1-CT-2000-00051 by the Energy, Environment and Sustainable Development (EESD) Programme of the 5th EU Framework Programme, <http://danubs.tuwien.ac.at/>.

Anschrift der VerfasserInnen: H. KROISS, M. ZESSNER, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien; C. LAMPERT, Umweltbundesamt Wien