Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117 (1999)

Heft: 19

Artikel: Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft: technische Möglichkeiten von Eliminations- und Recyclingverfahren

Autor: Larsen, Tove A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79728

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tove A. Larsen, Dübendorf

Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft

Technische Möglichkeiten von Eliminations- und Recyclingverfahren

Das 19. Jahrhundert erfand die Siedlungshygiene, das 20. Jahrhundert den Gewässerschutz. Welche Anforderungen wird das 21. Jahrhundert an die Siedlungswasserwirtschaft stellen? Die nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung, wie sie in Rio 1992 postuliert wurde, ist eine mögliche Antwort. Die Nährstoffe stellen eine dieser Ressourcen dar.

Mit dem Begriff «Nährstoffe» bezeichnen wir aus der Sicht der Umwelt die Elemente Stickstoff (N) und Phosphor (P), weil sie übermässiges Wachstum in den Ökosystemen verursachen. In Bild 1 sind die wichtigsten umweltrelevanten Emissionen (d.h. ohne die gasförmige Form, N_2) in der Schweiz dargestellt. Die atmosphärischen Emissionen sind eher im Verruf wegen ihrer Wirkungen als Luftschadstoffe, sind aber auch für die Eutrophierung (Nährstoffüberlastung) terrestrischer Ökosysteme mitverantwortlich. Die umweltrelevanten N- und P-Emissionen aus der Siedlungswasserwirtschaft gehen alle (nur) in die Gewässer. Es gibt keine Emissionen in die Atmosphäre: Ammoniak (NH_3) wird aus dem verdünnten Abwasser nicht freigesetzt, und es konnte gezeigt werden, dass Lachgasemissionen (N_2O) keine Rolle spielen [3].

Der in die Gewässer emittierte Stickstoff wird als Nitrat (NO_3^-) zusammengefasst. Die Emissionen aus Landwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft sind in derselben Grössenordnung, wobei Nitrat aus der Landwirtschaft vorwiegend ins Grundwasser und derjenige aus der Siedlungswasserwirtschaft in die Oberflächengewässer gelangt. Den Massnahmen in der Landwirtschaft werden mehr Prioritäten eingeräumt, weil sie einerseits kostengünstiger und andererseits für Gewässer, Grundwasser und Atmosphäre wirkungsvoller sind [1].

Nährstoffflüsse in der Kläranlage

In Bild 2 ist die Verteilung von Stickstoff und Phosphor in den Verfahrensstufen einer typischen Kläranlage dargestellt. Drei Massenströme werden unterschieden: Abwasser, Abluft und Klärschlamm. In der biologischen Stufe werden infolge des Abbaus von organischen Stoffen typischerweise 25 % des Stickstoffs und 40 % des Phosphors in die Biomasse eingebaut. Je nach Art der Schlammbehandlung kann von den 25 % Stickstoff mehr als die Hälfte wieder freigesetzt und mit dem Faulwasser zurückgeführt werden. Der wieder freigesetzte Phosphor dagegen wird durch Fällungsreaktionen im konzentrierten Faulschlamm zurückbehalten [4].

Bei der chemischen P-Elimination können durch Zugabe von Eisen- oder Aluminiumsalzen 80–95 % des Phosphors im Schlamm aufkonzentriert werden. Bei strengen Einleitbedingungen ist eine Filtration nötig, die zusätzliche Kosten verursacht. Eine biologische N-Elimination (Denitrifikation) von 30–40 % ist oft ohne grosse Investitionen möglich (z.B. in einer kleinen, vorgeschalteten Denitrifikationszone), während die weitergehende Denitrifikation eine wesentliche Vergrösserung der Becken voraussetzt. Auch hier steigen die Kosten überproportional zum Eliminationsgrad an.

Trends in der Nährstoffelimination

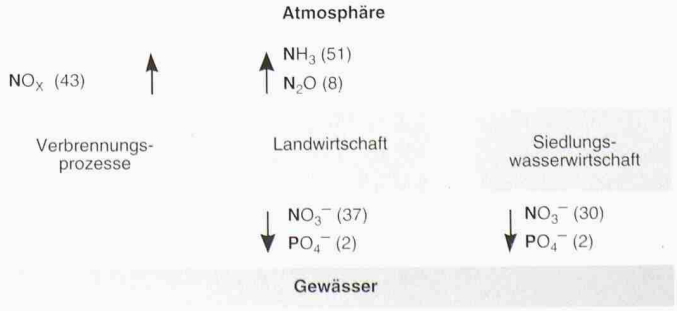
In der Schweiz wird heute vor allem die Denitrifikation und die biologische Phosphorelimination diskutiert. Eine Reduktion der Stickstoffemission (des Wertes vom Jahre 1995) von 2 kt/Jahr ist bis 2005 vorgesehen. Ein neues und erfolgversprechendes Verfahren zur Stickstoffelimination im Faulwasser wird an der EAWAG untersucht [5]. Das Verfahren funktioniert mit ammoniumreichem Abwasser, das gleichzeitig arm an organischen Stoffen ist, vermutlich nach dem folgenden Prinzip: Die Hälfte des NH_4^+ wird zu NO_2^- oxidiert, nachher wird unter anaeroben Bedingungen NH_4^+ mit NO_2^- oxidiert. Das Produkt dieser Oxidation ist reines N_2. Damit wird die Denitrifikationsleistung der Anlage erhöht, und zwar um etwa 15 % des Stickstoffes bezogen auf den Zulauf. Der grosse Vorteil des Prozesses: es wird kein organischer Stoff für die Denitrifikation benötigt und eine mögliche Überlastung der Nitrifikation durch konzentrierte Faulwasserzugabe kann vermieden werden.

Die biologische P-Elimination eignet sich wegen der aufwendigen Betriebsführung vor allem für grössere Anlagen. Handelt es sich um nitrifizierende Anlagen, braucht es aus verfahrenstechnischen Gründen auch eine Denitrifikation – und als Folge davon zusätzliches Beckenvolumen. Die EAWAG führt im Moment Versuche zur biologischen Phosphorelimination im Hinblick auf die Optimierung von nitrifizierenden und denitrifiziernden Anlagen durch.

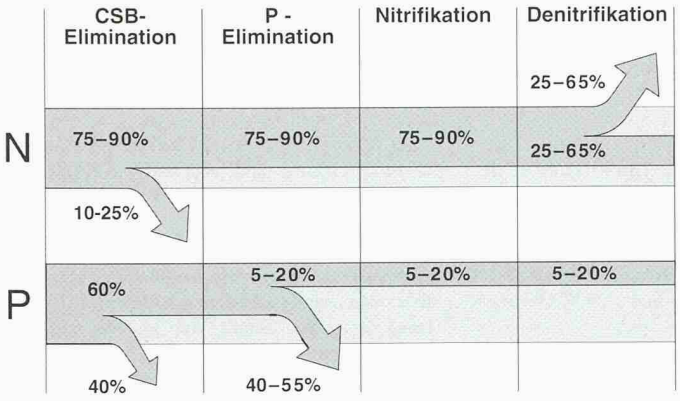
Nährstoffrecycling: neue Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft?

Eine naheliegende Alternative zur Nährstoffelimination ist das Recycling in der Landwirtschaft. Dafür können folgende Argumente ins Feld geführt werden:

- Die Phosphorreserven sind begrenzt (die Reserven werden auf einige hundert Jahre geschätzt).
- Die Qualität der Phosphorreserven nimmt ab (die Schwermetallkonzentrationen und die Gewinnungskosten steigen).
- Wenn man – früher oder später – sowieso Phosphor recyclieren muss, könnte es sich auch ökonomisch lohnen, andere Nährstoffe (d.h. vor allem Sticktoff und Kalium, das in gleich grossen Mengen wie Phosphor vorkommt) zu recyclieren.



1 Umweltrelevante Emissionen von N und P, Schweiz 1994. Zahlen in kt N, bzw. P, pro Jahr [1, 2]



2
Nährstoffflüsse auf einer typischen Kläranlage. Die Pfeile geben die Verteilung der Nährstoffe in Klärschlamm (↓), Abluft (↑) und Abwasser (nach rechts) an

		Phosphor [kt_P/Jahr]	Stickstoff [kt_N/Jahr]
Import	Futtermittel	6	25
	Mineraldünger	17	70
	Abfalldünger	2	5
	Deposition	1	36
	N-Fixierung		45
Export	Lebensmittel	7	41
	Verluste	2	141
Speicherung		17	

3
N- und P-Bilanz der Schweizer Landwirtschaft [5]

Stoffströme minimieren entspricht einem allgemeinen Bedürfnis, weniger anthropogene Eingriffe in die Umwelt zu tätigen - und gleichzeitig dem Konzept der ökologischen Landwirtschaft.

Spielen aber die Nährstoffe aus der Siedlungswasserwirtschaft überhaupt eine Rolle für die Landwirtschaft? In Bild 3 ist für N und P eine Bilanz der Schweizer Landwirtschaft aufgeführt (nur Importe und Exporte - der interne Kreislauf des Hofdüngers ist nicht aufgeführt).

Die Nährstoffe des Exports «Lebensmittel» landen zum grössten Teil wieder in der Siedlungswasserwirtschaft. Man sieht, dass diese Nährstoffe durchaus einen beachtlichen Teil des Mineraldüngers ersetzen könnten. Durch die hohen Verluste (N) und die massive Speicherung (P) wird die Interpretation jedoch komplizierter. Die heutige Landwirtschaftspolitik hat zum Ziel, die Nährstoffverluste zu minimieren, und strebt deswegen generell kleinere Importe an [1]. Beim Phosphor ist klar, dass die Importe mindestens gleich gross sein müssen wie die Exporte; d.h. global gesehen wird es immer einen Bedarf nach Phosphordünger geben (Verwitterungsprozesse werden bei dieser Überlegung vernachlässigt). Den Export an Stickstoff (= Nahrungsmittel) könnte man theoretisch durch biologische N-Fixierung ersetzen, wobei hier nicht diskutiert werden soll, ob dies aus landwirtschaftlichen Überlegungen erwünscht ist.

Technische Möglichkeiten des Nährstoffrecyclings

Nährstoffrecycling aus der Siedlungswasserwirtschaft beschränkt sich heute fast ausschliesslich auf den Phosphor. In den konventionellen Verfahren (z.B. der Fällung mit Eisensalzen) wird der Phosphor im Schlamm aufkonzentriert, während neue Verfahren eine separate Ausfällung des Phosphors als Kristalle anstreben [6]. Fällungsprodukte sind Calciumphosphate oder $MgNH_4PO_4$ (Magnesium-Ammonium-Phosphat). Diese Verfahren sind chemikalienintensiv und es ist deswegen noch unklar, ob sie je finanziell konkurrenzfähig sein werden (dies gilt jedoch nicht für die ähnlichen Verfahren zur Faulwasserbehandlung, die schon heute als konkurrenzfähig gelten).

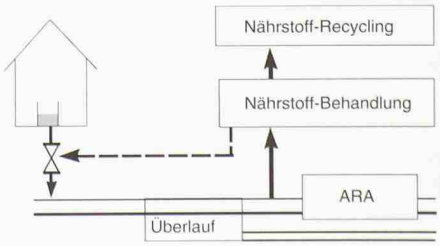
Nährstoffabtrennung an der Quelle

Wollen wir nicht nur Phosphor, sondern auch die übrigen Nährstoffe aus der Siedlungswasserwirtschaft recyclieren, sind nur Verfahren an der Quelle realistisch. Diskutiert werden im Moment zwei Ansätze in diese Richtung: Separate Vakuumentwässerung der Toiletten oder eine getrennte Erfassung von Urin, der den grössten Teil der anthropogenen Nährstoffe enthält (aus dem Stoffwechsel finden sich im Urin 90% des Stickstoffes, 50-60% des Phosphors und fast 100% des Kaliums wieder).

Die separate Vakuumentwässerung wird in Lübeck erprobt [7]. In semidezentralen Anlagen wird durch ein Vakuumsystem das WC-Abwasser gesammelt und in einem anaeroben Verfahren ausgefault. Es wird bei diesem Verfahren wenig Wasser gebraucht und aus dem Faulungsprozess entsteht neben Dünger auch Biogas. Der Vorteil ist der grosse Anteil an Nährstoffen, der dadurch recycliert werden kann, der Nachteil vor allem der Bedarf an jeweiliger neuer Infrastruktur.

Die separate Erfassung von Urin benötigt im Prinzip nur eine sogenannte «No-mix» Toilette (ein Exemplar kann an der EAWAG benützt werden) und einen Behälter zur Speicherung des abgetrennten Urins. Die Speicher müssen geleert und der Urin einer Nutzung oder Reinigung zugeführt werden. Die Behandlung des restlichen Abwassers reduziert sich dann auf einfache Verfahren zur Elimination der organischen Stoffe. In Skandinavien, vor allem in Schweden, wird das Prinzip intensiv erforscht [8] und der Urin direkt in der Landwirtschaft genutzt. Ein Vorschlag zum Transport des Urins ist an der EAWAG erarbeitet worden [9] und in Bild 4 dargestellt. Es geht darum, den Urin zeitlich vom restlichen Abwasser zu trennen: Die Entleerung der Speicher erfolgt in der Nacht. Unklar dabei - und daher zu erforschen - ist, welche möglicherweise toxischen Stoffe im Urin (Antibiotika, Hormone etc.) enthalten sind, und ob Ammoniak ausgast, wie es aus der Landwirtschaft bekannt ist (Bild 1). Verfahrenstechnisch eröffnet die separate Urinableitung viele Möglichkeiten: Ist z.B. in kleinen Gemeinden die Aufarbeitung als Dünger im Winter nicht wirtschaftlich, sind Eliminationsverfahren in der konzentrierten Lösung wahrscheinlich günstiger als die Nährstoffelimination im verdünnten Abwasser. Auch in einer Übergangszeit, wenn erst in wenigen Wohnungen das System eingeführt ist, kann sich das System vorteilhaft auf den Betrieb der Kläranla-

4
Speicherung von Urin im Haus und Transport durch das Kanalsystem während der Nacht. Nach [9]



gen auswirken. Der Ausgleich von Spitzen in den stickstoffhaltigen Abwässern und eine Entschärfung der Mischwasserentlastungen wären die wichtigsten Vorteile.

Schlussfolgerung

Die technische Entwicklung der Nährstoffelimination in der Siedlungswasserwirtschaft ist bei weitem noch nicht abgeschlossen. Ein neuer Aspekt ist das Nährstoffrecycling, das bezüglich Phosphor technisch schon weit entwickelt ist. Massnahmen an der Quelle bringen neue Möglichkeiten und Freiheitsgrade, benötigen aber noch einiges an Forschung, bevor sie marktreif sind.

Adresse der Verfasserin:
Tove A. Larsen, Dr. Chem. Ing., EAWAG, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf

Literatur

[1]
Buwal: Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 273, 1996

[2]
Siegrist H. und Boller M.: Auswirkungen des Phosphatverbots auf die Abwasserreinigung, EAWAG news 42D, 1996

[3]
Mengis M. und von Schultess R.: Lachgasemissionen von Kläranlagen und Seen, EAWAG news 40D, 1995

[4]
Wild D.: Nährstoffflüsse in Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination. Dissertation ETH-Nr. 12 197, 1997

[5]
Koch G. und Siegrist H.: Separate biologische Faulwasserbehandlung - Nitrifikation und Denitrifikation. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Verbandsbericht Nr. 522, 1998

[5]
Braun M., Hurni P. und Spiess, E.: Phosphor- und Stickstoffüberflüsse in der Landwirtschaft und Paralandwirtschaft. Schriftenreihe der FAC, Liebefeld, 1994

[6]
Brett S., Guy J., Morse G.K. and Lester J.N.: Phosphorus removal and recovery technologies. Centre Européen D'Études des Polyphosphates E.V., 1997

[7]
Otterpohl R., Grottker M. and Lange J.: Sustainable water and waste management in urban areas. Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 3-4, pp. 121-133, 1996)

[8]
Hanaeus J., Hellström D., Johansson E.: A Study of a Urine Separation System in an Ecological Village in Northern Sweden, Wat.Sci.Tech. 35 (9), 153-160, 1997

[9]
Larsen T. A. und Gujer W.: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 3-4, pp. 87-94., 1996

L. Sigg, R. Behra, M. Boller, R. Eggen, W. Meier, B. Sulzberger und H. Xue, Dübendorf

Die Bedeutung von Kupfer in Gewässern

Führt Kupfer aus Hausdächern und Dachrinnen zu Problemen in den Gewässern und in den Böden? Sind die Emissionen aus diesen Quellen überhaupt relevant? Diese und andere Fragen zur Bedeutung der Kupfereinträge in die Gewässer werden gegenwärtig vom Baugewerbe und den Umweltfachleuten kontrovers diskutiert.

In dieser Übersicht legen wir verschiedene Aspekte zu den Stoffflüssen von Kupfer in der Umwelt, zum Schicksal von Kupfer in den Gewässern und zu seinen ökotoxikologischen Effekten im Zusammenhang dar.

Stoffflüsse von Kupfer

Zu den wichtigen Emissionsquellen von Kupfer in die Umwelt, vor allem in Böden und Gewässer, gehören:

- Kupferbestandteile, die an Gebäudehüllen und zu Hausinstallationen verwendet werden.
- Kupferverbindungen, die in der Landwirtschaft in Düngern und Pestiziden (z.B. Fungizide) eingesetzt werden.
- Kupfer im Klärschlamm
- Kupferabrieb aus dem Strassen- und Schienenverkehr [1-3]

Am Beispiel des Einzugsgebietes der Töss wurden die gesamten Kupferflüsse einer Region mittels den Erfahrungswerten anderer Regionen berechnet ([3], Bild 1).

Am meisten Kupfer wird beim Import und Export von Kupfer in die Region, bei der Anreicherung in Gewerbe und Haushalt und bei den auf Deponien abgelagerten Mengen umgesetzt.

Diese grossen Stoffflüsse müssen für die Bewirtschaftung von Kupfer - eine begrenzte Ressource - berücksichtigt werden. In Bezug auf Wasser und Boden sind die (im Vergleich mit der Gesamtbilanz) relativ geringen diffusen Einträge in die Umwelt von grosser Bedeutung, da diese zur Akkumulation in Böden und Sedimenten sowie zu erhöhten Gehalten in den Gewässern führen. Auf die beträchtliche Akkumulation von Kupfer in landwirtschaftlichen Böden soll hier lediglich hingewiesen werden [1].

Die Kupferbelastung der Töss setzte sich bei dieser Bilanz vor allem aus den Abschwemmungen aus landwirtschaftlichen Böden, aus den Kläranlagenabflüssen und Regenentlastungen, und aus Direkteinleitungen von Meteorwasser zusammen. Die Meteorwässer aus Strassen und Dächern lieferten wesentliche Anteile des Kupfers sowohl im kanalisierten Abwasser (etwa 56 %) als auch im unkontrollierten Abwasser. Zudem dürfte ein beträchtlicher Anteil des Kupfers in den häuslichen Abwässern aus den Hausinstallationen stammen [2].

Konzentrationen und Speziierung in den Gewässern

In Bild 2 sind einige typische Konzentrationen von «gelöstem» (< 0,45 µm) und gesamtem Kupfer in schweizerischen Ge-