



Urinbehandlung: vom Ausprobieren zur spannenden Innovation

4. Mai 2022 | Andri Bryner

Themen: Abwasser | Schadstoffe | Klimawandel & Energie

Was in den Kläranlagen seit Jahrzehnten als Reinigungsprozess erfolgt, kann dezentral oder semi-zentral auch als Recyclingverfahren für Nährstoffe eingesetzt werden. Einer frühen Trennung von «Fest und Flüssig» kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Sie lässt prozesstechnisch flexible Lösungen zu, vor allem bei der Behandlung des Urins. Neue Untersuchungen zeigen ausserdem, dass die Verfahren nicht nur für menschlichen Urin, sondern auch für den von Kühen oder Schweinen einsetzbar sind.

Weltweit steigt der Bedarf an Dünger für die Landwirtschaft. Das macht die Rückgewinnung von Nährstoffen aus dem Abwasser interessant. Die Schweiz, zum Beispiel, ist in Bezug auf Phosphor vollständig von Importen abhängig. Die (allerdings auch endlichen) Phosphorvorräte werden von wenigen Ländern wie China und USA kontrolliert. Grosse Reserven, die Marokko beansprucht, liegen in annektierten Gebieten der Westsahara.

Tote Zonen im Meer wachsen

Parallel zum grossräumigen Handel mit Dünger führt eine ungenügende Entfernung von Nährstoffen aus dem Abwasser an vielen Orten der Welt zu überdüngten Gewässern. «Tote Zonen» in der Nordsee und in küstennahen Meeresabschnitten sind nicht primär auf Chemierückstände, sondern auf zu hohe Einträge von Stickstoff und Phosphor zurückzuführen. 2021 hat der zweite [«World Ocean Assessment»-Bericht der Uno](#) festgehalten, dass die Zahl dieser Gebiete, in denen kaum noch Leben möglich ist, stark steigend ist. «Die Belastungen zerstören wichtige Lebensräume und behindern die Fähigkeit der Meere, die Auswirkungen des Klimawandels zu bewältigen», sagte Uno Generalsekretär António Guterres.



**Die Blue Diversion Autarky Toilette im Test am Rand von Durban, Südafrika. Rechts vorne ist das Verdunstungsmodul sichtbar.
(Michel Riechmann, Eawag)**

Frühe Trennung statt «end of pipe»

Nährstoffe können in konventionellen Kläranlagen aus dem Abwasser entfernt, aufbereitet und wieder in regionale Stoffkreisläufe gebracht werden. Doch die Verfahren am Ende der Röhren (end of pipe) erfordern Platz, technischen Aufwand, Energie und Chemikalien. Es ist nicht so, dass dies bei dezentraler oder semi-zentraler Behandlung des Abwassers alles entfällt. Doch eine frühe Trennung der verschiedenen Stoffströme ermöglicht vor allem prozesstechnisch flexiblere Lösungen. Ein Beispiel dafür ist die an der Eawag entwickelte [Blue Diversion Autarky Toilette](#). Sie setzt auf Massnahmen vor Ort und eine Technik, die Abwasser zu nützlichen Produkten macht. Gleichzeitig erforschen und entwickeln die Eawag-Mitarbeitenden mit Autarky eine Plattform, welche moderne On-site-Technik schrittweise in den Badezimmermassstab bringt: Was vor 20 Jahren noch die Vision einiger Pioniere war, ist heute eine interessante Innovation, an der immer mehr Verfahrenstechnikerinnen und -techniker und Firmen mitarbeiten.



Die autonome Urinbehandlung mit Nährstoffrückgewinnung wird auch im innovativen Tinyhome «Tilla» getestet. Rechts hinten ist klein das Verdunstungsmodul zu sehen.

(Michel Riechmann, Eawag)

Der Sechs-Schritte-Plan mit dem Urin

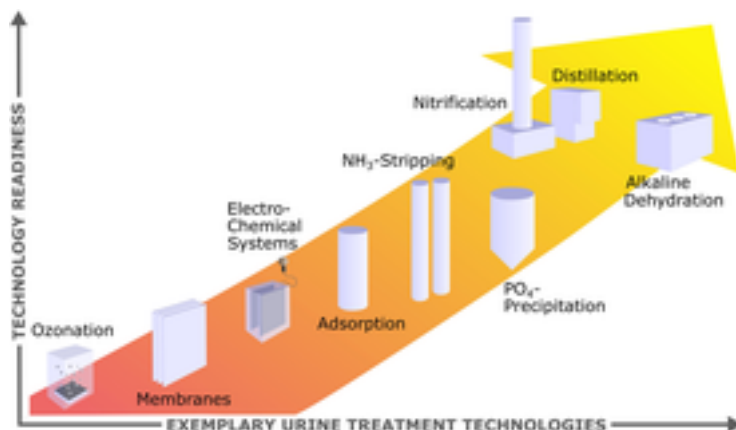
Kürzlich publizierten Eawag Forschende in der Zeitschrift Water Research einen [Überblick](#), an welchen Verfahren und Verfahrensschritten bei der Behandlung von Urin gearbeitet wird. Der [Urin](#) steht deshalb im Zentrum, weil er zwar weniger als 1% des Abwasservolumens ausmacht, jedoch 80 bis 90% der Nährstoffe enthält. Die Review umfasst alle sechs Bereiche, die zurzeit in der Urinbehandlung abgedeckt werden – nicht alle davon müssen in einem System gleichzeitig umgesetzt werden.

Stabilisierung: Wird frischer Urin nicht stabilisiert, geht viel Stickstoff als Ammoniak (NH₃) verloren. Zudem stinkt unstabiler Urin und Ausfällungen (Urinstein) können Leitungen verstopfen. Die Forschenden haben biologische Prozesse als gut geeignet zur Urinstabilisierung identifiziert, denn dazu werden wenig Energie und kaum Chemikalien benötigt. Die biologische Stabilisierung wird u.a. von [Vuna](#) zur Herstellung des Düngerprodukts Aurin verwendet. **Volumenreduktion:** Mit der Volumenreduktion geht oft die Rückgewinnung von Nährstoffen einher. Als Massnahmen stehen Verdampfung und Membranfiltration im Fokus, letztere auch kombiniert mit elektrochemischen Verfahren. Aber auch an der Aufnahme von Nährstoffen über Algen wird geforscht. Oft werden in diesem Schritt gleichzeitig Krankheitserreger entfernt oder inaktiviert. **Rückgewinnung von einzelnen Nährstoffen:** Das gezielte Rückgewinnen bestimmter Nährstoffe (im Wesentlichen Stickstoff und/oder Phosphor) kann interessant sein, weil dann ein Düngerprodukt hergestellt werden kann mit einem exakt auf die Bedürfnisse einzelner Nutzpflanzen zugeschnittenen Nährstoffmix. Für Stickstoff kommen dafür Stripping-, Adsorptions- und elektrochemische Verfahren in Frage; für Phosphor sind es Fällung und Adsorption. **Desinfektion:** Obwohl Urin normalerweise frei ist von Krankheitserregern, kann er vor der separaten Sammlung mit Fäkalkeimen, z.B. Salmonellen oder Enterokokken, verschmutzt worden sein. Daher ist eine Behandlung, zum Beispiel eine kurzzeitige Erwärmung über 55 °C, sinnvoll, um ein Dünger-Endprodukt gefahrlos verwenden zu können. **Entfernung von Mikroverunreinigungen:** Namentlich Spuren von Arzneimitteln im Urin können seine Verwendung als Dünger heikel machen. Daher haben auch die Eawag-Forschenden nach Verfahren gesucht, organische Mikroverunreinigungen aus dem Urin zu entfernen. Einige, wie z.B. die Ozonung, sind zwar effektiv, benötigen aber viel Energie. Aktuell wird vor allem die Adsorption mit Aktivkohle betrieben, etwa für das bereits kommerziell erhältliche Urindüngerprodukt «Aurin». **Energiegewinnung:** Über mikrobiologische Brennstoffzellen kann aus Urin Strom produziert werden. Die Ausbeute (unter 1 W pro Person) ist allerdings verglichen mit dem Strombedarf (CH: 760 W pro Person) bescheiden. Dazu kommen kostspielige Anoden, die für möglichst hohe Erträge z.B. platinbeschichtet sind. Für spezielle Anwendungen, wie Betrieb von Herzschrittmachern, Aufladen von Mobiltelefonen oder Datenübermittlung von Sensoren können Urin betriebene Brennstoffzellen aber interessant werden.

Badezimmer-Massstab bleibt hohe Hürde

Die an der Review beteiligten Eawag-Forscherinnen und -Forscher kommen zum Schluss, dass das Potential der Nährstoffrückgewinnung aus Urin gross ist. Dies insbesondere, wenn die Behandlung nahe an der «Quelle» erfolgt, weil dann Transportkosten entfallen. Die Urinbehandlung im Badezimmer bleibt aber eine grosse Herausforderung. Denn diejenigen Prozesse, die für diesen Massstab geeignet sind, erfordern die Zugabe von Chemikalien und

beträchtlichen Unterhalt (etwa zur Reinigung von Membranen). Einfachere, biologische Prozesse sind bisher nur in grösseren Anlagen robust.



Verschiedene Wege zur Urinbehandlung und deren gegenwärtige Praxisnähe.
(Grafik: Eawag)

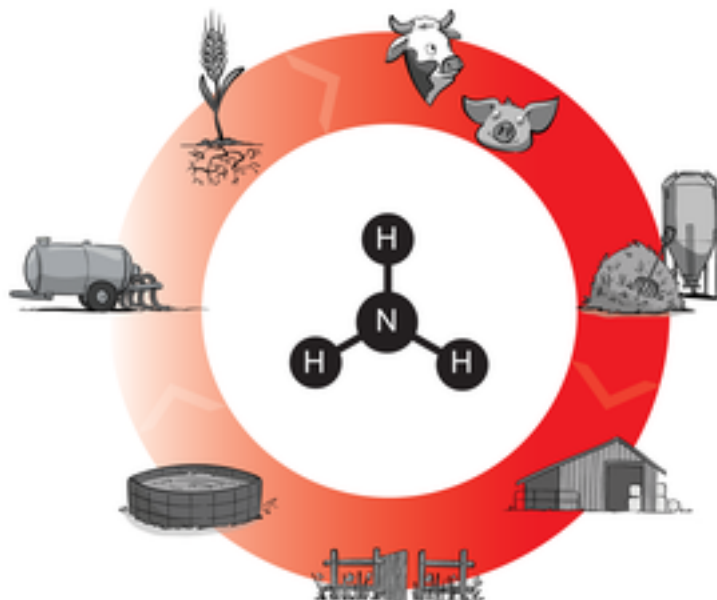
In der kompakten «All-in-one» Toilette [Blue Diversion Autarky \(BDA\)](#) setzen die Forschenden beim Urin auf zwei Behandlungsschritte: Auf die Stabilisierung mit Kalziumhydroxyd folgt eine energieeffiziente, mit Umgebungsluft betriebene Verdunstung des überflüssigen Wassers. Die Hürde zum kleinen, technisch nicht allzu komplexen und gleichzeitig möglichst robusten Badezimmer-Massstab ist also immerhin für die den Schritt der Volumenreduktion gemeistert. Und weil der erste Schritt den pH-Wert im Urin stark erhöht, werden auch Krankheitskeime abgetötet. Gleichzeitig wird Handwasch- und Spülwasser im BDA-Modul soweit aufbereitet, dass es für diese Zwecke wiederverwendet werden kann.

Prototypen der BDA-Urinbehandlung wurden bereits [intensiven Tests unterzogen](#), vom Eawag-Campus in Dübendorf, über ein Tiny-Home und eine SAC-Hütte bis zu einem Standort im südafrikanischen Durban. In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz FNHW und dem PSI wurde ausserdem an einer Erweiterung durch ein Modul mit hydrothormaler Oxidation geforscht. Damit könnten auch die Fäkalien vor Ort behandelt werden – es verbleiben nur noch Wasser, Kohlendioxid und ein minimaler Anteil Asche aus anorganischen Stoffen.

NoMix auf dem Bauernhof kommt

Noch immer sind die Stickstoffüberschüsse der Landwirtschaft enorm, Ammoniak verflüchtigt sich in die Luft, Nitrat gelangt ins Grundwasser. Die Ursache: zu viel Gülle und Mist, unstabilisiert und zudem gelegentlich zum falschen Zeitpunkt ausgebracht. Was liegt da näher als auch im Stall das Feste und das Flüssige frühzeitig zu trennen? Forschende der Eawag und des Spin-offs [Vuna](#) prüfen daher, wie die Urinaufbereitungsverfahren auch für Gülle funktionieren. Die Versuche waren erfolgreich: Die Gülle lässt sich mit der Nitrifikation – wie sie in der Abwasserreinigung seit Jahrzehnten eingesetzt wird - stabilisieren. Zusammen mit dem Kompetenzzentrum Strickhof, einem Agrotechnikunternehmen und unterstützt vom

Bundesamt für Landwirtschaft sind erste Projekte bereits vom Labormassstab auf «echte» Bauernhöfe ausgeweitet worden. Das Ziel dabei ist nicht nur die kontrollierte Rückgewinnung der Nährstoffe, sondern vor allem auch eine Reduktion der Stickstoffverluste über Ammoniak und Lachgas. Denn stabilisierte Gülle oder sogar gezielt zusammengesetzte Dünger aus Gülle bringen weitere Vorteile: Sie stinken nicht und sind lagerfähig. Das ist interessant, da aktuell die Preise für Importdünger stark steigen. Und noch etwas: Werden Gülle und Kot frühzeitig, also schon im Stall, getrennt, ist das auch gut für das Tierwohl, denn die Kühe stehen weniger in der Ammoniak geschwängerten Luft.



NoMix auf dem Bauernhof könnte an vielen Stellen im Stickstoffkreislauf Verluste und klimaschädliche Emissionen vermeiden.

(Grafik: Schauer Agrotronic)

Titelbild: Energieeffiziente Verdunstung des überflüssigen Wassers im Test auf der Leglerhütte des SAC auf 2280 m ü.M. (Michel Riechmann, Eawag)

Original Publikationen

Larsen, T. A.; Riechmann, M. E.; Udert, K. M. (2021) State of the art of urine treatment technologies: a critical review., *Water Research X*, 13, 100114 (20 pp.), [doi:10.1016/j.wroa.2021.100114](https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100114), [Institutional Repository](#)

Riechmann, M. E.; Ndwandwe, B.; Greenwood, E. E.; Reynaert, E.; Morgenroth, E.; Udert, K. M. (2021) On-site urine treatment combining Ca(OH)₂ dissolution and dehydration with ambient air, *Water Research X*, 13, 100124 (12 pp.), [doi:10.1016/j.wroa.2021.100124](https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100124), [Institutional Repository](#)

Dokumente

[Urinseparierung Factsheet \[pdf, 417 KB\]](#)

Links

Autarky-Video

Autarky-Projektseite

Spin-off Vuna

Spin-off Vuna

[Bastian Etter](#)

Kontakt



Michel Riechmann

Tel. +41 58 765 5748

michel.riechmann@eawag.ch



Kai Udert

Tel. +41 58 765 5360

kai.udert@eawag.ch



Andri Bryner

Medienverantwortlicher

Tel. +41 58 765 5104

andri.bryner@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/urinbehandlung-vom-ausprobieren-zur-spannenden-innovation>