



## 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

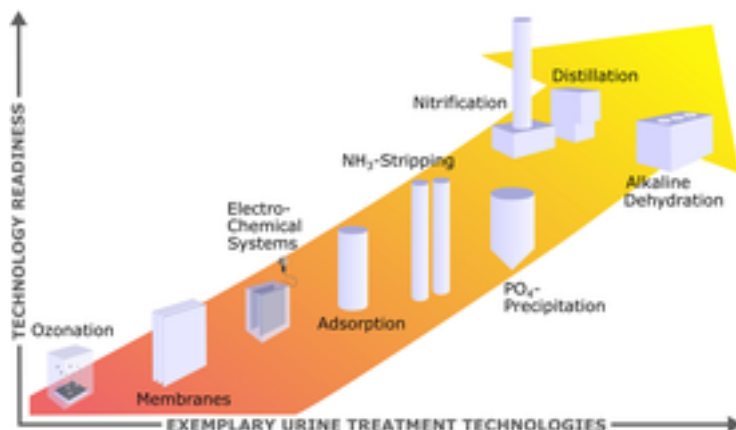
Kürzlich publizierten Eawag Forschende in der Zeitschrift Water Research einen [Überblick](#), an welchen Verfahren und Verfahrensschritten bei der Behandlung von Urin gearbeitet wird. Der [Urin](#) steht deshalb im Zentrum, weil er zwar weniger als 1% des Abwasservolumens ausmacht, jedoch 80 bis 90% 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 (NH<sub>3</sub>) 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)

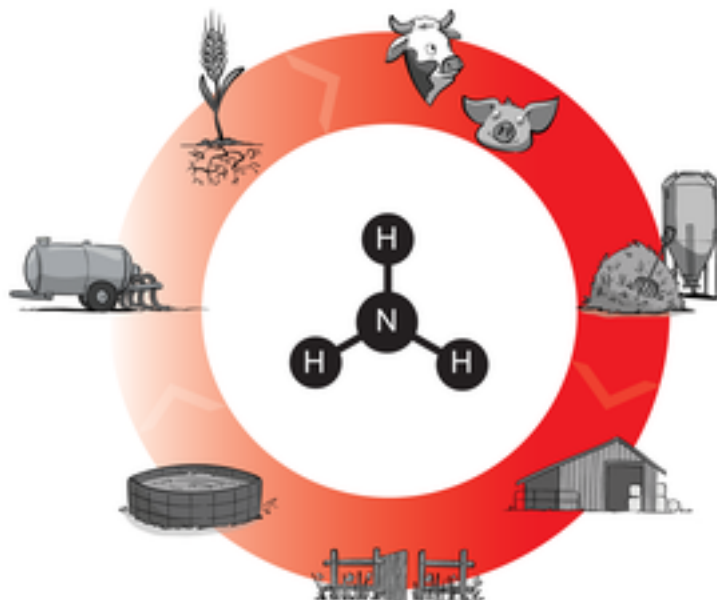
In der kompakten «All-in-one» Toilette [Blue Diversion Autarky \(BDA\)](#) setzen die Forschenden beim Urin auf zwei Behandlungsschritte: Auf die Stabilisierung mit Kalziumhydroxyd folgt eine energieeffiziente, mit Umgebungsluft betriebene Verdunstung des überflüssigen Wassers. Die Hürde zum kleinen, 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

```
.extbase-debugger-tree{position:relative}.extbase-debugger-tree input{position:absolute
!important;float: none !important;top:0;left:0;height:14px;width:14px;margin:0
!important;cursor:pointer;opacity:0;z-index:2}.extbase-debugger-tree input~.extbase-debug-
content{display:none}.extbase-debugger-tree .extbase-debug-header:before{position:relative;t
op:3px;content:"";padding:0;line-height:10px;height:12px;width:12px;text-align:center;margin:0
3px 0 0;background-image:url(data:image/svg+xml;base64,PD94bWwgdmVyc2lvbj0iMS4wIiBlI
bmNvZGluc3RmLTgiPz48c3ZnIHZlcnNpb249IjEuMSIgaWQ9IkViZW5lXzEiIHhtbG5zPSJ
odHRwOi8vd3d3LnczLm9yZy8yMDAwL3N2ZyIgeG1sbnM6eGpbms9Imh0dHA6Ly93d3d3Lm9yZy8y
Mub3JnLzE5OTkveGpbmsiIHg9IjBweCIgeT0iMHB4IiB2aWV3Qm94PSlwIDAgMTIiMTIiIHh0eWxIPSJl
bmFibGUtYmFja2dyb3VuZDpuZXcgMCAwIDEyIDEyOyIgeG1sbnM6eGpbms9Imh0dHA6Ly93d3d3Lm9yZy8y
mVzZXJ2ZSI+PHN0eWxliHR5cGU9InRleHQvY3NzIj4uc3Qwe2ZpbGw6ODg4ODt9PC9z
dHlsZT48cGF0aCBpZD0iQm9yZGVyIiBjbGFzcz0ic3QwIiBkPSJNMTEsMTFIMFYwaDEExVjEx
eiBNMTAsMUgxdjloOVYxeilvPjxnIGlkPSJJbm5lci+PHJlY3QgeD0iMSIgeY2xhc3M9In
N0MCIgd2lkGg9IjcilGhlaWdodD0iMSIvPjxyZWN0IHg9IjUuIiHk9IjliIiGNsYXNzPSJzdDAiIHdpZ
```



studies of a few pioneers to an interesting innovation, attracting attention from a growing number of process engineers. In this broad review, we present literature from more than a decade on biological, physical-chemical and electrochemical urine treatment processes. Like in the first review on urine treatment from 2006, we categorize the technologies according to the following objectives: stabilization, volume reduction, targeted N-recovery, targeted P-recovery, nutrient removal, sanitization, and handling of organic micropollutants. We add energy recovery as a new objective, because extensive work has been done on electrochemical energy harvesting, especially with bio-electrochemical systems. Our review reveals that biological processes are a good choice for urine stabilization. They have the advantage of little demand for chemicals and energy. Due to instabilities, however, they are not suited for bathroom applications and they cannot provide the desired volume reduction on their own. A number of physical-chemical treatment technologies are applicable at bathroom scale and can provide the necessary volume reduction, but only with a steady supply of chemicals and often with high demand for energy and maintenance. Electrochemical processes is a recent, but rapidly growing field, which could give rise to exciting technologies at bathroom scale, although energy production might only be interesting for niche applications. The review includes a qualitative assessment of all unit processes. A quantitative comparison of treatment performance was not the goal of the study and could anyway only be done for complete treatment trains. An important next step in urine technology research and development will be the combination of unit processes to set up and test robust treatment trains. We hope that the present review will help guide these efforts to accelerate the development towards a mature technology.' (2065 chars) serialnumber => protected'2589-9147' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.wroa.2021.100114' (26 chars) uid => protected23878 (integer) \_localizedUid => protected23878 (integer)modified \_languageUid => protectedNULL \_versionedUid => protected23878 (integer)modified pid => protected124 (integer) 1 => Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=24043, pid=124) originalId => protected24043 (integer) authors => protected'Riechmann,&nbsp;M.&nbsp;E.; Ndwandwe,&nbsp;B.; Greenwood,&nbsp;E.&nbsp;E.; R eynaert,&nbsp;E.; Morgenroth,&nbsp;E.; Udert,&nbsp;K.&nbsp;M.' (137 chars) title => protected'On-site urine treatment combining Ca(OH)<sub>2</sub> dissolution and dehydration with ambient air' (97 chars) journal => protected'Water Research X' (16 chars) year => protected2021 (integer) volume => protected13 (integer) issue => protected" (0 chars) startpage => protected'100124 (12 pp.)' (15 chars) otherpage => protected" (0 chars) categories => protected'field testing; resource recovery; urine stabilization; calcium hydroxide; so urce separation; Blue Diversion Autarky' (115 chars) description => protected'We present the results of three field tests and three laboratory tests of a new physical-chemical urine treatment system, which can recover all nutrients, while pathogens are inactivated. The system consists of two steps. In the first reactor, biological processes including urea hydrolysis are prevented by mixing fresh urine with calcium hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>). Due to the high pH value and the high availability of calcium, phosphate can be recovered by precipitation. The high pH value also fosters the inactivation of m

icroorganisms, including pathogens. In the second reactor, water is evaporated at low energy consumption by blowing unheated ambient air over the stabilized urine. Stabilization in the first reactor was successful in all field and laboratory tests. The pH value remained between 12 and 13, except for short dips due to shortages of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Nearly all phosphorus (92-96%) precipitated and could be recovered as calcium phosphate in the first reactor, while nitrogen and potassium overflowed with the urine into the evaporation reactor. The efficiency of the second treatment step was very different for field and laboratory experiments and depended on the duration of the experiment. During a four-day laboratory test, nitrogen recovery was 98%. In contrast, nitrogen recovery was only around 20% in the long-term field experiments. The high nitrogen losses occurred, because biological urea hydrolysis was not inhibited anymore, when the pH value in the second reactor decreased due to the dissolution of high amounts of carbon dioxide from the ambient air. Potassium was not subject to any significant loss, and the measured recovery in the solid evaporation product was 98%. Evaporation rates ranged between  $50 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $\text{RH} = 82 \pm 13\%$ ,  $T = 12 \pm 6^\circ\text{C}$ ) and  $130 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $\text{RH} = 60 \pm 19\%$ ,  $T = 24 \pm 5^\circ\text{C}$ ) in the three field tests. Apart from some disturbances due to low supply of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , the urine module ...' (2324 chars) serialnumber => protected'2589-9147' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.wroa.2021.100124' (26 chars) uid => protected24043 (integer) \_localizedUid => protected24043 (integer)modified \_languageUid => protectedNULL \_versionedUid => protected24043 (integer)modified pid => protected124 (integer) 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, [Institutional Repository](#) Riechmann, M. E.; Ndwandwe, B.; Greenwood, E. E.; Reynaert, E.; Morgenroth, E.; Udert, K. M. (2021) On-site urine treatment combining  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dissolution and dehydration with ambient air, *Water Research X*, 13, 100124 (12 pp.), doi: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](mailto:michel.riechmann@eawag.ch)



**Kai Udert**

Tel. +41 58 765 5360

[kai.udert@eawag.ch](mailto:kai.udert@eawag.ch)



**Andri Bryner**

Medienverantwortlicher

Tel. +41 58 765 5104

[andri.bryner@eawag.ch](mailto:andri.bryner@eawag.ch)

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