

Autoren und Autorin:

Carlo G. Morandi,
Stephan Wasielewski,
Ralf Minke und
Heidrun Steinmetz

Projekt: TWIST++

D₂ Kombinierte Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser bei unterschiedlichen Transitionszuständen

Einleitung

Um Abwasserinfrastrukturen nachhaltiger betreiben zu können, müssen Verfahren umgesetzt werden, die eine weitergehende Nutzung möglichst aller im Abwasser enthaltenen Ressourcen ermöglichen. Dass bestehende zentrale kommunale Kläranlagen und die etablierte derzeitige Kanalisation eine komfortable, sichere und funktionierende Lösung zur Abwasserableitung und -behandlung darstellen, ist nicht zu bestreiten. Daher bleibt eine kurz- bis mittelfristige Außerbetriebnahme bestehender Abwassersysteme vor allem aus ökonomischen und logistischen Gründen ausgeschlossen. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, können diese konventionellen Systeme auch bei vollständig abgeschlossener Transition wichtige Funktionen erfüllen.

Eine schrittweise Einführung von stoffstromtrennenden Sanitärinstalltionen und ihre Einbindung in bestehende Abwasserinfrastrukturen wird zu Transitionszuständen führen, bei denen die vorhandenen Abwasserinfrastrukturen weiter betrieben werden müssen. Eines der denkbaren Konzepte der häuslichen Stoffstromtrennung sieht dabei den Einsatz von wassersparenden Vakuumtoiletten auf Haushaltsebene und die getrennte und gezielte Behandlung des so konzentriert erfassten Schwarzwassers vor (siehe in Abb. 1 das Element „Schwarzwasserbehandlung“). Dies ermöglicht die weitergehende energetische und stoffliche Verwertung des Schwarzwassers, welches einen erheblichen Anteil an organischem Substrat und Nährstoffen aufweist; im Vergleich zum Schmutzwasser weist Schwarzwasser deutlich höhere Konzentrationen auf.

Da nahezu alle größeren Kläranlagen in Deutschland mit einer anaeroben Schlammfäulung ausgestattet sind und viele dieser Anlagen hydraulische Reserven aufweisen (vgl. Dichtl und Schmelz 2015), liegt es nahe, den getrennt erfassten Schwarzwasserstrom über eine Vakuumentwässerung direkt dem Faultrum zuzuführen, um dort die Kohlenstoffverbindungen in verwertbares Biogas umzusetzen und dies dann energetisch zu nutzen.

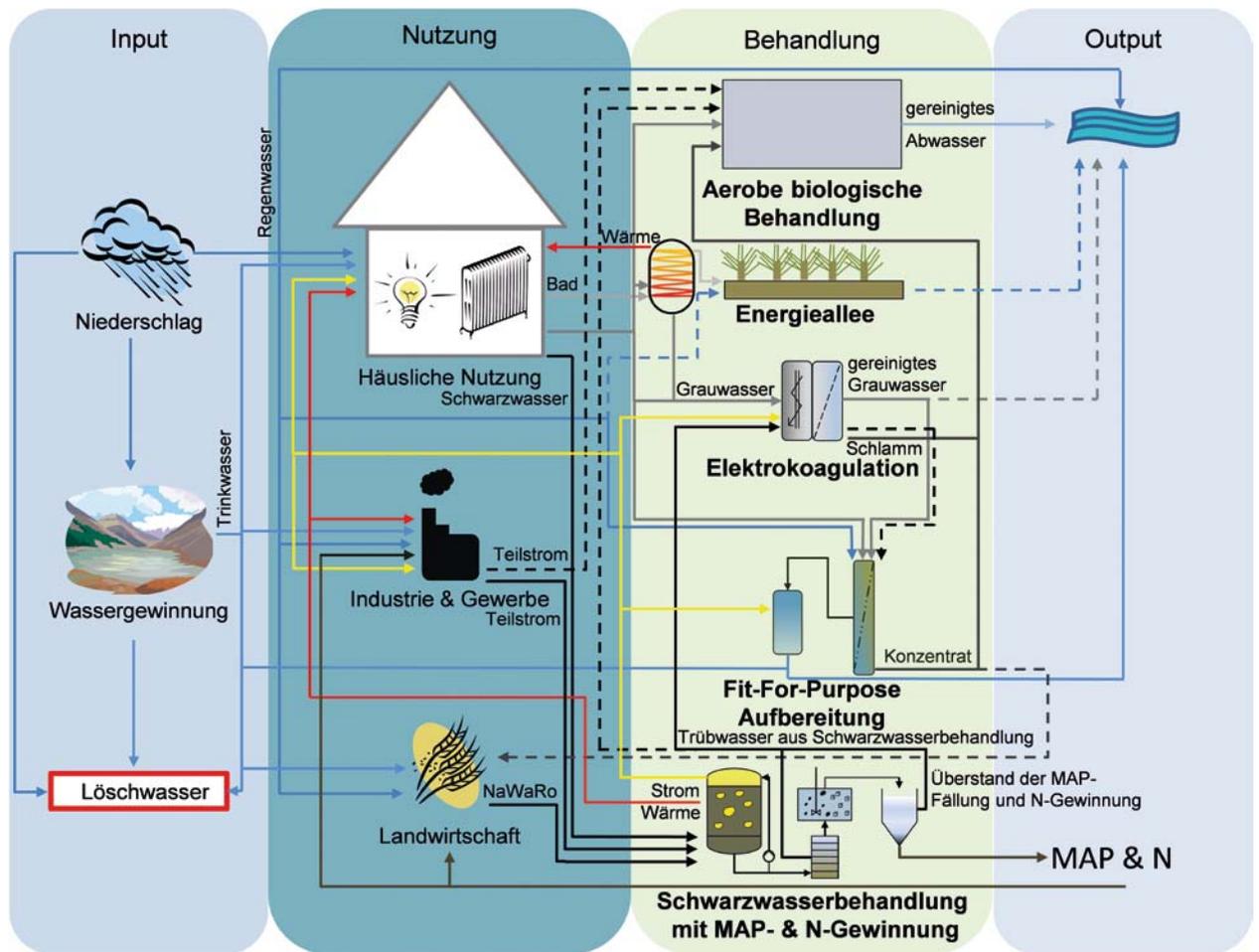


Abb. 1: Schematische Darstellung der Wasser- und Stoffströme eines integrierten Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepts mit dem Ziel der weitgehenden Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen, Quelle: Minke (2016)

Ein möglicher Transitionsweg von der bisherigen gemeinsamen Erfassung und Behandlung sämtlicher häuslicher Abwasserstoffströme hin zu einer ressourceneffizienteren Abwasserwirtschaft besteht also aus mehreren Teilprozessen: (1) der möglichst guten Weiternutzung bestehender Kläranlageninfrastrukturen, (2) der schrittweisen Abkopplung von häuslichem Schwarzwasser von der konventionellen Kanalisation, (3) der getrennten Ableitung über Vakuumentwässerung, (4) der direkten Einbringung in bestehende Schlammfaulungsanlagen sowie (5) einer anschließenden Nährstoffrückgewinnung aus anaerob vorbehandelten Abläufen.

Im vorliegenden Beitrag soll auf ein Verfahren zur kombinierten Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser, Primär- und Überschussschlamm bei verschiedenen Transitionszuständen, d. h. verschiedenen Substratzusammensetzungen bzw. Raumbelastungen im Zulauf zur Faulungsanlage, eingegangen werden. Dabei wurden halbertechnische Versuche zur Co-Vergärung von Schwarzwasser in einem volldurchmischten anaeroben Reaktor (CSTR) durchgeführt. Hierbei wurde ein denkbarer und praktikabler Transitionsweg nachgestellt, bei dem Schritt für Schritt zunehmende Anteile des Einzugsgebietes entsprechend dem zuvor skizzierten Weg von der derzeitigen Kanalisation abgekoppelt und deren Schwarzwasseranteile in somit ansteigenden Anteilen der Schlammfaulungsanlage direkt zugeführt werden.

Bei den auf Basis der Versuchsergebnisse durchgeführten Bilanzierungen wurden zwei Fälle für den verbleibenden Abwasseranteil – Schmutzwasser aus konventionell entwässerten Teileinzugsgebieten und verbleibendes Grauwasser aus Gebieten mit getrennter Schwarzwassererfassung – untersucht: Fall 1 beschreibt die Situation, dass die bestehende Kanalisation weiter-

genutzt wird und verbleibendes Grauwasser zusammen mit Schmutzwasser der aeroben Stufe der bestehenden Kläranlage zugeführt wird. Fall 2 beschreibt die Situation, dass auch Grauwasser von der bestehenden Kanalisation abgekoppelt, dezentral behandelt und wiederverwendet wird.

Ergebnisse

Die im halbtechnischen Versuchsmaßstab erzielten Ergebnisse zur Vergärung von Primär- und Überschussschlamm mit ansteigenden Anteilen von Schwarzwasser verdeutlichen: Die Methanausbeute bezogen auf CSB erhöht sich mit steigendem Schwarzwasseranteil und beträgt bei einem frachtbezogenen Schwarzwasseranteil im Reaktorzulauf von ca. 35 Prozent rund 330 L CH₄/kg CSBelim bzw. kommt dem theoretisch erzielbaren Wert von 350 L CH₄/kg CSB bei vollständigem CSB-Abbau sehr nahe. Dies kann auf die abnehmende Raumbelastung sowie mögliche Synergien bei der Co-Vergärung zurückgeführt werden. Bei der üblichen Faulung von Primär- und Überschussschlämmen sind viel geringere mittlere Methanausbeuten von 240 L CH₄/kg CSBelim typisch.

Über alle untersuchten Transitionsphasen hinweg konnte ein stabiler Betrieb des CSTR-Reaktors beobachtet und ein Methangehalt von rund 60 Prozent im Biogas gemessen werden.

Die Untersuchungsergebnisse zur Stickstoffrückgewinnung mittels Zeolith zeigen, dass eine hohe Entfernung von Ammonium von 60 bis 85 Prozent aus dem hochkonzentrierten Teilstromabwasser, wie z. B. Filtrat/Zentrat aus der Faulschlammeindickung des CSTR, erreicht werden kann.

In Abbildung 2 ist der Verlauf des N-Rückgewinnungspotenzials aus Prozesswasser und Schwarzwasserüberstand (nach Inbetriebnahme einer Schwarzwassereindickung) in Abhängigkeit von der Transition und dem Wirkungsgrad einer N-Rückgewinnungsstufe dargestellt. Es ist offensichtlich, dass das N-Rückgewinnungspotenzial aus Schwarzwasserüberstand zwingend zu berücksichtigen ist. Die NH₄-N-Konzentrationen im Schwarzwasserüberstand aus Vakuumtoiletten nach

der Eindickung betragen rund 900 mg/L und liegen damit in ähnlicher Größenordnung wie die des Prozesswassers.

Bei 35 Prozent Transition – die Inbetriebnahme einer N-Rückgewinnung wird für den stabilen Betrieb der Denitrifikationsstufe erforderlich – führt eine N-Rückgewinnung mit 60-prozentigem Wirkungsgrad (bezogen auf N in Prozesswasser und Schwarzwasserüberstand) zu einer N-Rückgewinnungsrate von rund 20 Prozent bezogen auf die N-Fracht im Zulauf der Kläranlage, hier 11 g/(EW · d). Dies entspricht 2,2 g NH₄-N/(EW · d). Bei einem Wirkungsgrad von 30 Prozent wird noch eine N-Rückgewinnung von 1,1 g NH₄-N/(EW · d) erreicht.

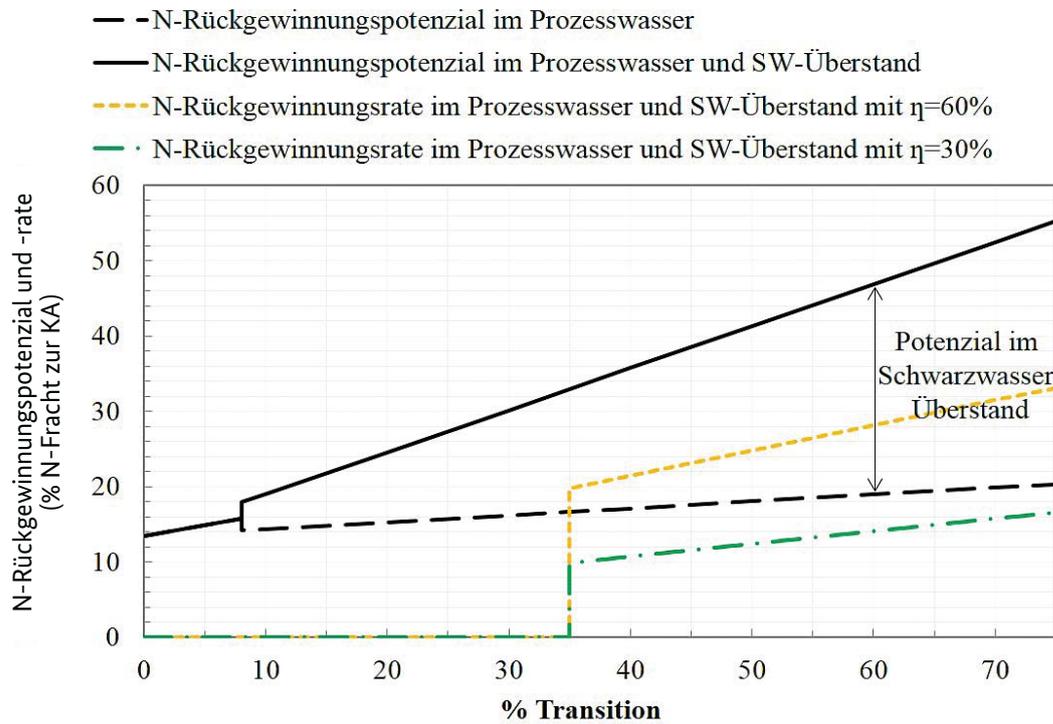


Abb. 2: N-Rückgewinnungspotenzial und -rate bei zwei verschiedenen Wirkungsgraden der Stickstoffrückgewinnungsstufe, Quelle: Morandi et al. (2017)

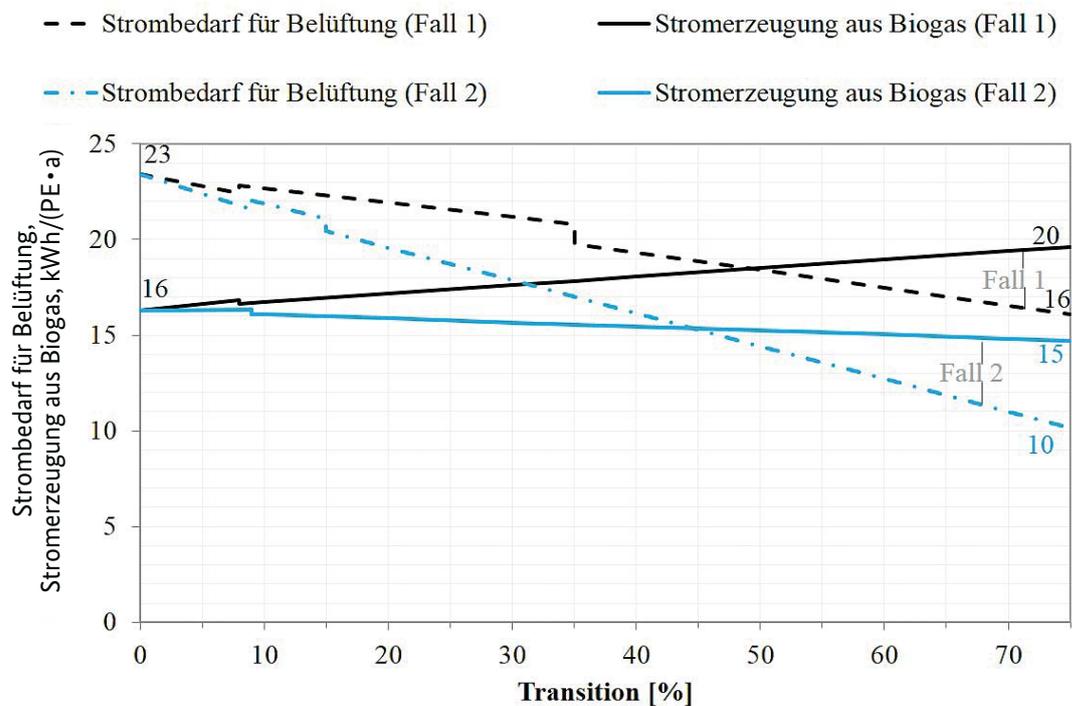


Abb. 3: Entwicklung des Strombedarfes für die Belüftung und der Stromerzeugung aus Biogas einer konventionellen Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung über die Transition zu NASS für die Fälle 1: Grauwasser fließt weiterhin der konventionellen Kläranlage zu – und 2: Grauwasser wird dezentral behandelt. Quelle: Morandi et al. (2017)

Eine fast vollständige Regeneration des beladenen Zeoliths ist mit Natriumsulfat möglich. Inwiefern das Regenerat, welches Ammonium-, Natrium- und Sulfat-Ionen beinhaltet, in eine pflanzenverfügbare Form überführt werden kann, ist allerdings noch zu klären.

Ebenso kann bei Ansäuerung des Faulschlammes ein bedeutender Anteil des im Faulschlamm enthaltenen Phosphors als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) ausgefällt werden. Besonders die durch Neuartige Sanitärsysteme (NASS) ermöglichte separate Erfassung und Sammlung des Stoffstromes Urin bzw. Gelbwasser ermöglicht eine (teilweise) Substitution von Chemikalien bei dem MAP-Fällungsprozess – Hydrolysiertes Urin (pH > 9) substituiert (teilweise) die zur Einleitung des Fällprozesses eingesetzte Natronlauge. Zusätzlich kann der im Urin enthaltene Phosphor zurückgewonnen werden. Das gewonnene MAP zeichnet sich durch einen sehr geringen Schwermetallgehalt und hervorragende Düngemiteleigenschaften aus.

Des Weiteren führt die Verlagerung der im Schwarzwasser enthaltenen Inhaltsstoffe auf die Faulstufe und die anschließende Stickstoffrückgewinnung zu erheblichen Einsparungen beim Energiebedarf für die Belüftung im konventionellen Belebtschlammverfahren. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, steigen mit zunehmender Transition der Biogasanfall und somit auch die mögliche Stromgewinnung an, wohingegen der Strombedarf für die Belüftung absinkt.

Schlussfolgerungen

Die Kombination aus Energieeinsparung beim konventionellen Belebtschlammverfahren aufgrund (1) des geringeren Sauerstoffverbrauchs durch Verringerung der zu behandelnden C- und N-Frachten und (2) der gesteigerten energetischen Nutzung des Kohlenstoffs (bedingt durch Biogasgewinn bei der anaeroben Schwarzwasservergärung) trägt zur erheblichen Verbesserung der Energiebilanz der Kläranlage bei. Neben dem Energievorteil ergibt sich auch ein deutliches stoffliches Rückgewinnungspotenzial, welches konventionelle Düngemittel ersetzen kann.

Eine stufenweise Erhöhung des Schwarzwasseranteils in bestehenden Faultürmen kann auf Basis der im Projekt erzielten Ergebnisse als einfach durchführbar beurteilt werden und ist bei der Transition zu Neuartigen Sanitärsystemen eine interessante Behandlungsalternative zu konventionellen Verfahren.

Literatur:

Dichtl, N., und K.-G. Schmelz (2015): Verfahrenstechniken zur Behandlung von Klärschlamm, in: Rosenwinkel, K.-H., H. Kroiss, N. Dichtl, C.-F. Seyfried und P. Weiland (Hrsg.): Anaerobtechnik. Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung. 3., neu bearb. Aufl., Berlin, Heidelberg, S. 112 – 274.

DWA 368 (2014): Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. Juni 2014, Hennef: DWA (DWA-Regelwerk, M 368).

Minke, R. (2016): Auswirkungen neuartiger Sanitärsysteme auf Betrieb und Verfahrenstechnik kommunaler Kläranlagen. Präsentation und Tagungsband, 91. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium „Stickstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen im Spannungsfeld von Gewässerschutz, Energieeffizienzsteigerung und Industrie-einleitungen“, Stuttgart, 13. Oktober 2016.

Morandi, C. G., S. Wasielewski, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Case study: integration of new sanitation technologies into current wastewater infrastructures exemplified by the Treatment Plant for Education and Research at the University of Stuttgart. Präsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.

Morandi, C. G., S. Wasielewski, K. Mouarkech, R. Minke und H. Steinmetz (2017): Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures, in: *Urban Water Journal* 20 (7), S. 1–8, DOI: 10.1080/1573062X.2017.1301502.

Wasielewski, S., C. G. Morandi, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Impacts of blackwater co-digestion upon biogas production in pilot-scale UASB and CSTR reactors. Präsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.

Wasielewski, S., C. G. Morandi, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Ammonium recovery by ion exchange from effluents of anaerobic blackwater co-digestion and struvite precipitation reactors. Posterpräsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.