

POWERSTEP– Die Kläranlage als Kraftwerk

Christian Loderer ^{a)}, Christian Remy ^{a)}, Ulf Miehe ^{a)}, Boris Lesjean ^{b)}

^{a)} **Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH**, Cicerostraße 24, 10709 Berlin; Telefonnr: +49 (0)30 – 53653 -806; Faxnummer: +49 (0)30 – 53653 -888; E-Mail, christian.loderer@kompetenz-wasser.de; website: www.kompetez-wasser.de

^{b)} **Veolia Deutschland**, Unter den Linden 21, 10117 Berlin; Telefonnr: + 49 (0) 30 206 29 56 37; Faxnummer: + 49 (0) 30 206 29 56 31; E-Mail: boris.lesjean@veolia.com; website: www.veolia.de

Kurzfassung: Die steigenden Energiepreise und der erforderliche sparsame Umgang mit natürlichen Ressourcen rückt auch für die Betreiber von Kläranlagen das Thema Energieeffizienz immer stärker in den Vordergrund. Erhöhter Kostendruck und die angestrebte CO₂-Reduktion erfordern eine Verringerung des Energieeinsatzes auf den Kläranlagen, eine Optimierung des Stromeinkaufs und die Steigerung der Energiegewinnung aus dem „nachwachsenden Rohstoff“ Abwasser. Das anfallende Abwasser verursacht aber nicht nur Stromkosten, sondern lässt sich auch als Energiequelle nutzen. Der Begriff der „energie-positiven Kläranlage“ hat Einzug gehalten. Das EU geförderte Projekt POWERSTEP versucht durch Technologietransfer sowie Umsetzung neuer Technologien einen nächsten Schritt in Richtung Kläranlage als lokales Kraftwerk zu schaffen.

Keywords: Energiepositive Kläranlage; Technologietransfer; power-to-gas; power-to-heat; Case studies

1 Wachstum bedeutet Energieverbrauch

Weltwirtschaftlich eine starke Rolle zu spielen, bedeutet für die europäische Union ein Hin- und Her gerissen sein zwischen Wachstum auf der einen Seite sowie Energieverbrauch und Klimawandel auf der anderen. Auf den Punkt gebracht: um eine globale Wirtschaftsführungsrolle einzunehmen, sieht sich Europa mit steigendem Energiebedarf, schwankenden Preisen, Versorgungsengpässen und Umweltauswirkungen des Energiesektors konfrontiert. Die EU-Energiepolitik hat hierzu drei Hauptziele [1] definiert: Versorgungssicherheit, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit um den unersättlichen Energiehunger Europas stillen zu können.

1.1 Erneuerbare Energien sorgen für die Nachhaltigkeit des Energiesektors

Durch den Ausbau von Windkraft-, Solar- und Biomasseanlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird auch in weiterer Zukunft der „Nachhaltigkeitsgedanke“ des europäischen Energiesektors verstärkt. Auch andere potenzielle Produzenten erneuerbarer Energie sollten dafür in Betracht gezogen werden, wie zum Beispiel die kommunalen Kläranlagen [2]. Im Moment gehören Kläranlagen zu den größten Stromverbrauchern vieler Gemeinden. Die Energie, die heute in der EU für die Klärung des Abwassers benötigt wird, rechnet man im Schnitt 32kWh/(EW*a) für große Abwasserreinigungsanlagen [3], würde dies im Mittel der Produktion von zwei großen Kraftwerken (knapp 16.000 GWh pro Jahr, 1% des Stromverbrauchs der EU) entsprechen. Dabei wäre es durchaus möglich Kläranlagen so zu planen und zu betreiben, dass sie keinen Strom verbrauchen, sondern stattdessen sogar Energie aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz einspeisen [4]. Rechnet man mit 175kWh/(EW*a) als theoretisches Energiepotenzial des organischen Materials im Abwasser

[4], würde das einem Gesamtenergiepotenzial von etwa 87.500 GWh pro Jahr für die EU25+3 entsprechen. Bereits heute versucht man, einen Teil dieser chemischen Energie zu nutzen. Mit Hilfe anaerober Bakterien kann man aus Klärschlamm Biogas erzeugen, das dann energetisch in Form von Strom und Wärme genutzt werden kann.

2 Die Kläranlage auf dem Weg zum Energieproduzent aber mit Hürden

Heutzutage könnten theoretisch die meisten Kläranlagen energieneutral arbeiten, oft sprechen allerdings wirtschaftliche Betrachtungen dagegen [5]. Die typische konventionelle Kläranlage (Abbildung 1) bestehend aus einer Vorklärung und einer anschließenden biologischen Stufe zur Elimination von Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Man gewinnt am Ende des gesamten Reinigungsprozesses nur rund 10% des Energiepotenzials ($18\text{kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$) als elektrische Energie mittels Faulung und anschließender Kraft-Wärme-Nutzung im Blockheizkraftwerk (BHKW) wieder [6]. Diese gewonnene Energie wird dabei komplett für den Reinigungsprozess selbst verwendet (Belüftung, Rührer, Pumpen, Heizung des Faulturms, ...).

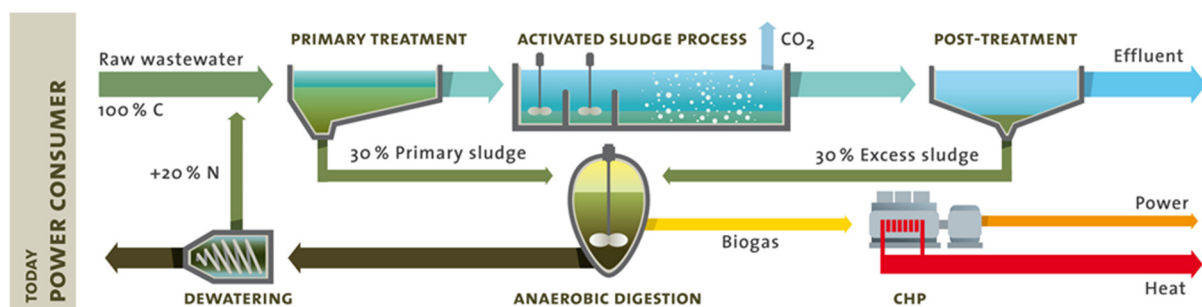


Abbildung 1: Herkömmliches Prinzip einer konventionellen Kläranlage mit Vorreinigung, biologischer Stufe und Faulung (Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH)

Aus umwelttechnischer Sicht sollte für zukünftige Kläranlagenkonzepte genau dieses oben erwähnte energetische Potenzial des Abwassers besser genutzt werden, um so die Nutzung fossiler Energieträger zur Energieproduktion weiter zu reduzieren und damit auch einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen zu leisten. Nichtsdestotrotz soll die Grundaufgabe jeder Kläranlage, die Reinigung unserer Abwässer, trotz energetischer Optimierungen im Vordergrund stehen und nicht negativ beeinflusst werden.

3 POWERSTEP – Ein Konzept mit Zukunft

3.1 Was steckt hinter dem EU geförderten Projekt „POWERSTEP“

Genau hier setzt das EU-Forschungsprojekt POWERSTEP an, in dem durch die richtige Kombination bestehender und innovativer Technologien und die Einbindung von neuen Konzepten die „energie-positive“ Kläranlage der Zukunft auch wirtschaftlich wettbewerbsfähig werden soll. Dieses Ziel verfolgen 15 europäische Partner (von der Industrie über die Kläranlagenbetreiber bis hin zur Wissenschaft) in dem dreijährigen Horizon 2020 EU-Projekt POWERSTEP mit einem Gesamtbudget von 5,2 Millionen Euro. Koordiniert

wird das Vorhaben mit Partnern aus 7 Ländern vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH.

3.1.1 Was ist der Unterschied zu bisher?

In Abbildung 2 ist der neue Ansatz des POWERSTEP-Konzeptes veranschaulicht. In beiden Konzepten (im bisherigen aber auch im neuen) wird die Energie auf Kläranlagen mittels Faulung des Klärschlammes gewonnen. Da jedoch zur Produktion von Biogas der kohlenstoffreiche Primärschlamm am besten geeignet ist, beruht das Konzept von POWERSTEP auf dem Ansatz, anstatt der üblichen 30% bis zu 80% des Kohlenstoffs als Primärschlamm abzuziehen. Neben dem Vorteil mehr Biogas - sprich Energie - zu produzieren, kann auch der Flächenbedarf der Anlage reduziert werden, da die nachfolgende biologische Stufe verkleinert werden kann.

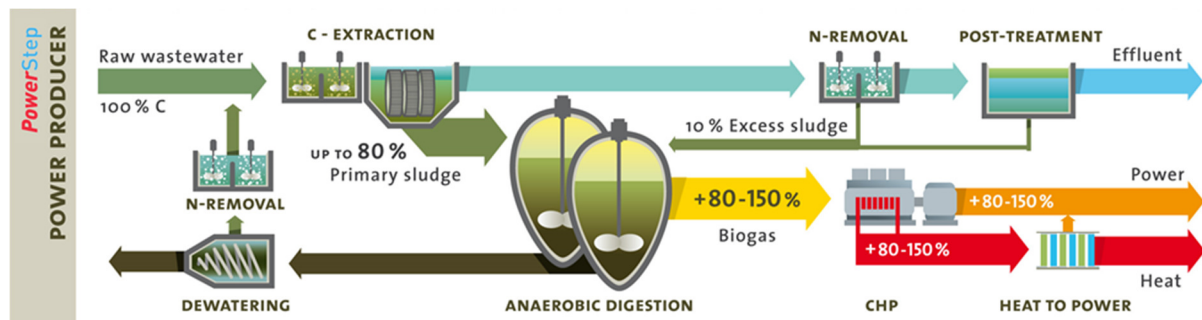


Abbildung 2: POWERSTEP-Konzept mit dem Ziel die „energie-positive“ Kläranlage der Zukunft zu entwickeln (Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH)

3.1.2 Das Geheimnis: Bisherige mit innovativen Technologien kombinieren

Um das neue Konzept zu realisieren, bedarf es auch weiteren Anpassungen der nachfolgenden Prozesse bei der Abwasserreinigung. Hier kommen die innovativen Ansätze des Projektes ins Spiel: Da nämlich mittels Filtertechnologie in der Vorreinigung bis zu 80% kohlenstoffreicher Schlamm abgetrennt wird, fehlt für die nachfolgende biologische Reinigung zur Entfernung von Stickstoff und möglicherweise genau dieser Kohlenstoff als Nahrung für die Bakterien. Es gibt Mikroorganismen, die Stickstoffverbindungen ohne Verbrauch von Kohlenstoff („autotroph“) abbauen können.

Diese Anammoxbakterien wandeln den teiloxidierten Stickstoff im Rohabwasser (Ammonium wird vorher zu 50% in Nitrit umgesetzt) in gasförmigen Stickstoff (N₂) um. Bei diesem Prozess wird auch weniger Energie für die Belüftung benötigt als über die herkömmliche Nitrifikation-Denitrifikation. Diese Technologie ist für die Behandlung des stickstoffreichen Prozesswassers nach der Faulung schon etabliert und wird im Rahmen des POWERSTEP Projektes erstmals großtechnisch im Hauptstrom getestet, wo die Stickstoffkonzentration und auch die Temperatur deutlich niedriger liegt. Mehr Schlamm zur



Abbildung 3: Installation der Anammoxreaktoren auf einer 550.000 EW Anlage in Schweden zur Hauptstrombehandlung (Quelle: Veolia Water Technology)

Klärschlammfäulung bedeutet aber auch stickstoffreiches Prozesswasser nach der Entwässerung des Schlammes. Hier wird versucht innovative Konzepte der Prozesswasseraufbereitung zu implementieren. Es wird versucht den Stickstoff einerseits durch Optimierungskonzepte der Prozesswasseraufbereitung zu entfernen und somit zur Energieoptimierung auf Kläranlagen beizutragen und andererseits durch innovative Membranverfahren wo der entfernte Stickstoff als Stickstoffdünger (Wertstoff) zurückgewonnen wird.

3.1.3 Power-to-gas, Heat-to-power und Smart Grid

Die aus der Energietechnik bekannten Ansätze „power-to-gas“ mittels biologischer Methanisierung (Abbildung 4) und „heat-to-power“ durch den Einsatz von thermoelektrischen Generatoren werden in POWERSTEP getestet, um das Gesamtkonzept einer „energie-positiven“ Kläranlage zu realisieren. Gerade beim Einsatz von thermoelektrischen Generatoren wird der innovative Charakter des Projektes klar: Hier müssen nicht nur Fragen des Up-scaling von Laborversuchen in den großtechnischen Maßstab, sondern auch zum großtechnischen Bau solcher Elemente beantwortet werden. Aber nicht nur die Fragestellungen der alternativen Energieerzeugung werden in POWERSTEP

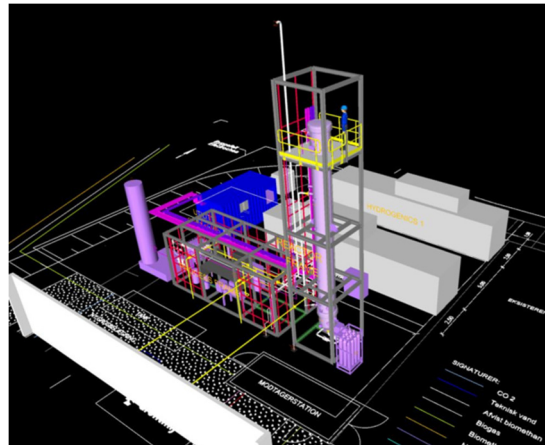


Abbildung 4: 3D Simulation der Biogasaufbereitung auf einer 350.000EW Anlage in Dänemark (Quelle: Electrochaea.dk ApS)

untersucht, sondern auch die Fragen wann bzw. wieviel der produzierten Energie letztlich ins Netz eingespeist werden sollen, um auch wirtschaftlich den besten Nutzen daraus zu ziehen. Denn gerade Fragen stellen sich immer mehr Betreiber im komplexen Energiemarkt, der durch die großen Schwankungen bei den Einspeisetarifen ein gezieltes Energiemanagement notwendig macht. Auf diese Fragen soll im Projekt mit Hilfe eines professionellen Partners aus der Energiewirtschaft geantwortet werden, indem man verschiedene Regel- und Vermarktungsstrategien entwickelt und an einer großtechnischen Anlage auch im realen Betrieb testet.

3.1.4 Funktioniert das Konzept auch in der Praxis?

Die Frage der praktischen Umsetzung werden möglicherweise Skeptiker und Konservative der Branche stellen. Europaweit einzigartig ist nämlich gerade auch die Prüfung dieses Konzeptes anhand von realen Fallstudien („case studies“) in Form von großtechnischer Demonstrationsanlagen auf 6 Kläranlagen Europas. Hier werden die verschiedenen Technologien getestet, die für die Umsetzung des POWERSTEP-Konzeptes notwendig sind. Dabei wird überprüft, ob diese großtechnisch auch das halten, was sie wissenschaftlich oder im Pilotmaßstab versprochen wurde. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anlagen und die Implementierung der Technologien im Großmaßstab sowie die verantwortlichen Projektpartner.

Tabelle 1: Kläranlagen in Deutschland, Dänemark, Schweden, Österreich und der Schweiz, auf denen die unterschiedlichen Technologien großtechnisch realisiert und auf ihre Funktionsfähigkeit getestet werden

Kläranlage	Partner	Ziel der Case Study
1 Westewitz (2.000 EW)	Kompetenzzentrum Wasser Belin gGmbH	Einsatz von Microsiebung in der Vorklärung zur Kohlenstoffextraktion
2 Källby (120.000 EW)	Veolia Water Technology	Einsatz von Annamox MBBR zur Stickstoffelimination im Hauptstrom
3 Avedore (350.000 EW)	BIOFOS	Einsatz einer biologischen Methanisierung zur Umwandlung von CO ₂ in Methan
4 Braunschweig (325.000 EW)	Fraunhofer IPM	Einsatz von thermoelektrischen Generatoren zur Umwandlung der Blockheizkraftwerkswärme in Strom
5 Kirchbichl (100.000 EW)	Technische Universität Wien	Einsatz der Nitrifikation zur Stickstoffelimination im Seitenstrom
6 Altenrhein (120.000 EW)	EAWAG	Einsatz von Ammoniumstrippung zur Stickstoffelimination im Seitenstrom

3.1.5 Welchen ökologischen und ökonomischen Vorteil bringt die Kläranlage der Zukunft?

Aber nicht nur die technische Realisierung der neuen Konzepte soll in POWERSTEP gezeigt werden, sondern auch deren ökologische und ökonomische Bewertung. Das Konzept der „energie-positiven“ Kläranlage bliebe nur ein Konzept, wenn es wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig wäre. Mittels umfassender Ökobilanzen (Life-Circle-Assessment) und wirtschaftlichen Berechnungen soll bewiesen werden, dass die Umsetzungen leistbar sind und auch klimarelevante Vorteile mit sich bringen, ohne die Grundaufgabe der Abwasserreinigung negativ zu beeinflussen.

„100 Jahre konventionelle Abwasserreinigung ist genug“, sagen schon heute Visionäre wie der bekannte Professor Willy Verstraete aus Gent. Das Projekt POWERSTEP soll einen neuen Meilenstein in der Abwassertechnik legen, um in Zukunft nicht mehr von „wastewater treatment plants“, sondern von „resource recovery plants“ zu sprechen.

4 Danksagung

POWERSTEP is an innovation action project supported by the European Union under the Horizon 2020 Framework Programme (Contract no. 641661, Duration: 1/07/15 – 30/06/18)

5 Literatur

- [1] Europäische Kommission: State of the Energy Union 2015
- [2] Seibert-Erling, G. (2015): Energiewende bringt Licht- und Schatten für Kläranlagen (Teil 1). Wasserwirtschaft, Wassertechnik (wwt), 10/2015, 27-31
- [3] DWA (2013): 25th Benchmarking of German wastewater treatment plants.

- [4] Geiss, P. (2015): Vom Kraftwerk zum Klärkraftwerk – Maschinen- und steuerungstechnische Modernisierung optimiert Kläranlagenbetrieb und Energiebilanz. Wasserwirtschaft, Wassertechnik (wwt), 3/2015, 31-33
- [5] Heidrich, E. S. et al. (2010): Determination of the Internal Chemical Energy of Wastewater. Environmental Science & Technology 45 (2), 827-832.
- [6] Remy, C.; Boulestreau, M. and Lesjean, B. (2014): Proof of concept for a new energy-positive wastewater treatment scheme. Water Science and Technology 70 (10), 1709-1716.