

Abwasserreinigung zur hybriden Energiespeicherung, Energiebereitstellung und Wertstoffgewinnung

AR-HES-B

C. Brunner, W. Glatzl,
S. Meitz, J. Buchmair,
B. Hammerl, H. Schnitzer,
S. Wohlgemuth,
O. Nowak, B. Mayr

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

22/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Abwasserreinigung zur hybriden Energiespeicherung, Energiebereitstellung und Wertstoffgewinnung

AR-HES-B

Christoph Brunner, Wolfgang Glatzl, Sarah Meitz, Judith Buchmaier
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
Industrielle Prozesse und Energiesysteme

Barbara Hammerl, Hans Schnitzer, Stephanie Wohlgemuth
StadtLABOR – Innovationen für urbane Lebensqualität

Otto Nowak
Nowak Abwasser Beratung e.U.

Bernhard Mayr
EnviCare Engineering GmbH

Gleisdorf, März 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
Abstract.....	9
1 Einleitung.....	11
1.1 Aufgabenstellung.....	11
1.2 Stand der Technik.....	12
1.3 Verwendete Methoden.....	13
1.3.1 Übersicht Methodik.....	13
1.3.2 Decision Support Tool (DEST)	14
1.3.3 Akteursprozesse und Stakeholdereinbindung.....	15
2 Ergebnisse	17
Die wesentlichen Outputs des Projektes AR-HES-B werden im folgenden Kapitel kurz beschrieben. Das Entscheidungshilfetool DEST wurde entwickelt, evaluiert und fortlaufend optimiert und bildet die Basis für alle weiters angeführten Ergebnisse, wie etwa den Planungsleitfaden, welcher einen kurzen Überblick über die Fragestellungen zukünftiger Kläranlagen vermittelt, wie auch über spezifische Umsetzungsszenarien.	17
2.1 DEST (Decision Support Tool).....	17
Das DEST (Decision Support Tool) ist ein wichtiges Ergebnis des Projekts. Es ist frei verfügbar und soll es allen Stakeholdern und Interessierten ermöglichen die im Zuge des Projekts entwickelten Szenarien der Zukunft selbst anzuwenden.....	17
2.2 Leitfaden „Energie und Wertstoffe aus Abwasser“ Szenarien der Zukunft.....	17
2.3 Szenarien der Zukunft angewandt für 3 ARAs	18
2.4 Umsetzung der Szenarien der Zukunft.....	19
2.5 Szenarien der Zukunft – Hochrechnung für Österreich	21
3 Schlussfolgerungen	22
4 Ausblick und Empfehlungen	24
5 Verzeichnisse	25
5.1 Abbildungsverzeichnis	25
5.2 Literaturverzeichnis.....	26
6 Anhang.....	26

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Die urbane Abwasserentsorgung ist derzeit ein klassisches End-of-Pipe System. Die konventionelle kommunale biologische Abwasserreinigung beinhaltet energieintensive Prozesse. Die im Energielieferant Kohlenstoff gebundene Energie wie auch Nährstoffe – der Wertstoff Stickstoff – werden mit hohem elektrischen Energieaufwand (Belüftung) vernichtet. Kläranlagen sind die größten Stromverbraucher der österreichischen Kommunen.

Um den Anteil an erneuerbaren Energieressourcen in Zukunft weiter zu erhöhen, müssen neuen Strategien zwischen Erzeugern und Verbraucher bedacht werden. (Beispiel: unregelmäßig verfügbare Windkraft mit flexiblen Verbraucher-Technologien.)

Die Kläranlage bietet die idealen infrastrukturellen Voraussetzungen um als Drehscheibe zwischen den Energienetzen (Gas, Wärme, Strom) und dem Abwassernetz zu fungieren.

Inhalte und Zielsetzungen

„AR-HES-B“ verfolgte das übergeordnete Ziel technologische Änderungen der kommunalen Abwasserreinigung zu entwickeln, um eine Transformation der kommunalen **Abwasser**Reinigungsanlage vom hohen Energieverbraucher hin zum **Hybriden** **Energie**erzeuger, **Energie**Speicher und **Wertstoff**Bereitsteller zu erreichen.

Durch das „AR-HES-B“-Konzept positioniert sich die kommunale Abwasserreinigung als eine wichtige Drehscheibe im überregionalen Energie- und Stoffaustausch sowie auch als intelligente Verknüpfung der Abwasser-, Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze an der Schnittstelle kommunale Kläranlage welche durch zukunftsfähige Speicherpufferlösungen Lastspitzen in der Fernwärme und in Stromnetzen puffert.

Das Ziel einer zukünftigen Abwasserreinigung liegt jedoch nicht nur in der Nutzbarmachung der im Kohlenstoff gebundenen Energie, sondern aller im Abwasser enthaltenen Roh- und Wertstoffe. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes auch die erforderlichen organisatorischen Rahmenbedingungen und Akzeptanzfragen unterschiedlicher beteiligter bzw. betroffener Akteursgruppen geklärt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projektes wurde ein Excel Tool zur Entscheidungshilfe, das „Decision Support Tool“ (DEST), entwickelt. Damit wurden die folgenden Berechnungen angestellt. Das Ergebnis des Projektes ist ein detaillierter Leitfaden der „Energie und Wertstoffe aus Abwasser“, welcher alle im Projekt aufgearbeiteten Themenbereiche zusammenfasst und als Vorschlagskatalog und Leitfaden zur Umsetzung und Bewertung konkreter Maßnahmen dient. Dafür wurden detaillierte Technologievariationen entwickelt, welche als Szenarien der Zukunft untersucht wurden.

Im DEST können die Szenarien angepasst an das spezifische Bedarfsprofil eines Kläranlagenstandortes in Verbindung mit den Lastprofilen lokaler Versorgernetze erstellt und optimiert werden.

Mit dem DEST steht dafür erstmals ein mächtiges Analysewerkzeug zur Verfügung. Es wurden für 3 Kläranlagenstandorte konkrete Umsetzungskonzepte ausgearbeitet und Realisierbarkeit, Nutzen, Potentiale und Impact der „Szenarien der Zukunft“ unter realitätsnahen Annahmen veranschaulicht. Zudem kann der DEST-User sein persönliches zukünftiges Kläranlagenszenario im Tool visualisieren und mithilfe eines Szenariovergleichs den anderen Konzepten gegenüberstellen.

Ausblick

Mit dem im Projekt generiertem Know-How und dem entwickelten DEST, sind erste wichtige Schritte in Richtung einer innovativen ganzheitlichen Betrachtung der Kläranlage die als „Abwasserressourcen-Rückgewinnungsanlage“ fungiert, auf theoretischer Ebene gesetzt. Das DEST wurde mit Platzhaltern für fortlaufende Weiterentwicklungen, Adaptierungen und Optimierungsmaßnahmen versehen. Weitere wesentliche Schritte zu zukünftigen Anwendungen sind möglichst praxisnahe Umsetzungen der Technologien bzw. Technologievariationen im Pilot bzw. Demonstrationsmaßstab am Standort Kläranlage.

Abstract

Starting point/Motivation

The urban sewage treatment nowadays is a classical end-of-the pipe system. The conventional municipal biological wastewater treatment is an energy intensive process. Vast amounts of potential energy (bound in carbon) and valuable nutrients (e.g. nitrogen) are destroyed in the energy intensive aeration. Sewage treatment plants are the largest consumers of electricity in the Austrian municipalities.

In order to increase the share of renewable energy resources in future, new strategies must be considered between producers and consumers. (Example: irregularly available wind power combined with flexible consumer technologies.)

The municipal waste water treatment plant (WWTP) offers ideal infrastructural conditions to act as a hub between the energy networks (gas, heat, electricity) and the waste water system.

Contents and Objectives

The overall project goal of the AR-HES-B project is the technology rearrangement of the municipal wastewater treatment plant in order to transform it from a high energy consumer towards an optimal integrated hybrid energy provider, energy storage and resource provider in urban environment.

Via the AR-HES-B concept the municipal sewage treatment turns into an important platform in the regional energy and resource transfer. The WWTP as a hybrid energy provider, energy storage and resource provider will be the intelligent alliance of wastewater-, electricity-, gas- and district heating grids right at the interface on-site. Thereby storage peak loads can be buffered by integrated sustainable solutions for in the district heating and power grids.

The aim of the wastewater treatment of the future lies not only in utilization of the bound energy, but the utilization of all the valuable substances contained in the wastewater. Beyond that, within the project the required organisational framework conditions and the acceptance of the involved key players were analysed and clarified.

Results

As part of the project, an Excel decision support tool, the Decision Support Tool (DEST), was developed. It was used for the calculation of the following outcomes. The result of the project is a detailed guideline of the "Energy and nutrients from waste water", which summarizes all topics worked on in the project and serves as a proposal catalogue and a guide to the implementation and evaluation of concrete measures. For this, detailed technology variations were developed, which were examined as future scenarios.

In the DEST, the scenarios can be created and optimized in line with the specific demand profile of a WWTP site in conjunction with the load profiles of local energy supplier.

DEST offers for the first time, a powerful analysis tool. Concrete implementation concepts were elaborated for 3 sewage treatment plant locations and the feasibility, benefits, potentials and impact of the "Future Scenarios" under realistic conditions of acceptance were illustrated. In addition, the DEST user can visualize his personal future wastewater treatment plant scenario in the tool and compare it with the other concepts by means of a scenario comparison.

Prospects / Suggestions for future research

With the know-how generated in the project and the developed DEST, the first steps have been set towards an innovative holistic view on a wastewater treatment plant acting as "Resource Recovery Plant". The DEST has been provided with placeholder for continuous extensions, adaptations and optimization measures. Further essential steps for future applications are implementations as practical as possible of the technologies or respectively technology variations in the pilot or demonstration scale at the site of the sewage treatment plant.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) der Zukunft soll als Ressourcenrückgewinnungsanlage und damit wichtige Drehscheibe im überregionalen Energie- und Stoffaustausch positioniert werden. Als hybrider Energiespeicher und Energiebereitsteller kann die ARA der Zukunft eine intelligente Verknüpfung der Abwasser-, Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze darstellen.



Abbildung 1: Herkömmliche Kläranlage reinigt das Abwasser mit Vor-, Haupt- und Nachklärung (linke Darstellung). In einem Systemverbund wird der Prozess je nach Auslegung mit einer Biogasanlage, einer Wärmepumpe, eigener Stromproduktion und Düngemittel-Herstellung ergänzt. So werden Wertstoffe besser genutzt und die Wirtschaftlichkeit optimiert (rechte Darstellung).

Konkret geht es um die Nutzbarmachung der im Kohlenstoff gebundenen Energie, aber auch um die im Abwasser enthaltenen Roh- und Wertstoffe. Bei einer verstärkten Verschränkung mit den Energienetzen kann die ARA als Energielieferant (Biogas, Strom, Wärme) aber auch als Flexibilitäts-Dienstleister dienen. Dafür müssen auch die erforderlichen organisatorischen Rahmenbedingungen und Akzeptanzfragen unterschiedlicher beteiligter bzw. betroffener Akteursgruppen geklärt werden.

Aus diesen Fragestellungen wurden für das Projekt AR-HES-B vier grundlegende Projektziele bzw. Aufgabenstellungen definiert.

ZIEL/AUFGABENSTELLUNG 1: Die Wandlung des Energieverbrauchers Kläranlage in einen Energiebereitsteller durch Umwandlung der organischen Abwasserfracht (Kohlenstoff) in nutzbare Energie (Strom, Wärme, Gas) sowie die Nutzung der Kläranlage als hybriden Energiespeicher.

ZIEL/AUFGABENSTELLUNG 2: Entwicklung von Energie- und Systemintegrationskonzepten zur Netzintegration der Kläranlage; die Kläranlage als Energiebereitsteller, hybrider Energiespeicher und Wertstoffbereitsteller ist in Verbindung mit optimierten Betriebs- und Regelmodellen bestmöglich mit den urbanen Versorgernetzen zu verschränken. Zudem gilt das Netzspitzenentlastungspotential der Energiedrehscheibe ARA zu optimieren.

ZIEL/AUFGABENSTELLUNG 3: Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz von Städten durch kaskadische Nutzung von Abwasserinhaltsstoffen (Energie- und Ressourcengewinnung). Ziel ist die Abtrennung und Nutzbarmachung aller im Abwasser enthaltenen Roh- und Wertstoffe, bis hin zu einer Nutzung des gereinigten Wassers selbst.

ZIEL/AUFGABENSTELLUNG 4: Wissensaustausch, Interessensausgleich durch begleitende Aushandlungsprozesse und Schaffung von Akzeptanz aller beteiligten bzw. betroffenen Akteure. Dies ist nur in einem partizipativen Prozess unter bestmöglicher Berücksichtigung der Interessen und Erwartungen aller Akteure denkbar. Ziel ist die Entwicklung von Geschäftsmodellen und das Schaffen der organisatorischen Voraussetzungen, um die angestrebten technischen Lösungen in der Praxis umzusetzen.

1.2 Stand der Technik

Die konventionelle kommunale biologische - aerobe Abwasserreinigung ist ein energieintensiver Prozess. Der Energielieferant Kohlenstoff bzw. die in Kohlenstoff gebundene Energie wie auch Nährstoffe – der Wertstoff Stickstoff – werden mit hohem elektrischen Energieaufwand (aerobe Belüftung) vernichtet. In Österreich müssen, bei einem Energiebedarf von durchschnittlich 40 kWh/EW (EW = Einwohnerwert) und Jahr, rund 546.000 Megawattstunden elektrische Energie für die kommunale Abwasserreinigung aufgewendet werden. Die mehr als 1.800 kommunalen Kläranlagen in Österreich sind mit durchschnittlich 20 Prozent die größten Stromverbraucher kommunaler Strukturen.

Vorrangige Aufgabe der kommunalen Kläranlagen ist die Eliminierung von Schadstoffen aus dem Abwasser gemäß den Anforderungen der Abwasseremissionsverordnungen mit dem Ziel, Beeinträchtigungen der Gewässer möglichst zu vermeiden. Nach rund 30 Betriebsjahren ist in der Regel eine umfassende Sanierung der Kläranlage, sowohl baulich wie auch maschinell, notwendig. Hochgerechnet auf Österreich bedeutet dies, dass rund 185 ARAs mit einer Ausbaugröße >10.000 EW bereits seit mehr als 25 Jahren in Betrieb sind und in den nächsten Jahren umfassend saniert werden müssen.

Insgesamt wird in Österreich das Abwasser von rund 95 % der Bevölkerung in 1.836 Abwasserreinigungsanlagen mit jeweils mehr als 50 EW gereinigt. (ÖWAV, 2015) Der überwiegende Teil der Anlagen in Österreich sind Belebungsanlagen (91 %). Bei genauerer Betrachtung entfallen 51 % auf Belebungsverfahren mit simultaner aerober Stabilisierung und 18 % auf Belebungsverfahren mit Schlammfäulung. (ÖWAV, 2015)

Bei der biologischen Reinigung werden 95 Prozent des CSB (= Chemischer Sauerstoffbedarf) bzw. sogar 99 Prozent des BSB₅ (= Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen) der organischen Schmutzfracht entfernt. Die enthaltene Organik wird von Mikroorganismen verstoffwechselt, das Produkt, CO₂, wird weder stofflich, noch energetisch weiterverwendet. (Daher Entfernung/Vernichtung im Gegensatz zur Rückgewinnung/Wiederverwertung). Darüber hinaus werden die Abwässer Großteils einer weitergehenden Behandlung zur Nährstoffentfernung unterzogen. Konkret werden österreichweit Entfernungsgrade von ca. 80 Prozent für Stickstoff und ca. 90 Prozent für Phosphor erreicht. (ÖWAV, KPC 2016)

Strom-, Gas- und Wärmenetze sind die 3 wesentlichen netzgebundenen Energienetze in Österreich. Während letzteres stets als Fern- und Nahwärmenetz ein regional abgegrenztes Inselnetz ist, sind Strom- und Gasnetz national und übernational verbunden.

Das Stromnetz in Österreich umfasst rund 260.000 km und unterteilt sich in verschiedenen Spannungsebenen. Die APG (Austrian Power Grid) betreibt das überregionale Stromnetz und ist für die Netzregulierung zuständig. Viele private Verteilnetzbetreiber betreiben lokale und regionale Stromnetze und versorgen die Endkunden mit Strom. Durch den Ausbau von Photovoltaik- und Windkraftanlagen kommt der Regulierung des Stromnetzes eine immer wichtigere Rolle zu.

Das Gasnetz in Österreich ist in 3 Netzebenen unterteilt. 86% des österreichischen Gasverbrauchs muss importiert werden. Im Norden Österreichs befinden sich bedeutende Gasspeicheranlagen von 8,25 Mrd. m³, die dadurch fast den gesamten jährlichen Gasverbrauch speichern können. Eine noch untergeordnete Rolle spielen die 12 registrierten Biomethan-Einspeiseanlagen (Stand 2014), die langfristig die fossile Importabhängigkeit reduzieren können (FGW 2016).

Rund 24% der Wohnungen in Österreich werden über Fernwärme (Gesamtlänge 5.400 km) versorgt. Während viele kleine Nahwärmenetze mit Biomasse (österreichweit 17%) betrieben werden, sind die größten Energieträger Gas (40%) und Müll (22%). Nur 2% werden durch Biogas oder Deponiegas bereitgestellt (FGW 2016).

Die 3 Netze sind schon jetzt stark miteinander verknüpft und stehen vor neuen Herausforderungen wie der Regelung von Lastspitzen in der Stromproduktion, die Substitution von importierten Erdgas durch Biomethan, den Ausbau von Wärmenetzen oder die Transformation des Mobilitätssektors zu Strom- oder Gasantriebssystemen.

1.3 Verwendete Methoden

1.3.1 Übersicht Methodik

Um die ARA zur Ressourcenrückgewinnungsanlage und Energiedrehscheibe weiterzuentwickeln, braucht es konkrete **Szenarien der Zukunft**. Um diese Szenarien der Zukunft energetisch, ökonomisch, ökologisch und abwassertechnisch zu bewerten und die besten Konzepte zu identifizieren, braucht es ein Entscheidungshilfe-Tool: Im **DEST** (Decision Support Tool) sind sowohl konventionelle und innovative ARA-Technologien als auch die Energienetze abgebildet und individuell auswählbar. Die Methode zur Entwicklung des Decision Support Tool (DEST) wurde durch die Durchführung von drei Fallstudien validiert und kontinuierlich optimiert. Die daraus entstehenden Konzepte der Zukunft wurden energetisch, ökologisch, technisch und ökonomisch evaluiert.

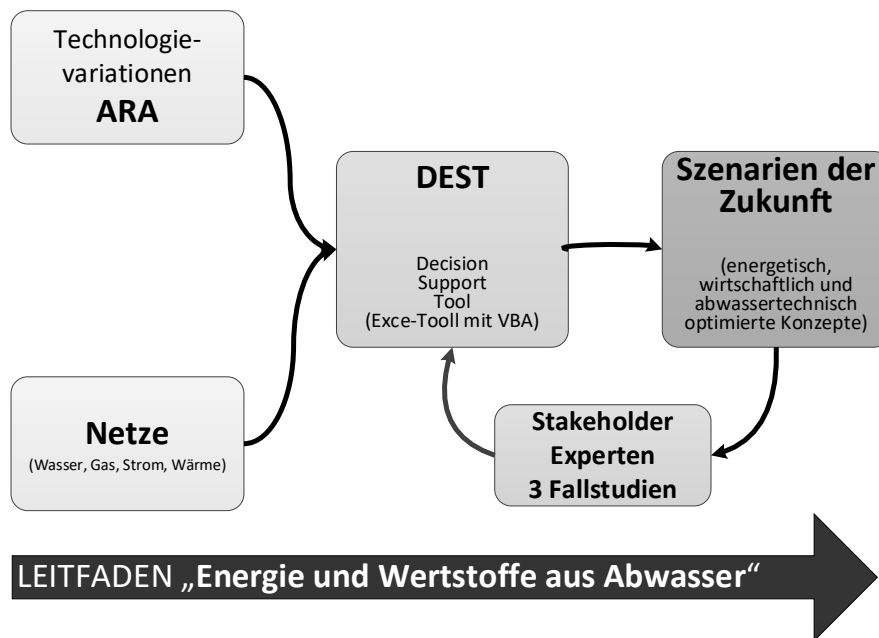


Abbildung 2: Übersicht der angewandten Methodik im AR-HES-B Projekt

1.3.2 Decision Support Tool (DEST)

Das DEST ermöglicht die individuelle Definition einer konkreten ARA mit individuellen **Input-Daten**, wie Zulaufdaten, unterschiedlichen ARA-Technologien mit vielfältigen Feinjustierungsmöglichkeiten. Mehrere Technologien können ausgewählt und als Technologievariation miteinander kombiniert werden. Die Technologien sind in 6 Clustern eingeteilt: Vorreinigung, Hauptreinigung, Schlammbehandlung, Energieumwandlung, Wertstoffrückgewinnung und Spurenstoffelimination. Zusätzlich können die Energienetze definiert werden (geografische Verortung, Einkaufspreise, Verkaufspreise, Strombörse-Preise).

Die **Berechnung** und Verwertung der Input-Daten erfolgt mittels gängiger Methoden (DWA 2016). Es erfolgt eine energetische (elektrisch, thermisch und gasförmige) und stoffliche (CSB, Stickstoff, Phosphor) Bilanzierung. Die Bilanzen werden sowohl für jede ausgewählte Technologie als auch für den gesamten Technologie-Cluster gebildet. Die gesamte Berechnung wird automatisch für einen Best-, Average- und Worst-Case durchgeführt.

Eine übersichtliche **Auswertung** zeigt die wichtigsten Ergebnisse im abwassertechnischen Bereich (z.B. Werden Grenzwerte eingehalten?), für Wertstoffrückgewinnung (Stickstoffbilanz und Düngemittelproduktion) sowie energetische Kennwerte (Eigenversorgungsgrad, Biogasproduktion). Die Methode der ökologischen Bewertung ist die Berechnung der CO₂-Äquivalenten (von CO₂, CH₄ und N₂O). Die ökonomische Bewertung erfolgt über die Berechnung der Netto-Jahreskosten, wobei die Abschreibung der Investitionskosten auf die Nutzungsdauer und sowohl laufende Kosten als auch Erlöse berechnet werden. Die Auswertung beinhaltet Fließschemen, Kennzahlen, und Diagramme.

Tabelle 1: Aufbau des Decision Support Tools (DEST) - Übersicht



Input

- Zulaufdaten
- Auswahl der Technologien
- Technologie-Parameter



Berechnung

- Berechnung nach Ansätzen der DWA bzw. IWA
- Bilanzierung der Wertstoffe Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor
- Energetische Bilanzierung



Auswertung

- Fließschemen
- Bilanzen
- Energetische, ökologische und ökonomische Bewertung



Interpretation

- Individuelle Empfehlungen an den Nutzer
- Szenarienvergleich
- Grundlage für Stakeholder-Prozess

Um die Ergebnisse sofort im DEST gut zu **interpretieren**, können bis zu 10 Szenarien gespeichert werden. So sind der Vergleich des Status Quos mit Alternativkonzepten möglich oder das Durchführen einer Sensitivitätsanalyse bzw. Parameterstudie. In einem Szenarienvergleich können jeweils 2 Szenarien direkt miteinander verglichen werden um schnell die energetischen, ökologischen und ökonomischen Unterschiede zu identifizieren.

1.3.3 Akteursprozesse und Stakeholdereinbindung

Um einen holistischen Ansatz realistisch umsetzen zu können, wurden in diesem Projekt nicht nur die technischen Fragen hinsichtlich einer „ARA der Zukunft“ betrachtet, sondern auch die gesellschaftliche Rolle der ARA thematisiert bzw. die betroffenen Akteure mit ihren Interessen, Erwartungen und Anliegen eingebunden.

In einem ersten Schritt wurden, in einer Stakeholder- und Umfeldanalyse, Schlüsselakteure aus den Bereichen öffentliche Hand/Kommunen, ARA-/Netz-Betreiber, Abwasserberatung, Umwelttechnologien, Interessensvertretungen/Verbände identifiziert und im Rahmen von (ExpertInnen-)Interviews und Vorgesprächen deren Einstellungen und Wissen zu Trends und Entwicklungen, Herausforderungen und Potentialen für die „ARA der Zukunft“ erfasst.

Ausgewählte Stakeholdern wurden zu zwei Stakeholder Workshops eingeladen, um gemeinsam Lösungsansätze und Szenarien zu vertiefen.

Die Entwicklung haltbarer Umsetzungsszenarien erfolgte anschließend in einem gemeinsamen Aushandlungsprozess der zentralen Akteure (Netzbetreiber und Kommunen bzw. Abwasserverbände). Hier galt es zunächst Interessen, Bedürfnisse, Erwartungshaltungen, Chancen und mögliche Risiken zu sammeln, transparent zu machen und ein wechselseitiges Verständnis aufzubauen. Im Anschluss wurden mit der Einbindung der Nutzer entsprechende Lösungsmodelle und konkrete Konzepte erarbeitet.

2 Ergebnisse

Die wesentlichen Outputs des Projektes AR-HES-B werden im folgenden Kapitel kurz beschrieben. Das Entscheidungshilfetooll DEST wurde entwickelt, evaluiert und fortlaufend optimiert und bildet die Basis für alle weiters angeführten Ergebnisse, wie etwa den Planungsleitfaden, welcher einen kurzen Überblick über die Fragestellungen zukünftiger Kläranlagen vermittelt, wie auch über spezifische Umsetzungsszenarien.

2.1 DEST (Decision Support Tool)

Das DEST (Decision Support Tool) ist ein wichtiges Ergebnis des Projekts. Es ist frei verfügbar und soll es allen Stakeholdern und Interessierten ermöglichen die im Zuge des Projekts entwickelten Szenarien der Zukunft selbst anzuwenden.

Link zum Download des DEST Tools und des Leitfadens „Energie und Wertstoffe aus Abwasser“

www.ar-hes-b.aee-intec.at

Sämtliche Berechnungen die im Folgenden dargestellt werden, wurden mithilfe des DEST durchgeführt. Die Szenarien der Zukunft, welche im Zuge der Stakeholder Prozesse entwickelt und anhand der 3 Fallbeispiele getestet wurden, lassen sich mit dem DEST schnell auch auf die eigene ARA anpassen und anwenden.

2.2 Leitfaden „Energie und Wertstoffe aus Abwasser“ Szenarien der Zukunft

Der Leitfaden stellt ein zentrales Ergebnis des Projekts dar. Der Leitfaden stellt die gewonnen Erkenntnisse kompakt dar und soll alle Stakeholder (Kommunen, ARA-Betreiber und -Mitarbeiter, Technologieanbieter, Energienetz-Betreiber) ansprechen.

3 Szenarien der Zukunft wurden im Leitfaden näher vorgestellt. Diese Szenarien der Zukunft nehmen auch Bezug auf die in Kapitel 1.1 formulierten Ziele.

- Szenario A | Biogasmaximierung | Neue Technologien und neue Sichtweisen
Durch die Abtrennung von Stickstoff mittels Membrandestillation wird Dünger erzeugt und gleichzeitig die Hauptreinigungsstufe der ARA entlastet. Die Roh- und Wertstoffe im Abwasser werden genutzt und gleichzeitig die Energieeffizienz erhöht (Ziele 1, 3)
- Szenario B | Biogasverkauf | Wärmepumpe im Abwasser | Wann zahlt sich das aus?
Durch den Verkauf des Biogases an eine naheliegende Fernwärme (oder



aufbereitetes Biomethan an das Gasnetz) wird die ARA zu einem Energiebereitsteller. (Ziel 1, 2)

- Szenario C | Power To Gas | Die Gründe für Power To Gas auf der Kläranlage
Mit Power To Gas wird die ARA verstärkt zu einer Energiedrehscheibe. (Ziel 2)

Der Leitfaden selbst erfüllt gemeinsam mit dem DEST Ziel 4. Beides steht am Ende des Stakeholder-Prozesses der zum Wissensaustausch zwischen den verschiedenen Akteuren beigetragen hat.

2.3 Szenarien der Zukunft angewandt für 3 ARAs

Die Szenarien der Zukunft wurden auch für drei konkrete Fallbeispiele angewandt. Während im Leitfaden die Szenarien der Zukunft generisch anwendbar dargestellt wurden, mussten für die 3 Fallbeispiele auf die lokalen Rahmenbedingungen eingegangen werden. Dies konnte entsprechend im DEST definiert werden.

Die Optimierungsmethodik beinhaltet die Prozessoptimierung, die Systemoptimierung und die Integration von Vor-Ort-Energieerzeugern und -speichern sowie die bestmögliche Verknüpfung des ARA Konzeptes mit den lokal verfügbaren Energienetzen. Die Betrachtung erfolgte auf energetischer, ökonomischer und ökologischer Ebene mit dem DEST.

ARA I Für die ARA I besteht das Entwicklungsszenario aus der Errichtung eines Vorklärbeckens, welches im Status Quo nicht vorhanden ist, dem Ausbau und der Neudimensionierung des Faulbehälters (Anaerobbehandlung des Klärschlammes zur Biogasgewinnung), die thermische Eigenversorgung mittels Wärmepumpe und der Verkauf des produzierten Biogases an den Fernwärmenetzbetreiber. Der Biogasertrag auf der ARA kann deutlich gesteigert werden. Durch die Wärmepumpe kann der eigene thermische Bedarf abgedeckt und das Biogas verkauft werden. Wird der ohnehin notwendige Ausbau des Faulbehälters nicht berücksichtigt, so ergibt sich für das Entwicklungsszenario ein positives ökonomisches Ergebnis. Durch die Reduktion der CSB-Belastung im Belebungsbecken können die direkten CO₂-Emissionen verringert werden.

ARA II Das Entwicklungsszenario für die ARA II fokussiert sich auf die Verwertung der thermischen Energie. Das Biogas wird weiterhin im BHKW verstromt werden. Zur Abdeckung des Wärmebedarfs des Faulbehälters wird eine Wärmepumpe installiert und die überschüssige thermische Energie versorgt ein Wohnprojekt in der Nähe der ARA. Zusätzlich wird die Errichtung einer Fernwärmeleitung berücksichtigt. Der Gesamtbedarf an Wärme aus der ARA und dem Wohnprojekt kann bis auf den Monat Jänner, wo es eine geringe Unterdeckung gibt, für das gesamte Jahr abgedeckt werden. Das Entwicklungsszenario ist erst bei einem sehr hoch

angesetzten Erlös für die Fernwärme von 0,07 €/kWh wirtschaftlich. Durch die erhöhte Bereitstellung an thermischer Energie können die CO₂-Emissionen reduziert werden.

ARA III

Auf der ARA III wurde die Errichtung einer Power-to-Gas (P2G) Anlage, bestehend aus Biogasaufbereitung, Elektrolyse und Methanisierung, betrachtet. Die Wirtschaftlichkeit für das System P2G ist von mehreren Faktoren abhängig. Auf der einen Seite von dem maximal definierten Marktpreis für Strom zum Betrieb der Elektrolyse und daraus folgend die Größe der Anlage und auf der anderen Seite von dem erzielbaren Verkaufspreis für das produzierte Methan. Bei einem maximalen Strompreis von 0,035 €/kWh können die höchsten Erlöse erzielt werden. Der Break-Even-Point für diesen Strompreis liegt in etwa bei einem Gaspreis von 0,033 €/kWh. Wird die Technologie P2G isoliert betrachtet, so zeigt sie sich als wirtschaftlich. Insgesamt bringt der Betrieb des BHKW jedoch mehr Erlöse und weniger laufende Kosten. Der erhöhte elektrische Energieaufwand und die geringere Eigenversorgung wirken sich negativ auf die Gesamtbilanz an CO₂-Emissionen aus.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Entwicklungsszenarien sehr standortspezifisch sind und immer an die lokalen Rahmenbedingungen angepasst werden müssen. Eine enge Kooperation mit den Netzbetreibern ist dazu unbedingt notwendig. Oftmals kann die Umsetzung von bestimmten Szenarien nicht nur ökonomische Gründe haben, wie zum Beispiel der notwendige Ausbau des Faulbehälters auf der ARA I, um eine ausreichende Stabilisierung des Schlammes gewährleisten zu können. Ein Grund für die Errichtung der P2G-Anlage könnte in Zukunft auch die notwendige Flexibilisierung des Stromnetzes sein. Allgemein sind die erzielbaren Preise für Strom, Gas und Fernwärme der größte Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit.

2.4 Umsetzung der Szenarien der Zukunft

Nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch kommt es durch die Arbeiten im Projekt zu Umsetzungen der Szenarien der Zukunft bei dem die ARA mit den Energienetzen aktiv interagiert.

Im Rahmen des Stakeholder-Prozesses wurden 2 offene Workshops abgehalten und mit 2 von 3 Fallbeispiel-ARAs ein intensiver Expertenaustausch durchgeführt um sowohl ARA als auch Energienetze (i.d.F. die Fernwärme-Betreiber) an einen Tisch zu bringen und mögliche Kooperationen zu entwickeln, bewerten und umzusetzen.

Im Folgenden soll das Umsetzungskonzept für ARA I näher erläutert werden: Durch die notwendige Sanierung der ARA I inklusive Erhöhung der Ausbaupkapazität von 32.000 auf 47.000 EW ist die Möglichkeit für Neues gegeben. Das finale Grobkonzept für eine Umsetzung mit innovativen Technologien, Verschränkung mit Netzen und neuen Umsetzungsszenario ist

in Abbildung 3 beschrieben. Die ARA verkauft das erzeugte Biogas an die naheliegende Fernwärmegesellschaft, die das Biogas in einem BHKW zu Strom und Wärme verwertet. Die Wärme wird für die Fernwärmeversorgung als Bandlast verwendet.

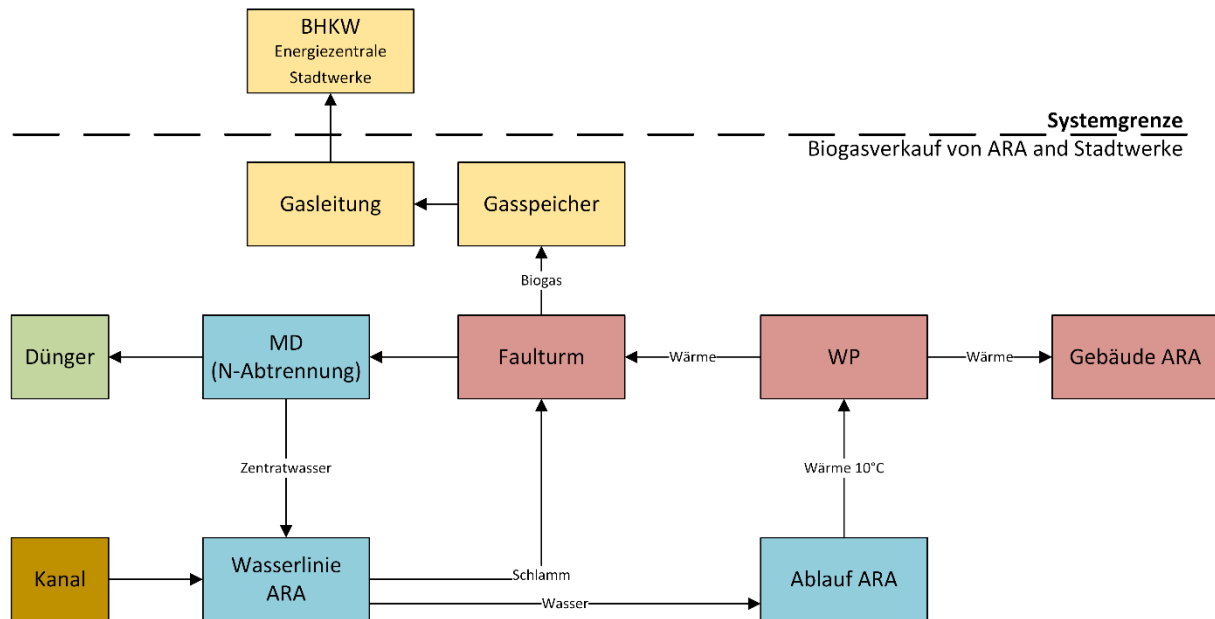


Abbildung 3: Übersicht Grobkonzept Umsetzungsszenario ARA I. Verkauf von Biogas von ARA I an Fernwärme. Wärmepumpe (WP) zur thermischen Eigenversorgung (ARA-seitig). (Stickstoff-Membrandestillation) N-MD zur Biogassteigerung, Stromeinsparung und Dünger-Produktion. Verwertung Biogas seitens Stadtwerke in Biogas-BHKW.

Im Folgenden sollen kurz die wesentlichen Komponenten des Konzepts beschrieben werden und anhand von Abbildung 4 die Maßnahmen zur Biogassteigerung erläutert werden:

- Motivationslage Biogasproduktion:
Zurzeit wird das theoretische Biogasproduktions-Potenzial nicht genutzt. Ein zu kleiner Faulturn und eine fehlende Vorklärun führen zu einer durchschnittlichen Last von 73 kW statt einem theoretisch Potenzial von 184 kW (mit Vorklärböcken und Faulturn-Erweiterung). Jedoch würde die ARA das mehr erzeugte Biogas derzeit nicht verwenden können, weil thermische Bedarfe fehlen. Das Fernwärme-Netz der bietet diese Möglichkeit.
- N-MD (Stickstoff-Abtrennung mittels Membrandestillation) und Schlammabtrennung:
Durch die Entfernung des Stickstoffs wird die Wasserlinie der ARA (konventionelles Belebtschlammverfahren mit Nitrifikation und Denitrifikation) entlastet. Konkret entstehen durch die N-MD 4 Nutzen: (1) Es wird **weniger Strom** für die Belüftung benötigt (2) Es wird weniger CSB für die Denitrifikation benötigt, wodurch **mehr Überschussschlamm in den Faulturn** gelangt, (3) Es kann mehr **Primärschlamm in der Vorreinigung** (durch größeres Vorklärböcken, Mikrosieb oder Vorfällung) abgezogen werden und (4) die Produktion von **Dünger** in Form von Ammoniumsulfat
- Faulturn und Wärmepumpe:
Der Faulturn wird für eine lange Aufenthaltszeit ausgelegt, um (1) den Schlamm vollständig zu stabilisieren und (2) die Biogasausbeute voll auszuschöpfen. Die Aufheizung des Impfschlammes (Primär- und Überschussschlamm) bzw. die Warmhaltung mittels Zirkulation wird via externen Wärmetauscher sichergestellt, der

auf eine Vorlauftemperatur von ca. 50°C ausgelegt ist. Die Wärmebereitstellung wird über eine Wärmepumpe gewährleistet um das **Biogas vollständig für die externe Nutzung zur Verfügung** zu stellen. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient der Kläranlagenablauf.

Mit diesen Maßnahmen kann für die mittelfristig tatsächlich vorhandene Belastung von 40.000 EW der Biogasertrag von 241 kW auf 267 kW gesteigert werden (wobei die Wärmepumpe für beide Varianten bereits berücksichtigt ist und für die Vorklärung eine einfache Erhöhung der Aufenthaltszeit berücksichtigt wurde).

Bei Erreichen der Ausbaukapazität steigt der Biogasertrag auf 313 kW.

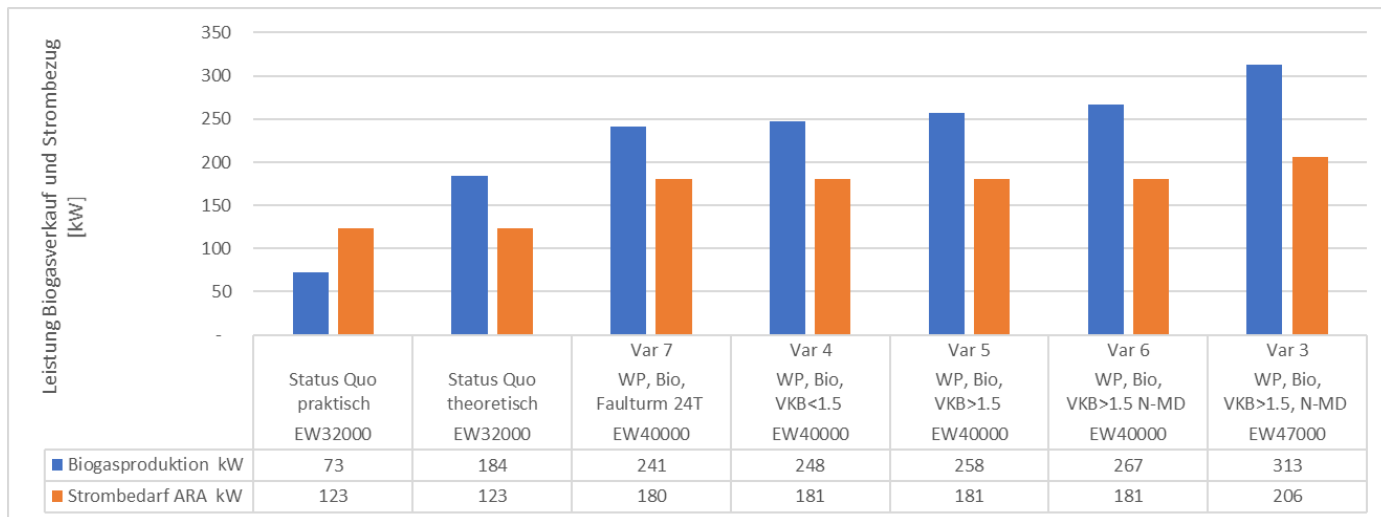


Abbildung 4: Auswirkungen der Maßnahmen zur Biogassteigerung VKB – Vorklärbecken (Aufenthaltszeit < oder > 1,5h); WP – Wärmepumpe; Bio – Biogasverkauf an Stadtwerke; N-MD – Membrandestillation zur Ammonium-Abtrennung; Var1-Var6: Aufenthaltszeit im Faulturm 30 Tage // Var7: 24 Tage

2.5 Szenarien der Zukunft – Hochrechnung für Österreich

Um den Impact der Konzepte auf die Abwasserreinigung in Österreich und das daraus resultierende Optimierungspotential darzustellen, wurde eine Potentialabschätzung durchgeführt. Diese bezieht sich auf die entwickelten Szenarien für eine „ARA der Zukunft“.

Zur **Steigerung des Biogasertrags (Biogasmaximierung)** auf einer Kläranlage bieten sich unter anderem Möglichkeiten wie eine erweiterte Vorklärung oder der Einsatz einer Stickstoffrückgewinnungstechnologie wie beispielsweise der Membrandestillation (N-MD) an. In der erweiterten Vorklärung wird eine optimierte Schlammabtrennung im Vorklärbecken angestrebt. Im Modell des DEST wurde dies durch die Erhöhung der Verweilzeit realisiert. Durch die Abtrennung von Ammonium aus dem Trübwasser mittels N-MD reduziert sich die Rückbelastung im Belebungsbecken und der CSB-Bedarf zur Erzielung der erforderlichen Stickstoffelimination sinkt. Mehr Schlamm kann daher im Vorklärbecken abgetrennt werden. Aufgrund dieses Zusammenhangs bietet sich vor allem die Kombination aus erweiterter Vorklärung und N-MD an. Bei einer Hochrechnung dieser Technologievariationen auf die

Kläranlagenanzahl in Österreich, gegliedert nach der Ausbaugröße in EW, ergaben sich die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse.

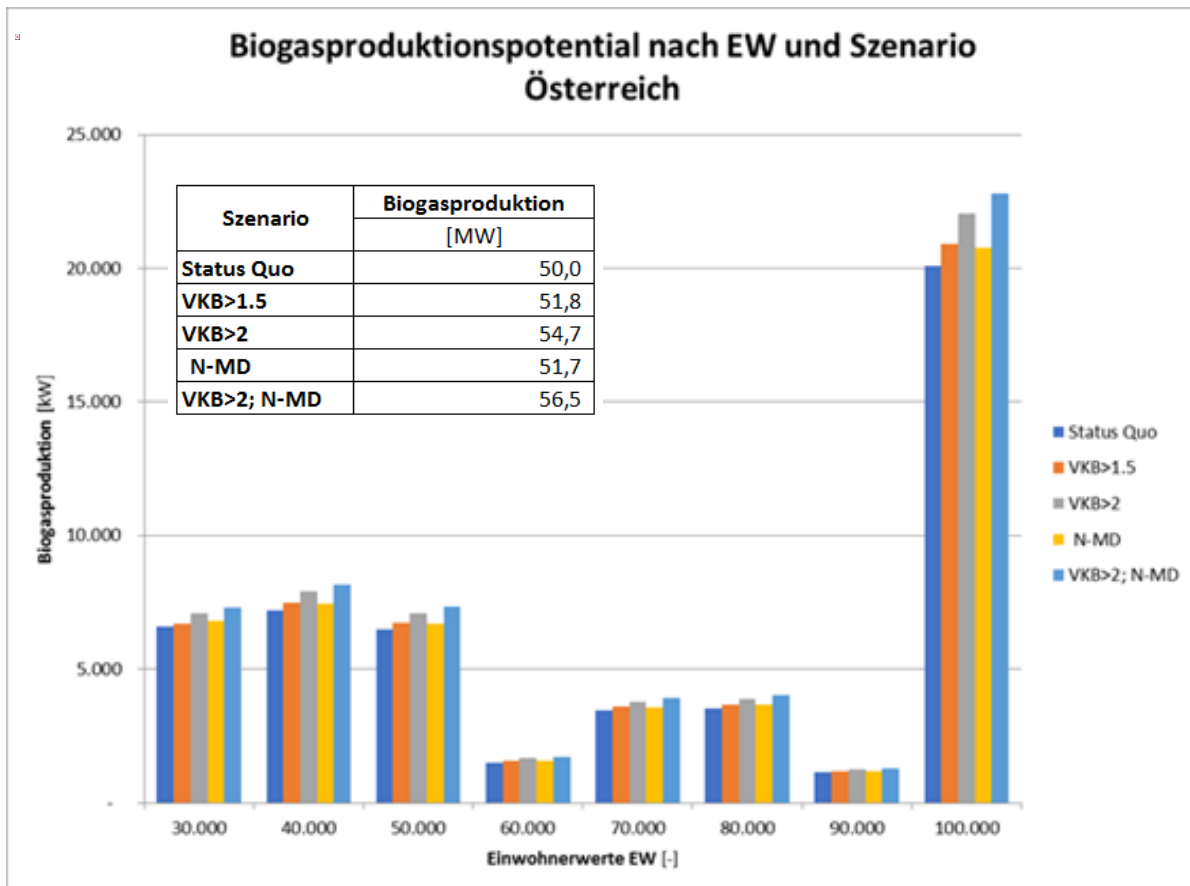


Abbildung 5: Biogasproduktionspotential in Österreich gegliedert nach der Ausbaugröße in Einwohnerwerten und den angewandten Szenarien und i.o. Biogasproduktion in Österreich gegliedert nach Szenarien – Summe über alle Ausbaugrößen

Großes Potential für den Einsatz neuer Technologiekombinationen liegt vor allem im kleineren EW-Bereich zwischen 30.000 bis 50.000 EW sowie in der Ausbaugröße 100.000 EW. Beim Vergleich unterschiedlicher Szenarien für eine Kläranlage ergibt sich das größte Potential in der Kombination einer erweiterten Vorklärung und N-MD. Rechnet man das Potential auf die gesamten Kläranlagen im Ausbaubereich zwischen 30.000 bis 100.000 EW hoch, lässt sich die Biogasproduktion in Österreich durch die Umsetzung einer Biogasmaximierung von derzeit 50 MW (Status Quo) um bis zu 13% auf 56,5 MW (VKB>2;N-MD) steigern.

Aus den Ergebnissen des entwickelten Szenarios zeigt sich, dass sich bei Erhöhung der Biogasproduktion unterschiedliche Möglichkeiten für die Entwicklung einer ARA der Zukunft bieten.

3 Schlussfolgerungen

Hauptaugenmerk des Projektes AR-HES-B war es, optimierte Strategien zur Wiedergewinnung der im Abwasser enthaltenen chemisch gebundenen und thermischen Energie und deren optimale Einbindung in die umliegende Energieinfrastruktur zu entwickeln sowie geeignete Nährstoffrückgewinnungstechnologien zu identifizieren. Eine Transformation

des Gesamtsystems Abwasserreinigungsanlage (engl. *Waste Water Treatment Plant, WWTP*)- hin zu einer energetisch optimierten Wasser-Ressourcen-Rückgewinnungsanlage (engl. *Water Resource Recovery Facility, WRRF*) im Wechselspiel mit vorhanden Energienetzen wurde forciert.

Die nachhaltige Betrachtungsweise steht im Zeichen der Wiedergewinnung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen (Energie und Wertstoffe) sowie des Wassers. Bei den Wertstoffen ist derzeit vornehmlich die Rückgewinnung der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff im Fokus, auch wenn noch andere interessante Wertstoffe in Abwasser bzw. Klärschlamm, wie Kalium, Kupfer oder Silber, um nur einige zu nennen, enthalten sind.

Derzeit findet jedoch oft noch gar keine Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff statt, sondern lediglich deren Entfernung. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass die meisten Verfahren der Phosphor- und Stickstoffrückgewinnung sehr energieintensiv sind. Daher ist es zum einen notwendig emergierende Technologien mit in Betracht zu ziehen und die energetische und stoffliche Verwertung im Gesamtsystem „Wasser-Ressourcen-Rückgewinnungsanlage“ verschränkt zu betrachten.

Bislang wird bei Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung („Schlammfäulung“) das dabei entstehende Biogas in aller Regel in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) in elektrische Energie umgewandelt und die anfallende Wärme zur Heizung des „Faulbehälters“ verwendet, wobei bei den meisten Anlagen außerhalb der kalten Jahreszeit ein Wärmeüberschuss vorliegt. Entscheidend bei der Frage der „Energieoptimierung von Kläranlagen“ sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht ist aber letztlich die holistische Betrachtung aller möglichen Formen der Nutzung der im Abwasser enthaltenen Energie im Kontext der örtlichen Gegebenheiten und unter Beachtung der Möglichkeiten der Nährstoffrückgewinnung. Ist z.B. eine Fernwärmeleitung nahe der ARA vorhanden, so kann Wärme (z.B. überschüssige Abwärme eines BHKW bei Co-Vergärung) direkt eingespeist werden. Überschüssige Wärme kann aber auch für die Membrandestillation zur Stickstoffrückgewinnung aus dem Schlammwasser genutzt werden. Falls das bei der „Schlammfäulung“ anfallende Biogas in der Nähe der ARA direkt verwertet werden kann, z.B. zur Warmwasseraufbereitung für ein Siedlungsgebiet, so wird es möglicherweise sinnvoll sein, dieses abzugeben und die Beheizung des Anaerobreaktors im Niedertemperaturbereich mittels Wärmepumpen mit der thermischen Energie aus dem Ablauf der Kläranlage vorzunehmen. Im Rahmen der Projektarbeit wurden verschiedene Konzepte erstellt und ein geeignetes Werkzeug entwickelt, um neuartige Kläranlagenkonzepte konkreter Standorte miteinander vergleichen und bewerten zu können.

Unverzichtbar für die Gewinnung von Erkenntnissen und somit für das Gelingen des Projekts war daher das im Rahmen des Projekts entwickelte „Decision Support Tool“ (DEST). Dieses DEST ist zunächst geeignet für eine überschlägige Bemessung der ARA. Entscheidend ist aber, dass im Weiteren unterschiedliche Szenarien zur Ressourcen-Rückgewinnung miteinander verglichen werden können.

Es ist somit gelungen im Rahmen dieses Projekts ein Werkzeug zu entwickeln, mit dem für einen konkreten Kläranlagenstandort in Hinblick auf Rückgewinnung optimierte Anlagenkonzeptionen („Szenarien“) einer konventionellen Kläranlagenlösung gegenübergestellt und in monetärer und ökologischer Hinsicht miteinander verglichen werden können.

Mit Hilfe des DEST war es somit auch möglich, zu Erkenntnissen über die Sinnhaftigkeit neuartiger „Kläranlagen“-Konzepte hinsichtlich ihrer Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zu gelangen. Zudem ist das DEST um neue, zusätzliche Technologien und Szenarien erweiterbar. Weiterer Nutzen des DEST besteht darin, dass zukunftsweisende Verfahren und Konzepte herausgearbeitet und in weiteren Forschungsaktivitäten theoretisch und in praktischen Anwendungen detaillierter untersucht werden können. Interessant sind die Ergebnisse danach für alle maßgebenden Stakeholder, im konkreten Fall die Betreiber von Kläranlagen ebenso wie von Energienetzen, PlanerInnen und KonsulentInnen, die Anbieter der jeweiligen Technologien sowie für politisch Verantwortliche und Entscheidungstragende.

Entscheidend für das positive Resultat des AR-HES-B Projektes war es, dass im Projektteam die gesamte dafür erforderliche Fachkompetenz in technischer Hinsicht (Abwasser, Energie, Stoffrückgewinnung) ebenso wie hinsichtlich der Dissemination zu den Stakeholdern vorhanden war. Zur Verbreitung der Erkenntnisse aus dem Projekt hat bereits ein Workshop stattgefunden, der „Leitfaden Energie und Wertstoffe aus Abwasser“ sowie das „Decision Support Tool“ (DEST) sind einschließlich Manual und Technologiebeschreibungen auf der Homepage von AEE INTEC unter <http://ar-hes-b.aee-intec.at/> downloadbar. Zurzeit laufen mit zwei Kläranlagenbetreibern und den betreffenden (Energie-) Netzbetreibern Gespräche über eine konkrete Umsetzung von im Rahmen von AR-HES-B entwickelten Konzepten zur optimalen Einbindung der rückgewonnenen Energie und in einem der beiden Fälle auch zur Stickstoffrückgewinnung mittels Membrandestillation.

4 Ausblick und Empfehlungen

Der Fokus des Forschungsprojekts AR-HES-B lag hauptsächlich auf den verschiedenen Möglichkeiten der Nutzung der Energie und der Nährstoffe aus dem Abwasser und im Weiteren auf der optimalen Einbindung der gewonnenen Energieformen (Biogas, Abwasserwärme) in die urbane Energieinfrastruktur. In diesem Zusammenhang wurden nicht nur die Möglichkeiten, d.h. die möglichen Verfahren, zur Stickstoff- und Phosphor-Rückgewinnung in den Untersuchungen mitbetrachtet, sondern auch deren weiterer Verwertungspfad angedacht.

Weiterführende Arbeiten sollten sich einerseits im Kontext der optimierten Energienutzung vertieft mit der Wertstoffrückgewinnung, insbesondere von Phosphor und Stickstoff, aus dem Abwasser bzw. aus dem Klärschlamm oder dem Schlammwasser beschäftigen. Praktische Pilot- bzw. Demonstrationsstudien zu den einzelnen Technologien sowie auch zu Technologiekombinationen sollten vorgesehen werden. Zum anderen wären im Bereich der „Energiebewirtschaftung“ von Kläranlagen weitere Überlegungen anzustellen. In zukünftigen

Forschungsprojekten sollte behandelt werden, in welcher Form die elektrische Lastverschiebung auf Kläranlagen, die bereits in Forschungsprojekten untersucht wurde (z.B. „Loadshift ARA“, FFG-Projekt-Nr.: 843860]; „K&E Leitprojekt – Opti-PV“, Klima- und Energie-Modellregionen 2015, GZ B569580) mit Fragestellungen der optimierten Nutzung der Energie von Kläranlagen kombiniert werden könnte. Bislang stand bezüglich Lastverschiebung auf Kläranlagen die elektrische Energie, die für die Belüftung der biologischen Stufe der Abwasserreinigungsanlage aufzuwenden ist, im Vordergrund. Aufgrund der Ergebnisse des Projekts AR-HES-B könnten nun auch andere relevante Formen der Nutzung elektrischer Energie in den Fokus rücken, wie z.B. für die Wärmepumpe zur Beheizung des Anaerobreaktors zur „Schlammfäulung“, falls das Biogas extern genutzt wird.

Die Weiterentwicklung von Modellen zur dynamischen Simulation (wie etwa des Strombedarfs für die Belüftung, für die Wärmepumpe und gegebenenfalls für weitere relevante Aggregate aber auch des Wärmebedarfs des Faulturms) stellt in Zukunft einen wichtigen Entwicklungsschritt dar.

Das so erweiterte Tool könnte danach bei den beiden ins Auge gefassten Umsetzungsprojekten für die Erarbeitung von Strategien zur optimalen Nutzung der gewonnenen Energie (Biogas aus der Schlammfäulung und Wärme aus dem Kläranlagenablauf) eingesetzt werden, woraus weitere Möglichkeiten der Realisierung, d.h. der Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse, bei anderen Kläranlagen resultieren werden.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der angewandten Methodik im AR-HES-B Projekt	14
Abbildung 2: Übersicht Grobkonzept Umsetzungsszenario ARA I. Verkauf von Biogas von ARA I an Fernwärme. Wärmepumpe (WP) zur thermischen Eigenversorgung (ARA-seitig). (Stickstoff-Membrandestillation) N-MD zur Biogassteigerung, Stromeinsparung und Dünger-Produktion. Verwertung Biogas seitens Stadtwerke in Biogas-BHKW.	20
Abbildung 3: Auswirkungen der Maßnahmen zur Biogassteigerung VKB – Vorklärbecken (Aufenthaltszeit < oder > 1,5h); WP – Wärmepumpe; Bio – Biogasverkauf an Stadtwerke; N-MD – Membrandestillation zur Ammonium-Abtrennung; Var1-Var6: Aufenthaltszeit im Faulturm 30 Tage // Var7: 24 Tage.....	21
Abbildung 4: Biogasproduktionspotential in Österreich gegliedert nach der Ausbaugröße in Einwohnerwerten und den angewandten Szenarien und i.o. Biogasproduktion in Österreich gegliedert nach Szenarien – Summe über alle Ausbaugrößen	22

5.2 Literaturverzeichnis

AEE INTEC, TU Graz, EnviCare, ROTREAT Abwasserreinigung GmbH, and Fraunhofer ISE, *En-RecoTreat "Innovative Membrandestillation zur Wertstoff- und Energierückgewinnung in der kommunalen Abwasserbehandlung,"* Gleisdorf, 2016.

BMLFUW (2016a) *Kommunales Abwasser - Österreichischer Bericht*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich, 2016.

DWA *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef, Deutschland, 2012.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3, *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef, 2000.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3, *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2004.

DWA, Hennef. [online] http://araconsult.at/download/literature/atv_jardin_wurrzburg.pdf (Accessed March 30, 2017).

E-Control Austria, *Ökostrombericht 2017*, Energie-Control Austria, Wien, 2017.

Egle L., Rechberger H., and Zessner M., *Endbericht - Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser*, BMLFUW, Wien. [online] <http://iwr.tuwien.ac.at/wasser/forschung/projekte/projekte/p-reycling/>, 2014.

FGW, *Erdgas und Fernwärme in Österreich – Zahlenspiegel 2015*, Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen, Wien, 2016

Fricke K., *Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen*, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2009.

Gujer W., *Siedlungswasserwirtschaft*, Springer, Berlin, 2007.

Nowak O., *Bilanzierung in der Abwasserreinigung*, 2000.


ÖWAV, *Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2016*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich, 2015.

Ostara Nutrient Recovery Technologies, Inc. (2017) Crystal Green(R). [online] http://ostara.com/wp-content/uploads/2017/04/EU_Ostara_CrystalGreen_Handout_170405.pdf (Accessed July 10, 2017).

Rosenwinkel K.-H., Kroiss H., Dichtl N., Seyfried C.-F., and Weiland P. (eds.) (2015) *Anaerobtechnik*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. [online] <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-24895-5> (Accessed April 3, 2017).

6 Anhang

Der Planungsleitfaden „Energie und Wertstoffe aus Abwasser“ befindet sich im Anhang!



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)