



bmvrt

PLANUNGSLEITFADEN

Energie und Wertstoffe aus Abwasser

im Rahmen des Projekts AR-HES-B

Vorwort

LiebeR KläranlagenbetreiberIn!

Ihre Aufgaben in der Abwasserreinigung sind eine „geklärte Sache“! Das Konzept Ihrer Abwasserreinigungsanlage bewährt sich nun seit vielen Jahren. Alles läuft reibungslos. Und sie haben es auch geschafft, den Energieverbrauch Ihrer Abwasserreinigungsanlage zu minimieren. Doch haben Sie sich schon einmal darüber Gedanken gemacht, wie „geklärt“ sich eigentlich die Zukunft Ihrer Abwasserreinigungsanlage darstellt?

Abwasserreinigungsanlagen kommen in die Jahre und grundlegende Renovierungsmaßnahmen sind in absehbarer Zeit durchzuführen. Investitionen müssen getätigt werden. Aber denken Sie nicht, dass es an der Zeit wäre, diese Chance zu nutzen, um Ihre Abwasserreinigungsanlage noch „nachhaltiger“ zu gestalten? Ihre Kläranlage könnte – statt nur eine Abwasserreinigungsanlage zu sein – auch eine „innovative Ressourcenrückgewinnungsanlage“ werden.

Wenn bei Ihrer Abwasserreinigungsanlage wichtige Erneuerungen anstehen, wäre vielleicht nun der richtige Zeitpunkt, das Ansehen Ihrer Kläranlage weiter zu verbessern. Die Potentiale dafür liegen außer in einer optimierten Energiebereitstellung beispielsweise auch in einer verbesserten Wertstoffrückgewinnung.

LiebeR VerantwortungsträgerIn!

Es gibt viele Gründe als kommunalpolitischeR VerantwortungsträgerIn auf den Zustand der Abwasserreinigungsanlage zu achten! Große Investitionen wurden in den vergangenen Jahrzehnten getätigt.

Nun müssen diese oft veralteten Anlagen und Bauwerke kostenintensiv saniert oder gewartet werden. Um Störungen entgegenzuwirken muss die Anlage doch an 365 Tagen im Jahr rund um die Uhr voll in Funktion sein!

Aber genügt es in der heutigen Zeit noch, die Anlagen NUR „in Schuss zu halten“? Die Techniken der Siebziger- und Achtzigerjahre sind zwar alt bewährt – aber reicht „diese Art der Abwasserreinigung“ heute noch aus?

Sollten sich Investitionen nicht auch besser rechnen und innovativ sein?

Abwasserreinigungsanlagen verrichten einen wesentlichen Beitrag zum Schutz unserer Gewässer. Daher sollte es wohl Gebot der Stunde sein, Abwasserreinigungsanlagen durch INVESTITION in INNOVATION vom derzeit klassischen „End-of-Pipe-System“ hin zu einem integralen Bestandteil der Energie- und Wertstoffrückgewinnung zu führen! Dieser Leitfaden zeigt mögliche Entwicklungsphasen der Kläranlage der Zukunft und gibt Einblick in die unterschiedlichen Herausforderungen der Abwasserreinigung.

LiebeR NetzbetreiberIn!

Sie fragen sich bestimmt, wieso gerade Sie hier persönlich angesprochen werden. Denn was haben Strom-, Gas- und Wärmenetze mit einer kommunalen Kläranlage zu tun? Primäre Aufgabe der Abwasserreinigungsanlage ist die Reinigung des kommunalen Abwassers. Jedoch ist eine Abwasserreinigungsanlage in vielfacher Hinsicht auch energetisch höchst interessant. In Abwasserreinigungsanlagen konzentrieren sich zahlreiche Energieressourcen, die aus dem Abwasser gewonnen werden können. Auf der anderen Seite ist die Kläranlage oftmals der größte Stromverbraucher der Gemeinden. Durch die Gewinnung von Energie (Gas, Strom, Wärme) aus Abwasser können Abwasserreinigungsanlagen von Nettoenergieverbrauchern zu Nettoenergieerzeugern werden.

Primär sollte die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Energie direkt auf der Abwasserreinigungsanlage selbst in Betracht gezogen werden (interne Nutzung), um einen energie-neutralen Betrieb anzustreben. Überschüssige Energie kann und sollte Abnehmern außerhalb der Abwasserreinigungsanlage zugeführt werden (externe Nutzung), während die Bedarfsspitzen zumeist weiterhin aus dem Netz abgedeckt werden müssen.

Die Abwasserreinigungsanlage als „Energiedrehscheibe ARA“ nimmt quasi als „Energieschwamm“ das Energiedargebot aus unterschiedlichen Netzen des Stadtgebiets und Umlands auf und kann bei Bedarf Energie in Form von Strom, Wärme oder (Bio-)Gas wieder abgeben. Sie interagiert mit den urbanen Energiesystemen wie Stromversorgung, Fernwärmenetzen und Erdgas und kann auf die Lastschwankungen der unterschiedlichen Netze optimal abgestimmt werden. Dabei ergeben sich Synergieeffekte durch z.B. die Verwendung des Überschussstroms in Wärmepumpen zur

Energiebereitstellung im neuartigen Kläranlagenkonzept.

Durch Zugabe von Co-Substraten kann die Gasausbeute wesentlich gesteigert und dadurch die Voraussetzung für eine weitgehende Eigenstromerzeugung geschaffen werden. Damit kann die ARA auch als EnergiebereitstellerIn agieren.

LiebeR TechnologieanbieterIn!

Sie als TechnologieanbieterIn aus den Bereichen Wertstoffrückgewinnung mittels Membrandestillation (MD) und Stripptung, Kraftwärmekopplungen, Wärmepumpen, Wärmerückgewinnung und Biogas-nutzung sind eindeutig die Zielgruppe der Abwasserreinigungsanlage der Zukunft! Mithilfe Ihrer Technologien kann eine Energie- und Wertstoffrückgewinnung aus der kommunalen Abwasserreinigung ermöglicht werden. Österreichische Anlagenbauern können mit neuen Technologien und Technologie-kombinationen nicht nur im eigenen Land, sondern auch im ausländischen Kläranlagenbau reüssieren. Die, im Lichte der notwendigen Energiewende, immer wichtigeren Schlagworte „Netzentlastung“, „Energiespeicherung“ und „Energiebereitstellung“ werden eine gute Vermarktung der Technologien ermöglichen.



Information

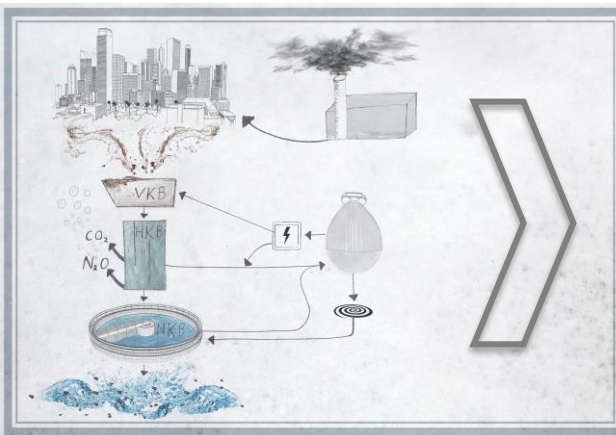
Finden Sie in Kapitel 3 ausgewählte Szenarien der Zukunft die wir Ihnen näherbringen wollen.

In Kapitel 2 wird beschrieben, wie Sie in 4 Schritten Ihre ARA der Zukunft individuell erstellen können.

1. ZIELE DES LEITFADENS

Der Leitfaden dient als Impulsgeber für zukünftige Innovationen zur Transformation der AbwasserReinigungsAnlage (ARA) in eine Ressourcenrückgewinnungsanlage.

Die urbane Abwasserentsorgung ist heute zumeist noch ein klassisches End-of-Pipe System mit dem Ziel der hygienischen und umweltbezogenen einwandfreien Abwasserreinigung. Die konventionelle kommunale biologisch-aerobe Abwasserreinigung ist ein energieintensiver Prozess. Der Energielieferant Kohlenstoff bzw. die in Kohlenstoff gebundene Energie ebenso wie der Wertstoff Stickstoff werden mit hohem elektrischen Energieaufwand (Belüftung) oxidiert und somit vernichtet. Kläranlagen sind häufig die größten Stromverbraucher der österreichischen Kommunen.

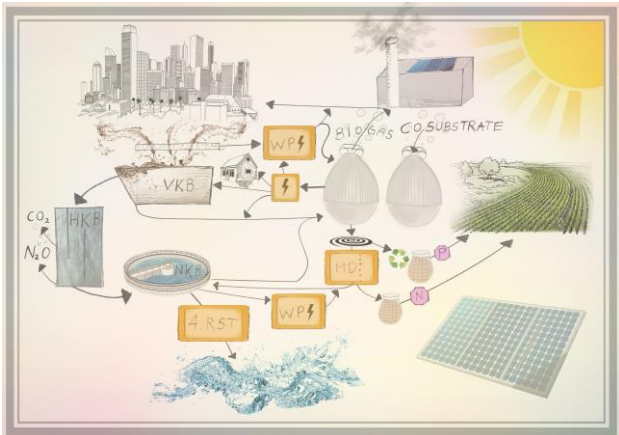


Mit steigenden Energiepreisen und dem erforderlichen sparsamen Umgang mit natürlichen Ressourcen rückt das Thema Energieeffizienz für die BetreiberInnen von Kläranlagen immer stärker in den Vordergrund. Der Leitfaden unterstützt alle AkteurInnen einer Kläranlage, um in einem systematischen Prozess Potentiale für Innovationen zu identifizieren und **die herkömmliche End-of-Pipe ARA...**

...hin zum integralen Bestandteil für Energie- und Wertstoffrückgewinnung zu führen.

Die kommunale Abwasserreinigung 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.

Das Ziel einer zukünftigen Abwasserreinigung liegt jedoch nicht nur in der Nutzbarmachung



der im Abwasser gespeicherten Energie, sondern aller im Abwasser enthaltenen Roh- und Wertstoffe, bis hin zur Nutzung des gereinigten Wassers selbst. Darüber hinaus werden auch die erforderlichen organisatorischen Rahmenbedingungen und Akzeptanzfragen unterschiedlicher beteiligter bzw. betroffener Akteursgruppen geklärt.

2. IN 4 SCHRITTEN ZUR ARA DER ZUKUNFT

Sie wollen wissen, welche Innovationen sich für Ihre ARA anbieten? Das „Decision Support Tool“ (DEST) enthält eine große Vielfalt an Optionen und Einstellungen, um Ihnen die passende und individuelle, auf Ihre ARA zugeschnittene, Unterstützung zu liefern. Diese kurze Einführung soll Ihnen das Grundkonzept des Tools näherbringen. Auch die in Kapitel 3 erstellten Szenarien wurden mit dem DEST erstellt.



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

Input | Definition der ARA!

Das „Decision Support Tool“ (DEST) basiert auf Microsoft Excel und baut auf der Eingabe realer Input-Daten eine Abwasserreinigungsanlage auf. Definieren Sie daher zu Beginn Ihre ARA mit folgenden Input-Daten im „Decision Support Tool“:

- ✓ Zulaufdaten
- ✓ Auswahl der Technologien
- ✓ Technologie-Parameter

Empfohlen wird, die erste Berechnung immer mit dem Status Quo (Referenz-Kläranlage) durchzuführen, um die errechneten Ergebnisse dann auf Plausibilität mit IST-Werten überprüfen zu können. In weiteren Szenarien können die Eingangsparameter sowie die ausgewählten Technologien variiert und später auch verglichen werden.




Information

Berechnungen erfolgen nach dem DWA-Regelwerk sowie weiteren Leitfäden.

Berechnung | Wertstoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor) und Energie - die ARA als Wertstoff- und Energiemanager!

Basierend auf Ihren Eingaben werden im Tool Stoff- und Energiebilanzen berechnet und die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt. Bilanzierungen erfolgen für die Wertstoffe Kohlenstoff (als chemischer Sauerstoffbedarf - CSB), Stickstoff und Phosphor. Zudem erfolgt eine Bilanzierung der elektrischen und thermischen Energieströme auf der ARA, um eine energetische Betrachtung zu ermöglichen.



Hinweis

Es wird empfohlen die Einwohnerwerte auf Basis der CSB-Belastung **von 120 g/(EW.d)** einzugeben, da die Berechnungen auf diese Belastungsgröße ausgelegt sind.

Zur Durchführung ökonomischer Berechnungen der ausgewählten Technologien werden Kostenansätze verwendet, um Investitionskosten sowie laufende Kosten zu berechnen.

Weiters werden direkte Treibhausgasemissionen aus den Prozessen sowie durch Energie und Betriebsmitteln verursachte Treibhausgasemissionen in der ökologischen Bewertung berücksichtigt.

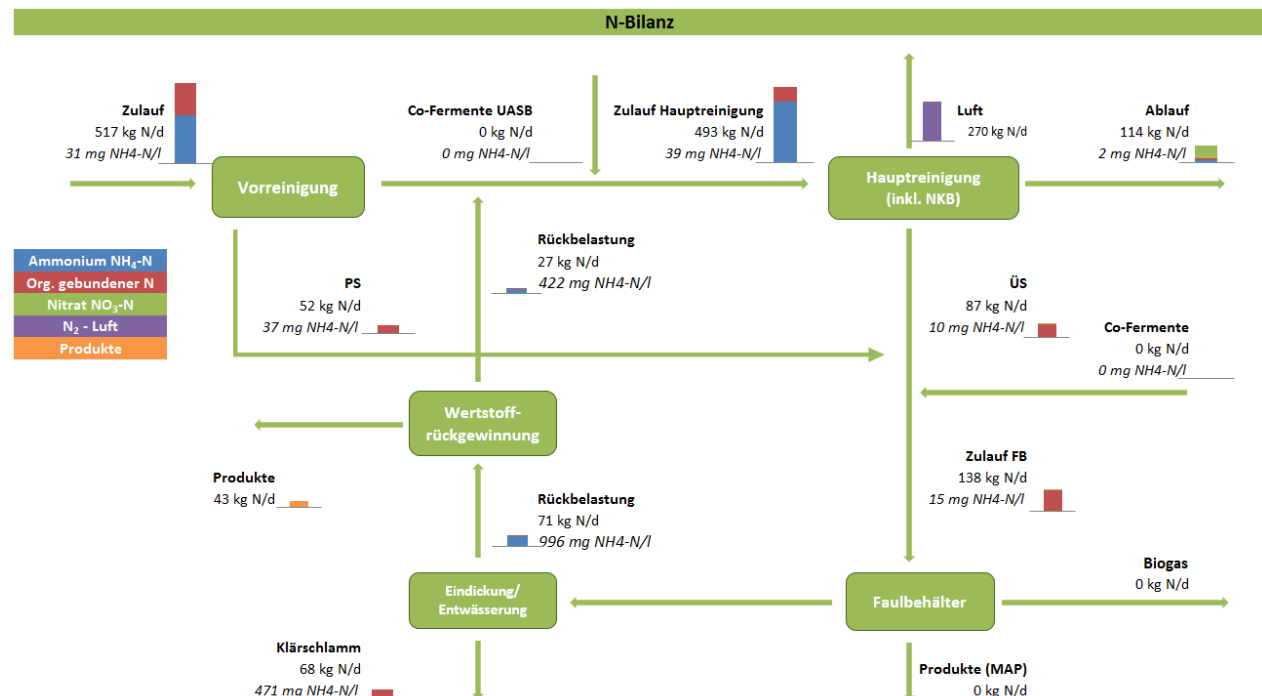
Eine Besonderheit liegt auch darin, dass die Berechnung entweder mit Jahresdurchschnittswerten oder mit Monatswerten erfolgen kann, wodurch saisonale Effekte berücksichtigt werden.

Auswertung | Energetisch, ökologisch, ökonomisch – Betrachtung nach 3 Gesichtspunkten

Die Auswertung gliedert sich in folgende Bereiche:

- ✓ Wertstoffe (Stickstoff, Kohlenstoff)
- ✓ Biogas
- ✓ Energie
- ✓ Ökonomische Auswertung
- ✓ Ökologische Auswertung

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Auswertung des DEST – Stickstoffbilanz einer Beispielkläranlage mit Stickstoffrückgewinnung



In den aufgelisteten Bereichen werden Bilanzen und Kennwerte abgebildet. Bei den Wertstoffen Stickstoff und Kohlenstoff wird vor allem deren Wechselwirkung in der Denitrifikation betrachtet und auf die Auswirkung der Rückbelastung durch Trübwasser aus Eindickung und Entwässerung des Klärschlammes auf den gesamten Reinigungsprozess eingegangen.

Folgende innovative Ansätze können im DEST-Tool untersucht werden:

- ✓ Einsatz eines anaeroben Hochleistungsreaktors (UASB) zur Biogasproduktion aus dem Rohabwasser
- ✓ Wiedernutzbarmachung von Phosphor und Stickstoff aus Abwasser mittels MAP-Fällung, Membrandestillation oder Strippung
- ✓ Zugabe von vergärbaren Substraten (Co-Substraten) zur Steigerung der Biogasproduktion
- ✓ Einsatz einer Wärmepumpe zur thermischen Energieversorgung auf der ARA
- ✓ alternative Nutzung von Biogas in Wärmenetzen oder als aufbereitetes Biomethan in Erdgasnetzen
- ✓ Implementierung von "Power To Gas"

Empfohlen wird eine individuelle Betrachtung der innovativen Ansätze in einzelnen Szenarien. Unterschiedliche Szenarien können im Tool jeweils mit veränderten Parametern und neuartigen Technologien erstellt und abgespeichert werden. In weiterer Folge können diese Ergebnisse der diversen Szenarien einander gegenübergestellt und miteinander verglichen werden.

Die individuellen Auswirkungen der ausgewählten Technologien auf die Wertstoffbilanzen von Stickstoff und Kohlenstoff werden im Tool abgebildet.

Neben der Betrachtung der Wertstoffbilanzen liegt ein weiterer Schwerpunkt in der energetischen Bewertung (elektrisch und thermisch). Energieströme werden aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Verfahrensschritten einer ARA dargestellt.

Der Status Quo und andere berechnete Szenarien können im Szenarienmanager abgespeichert und wieder geladen werden.

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Decision Support Tool. Auswahl von möglichen Technologien mit Verlinkung zu zusätzlichen Fragen (Z). Hier abgebildet 3 von 6 Technologie-Clustern: (C) Schlammbehandlung, (D) Energieumwandlung und (E) Wertstoffrückgewinnung.

C Schlammbehandlung			D Energieumwandlung			E Wertstoffrückgewinnung			
OK			OK			OK			
	00	Technologie		00	Technologie		00	Technologie	
1	01	Statischer Voreindicker (PS)	1	01	Biogasspeicher und Biogas Direktverkauf	1	01	MAP-Fällung Trübwasser	Z
	02	Statischer Voreindicker (ÜS)		02	BHKW		Z	02	MAP-Fällung Schlamm (AirPrex®)
2	03	Maschinelle-ÜS-Eindickung	2	03	Biogasaufbereitung	2	03	P-Extraktion Asche	
	04	Faulbehälter		Z	04		Wasserstoff-Elektrolyse	Z	04
4	05	Statischer Nacheindicker		05	Methanisierung		05	N-Strippung Trübwasser	Z

Interpretation & Szenarienvergleich | Potentiale für Ihre ARA der Zukunft!

Das DEST-Tool kann als Hilfestellung bei Überlegungen zum Ausbau bzw. zur Sanierung bestehender Kläranlagen dienen.

Um technologische Änderungen einer bestehenden ARA zu entwickeln und eine Transformation der kommunalen Abwasserreinigungsanlage vom Energieverbraucher hin zum hybriden Energieerzeuger und -speicher sowie Wertstoffbereitsteller zu erreichen, werden im Tool Optimierungspotentiale für Ihre ARA der Zukunft aufgezeigt. Optimierungspotentiale betreffen zum Beispiel die Bereiche:

- ✓ Erweiterte Vorklärung
- ✓ Wertstoffrückgewinnung und -verwertung
- ✓ Zugabe von Co-Substraten
- ✓ ökologische Erweiterung und Gesundheitsvorsorge durch die Elimination von Mikroverunreinigungen (4. Reinigungsstufe)
- ✓ ARA als „Energieschwamm“ – Verbindung zu Energienetzen durch Aufnahme und Verwertung des Energieangebots der näheren Umgebung und Energieabgabe (Strom, Wärme, Biogas) bei Bedarf

Durch Eingabe der Daten Ihrer ARA wird der Status Quo der Anlage dargestellt. Durch den Einsatz neuartiger Technologien bietet sich im Tool auch die Möglichkeit, ein an die jeweiligen Rahmenbedingungen Ihres Kläranlagenstandortes angepasstes Konzept der „ARA der Zukunft“ zu entwickeln und zu visualisieren. Individuelle Konzepte, die im Szenarienmanager abgespeichert wurden, können schließlich miteinander verglichen und die Auswirkungen des Einsatzes unterschiedlicher Technologien

interpretiert werden. Des Weiteren können Sie durch die Variation von Parametern testen, womit die besten Ergebnisse in Bezug auf ökologische, energetische und ökonomische Aspekte erzielt werden können.

Im Szenarienvergleich können bereits berechnete und abgespeicherte Szenarien ausgewählt werden. Anhand von ausgewählten Parametern können die Szenarien verglichen werden. Dadurch können Veränderungen durch Adaptierung der Eingangsparameter oder Auswahl neuer Technologien analysiert werden. Vergleiche des Status Quo mit den neuen Entwicklungen der Kläranlage werden unter anderem hinsichtlich folgender Aspekte evaluiert:

- ✓ Wie verändert sich der Biogasertrag?
- ✓ Steigt oder sinkt der Energiebedarf?
- ✓ Wie viel Stickstoff ist im Belebungsbecken zu denitrifizieren?

Idealerweise wird von Beginn an in einem interdisziplinären Team mit dem Leitfaden gearbeitet. Die „ARA der Zukunft“ hat nicht nur Auswirkungen auf die Kläranlage selbst. Die Transformation betrifft auch weitere Akteure (Netzbetreiber, kommunale Verantwortungs-träger, Technologieanbieter, etc.), die frühzeitig ins Boot geholt werden müssen.

Es wird empfohlen, für den gesamten Prozess – spätestens jedoch zum Zeitpunkt der Interpretation und des Szenarienvergleichs - jene Akteure zu identifizieren und einzuladen, die allfällige technologische, organisatorische oder sonstige Änderungen (z.B. neue Geschäftsmodelle) mitbringen müssen. Hierbei gilt es, in einem offenen Prozess die Vor- und Nachteile der Transformation zu diskutieren, sowie Interessen und Erwartungen transparent zu machen.

3. SZENARIEN DER ZUKUNFT

Abwasserreinigungsanlagen werden sich in naher Zukunft zu Energie- und Wertstoff-Bereitstellern entwickeln. Welche Konzepte und Technologien haben sich für die Entwicklung einer „ARA der Zukunft“ bei näherer Betrachtung als vielversprechend in energetischer, ökologischer und ökonomischer Sichtweise erwiesen?

Diese im Projekt erarbeiteten Konzepte sind mögliche Entwicklungsszenarien der Kläranlage. Je nach Standort, Abwasserzusammensetzung und Potential der Interaktion mit dem Siedlungsraum ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten der zukünftigen Ausrichtung der Kläranlage. Deswegen sind die angeführten Konzepte als Vorschläge zu verstehen und sind nicht isoliert zu betrachten.

Um eine „ARA der Zukunft“ entwickeln zu können, bieten wir Ihnen die nachfolgend vorgestellten Technologien an. Deren Auswirkungen auf den Kläranlagenprozess werden beschrieben und es wird erläutert, an welchen Stellen sie in die Kläranlage integriert werden können. Im DEST-Tool ist dabei immer zuerst eine Referenz-Kläranlage zu definieren. Alle umgesetzten Konzepte können dann im DEST-Tool immer bezugnehmend auf die Referenzwerte verglichen werden.

Referenz-Kläranlage

Um die Konzepte der Zukunft zu bewerten wird eine Referenz-Kläranlage benötigt. Die Referenz-Kläranlage kann beispielsweise Ihre ARA mit aktuellen Daten sein! Diese Referenz ist die Ausgangslage – der Status Quo – von dem aus die Konzepte verglichen werden können. Diese Ausgangslage kann ebenfalls je nach Entwicklung adaptiert werden. Natürlich ist jede Kläranlage unterschiedlich und auf diese Unterschiede kann im Tool eingegangen

werden. Für die Darstellung im Leitfaden wurde eine ARA nach aktuellem Stand der Technik, basierend auf realen Daten des Abwasserverbands Gleisdorfer Becken (siehe Info-Box) herangezogen.



Referenzkläranlage

Sie können die Referenz-Kläranlage als „Szenario 1“ laden.

Einwohnerwerte: 30.000 EW₁₂₀

Zulaufmenge: 6.000 m³/d

CSB-Zulaufkonzentration: 600 mg/l

Stickstoff- Zulaufkonzentration: 55 mg/l

Ausgewählte Technologien:

- ✓ Rechen,
- ✓ Sand- und Fettfang,
- ✓ Belebungsbecken,
- ✓ MÜSE,
- ✓ Faulbehälter,
- ✓ Statischer Nacheindicker,
- ✓ Zentrifuge,
- ✓ Biogasspeicher,
- ✓ BHKW (η_{el} 33 %)

Szenario A | Biogasmaximierung | Neue Technologien und neue Sichtweisen

„Wieso Biogasmaximierung? Warum soll auf der Kläranlage mehr Energie aus Klärgas erzeugt werden? Mehr Wärme wird nicht benötigt und Stromeinspeisung zahlt sich nicht aus!“

Dieser Einwand ist berechtigt. Einige Kläranlagen sind durch „Energieoptimierung“ (Effizienzsteigerung bei Belüftung, Nutzung von Co-Substraten, Minimierung des Energieverbrauchs und Optimierung der Gasproduktion) heute schon über das Jahr betrachtet „Energielieferanten“ und liefern dabei Strom ins Netz, der zu geringeren Preisen vergütet wird.

Zudem wird oftmals auf Kläranlagen im Inselbetrieb, zumindest in den Sommermonaten, überschüssiges Klärgas abgefackelt, da z.B. thermische Energie vorwiegend für die Faulraumheizung benötigt wird.

Wieso soll also noch mehr Biogas erzeugt werden? Damit nun eine Biogasmaximierung an einer ARA Sinn macht und die Motivation für die Betreiber hoch bleibt, braucht es eine umfassende Analyse und Bewertung der gesamten Kläranlage – insbesondere der Energiesituation.

Heute wird häufig das erzeugte Biogas effizient in einem BHKW in elektrischen Strom und Wärme umgewandelt, um damit in erster Linie eine möglichst hohe Eigenversorgung der ARA mit elektrischer und thermischer Energie zu erreichen. Vor allem aus ökonomischer Sicht ist ein hoher Eigenversorgungsgrad aufgrund des großen Unterschieds zwischen Strombezugs- und Stromeinspeisetarifen interessant.

Weiters wird die ARA der Zukunft zusätzliche elektrische und thermische Verbraucher aufweisen. Apparate zur Wertstoffrückgewinnung sowie die erweiterte Entnahme von

Mikroverunreinigungen (4. Reinigungsstufe) sind im Regelfall verbunden mit einem Mehrverbrauch an Energie. Zusätzliche Abnehmer von thermischer Energie können dabei den energetischen Wirkungsgrad der Kläranlage der Zukunft ganzjährig erhöhen.

Betrachten wir jedoch zunächst, wie der Biogasertrag gesteigert werden kann.

An dieser Stelle vereinfachen wir das Abwasserreinigungsziel der ARA indem angenommen wird, dass nur folgende drei Hauptwertstoffe des Abwassers entfernt werden müssen:

1. Kohlenstoff

Der organisch gebundene Kohlenstoff (üblicherweise gemessen als CSB) kann aerob oder anaerob von Bakterien abgebaut werden. Im Belebungsbecken wandeln Mikroorganismen den Kohlenstoff in CO₂ um und verwenden diesen auch zum Biomasseaufbau.

Ein Teil des im Primärschlamm und im Überschussschlamm enthaltenen organisch gebundenen Kohlenstoffs wird im Faulbehälter zu Biogas (Methan und Kohlendioxid) abgebaut.

2. Stickstoff

Ammonium- sowie organisch gebundener Stickstoff nach erfolgter Ammonifikation wird im aeroben Bereich der ARA mithilfe von nitrifizierenden Bakterien zu Nitrat oxidiert. Um den Stickstoff jedoch vollständig zu entfernen, benötigt es auch anoxische Zonen (= Zonen ohne gelöstem Sauerstoff). Dort verwenden heterotrophe, Kohlenstoff abbauende Bakterien Nitrat anstelle von Sauerstoff zur Oxidation und somit zur Energiegewinnung aus Kohlenstoffverbindungen. Dadurch wird Nitrat zu Luftstickstoff N₂ reduziert.

Zusammengefasst: Für die konventionelle Stickstoffentfernung wird ein Teil des Kohlenstoffs benötigt. Dieser Kohlenstoff steht somit nicht zur Biogaserzeugung zur Verfügung.

Wird nun Stickstoff auch mithilfe von anderen Technologien - wie beispielsweise der Membrandestillation - entfernt bzw. rückgewonnen und der zu denitrifizierende Stickstoffanteil reduziert, wird weniger CSB in der biologischen Reinigung benötigt. Durch eine erweiterte Vorklärung kann dieser CSB nun als Primärschlamm abgetrennt und im Faulbehälter zu Biogas konvertiert werden.

3. Phosphor

Phosphor (P) kann auf zwei Arten aus dem Abwasser entfernt werden. Grundsätzlich benötigen die Mikroorganismen des Belebtschlammes diesen Wertstoff zum Wachstum, sodass er in die Biomasse (P im Schlamm) eingebaut wird (biologische P-Elimination). Wird der vorgeschriebene Grenzwert im Ablauf überschritten, muss der überschüssige Phosphor (P im Abwasser) mithilfe von Fällungsmitteln chemisch entfernt werden. Nach der Fällung liegt der Phosphor vorwiegend im Klärschlamm vor.

Erweiterte Vorklärung | Je mehr Schlamm desto mehr Biogas

Im klassischen Vorklärbecken werden üblicherweise zwischen 30-35 % der ankommenden CSB-Fracht abgetrennt und über einen Voreindicker in den Faulbehälter geleitet. Ziel der Kläranlage der Zukunft ist eine optimierte Abtrennung von Schlamm in der Vorklärung, um einerseits die Biogasproduktion zu erhöhen und andererseits den Energiebedarf der biologischen Reinigung zu senken.

Zur Erhöhung der Abtrennleistung könnte im klassischen Vorklärbecken die Aufenthaltszeit erhöht werden. Eine CSB-Abtrennung von bis zu 40 % ist auf diesem einfachen mechanischen Weg möglich.

Ist es – zum Beispiel aufgrund einer reduzierten N-Fracht im Belebungsbecken – möglich, noch mehr CSB abzutrennen, so können neue Technologien wie zum Beispiel ein Mikrosieb oder die Flotation eingesetzt werden.

Das Mikrosieb trennt über einen Trommelfilter partikuläre Stoffe vom Abwasser ab und kann potentiell höhere CSB-Abtrennleistungen erreichen. Zusätzlich ist der Flächenbedarf durch die Mikrosieb-Vorreinigung geringer als jener des Vorklärbeckens, der apparative Aufwand aber vergleichsweise höher.

Eine weitere Technologie ist die Flotation, die auch in der Vorreinigung Anwendung findet. Durch Einblasen von Luft werden suspendierte kleine Partikel (CSB-Fractionen) an die Abwasseroberfläche befördert und abgezogen. Dabei sind hohe CSB-Abtrennraten von bis zu 60 % möglich.

Stickstoffrückgewinnung | Schlüsseltechnologie für Biogasmaximierung

Abbildung 3 zeigt die Auswirkung der Stickstoff-Rückgewinnung (i.d.F. durch Membrandestillation) auf die Energiebilanz der ARA. Zum einen wird der Biogasertrag zwischen 3 und 6 % erhöht. Zum anderen wird zwischen 4 und 7 % weniger Belüftungsenergie im Belebungsbecken benötigt. Zusätzlich kann, durch den geringeren CSB-Bedarf im Belebungsbecken, mehr Schlamm in der Vorreinigung abgetrennt und in weiterer Folge mehr Biogas erzeugt werden.

Neben diesen positiven Effekten auf die Energiebilanz, wird bei der Stickstoffrückgewinnung wertvoller, vermarktbarer Dünger produziert.

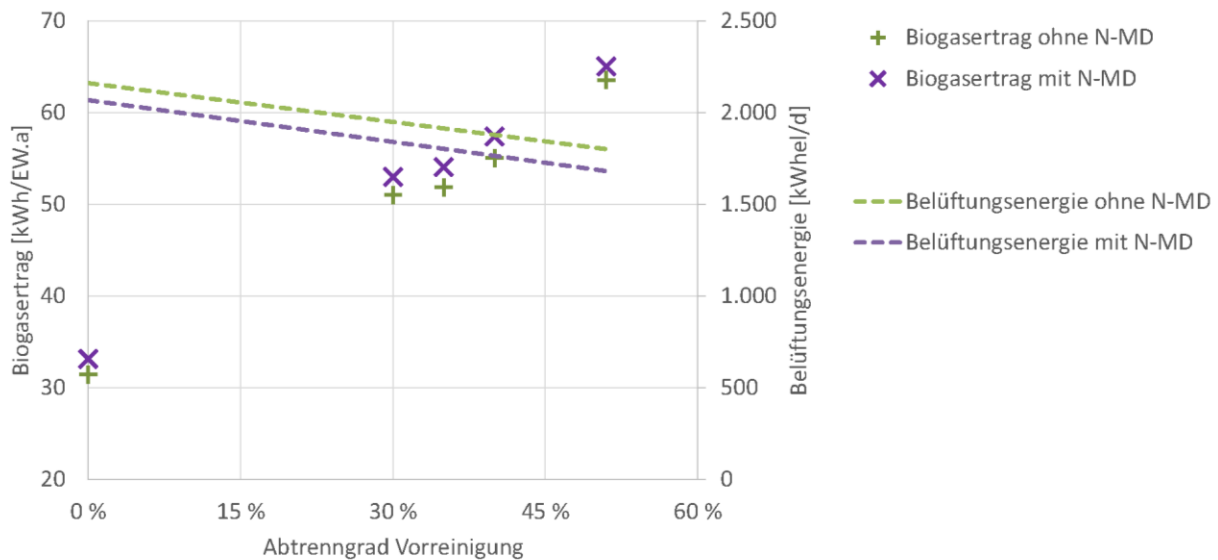


Abbildung 3: Auswirkung der N-MD (Membrandestillation zur Stickstoff-Abtrennung) auf den Biogasertrag (Primärachse; Punkte) und auf die notwendige Belüftungsenergie (Sekundärachse; Linien) am Beispiel der Referenzkläranlage.

Co-Substrate | Intelligenter Einsatz von Abfällen

Unter Co-Fermentation oder Co-Vergärung versteht man die Mitbehandlung von organischen Reststoffen (= Co-Substrate) im Faulbehälter bei der anaeroben Schlammstabilisierung. Die Co-Fermentation hat sich bereits auf vielen kommunalen Kläranlagen in Österreich und in anderen Regionen weltweit etabliert.

Durch die Erhöhung der organischen Fracht im Faulbehälter kann der Methan- bzw. der Biogasertrag gesteigert werden.

Als Co-Substrate stehen unterschiedliche organische Reststoffe zur Verfügung. Zu beachten ist, dass viele dieser Substrate vorbehandelt werden müssen. Beispiele für Co-Substrate sind Abfälle aus Großküchen oder

andere Bioabfälle bzw. Abfälle mit hohen organischen Anteilen.

Beim Einsatz von Co-Substraten im Konzept der ARA der Zukunft ist die entstehende Rückbelastung des Faulschlammes für das Belebungsbecken zu beachten. Durch eine Stickstoffrückgewinnung kann die Rückbelastung wesentlich vermindert werden und gleichzeitig mehr Dünger produziert werden.

Wie sieht das Konzept der Biogasmaximierung im Tool aus?

Die nachfolgenden Grafiken zeigen das Energieaufkommen und den Energieverbrauch im Status Quo der Referenzkläranlage im Vergleich zur Anwendung des Konzeptes der Biogasmaximierung. Um die zusätzliche Energie der Kläranlage sinnvoll zu nutzen, können im Tool weitere Technologien hinzugeschaltet werden.

Referenzkläranlage

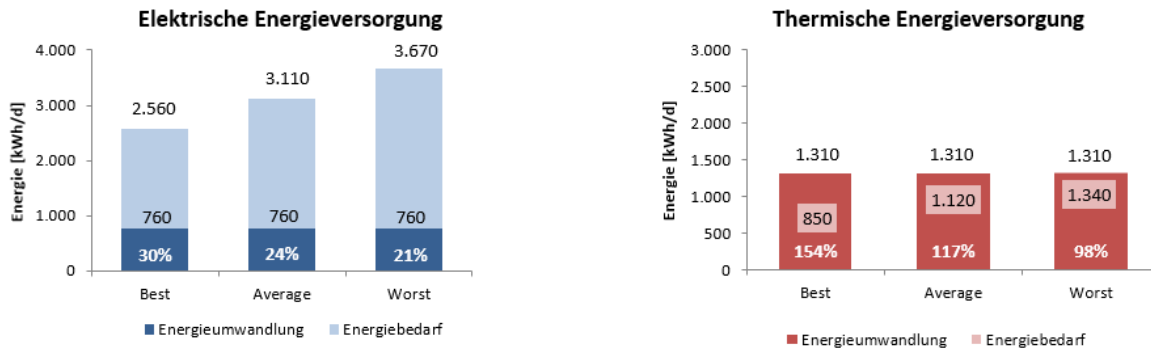


Abbildung 4: Elektrische (links, blau) und thermische (rechts, rot) Energieversorgung der Referenzkläranlage. Im Average-Fall werden 24 % des elektrischen und 117 % des thermischen Energiebedarfs durch interne Energieerzeugung (BHKW) abgedeckt.

Szenario „Biogasmaximierung“:

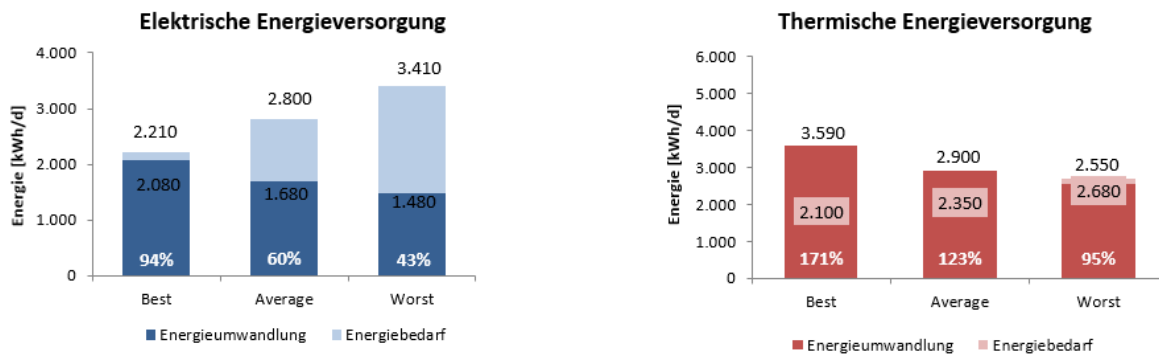


Abbildung 5: Elektrische (links, blau) und thermische (rechts, rot) Energieversorgung für das Szenario A „Biogasmaximierung“. Der thermische Energiebedarf steigt signifikant aufgrund eines größeren Faulturms und der Membrandestillation. Durch den Biogasmehrertrag steigt der elektrische Eigenversorgungsgrad auf 60 %, der thermische Mehrbedarf kann dennoch abgedeckt werden.

Klärschlamm-trocknung | Warum neue Wärmeverbraucher benötigt werden

Die Trocknung von Klärschlamm bietet die Möglichkeit, auch den letzten Reinigungsschritt des Abwassers – die Entsorgung des Klärschlammes – effizienter zu gestalten. Vor allem wenn Abwärme auf der Kläranlage vorhanden ist, kann die Trocknung eine thermische Energiesenke sein und dadurch das Gewicht, die ökologischen Auswirkungen sowie die Entsorgungskosten verringern. Direkte Solar-Trocknung und solarthermische Anlagen sind weitere Möglichkeiten

4. Reinigungsstufe | Warum in Zukunft mehr Energie benötigt wird

Die 4. Reinigungsstufe zur weitergehenden Entnahme von Mikroverunreinigungen findet in Zentraleuropa zunehmende Verbreitung. Durch sie werden zusätzliche elektrische Energieverbraucher auf der Kläranlage installiert. In der strategischen Planung kann diese mögliche Erweiterung einbezogen werden. Durch die Ergänzung um diese Stufe erhöhen sich somit der Eigenverbrauch an elektrischem Strom und somit auch der Anreiz, eigenen Strom zu produzieren

Szenario B | Biogasverkauf | Wärmepumpe im Abwasser | Wann zahlt sich das aus?

Die im Projekt ausgewerteten Daten mehrerer Kläranlagen mittlerer Größe zeigen, dass die effiziente Nutzung des erzeugten Biogases über das Jahr unterschiedlich möglich ist. Vor allem der Bedarf an thermischer Energie schwankt jahreszeitlich. Diese saisonale Nachfrageschwankung begrenzt die Entwicklung einer zukünftigen Kläranlage, die neben der Abwasserreinigung auf eine Maximierung der Nutzung von energetischen Potentialen ausgelegt sein soll. Um die im Abwasser vorhandene Energie optimal ausnutzen zu können, ist eine Einbindung der Kläranlage als Produzentin in die Energienetze anzustreben.

Eine Möglichkeit ist der (vollständige) Verkauf des produzierten Biogases, um es durch andere NutzerInnen besser verwenden zu können.

Biogasverkauf | Die kommunale Fernwärme als mögliche Partnerin

Der Verkauf des Biogases kann im Tool durch die direkte Abgabe an VerbraucherInnen (z.B. kommunale Fernwärme) über eine Biogasleitung abgebildet werden. Das Biogas kann seitens der Fernwärmebetreiberin in Heizzentralen zur Abdeckung der ganzjährigen Netzgrundlast genutzt werden und stellt eine nachhaltige Energiequelle dar.

Der Vorteil in der Netzeinspeisung liegt in der Streuung der Nachfrage an thermischer Energie. Das in der Kläranlage erzeugte Gas kann so effizienter genutzt werden. Der Kläranlage kommt in dieser Konzeption die Rolle der Zwischenspeicherung und eventuellen einfachen Gas-Aufbereitung zu.

Statt der Biogasleitung kann die Fernwärme-Auskopplung auch über eine thermische Weiche und Fernwärmeleitungen erfolgen. In diesem Fall erfolgt die Wärmeerzeugung noch

auf der Kläranlage. Zu berücksichtigen ist, dass eine Biogasleitung geringere Kosten als zusätzliche Fernwärmeleitungen aufweist.

Biogaseinspeisung | die Infrastruktur des Erdgasnetzes nutzen

Eine weitere Möglichkeit ist die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität. Die Biogasaufbereitung benötigt ein mehrstufiges Verfahren, in dem das Gas aus dem Faulturm von Begleitstoffen gereinigt wird. Die Schritte sind im Allgemeinen Entschwefelung, Trocknung, Methananreicherung (CO₂-Abscheidung) und Verdichten auf den Betriebsdruck der Erdgasleitung. Die Einleitung in das Erdgasnetz erfolgt normgemäß bzw. entsprechend den vertraglichen Bedingungen des Erdgasnetzbetreibers. Durch das Einspeisen kann die gesamte, bereits existierende Erdgasinfrastruktur (Pipelines, Erdgasspeicher, Verbraucher) genutzt werden.

Wärmepumpe | thermische Energie des Abwassers nutzen

Durch die, in diesem Konzept angestrebte Auslagerung des Biogases, kann die Kläranlage keine elektrische und thermische produzieren. Um die Energiebereitstellung der ARA trotzdem sicherzustellen, kann eine Wärmepumpe installiert werden. Abbildung 6 zeigt den Effekt dieses Konzepts auf die Energiebilanz.

Die elektrische Energie, z.B. aus ebenfalls regenerativen Quellen wie Solar- oder Windenergie, kann aus dem Stromnetz bezogen werden. Die thermische Energie auf der Kläranlage wird in diesem Konzept der Zukunft unter Verwendung von Wärmepumpen im Ablauf der Kläranlage gewonnen.

Der Ablauf der Kläranlage bietet durch den hohen Massenfluss und die relativ geringen Temperaturschwankungen im Jahresverlauf

eine gute Quelle für eine effiziente Nutzung einer Wärmepumpe.

Die Lieferung des Gases an ein zentrales Fernwärmekraftwerk ist vor allem dann sinnvoll, wenn keine Fernwärmeleitungen im Bereich der Kläranlage vorhanden sind. Eine

Gasleitung weist geringere Kosten als eine Fernwärmeleitung auf.

Je nach Ausgangslage müssen unterschiedliche Fragestellungen abgeklärt werden: Wie groß sind die Entfernungen? Welche Infrastruktur-einrichtungen sind vorhanden? Wie kann der höchste Wirkungsgrad erzielt werden?

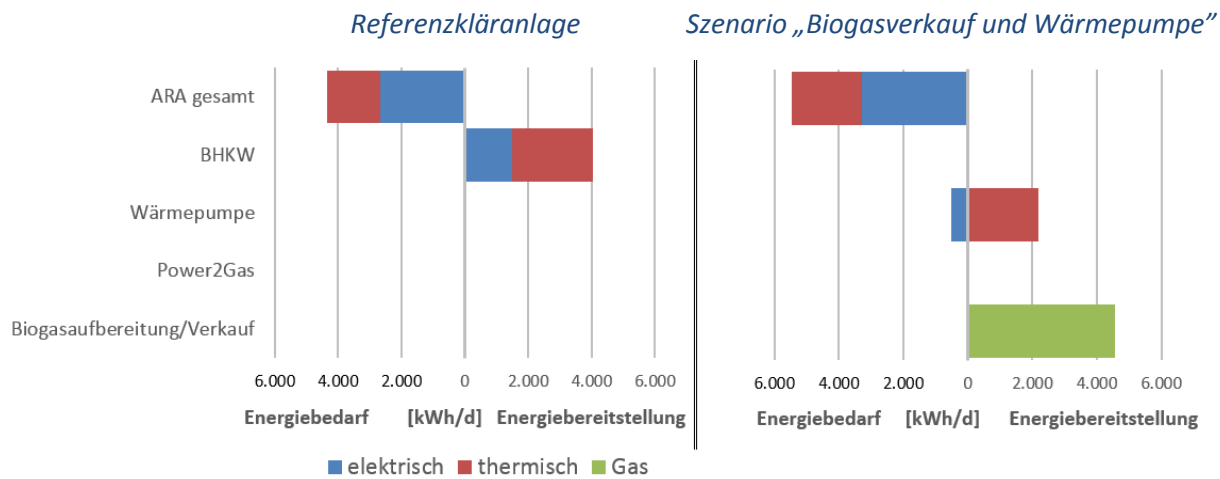


Abbildung 6: Energiebilanz für verschiedene Energieträger und Technologien für die Referenz-ARA (links) und das Szenario B „Biogasverkauf und Wärmepumpe“ (rechts).

Der Verkauf von Biogas kann also eine zukünftige Option für ARAs sein. **Von welchen Erlösen kann dabei ausgegangen werden?** Abbildung 7 zeigt die Jahreskosten der notwendigen Investitionen bei verschiedenen Biogasproduktionswerten und unterschiedlichen Biogas-Verkaufspreisen. Für

die oben beschriebenen Bedingungen sind ab einem Biogas-Verkaufspreis von 0,04 €/kWh die Jahreskosten stets positiv.

Im Konzept wurde berücksichtigt, dass die Lieferung des Gases die zusätzlichen Kosten der Wärmepumpe aber auch den entgangenen Nutzen (BHKW-Strom) decken muss.

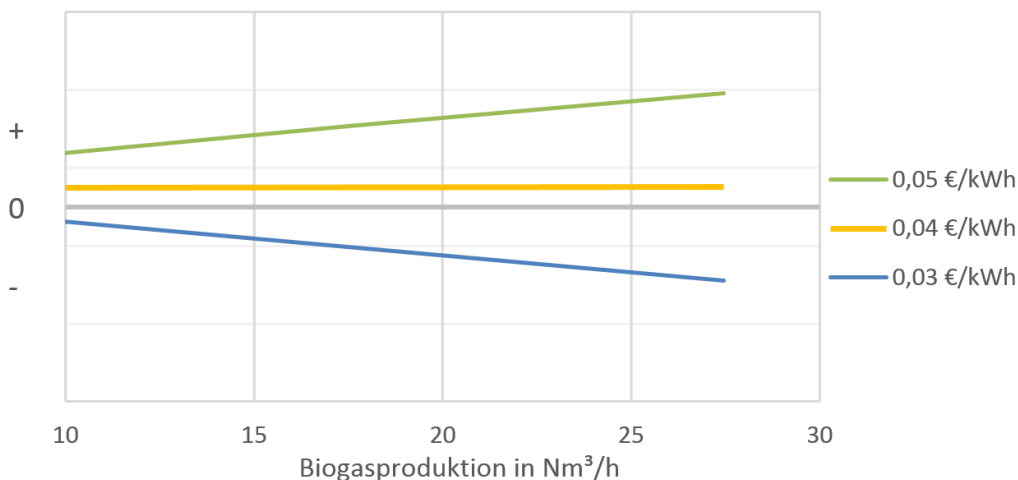


Abbildung 7: Kosten/Nutzen-Analyse von Szenario B „Biogasverkauf und Wärmepumpe“ bei verschiedenen Biogasproduktionswerten (X-Achse) und Biogas-Verkaufspreisen (3 Linien). Werte >0 haben einen positiven Gesamtnutzen. In die Kosten/Nutzen-Analyse fließt die Abschreibung der Investitionskosten, die laufenden Betriebskosten, der entgangene Nutzen und die Erlöse ein. Den Berechnungen liegt ein Stromeinkaufspreis von 0,13 €/kWh zugrunde.

Szenario C | Power To Gas | Die Gründe für Power To Gas auf der Kläranlage

Dieses Konzept der Zukunft transformiert die Kläranlage zu einer Anbieterin von Flexibilität im elektrischen Stromnetz. Das Grundkonzept von „Power To Gas“ sieht vor, überschüssige Energie – vorzugsweise aus erneuerbaren Energieträgern – zu nutzen und für eine spätere Anwendung zwischenspeichern. Das Konzept kombiniert die Elektrolyse von Wasser, als flexible Verbraucherin mit der Methanisierung von Wasserstoff zur Umwandlung in speicherbares und transportierbares Methan.

Die Kläranlage eignet sich aus mehreren Gründen für dieses Konzept: Der Standort der Kläranlage ist bestens geeignet für eine Anwendung derartiger Technologien (Nutzungskonflikte, Widmung, Infrastruktur) inklusive vorhandener Anschlüsse an Strom- und Gasnetz. Für die Methanisierung wird CO₂ als Reaktionspartner für den Wasserstoff benötigt. Entweder kann direkte die CO₂-Komponente des Biogases aus dem Faulturm oder das CO₂-reiche Off-Gas aus einer etwaigen Biogasaufbereitung verwendet werden. Die

anfallende Wärme der Methanisierung kann in der Kläranlage (z.B. Faulturmheizung) verwendet werden. Dies führt zu einer weiteren Steigerung der Effizienz der Power To Gas Anlage. Der bei der Elektrolyse als „Nebenprodukt“ anfallende Sauerstoff kann innerhalb der Kläranlage für die Belüftung des Belebungsbeckens verwendet, oder aber in der sogenannten 4. Reinigungsstufe, als Ausgangsprodukt für die Ozonierung, verbraucht werden. Weiters – ganz wesentlich – ist die Verfügbarkeit von bestens geschultem Betriebspersonal, dass auch bereits mit Anlagentechnik und Ex-Schutz große Erfahrung aufweist.

In Abbildung 8 ist die Energiebilanz der Referenzkläranlage mit der Anwendung des Power To Gas Konzepts zu sehen.

Die elektrische Netzenergie, die aufgrund der Power To Gas Technologie an der Kläranlage eingesetzt wird, wird aufgrund der getroffenen Annahmen im DEST-Tool in Methan und Abwärme umgewandelt. Diese Netzenergie wird flexibel auf Basis des Strommarkts umgewandelt und somit dauerhaft als Methan im Gasnetz gespeichert.

Das restliche Biogas der Kläranlage wurde in diesem Beispiel aufbereitet und kann ebenfalls in das Erdgasnetz eingespeist werden. Im

konkreten Beispiel ist der Bedarf an thermischer Energie der ARA noch nicht gedeckt.

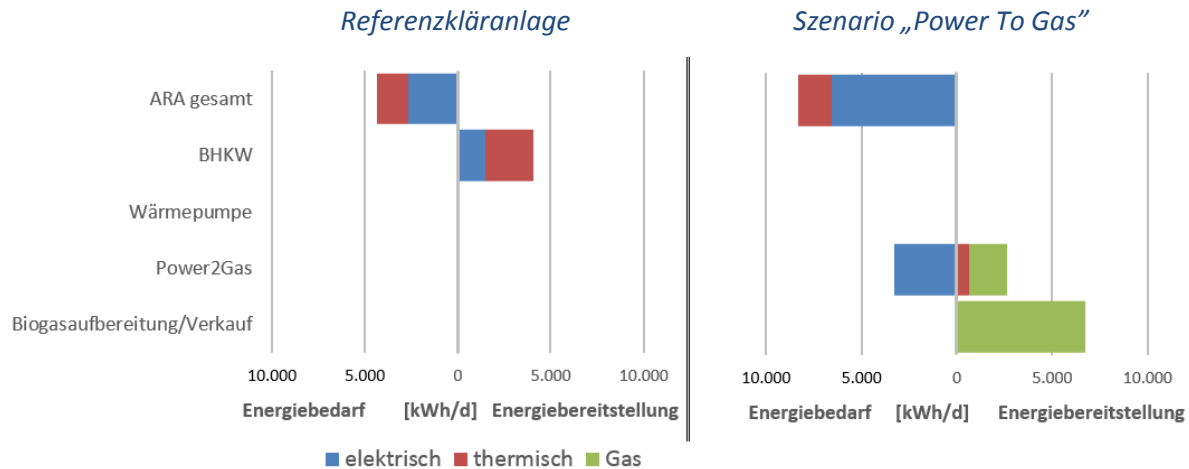


Abbildung 8: Einsatz von Power To Gas (rechts) im Vergleich zur Referenzkläranlage (links). Die Power To Gas Anlage liefert 200 Nm³ Methan pro Tag.

Die Power To Gas Anlage ist von mehreren, auch miteinander verknüpften, Faktoren abhängig. Diese können über das DEST-Tool individuell angepasst werden.

Die Analyse geht von der Nutzung variabler Strompreise (EPEX Strombörse) aus. Unter einem definierbaren Strompreis wird die Elektrolyse angefahren. Der Strompreis definiert somit die Betriebsstunden. Werden Mengenvorgaben als Ziel ausgegeben, muss die Größe der Anlage angepasst werden. Dies beeinflusst wiederum die Produktionskosten durch die höheren Investitionskosten bei einer größeren Stundenleistung. Diese Leistung ist wiederum durch die Anschlussleistung an das Stromnetz begrenzt. Die Rahmenbedingungen Ihrer Kläranlage in Verbindung mit den vorhandenen Netzeigenschaften können so im Tool abgebildet werden.

Die Anlagengröße kann auch durch den Bedarf bestimmt werden. Dabei kann die Wasserstoff-

Menge auf das gesammelte CO₂ ausgelegt werden, eine gewisse Zumischmenge zu Methan angepeilt werden oder aber nach dem O₂-Bedarf in der 4. Reinigungsstufe ausgelegt werden.

Die nachstehende Grafik gibt einen Überblick über die Einflussgrößen innerhalb des Power To Gas Konzepts.

Die Bewertung der Szenarien | Szenarienvergleich der einzelnen Varianten

Um die Konzepte der Zukunft miteinander, aber auch gegenüber dem Status Quo vergleichen zu können, bietet das Tool die Möglichkeit eines Szenarienvergleichs.

Ergebnisse und Kennzahlen im Bereich Stickstoff- und Kohlenstoffbilanz werden ebenso illustriert wie die errechneten Dimensionen der Kläranlage.

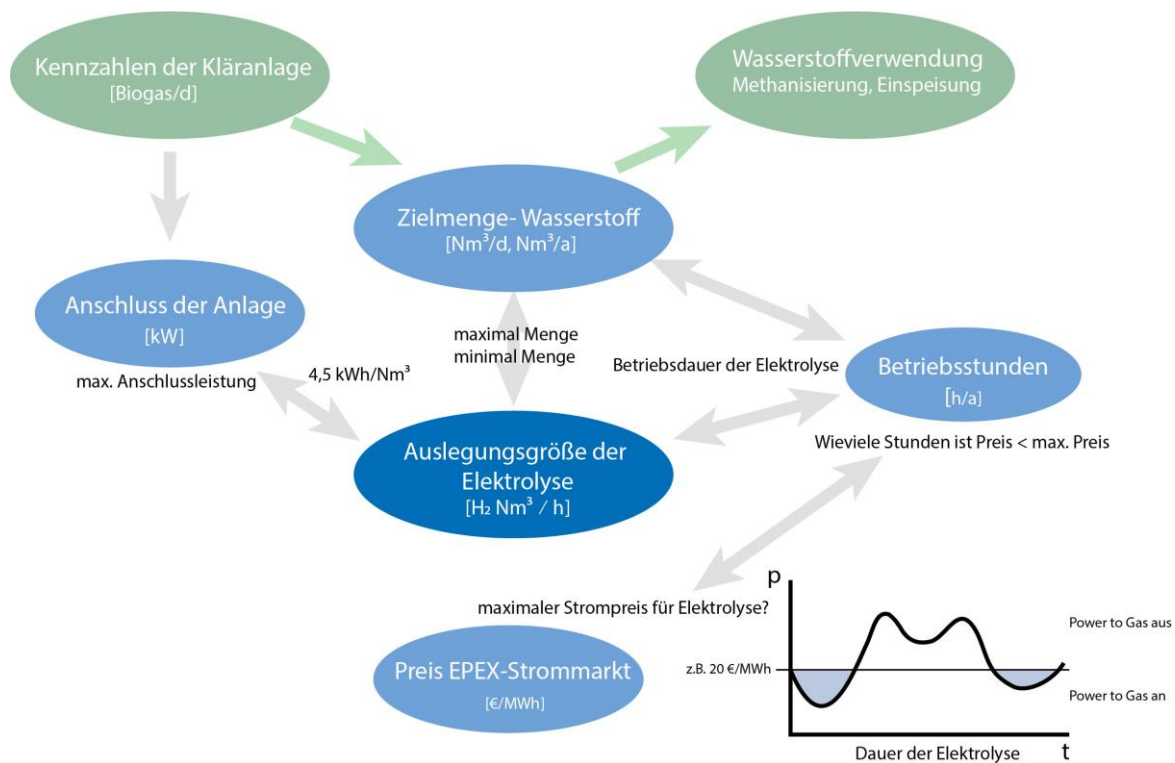


Abbildung 9: Einflussfaktoren rund um die Technologie Power To Gas, die im Tool erfasst sind.

Durch die Gegenüberstellung der Kennzahlen mit dem Energiebedarf und der Energiebereitstellung kann eine energetische Bewertung durchgeführt werden. Wie auch in anderen Bereichen des Tools wird dabei zwischen elektrischer und thermischer Energie, sowie Biogas als Energieträger unterschieden.

Information

Wichtig ist anzumerken, dass ökonomische Zahlen nicht als absolute Zahlen anzusehen sind, da unterschiedliche Preise in der Realität vorkommen. Vielmehr ist die ökonomische Bewertung jeweils relativ zu den anderen Szenarien anzusehen.

Die ökonomischen Kennzahlen dienen zur Bewertung der Szenarien hinsichtlich ihrer finanziellen Auswirkungen auf die Kläranlage. Dabei werden Investitionskosten, laufende Kosten (ohne Personalkosten) und die angenommenen Erlöse aufgelistet.

Die aus diesen Kennzahlen errechneten ökonomischen Kennzahlen sind der Projektkostenbarwert und die Jahreskosten.

Abschließend werden die Szenarien aufgrund ihrer ökologischen Kennzahlen verglichen. Dabei wird der direkte und indirekte CO₂-Ausstoß der Kläranlage herangezogen.

Durch all diese Informationen soll eine Unterstützung für eine Entscheidung geboten werden, in welche zukünftige Richtung sich die Kläranlage an Ihrem Standort entwickeln soll.

NACHWORT

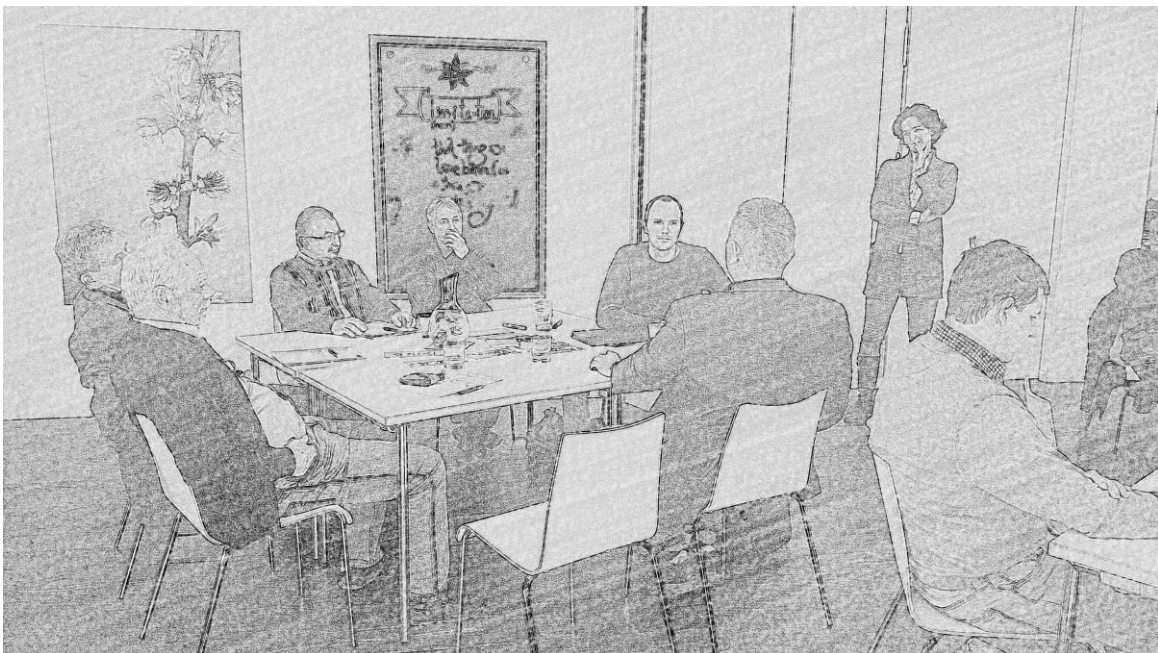
Sie sind nun am Ende des Leitfadens angekommen. Schritt für Schritt konnten Sie beispielhaft erfahren, dass es vielfältige und innovative Möglichkeiten gibt, eine zukünftige Abwasserreinigungsanlage darzustellen. Einige der innovativen Verfahren sind bereits im DEST-Tool integriert. Neben einer kurzen Einführung in die wesentlichen Bedienungsschritte des Tools (Download Tool, detailliertes Manual und Leitfaden unter: www.ar-hes-b.aee-intec.at) wurden Konzepte und Technologien vorgestellt, um die Abwasserreinigungsanlage zu einem Energie- und Wertstofflieferanten zu transformieren.

Wir hoffen, dass durch diesen Einblick in die Möglichkeiten des Tools Ihr Interesse geweckt wurde und Sie nun den Startpunkt für die

Entwicklung Ihrer ARA der Zukunft setzen wollen.

Um den Entwicklungsprozess starten und vorantreiben zu können braucht es aber immer mehrere Stakeholder, die zusammen an einem Strang ziehen. Alle Stakeholder (Kläranlagenbetreiber, Verantwortungsträger, Technologieanbieter, Netzbetreiber, u.v.m.) müssen integrativ wirken, um eine gemeinsame, konstruktive Lösung zu finden und das Maximale aus der ARA herauszuholen.

Sie haben noch offene Fragestellungen? Kontaktieren Sie uns! Gerne unterstützen wir Sie bei der Bedienung des Decision Support Tool oder auch beim Design Ihrer „ARA der Zukunft“!



Wir hoffen Ihr Interesse wurde geweckt –setzen Sie sich gemeinsam mit allen Stakeholdern an einen Tisch und klären Sie die Zukunft Ihrer ARA!

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
DlIn Isabella Zwerger

Programmabwicklung

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)
Mag. Robert Schwertner
Sensengasse 1, A-1090 Wien

AutorInnen

Wolfgang Glatzl, Sarah Meitz, Judith Buchmaier,
Christoph Brunner, Teresa Garstenauer, Christian
Obenaus
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien,
<http://www.aee-intec.at/>

Barbara Hammerl, Hans Schnitzer
StadtLABOR – Innovationen für urbane Lebensqualität
<http://www.stadtlaborgraz.at/>

Otto Nowak
Nowak Abwasser Beratung e.U.
<http://www.abwasserberatung.at/>

Bernhard Mayr
EnviCare Engineering GmbH
<http://www.envicare.at/>

Der vorliegende Planungsleitfaden ist im Projekt
AR-HES-B entwickelt worden; gefördert im Rahmen
der 2. Ausschreibung "Stadt der Zukunft" durch die FFG.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Ziele des Leitfadens.....4
2. In 4 Schritten zur ARA der Zukunft5
3. Szenarien der Zukunft.....9
4. Nachwort19

Disclaimer

Die Rechte am AR-HES-B Decision Support Tool liegen ausschließlich bei den AutorInnen. Jegliche Vervielfältigung, Verbreitung, Integration in Webseiten ist nur mit Zustimmung der AutorInnen gestattet. Die Ergebnisse des AR-HES-B Decision Support Tool dienen nur der Orientierung und stehen weder als Beweismittel noch als Gutachten Dritten oder Behörden gegenüber zur Verfügung. Jegliche Haftung für direkte oder indirekte Schäden, die aus der Verwendung dieses Tools und der berechneten Ergebnisse resultieren, wird hiermit ausdrücklich ausgeschlossen.

Grafiken

Titelfoto © iStock
Grafiken Kapitel 1 © Nina Rath
Foto Nachwort © AEE INTEC

Herstellungsort Gleisdorf, Dezember 2017

Die hier dargestellten Inhalte spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des bmvit wider. Weder das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) noch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

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



NOWAK ABWASSERBERATUNG
UNIV.-DOZ. DIPL.-ING. DR. OTTO NOWAK
INGENIEURBÜRO FÜR WASSERWIRTSCHAFT

EnviCare® Engineering GmbH
Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik, Graz