

*Kurzfassung („Executive Summary“)  
zum Schlussbericht*

# arrivee



Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein  
in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung

17. August 2017

Projektlaufzeit: 01.04.2014 bis 31.03.2017

Förderkennzeichen: 02WER1320A

Der vollständige Schlussbericht steht unter:

[www.erwas-arrivee.de](http://www.erwas-arrivee.de)

und

<https://www.bauing.uni-kl.de/wasser-infrastruktur-ressourcen/projekte/>  
zum Download bereit.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 **FONA**  
Nachhaltiges  
Wassermanagement  
BMBF

**NaWaM**  
Nachhaltiges Wassermanagement



**ERWAS**

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte  
für eine energieeffiziente und  
ressourcenschonende Wasserwirtschaft

**Autorenübersicht:**

<b>Projektpartner</b>	<b>Autor</b>
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität Kaiserslautern Paul-Ehrlich Str. 14, D-67663 Kaiserslautern	Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt Dipl.-Ing. Oliver Gretzschel Dipl.-Ing. Michael Schäfer Dr. Frank Huesker Dr.-Ing. Henning Knerr
Wupperverband Untere Lichtenplatzer Str. 100 D-42289 Wuppertal	Dipl.-Ing. Dirk Salomon Artur Bidlingmaier, B.Eng.
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik Bergische Universität Wuppertal Rainer-Gruenter-Str. 21, D-42119 Wuppertal	Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek Tobias Kornrumpf, M.Sc.
Transferstelle Bingen (TSB) Geschäftsbereich des ITB – Institut für Innovation, Transfer und Beratung gemeinnützige GmbH Berlinstraße 107 a, D-55411 Bingen	Prof. Dr.-Ing. Ralf Simon Babett Hanke, M.Sc. Verena Honeck, M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Tobias Langshausen Alexander Keil, M.Sc.
iGas energy GmbH Cockerillstraße 100 D-52222 Stolberg	Karl-Heinz Lentz Swen Lontzek Robert Halver
Stadtwerke Radevormwald GmbH ( SWR.) Am Gaswerk 13 D-42477 Radevormwald	Christoph Richtarski Marvin Roch
Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft Untere Lichtenplatzer Str. 100 D-42289 Wuppertal	Dr.-Ing. Gerd Kolisch Philipp Pyro, M.Sc. Dipl.-Ing. Yannick Taudien Dr.-Ing. Inka Hobus
BBH Becker Büttner Held Rechtsanwälte · Wirtschaftsprüfer · Steuerberater   PartGmbH Magazinstraße 15-16 D-10179 Berlin	Daniel Schiebold Thomas Charles Jana Siebeck

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1 -</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	DAS PROJEKT ARRIVEE.....	1
<b>2 -</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>3</b>
2.1	GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN .....	3
2.2	FLEXIBILITÄTSOPTIONEN UND -POTENZIALE AUF KLÄRANLAGEN.....	4
2.3	ENTWICKLUNG TECHNISCHER ANLAGENKONZEPTE .....	7
2.4	MODELLREGION RADEVORMWALD.....	10
2.5	FLEXIBLER BETRIEB DER PILOT-KLÄRANLAGE .....	11
2.6	ANALYSE DES MITTELSPANNUNGSNETZES.....	15
2.7	INTEGRATION IN EIN VIRTUELLES KRAFTWERK .....	16
2.8	WIRTSCHAFTLICHKEIT .....	17
2.9	RECHTLICHE UND POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	19
2.10	POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN .....	20
<b>3 -</b>	<b>FAZIT &amp; HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN.....</b>	<b>23</b>
3.1	ZENTRALE ERKENNTNISSE.....	23
3.2	TECHNISCHE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN .....	24
3.3	ENERGIERECHTLICHE HINWEISE FÜR BETREIBER .....	25
3.4	POLITISCHE FORDERUNGEN AN DEN GESETZGEBER .....	26
<b>4 -</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>28</b>

**BILDVERZEICHNIS**

Bild 1:	Projektstruktur und Verknüpfung der Arbeitspakete im Projekt <i>arrivee</i> .....	2
Bild 2:	Einsatzmöglichkeiten für Flexibilität, angepasst nach (Gretzschel et al. 2016).....	3
Bild 3:	Komponenten und Systemgrenzen <i>arrivee</i> .....	4
Bild 4:	Entwicklung der Stromproduktion auf Kläranlagen mit den untersuchten Potenzialen in TWh/a (Schäfer et al. 2015).....	5
Bild 5:	Gestuftes Nutzungskonzept mit den relevanten Konzepten (I-V).....	7
Bild 6:	Statische Energiebilanz mit spezifischen Kennwerten basierend auf den Kennwerten der Kläranlagen der GK 5 für das Bezugsjahr 2035 unter optimierten Bedingungen für Klärgaserzeugung und Stromverbrauch .....	9
Bild 7:	Fließschema der Kläranlage Radevormwald.....	10
Bild 8:	Lageorientierte Darstellung des 10 kV Mittelspannungsnetzes .....	11
Bild 9:	Simulationsergebnisse zur Bereitstellung von pos./neg. Flexibilität aufgrund von Marktsignalen des Jahres 2035 (MRL) .....	14
Bild 10:	Leistungs-Energie-Diagramm des netzdienlichen Flexibilitätsbedarfs und Deckung durch Flexibilitätsoptionen im OG-2035 .....	15
Bild 11:	Doppelhöckertest für alle vier technischen Einheiten auf der KA Radevormwald.....	16
Bild 12:	Bereitstellung von positiver Regelleistung durch das Abschalten der Gebläse BB1 und BB2 und die Auswirkung auf die Ablaufwerte .....	17
Bild 13:	Kostenvergleich der Netzausbauvarianten je Szenario (Barwert 2015) im gesamten Netzgebiet .....	19

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1:	Ermittelte Kennwerte zur Potenzialabschätzung in Abhängigkeit der Größenklassen (Schäfer et al. 2017b) .....	6
Tabelle 2:	Zusammenfassung der Flexibilitätspotenziale der bundesweiten Kläranlagen, erweitert nach (Schäfer et al. 2017b).....	6
Tabelle 3:	Untersuchte <i>arrivee</i> -Anlagenkonzepte mit Kurzbeschreibung .....	8
Tabelle 4:	Übersicht der untersuchten Aggregate inkl. Kenngrößen zur Bereitstellung von Flexibilität auf der Kläranlage Radevormwald, (verändert nach (Schäfer et al. 2017a) ) .....	12
Tabelle 5:	Zusammenfassende Bewertung der Aggregatgruppen als Flexibilitätsoptionen .....	13

Nachstehend sind nach einer kurzen Darstellung der Ziele und der Struktur des BMBF-Verbundvorhabens *arrivee* die wesentlichen Projektergebnisse in komprimierter Form dargestellt ('Executive Summary'). Interessierte Leser werden auf die entsprechenden Kapitel des ausführlichen Schlussberichtes verwiesen. Die ausführliche Zusammenfassung wird auch als eigenständiges Dokument (unter [www.erwas-arrivee.de](http://www.erwas-arrivee.de)) per Download zur Verfügung gestellt.

# 1 - EINLEITUNG

## 1.1 Das Projekt *arrivee*

### 1.1.1 Projektziele und -inhalte

Ziel des BMBF-Verbundvorhabens „Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilernetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – *arrivee*“<sup>1</sup> ist die Integration der in Deutschland flächendeckend vorhandenen Kläranlagen mit Schlammfäulung in ein optimiertes Flexibilitäts- und Speicherkonzept, um damit einen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Das Klärgas, das auf diesen Anlagen bei der anaeroben Schlammfäulung anfällt, wird üblicherweise mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen), i.d.R. Blockheizkraftwerke (BHKW), nach Erfordernissen des Kläranlagenbetriebs zur Eigenversorgung verstromt. Kläranlagen mit Schlammfäulung bieten mit ihren vorhandenen KWK-Anlagen und den zugehörigen Gasspeichern hervorragende technische Voraussetzungen, um Flexibilität „in beide Richtungen“ zur Verfügung zu stellen.

In *arrivee* wurde eine Betrachtung zur Einbeziehung sowohl vorhandener Aggregate auf der Kläranlage als auch innovativer neuer Anlagenkomponenten zur Bereitstellung dieser Dienstleistungen unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit vorgenommen.

Im Vorhaben *arrivee* wurde eine integrierte Systemlösung an der Schnittstelle zwischen Abwasser- und Energiewirtschaft mit Aussagen zum flächendeckenden Einsatz der Techniklösungen in Deutschland erarbeitet. Dabei wurden unterschiedliche Anlagenkonzepte entwickelt und Handlungsempfehlungen für Stakeholder der Region formuliert. Mit den Projektergebnissen wurden zudem wichtige Grundlagen und Hinweise zur Integration von Kläranlagen mit separater, anaerober Schlammstabilisierung in ein Speicher- und Flexibilitätskonzept erarbeitet. Neben den im Fokus stehenden „Fäulungsanlagen“ richten sich die Projektergebnisse aber auch an Kläranlagenbetreiber aerob stabilisierender Kläranlagen, für die diese Thematik der Flexibilität ebenso eine Rolle spielen kann.

Die Überführung der in *arrivee* entwickelten innovativen Anlagenkonzepte zur kommerziellen Anwendungsreife und Vermarktung soll in einer nachfolgenden Projektphase umgesetzt werden.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
A.1  
im Bericht

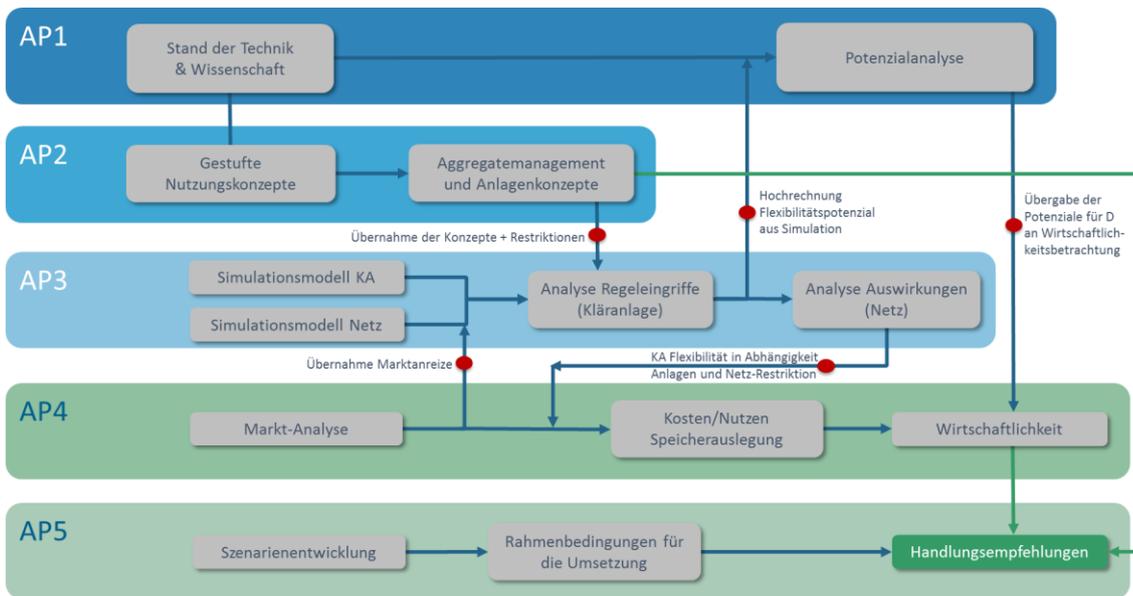
### 1.1.2 Projektstruktur

Das Projekt *arrivee* war in fünf Arbeitspakete (AP) mit jeweils interdisziplinärer Bearbeitung untergliedert. Die inhaltliche Verknüpfung der Arbeitspakete ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Eine Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete kann dem Kapitel A.2 des Schlussberichtes entnommen werden.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
A.2  
im Bericht

---

<sup>1</sup> Das Verbundvorhaben *arrivee* wurde vom Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „ERWAS – Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft“ gefördert.



**Bild 1:** Projektstruktur und Verknüpfung der Arbeitspakete im Projekt *arrivee*

## 2 - ERGEBNISSE

### 2.1 Grundlagen und Randbedingungen

Die temporär auftretenden Diskrepanzen zwischen Stromerzeugung und Strombedarf, insbesondere aufgrund nicht vorhersehbarer „Ereignisse“ erfordern den Einsatz von Flexibilität über unterschiedliche Zeitskalen und Märkte. Die Vermarktungen an Regelenergiemärkten und am Spot-Markt im Verbund (Pooling/Virtuelles Kraftwerk) sind auch für kleine Flexibilitäten möglich (vgl. Einsatzmöglichkeiten in Bild 2). Die meisten Abrufe erfolgen in der Sekundärregelleistung (SRL). Dies wird sich in Zukunft noch verstärken und es werden mehr Abrufstunden und ein Mehrbedarf an positiver Regelleistung vor allem bei der SRL erwartet. Im Jahre 2035 kann der Strompreis an der Börse bei den kurzfristigen Stromprodukten deutlich höhere Fluktuationen und vermehrt negative Preisausschläge aufweisen.

Darüber hinaus lassen sich die Flexibilitäten auch zur Behebung von lokalen Netzengpässen einsetzen. Die Ausgestaltung der Anreizsetzung für netzdienliches Verhalten wird zurzeit breit diskutiert. Die Einführung regionaler Flexibilitätsmärkte bietet hier eine mögliche Ausgestaltungsform.

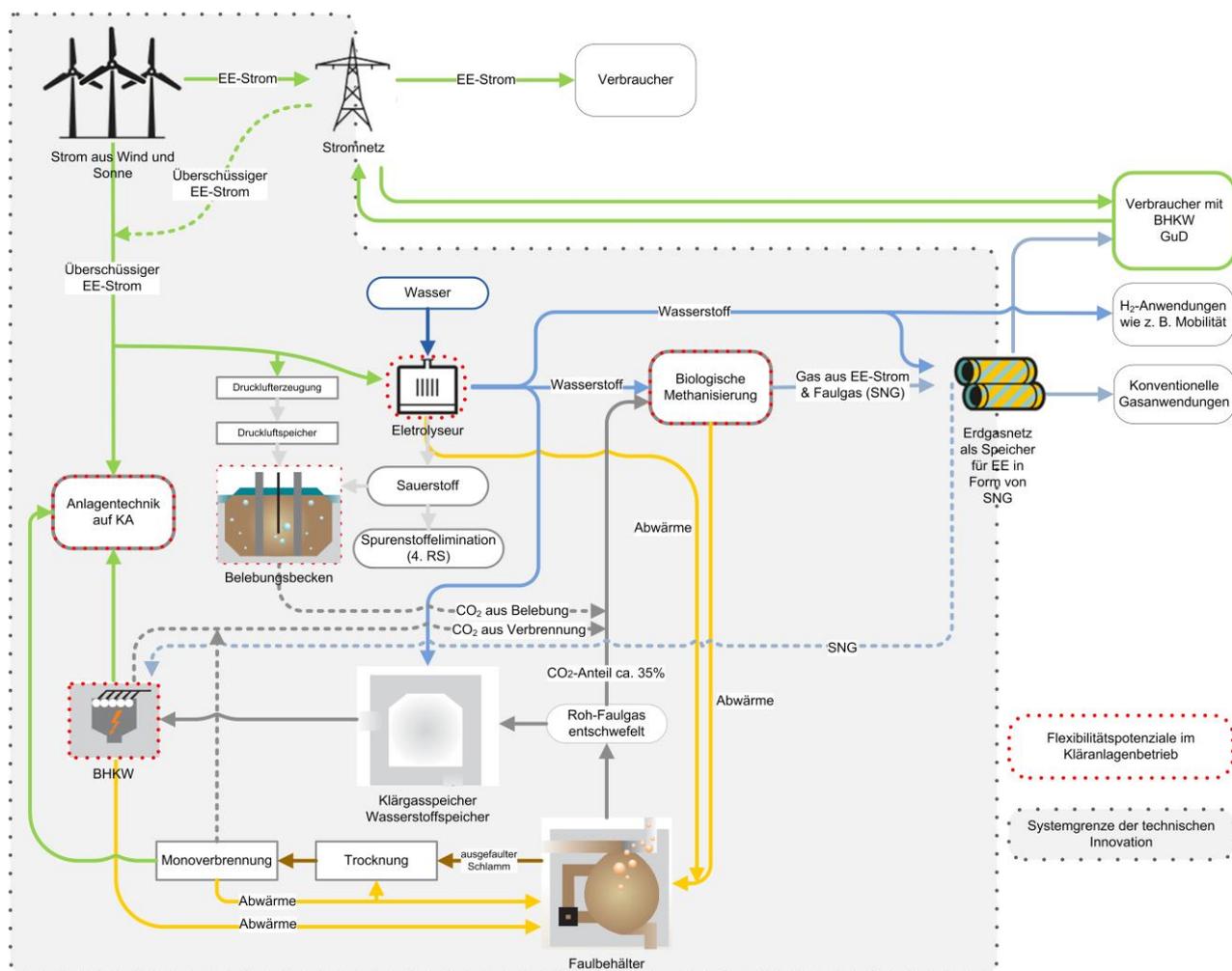


**Bild 2:** Einsatzmöglichkeiten für Flexibilität, angepasst nach (Gretzschel et al. 2016)

Kläranlagen können schon heute mit den vorhandenen KWK-Anlagen und den zugehörigen Gasspeichern systemdienliche Flexibilität bereitstellen. Mit der Nutzung der vorhandenen Stromverbraucher auf Kläranlagen kann weitere Flexibilität zur Verfügung gestellt werden. Hierbei wird zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Prozessen respektive klärprozessabhängigen und -unabhängigen Komponenten unterschieden. Die Bereitstellung der Kläranlagenflexibilität umfasst eine ausgeprägte Komplexität bzgl. der betrieblichen und organisatorischen Schnittstellen sowie vielfältige Abhängigkeiten hinsichtlich rechtlich relevanter Aspekte. In Bild 3 sind die möglichen Komponenten auf der Kläranlage sowie die Schnittstellen zum Strommarkt und Stromnetz aufgezeigt.

Durch die Einbindung innovativer und neuer Anlagenkomponenten am Standort der Kläranlage kann die Bereitstellung von Flexibilität erhöht werden. Weiterhin können die dabei entstehenden Gasprodukte ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $O_2$ ) vermarktet werden. Dabei wird der Vermarktung von  $H_2$  und  $CH_4$  ein größeres Potenzial zugeschrieben als einer Vermarktung von  $O_2$ . Letzteres kann jedoch auf der Kläranlage unmittelbar in unterschiedlichen Anwendungen genutzt werden.

Zur Einspeisung von  $H_2$  und  $CH_4$  ins Gasnetz sind verschiedene Kriterien zu beachten. Teilweise sind aufwendige Gasaufbereitungsprozesse erforderlich. Diese können aber z. B. durch eine biologische Methanisierung von Klärgas umgangen werden.



**Bild 3: Komponenten und Systemgrenzen arrivee**

Im Rahmen der technischen Auslegung von Verteilungsnetzen müssen unter anderem die technischen Grenzwerte für die Spannungshaltung und die Betriebsmittelauslastung berücksichtigt werden, um eine hohe Qualität der Versorgung mit elektrischer Energie zu gewährleisten. Im Rahmen von betrieblichen Regelungseingriffen lassen sich die Auslastung und die Spannungshaltung durch den Einsatz von Flexibilitätsoptionen im Netz positiv beeinflussen. Der Einflussbereich ist allerdings im Wesentlichen auf den Anschlussstrang und das vorgelagerte Umspannwerk beschränkt. Um solche Optionen bereits in der Planung zu berücksichtigen, muss der relevante Netzabschnitt durch ein Smart-Grid-System überwacht werden. Darüber hinaus muss der Netzbetreiber ein technisch- und rechtlich-verlässliches Zugriffsrecht auf die Flexibilitätsoptionen haben und der Einsatz sollte für den Netzbetreiber einen Kostenvorteil gegenüber Handlungsalternativen aufweisen. Ersteres wird durch ein Pooling von Anlagen in einem sogenannten Virtuellen Kraftwerk umgesetzt.

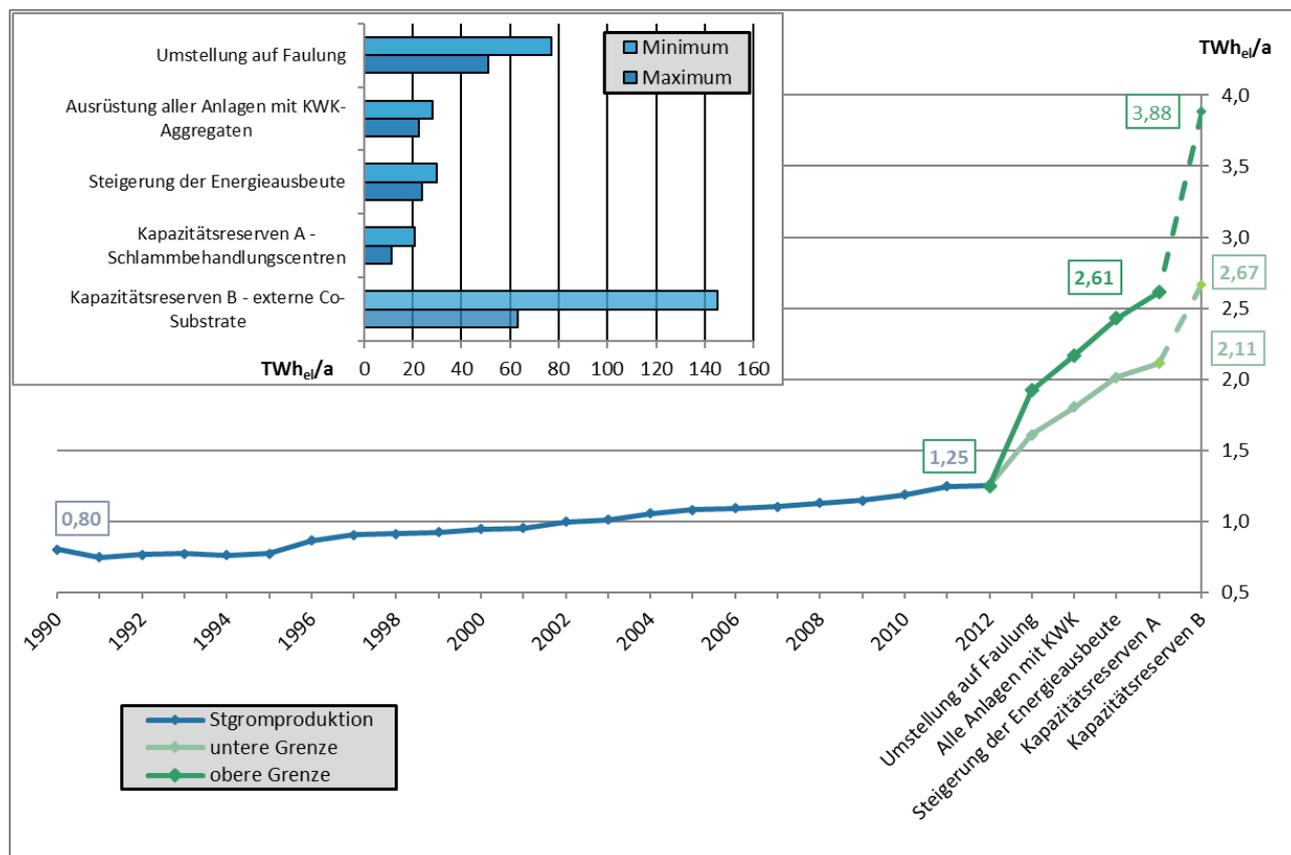
Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.1 & B.2.1  
im Bericht

## 2.2 Flexibilitätsoptionen und -potenziale auf Kläranlagen

Der Stromverbrauch einer Kläranlage wird von der Kläranlagengröße (Größenklasse), der Belastungssituation (Anschlussgröße) und dem Reinigungsverfahren (Stabilisierungsart und Reinigungsziel) beeinflusst. Um die Flexibilitätspotenziale der Energieverbraucher zu prüfen, wurde neben dem Gesamtverbrauch der Kläranlagen auch die Verteilung des Stromverbrauchs auf die Aggregatgruppen untersucht. Unter Berücksichtigung der angeschlossenen Einwohner in Deutschland kann ein Flexibilitätspotenzial der Kläranlagenaggregate von 338 MW<sub>el</sub> (positiv) und -123 MW<sub>el</sub> (negativ) abgeleitet werden (vgl. Tabelle 2).

Die relevanten Stromerzeuger auf Kläranlagen sind Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) sowie Netzersatzanlagen (NEA). Die Auswertung der Faulgasproduktion in Deutschland ergab für das Jahr 2012 einen Gasanfall von 810,7 Mio. m<sup>3</sup>/a bzw. eine Stromproduktion aus Faulgas von 1,25 TWh<sub>el</sub>/a (vgl.

(DESTATIS 2013a). Mit der Ausrüstung aller vorhandenen Kläranlagen mit Schlammfaulung mit KWK-Anlagen, Umrüstung aller Belebungsanlagen (> 10.000 E) auf Schlammfaulungsanlagen, Maßnahmen zur Steigerung der Energieausbeute und Ausnutzung von Kapazitätsreserven kann die Faulgasproduktion deutlich gesteigert werden. Unter optimierten Randbedingungen konnte eine Erhöhung der Stromproduktion auf 2,11 bis 3,88 TWh<sub>el</sub>/a abgeschätzt werden (vgl. Bild 4).



**Bild 4:** Entwicklung der Stromproduktion auf Kläranlagen mit den untersuchten Potenzialen in TWh/a (Schäfer et al. 2015)

Zur Abschätzung des Flexibilitätspotenzials der Stromerzeuger sind neben den Daten zur Energieerzeugung detaillierte Werte über den Gasanfall, das Gasspeichervolumen und die Größe der KWK-Anlagen erforderlich. In Tabelle 1 sind relevante Daten von Faulungsanlagen aus Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz für die Bestimmung des spezifischen Gasspeichervolumens und der spezifischen elektrischen Leistung der installierten BHKWs dargestellt, die zur Abschätzung der Flexibilitätserstellung benötigt werden.

Durch die Analyse des Energiebedarfs und der Energieerzeugung wurde das Potenzial zur Bereitstellung von Flexibilität ermittelt (vgl. Tabelle 2). Dabei sind die Aggregateleistungen und die Dauer der Leistungserbringung (verschiebbare elektrische Energiemenge) die maßgebenden Faktoren. Hierzu wurde ein Aggregatenmanagement entwickelt, dessen Kennzahlen dazu dienen, relevante Aggregate zu identifizieren und als Flexibilitätsbausteine in einen flexiblen Anlagenbetrieb kontrolliert einbinden zu können.

Die bundesweite Analyse zeigt, dass Kläranlagen bereits heute ausreichend Potenziale aufweisen, um die elektrischen Versorgungsnetze mit unterschiedlichen Dienstleistungen zu unterstützen und somit gestaltend Einfluss zu nehmen. Das Flexibilitätspotenzial der KWK-Anlagen, KA Aggregate und NEA kann auf 650 MW<sub>el</sub> (positiv) und -388 MW<sub>el</sub> (negativ) abgeschätzt werden (vgl. Tabelle 2). Durch die Hebung anlagenspezifischer Potenziale lässt sich dieser Einfluss deutlich steigern. Sowohl mit ihren Stromerzeugungsanlagen (KWK-Anlagen, NEA) als auch mit vorhandenen Kläranlagenaggregaten kann in nennenswertem Umfang Flexibilität bereitgestellt werden.

**Tabelle 1: Ermittelte Kennwerte zur Potenzialabschätzung in Abhängigkeit der Größenklassen (Schäfer et al. 2017a)**

Parameter	Symbol	Einheit	Median		
			GK 1-3	GK 4	GK 5
Anzahl ausgewerteter Anlagen*	n	[-]	16	176	47
Faulgasproduktion*	$Q_{FG,d}$	[Nm <sup>3</sup> /d]	240,4	614,1	3.451,3
Gasspeicher*	$V_{Sp}$	[m <sup>3</sup> ]	75	270	1000
Spezifisches Gasspeichervolumen*	$V_{Sp}$	[l/E <sub>Ausbau</sub> ]	8,80	8,33	6,71
Wirkungsgrad BHKW*	$\eta_{el}$	[-]	31,3	32,0	35,0
Installierte BHKW-Nennleistung*	P	[kW]	112,0	267,9	1.049,2
Elektrische Anschlussleistung BHKW*	$P_{el}$	[kW <sub>el</sub> ]	35	90	337
Spezifische elektrische Leistung BHKW*	$P_{el,spez}$	[W/E]	4,06	2,15	2,00
Max. Gasverbrauch BHKW <sup>1</sup>	$Q_{BHKW}$	[Nm <sup>3</sup> /h]	16,66	40,27	158,97
Zeit bis Speicher geleert <sup>2</sup> (bei Nennleistung inkl. Gasproduktion)	$t_{Entleerung}$	[h]	6,43	8,22	7,62
Zeit bis Speicher gefüllt <sup>3</sup>	$t_{Füllung}$	[h]	8,25	11,74	8,85
* Medianwert aus der Datenerhebung					
<sup>1</sup> Berechnet über: $Q_{BHKW} = \frac{P [kW]}{H_{i,Faulgas} [\frac{kWh}{m^3}]}$					
<sup>2</sup> Berechnet über: $t_{Entleerung} = \frac{Q_{FG,d} [\frac{m^3}{d}]}{24 * Q_{BHKW} [\frac{m^3}{h}]} + \frac{V_{Sp} [m^3]}{Q_{BHKW} [\frac{m^3}{h}]}$					
<sup>3</sup> Berechnet über: $t_{Füllung} = \frac{V_{Sp} [m^3]}{Q_{FG,h} [\frac{m^3}{h}]}$					

Des Weiteren sind ausreichend große Gaspotenziale auf Kläranlagen vorhanden, die es ermöglichen, sinnvoll Power-to-Gas-Konzepte zu implementieren und zukünftig Gase für eine Langzeitspeicherung bereit zu stellen. Viele Kläranlagenstandorte werden mit geeigneten Bewirtschaftungskonzepten in der Lage sein, die zukünftig erwartete und wachsende Nachfrage an Flexibilitätsprodukten anteilig in relevanter Größe zu bedienen.

**Tabelle 2: Zusammenfassung der Flexibilitätspotenziale der bundesweiten Kläranlagen, erweitert nach (Schäfer et al. 2017a)**

	Leistung P		Zuschaltbare Energiemenge	Abschaltbare Energiemenge
	[MW <sub>el</sub> ]		[MWh/d]	[MWh/d]
NEA	(+) 98,0	-	48,3	-
KWK-Anlagen	(+) / (-) 214,98		1.685,59	2.146,35
KA-Aggregate	(+) 337,8	(-) 122,90	∑ 34,01 – 323,25	∑ 184,25 – 244,91
<b>∑</b>	<b>(+) 650,78</b>	<b>(-) 337,88</b>	<b>1.767,90 – 2.057,14</b>	<b>2.330,60 – 2.391,26</b>

Unter der Annahme, dass heutige Verteilungsnetze und insbesondere Mittelspannungsnetze mit Kläranlagen für einen zulässigen Netzbetrieb ausgelegt sind, ist auch bei einer marktdienlichen oder systemdienlichen flexiblen Betriebsweise der vorhandenen Aggregate auf der Kläranlage kein dadurch bedingter zusätzlicher Netzausbaubedarf zu erwarten. Eine Leistungssteigerung durch größere BHKW oder der Anschluss von PtG-Anlagen macht jedoch eine Prüfung der Netzkapazitäten erforderlich.

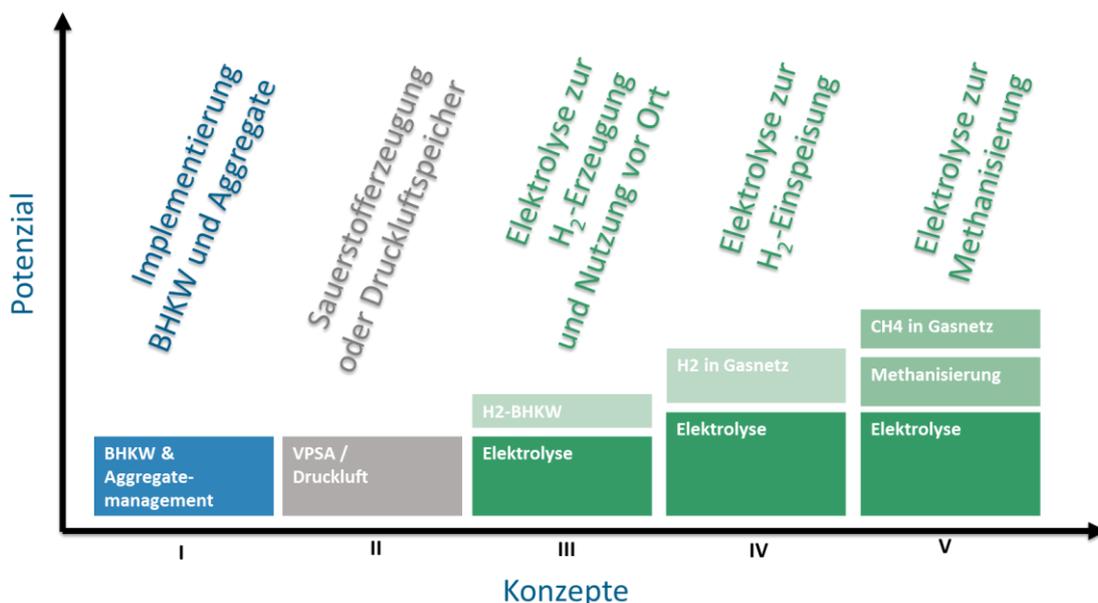
Das Einsparpotenzial beim Verteilnetzausbau lässt sich hiermit in erster Näherung mit bis zu 38 Mio. € bis 2035 beziffern. Anlagenkonzepte, die über die netzdienliche Betriebsweise des Klärgas-BHKW hinausgehen, sind in diesem Einsparpotenzial noch nicht berücksichtigt und können dieses weiter steigern. Einschränkend für diese Potenzialabschätzung gilt jedoch unter anderem, dass ein tatsächlicher Handlungsbedarf in allen Netzen mit Anschlusspunkten von Kläranlagen vorliegen muss.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.2.2 & 2.3  
im Bericht

## 2.3 Entwicklung technischer Anlagenkonzepte

### 2.3.1 Beschreibung Anlagenkonzepte

Flexibilität kann auf Kläranlagen mit Faulung durch Stromerzeugungsanlagen (KWK-Anlagen) oder Stromverbraucher (z.B. Gebläse, Rücklaufschlammumpfen, Zentrifugen) bereitgestellt werden. Die Einbindung einzelner Aggregate der Kläranlagen kann mit einem Aggregatemanagement erfolgen (Konzept I). Neben dem Aggregatemanagement vorhandener Stromerzeuger und -verbraucher wurden innovative Anlagenkonzepte zur Bereitstellung von Flexibilität auf Kläranlagen untersucht (vgl. Bild 5). Hierbei wurde ein Schwerpunkt auf die Nutzung der Power-to-Gas-Technologie (PtG) gelegt.



**Bild 5:** Gestuftes Nutzungskonzept mit den relevanten Konzepten (I-V).

Die Herstellung von Wasserstoff kann über die gängigen Verfahren der Wasserelektrolyse mit alkalischen Elektrolyten, der PEM Elektrolyse und der PEM Elektrolyse mit hydraulischem Stack erfolgen. Da im Rahmen des arrivee Projekts eine schnell regelbare und hochdynamische Produktionsanlage benötigt wird, bietet die PEM Technologie die beste Alternative. Da für Elektrolyseure bislang keine kläranlagenspezifischen Anforderungen vorliegen, war keine individuelle Anpassung der Elektrolyse an die Kläranlage erforderlich. Für die möglichst verlustfreie und kostengünstige Wasserstoffspeicherung zur Nutzung von Regenergie bzw. Überschussstrom bieten sich als Alternativen ortsfeste Speicher, Druckgasflaschen und Druckgasflaschenbündel oder Röhrenspeicher an. Langfristig bietet die LOHC Technologie und Metallhydridspeicher weitere Optionen für Speicherung von Wasserstoff. Den Wasserstoff zeichnet sein variables Nutzungsspektrum in industriellen Prozessen, der Nutzung im Mobilitätssektor und der Rückverstromung aus. Der produzierte Wasserstoff wird im Rahmen der untersuchten Konzepte unterschiedlich eingesetzt.

Eine zusammenfassende Beschreibung der Konzepte erfolgt in Tabelle 3. Die erforderliche Anlagentechnik für die einzelnen Konzepte wurde für 3 Modellkläranlagen mit einer Anschlussgröße von 20.000, 50.000, 150.000 E sowie für die Pilotkläranlage Radevorwald dimensioniert.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.3.2 & 3.3  
im Bericht

**Tabelle 3: Untersuchte arrivee-Anlagenkonzepte mit Kurzbeschreibung**

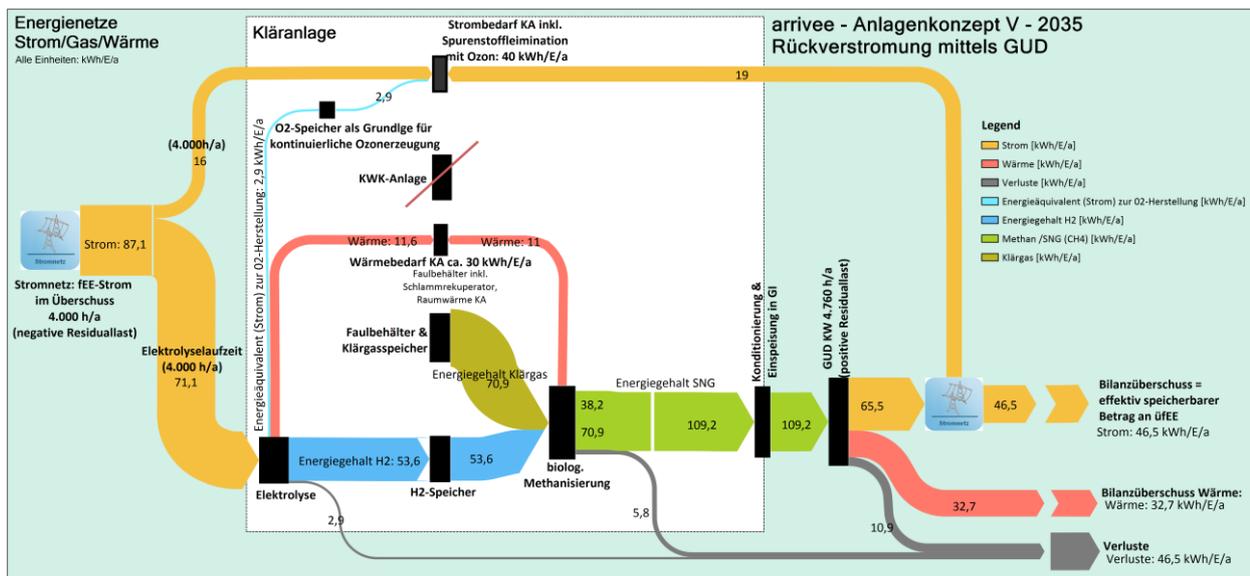
Anlagenkonzepte in arrivee	- 0 - Status-Quo	Referenzkonzept: Die Kläranlage wird mit Fokus auf Eigenstromproduktion gefahren, keine flexible Interaktion mit dem der Energiewirtschaft.
	- I - Status-Quo-Flex	Der flexible Betrieb richtet sich auf den Anlagenbestand. Dabei werden sowohl die Potenziale des Aggregate-managements als auch der KWK in Verbindung mit den entsprechenden Gasspeichern genutzt.
	- IIa - Druckluft	Die Bereitstellung negativer Flexibilität wird durch die Möglichkeit der Druckluftherzeugung erhöht. Diese wird gespeichert und kann anstatt der Belüftungsaggregate der Biologischen Stufe verwendet werden.
	- IIb - VPSA	Die Flexibilität wird durch die Erzeugung von Sauerstoff mittels VPSA erhöht. Dieser wird unter Druck gespeichert und kann dann zeitversetzt für die Belüftung der biologischen Stufe zu dosiert oder als Reinsauerstoffbelüftung verwendet werden. Ein weiterer Anwendungsbereich kann die Nutzung als Ausgangsprodukt für die Ozonherstellung zur Spurenstoffelimination. Dadurch kann Belüftungsenergie eingespart und ein zusätzliches Potenzial für positive Flexibilität gewonnen werden.
	- III - H <sub>2</sub> -Nutzung	Dieses Konzept ergänzt den Anlagenbestand um den Baustein der Wasserelektrolyse zur Umwandlung von überschüssigem EE-Strom in speicherfähigen Wasserstoff. Der H <sub>2</sub> wird direkt auf der Anlage verwertet. Es bestehen folgende Optionen: H <sub>2</sub> zu einem Anteil von 10% zum Klärgas beimischen oder Betrieb eines H <sub>2</sub> -BHKW in Kombination mit einem H <sub>2</sub> -Speicher. Darüber hinaus kann der Sauerstoff einer weiteren Verwendung zugeführt werden. Verwertungspfade sind: Belüftung oder die Verwertung im Rahmen einer Ozonierung einer Spurenstoffelimination.
	- IV - H <sub>2</sub> -Einspeisung	Bei diesem Konzept wird die Kläranlage zum Langzeitspeicher indem sie Überschussstrom in einen chemischen Energieträger (H <sub>2</sub> ) umwandelt und ins Gasnetz einspeist. Der Sauerstoff kann auch hier wie in Konzept III auf der Kläranlage genutzt werden. Die H <sub>2</sub> -Einspeisung wird beschränkt durch die Vorgaben des Gasnetzbetreibers.
	- V - Methanisierung	Dieses Konzept kombiniert den Baustein der Wasserelektrolyse mit dem Prozess der Methanisierung des anfallenden Klärgases in einem separaten Reaktor. In diesem erfolgt der Prozess der biologischen Methanisierung. Das entstehende hochreine Methan kann ins Gasnetz eingespeist werden. Im Gegensatz zur Wasserstoffeinspeisung bestehen für die Methaneinspeisung keine Einschränkungen.

### 2.3.2 Bilanzierung der Energieströme

Für das Anlagenkonzept V erfolgte eine Bilanzierung der Energieströme Strom, Wärme und Gas auf der Kläranlage sowie der zu- und abgeführten Energieströme um das Flexibilitätspotenzial abzuschätzen. In diesem Konzept wird das erzeugte SNG inkl. des Methananteils im ursprünglichen Klärgas vollständig in das Gasnetz, das als flexibler Langzeitspeicher fungiert, eingespeist. Um die maximalen Langzeitspeichpotenziale mittels Methanisierung zu erschließen, wurde angenommen, dass die Kläranlage zu diesem Zweck nicht mehr über KWK-Technik zur Eigenstromerzeugung verfügt. Die Rückverstromung des erzeugten Speichergases erfolgt dabei über hocheffiziente GuD-Kraftwerke mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 60 %, die positive Flexibilität bereitstellen. Die Kläranlage bezieht ihren gesamten Strom aus dem Netz. Hiervon sind 4.000 h EE-Überschussstrom, in den übrigen 4.760 h eines Jahres wird davon ausgegangen, dass Anteile des im GuD erzeugten Stroms bezogen werden. Die erforderliche Wärme für die Faulung wird von der Elektrolyse und Methanisierung zur Verfügung gestellt. Ggf. vorhandene Defizite können mittels Wärmepumpe und Wärmespeicher ausgeglichen werden (vgl. Bild 6).

Mit dem innovativen Ansatz kann die Kläranlage in Zukunft eine Nettolangzeitspeicherkapazität von ca. 46,5 kWh/E/a zur Verfügung stellen (heute theoretisch ca. 25 kWh/E/a). Mit der Nutzung von Überschussstrom für den Betrieb der KA und der Elektrolyse kann eine Bruttospeicherkapazität von in Zukunft 71 kWh/E/a erreicht werden (heute ca. 56 kWh/E/a). Der produzierte Sauerstoff kann zur Ozonbereitstellung für eine 4. Reinigungsstufe eingesetzt werden.

Dieses Anlagenkonzept stellt die derzeit für Kläranlagen von ihren Betreibern formulierten Ziele der „bilanziellen Energieneutralität“ nicht in Frage. Vielmehr zeigt es auf, dass Kläranlagen zu mehr in der Lage sind, als weitgehend losgelöst vom Energiemarkt und den sich dort abzeichnenden Änderungen nur auf Eigenstromproduktion zu setzen. Eine solche Konzeption erlaubt es die Langzeitspeicherpotenziale des Speichergases „Klärgas“ vollständig zu erschließen.



**Bild 6:** Statische Energiebilanz mit spezifischen Kennwerten basierend auf den Kennwerten der Kläranlagen der GK 5 für das Bezugsjahr 2035 unter optimierten Bedingungen für Klärgaserzeugung und Stromverbrauch, nach (Schäfer und Gretschel 2016)

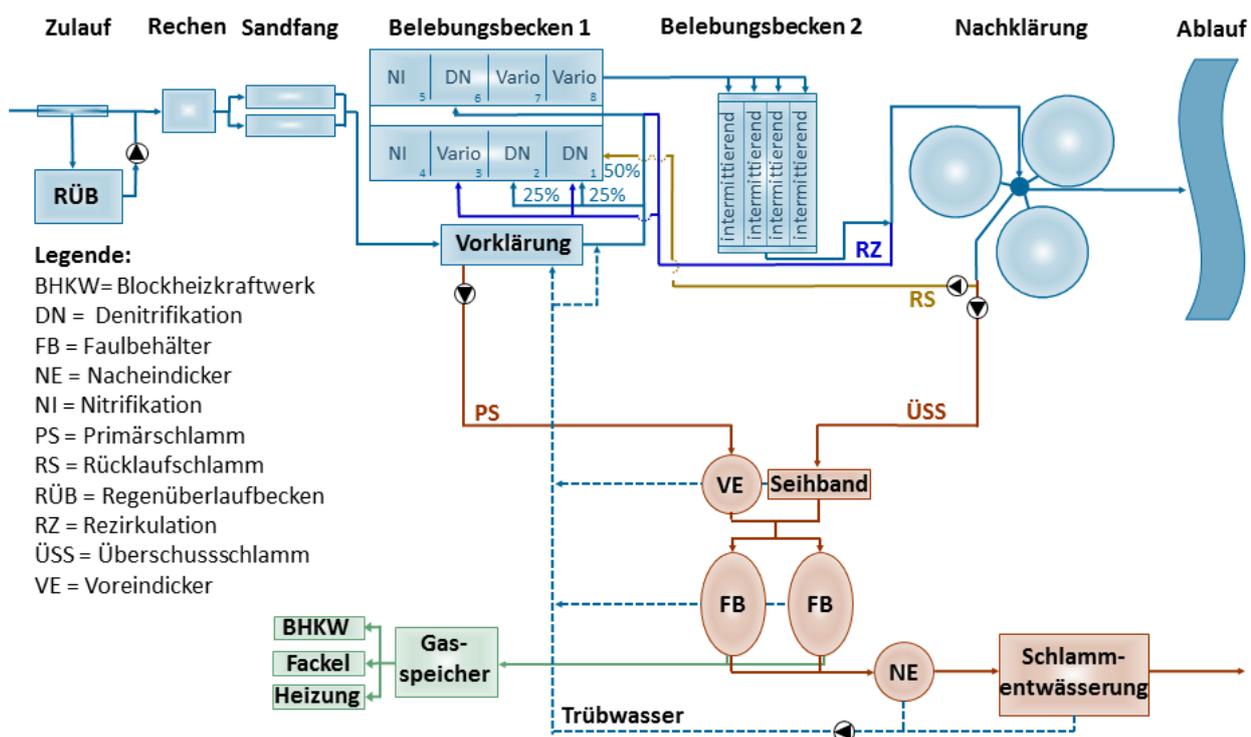
Insbesondere die Konzepte der Elektrolyse mit Einspeisung ins Gasnetz weisen ein sehr hohes Flexibilitätspotenzial (bis zu 1,7 GW negativ und 0,6 GW positiv) auf und verfügen über relevante Beiträge für eine Langzeitspeicherung von volatilem EE-Überschussstrom (> 3 TWh bei H<sub>2</sub>-Einspeisung und > 9,5 TWh bei CH<sub>4</sub>-Einspeisung). Darüber hinaus setzen die beiden Konzepte IV und V die Sektorkopplung zwischen Strom- und Gasmärkten konkret und konsequent um. Konzept V erlaubt es die Langzeitspeicherpotenziale der vorhandenen Speichergase umfangreich zu erschließen.

Der Standort Kläranlage ist insbesondere für die Elektrolysekonzepte von Bedeutung, weil dort die Stoff- und Energiekreisläufe geschlossen werden können: Die Kläranlage kann den bei der Elektrolyse anfallenden Sauerstoff nutzen (in der Belüftung oder als Grundlage für eine Ozonierung) und darüber hinaus auch die Abwärme verwerten, i. B. dann wenn das BHKW zunehmend als positiver Flexibilitätsanbieter aktiviert wird (Konzept IV), die BHKW zunehmend stromeffizienter werden oder aber ggf. in Zukunft kein BHKW mehr auf der Kläranlage betrieben wird (Konzept V). Der für eine Methanisierung erforderliche Rohstoff CO<sub>2</sub> ist im Faulgas vorhanden. Dieses kann im Rahmen der biologischen Methanisierung einspeisefähig aufbereitet werden. Damit sind Kläranlagen hervorragend geeignete Standorte zur Umsetzung der PtG- Technologie und ein potenzieller Baustein für eine bundesweite Langzeitspeicherstrategie.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.3.3  
im Bericht

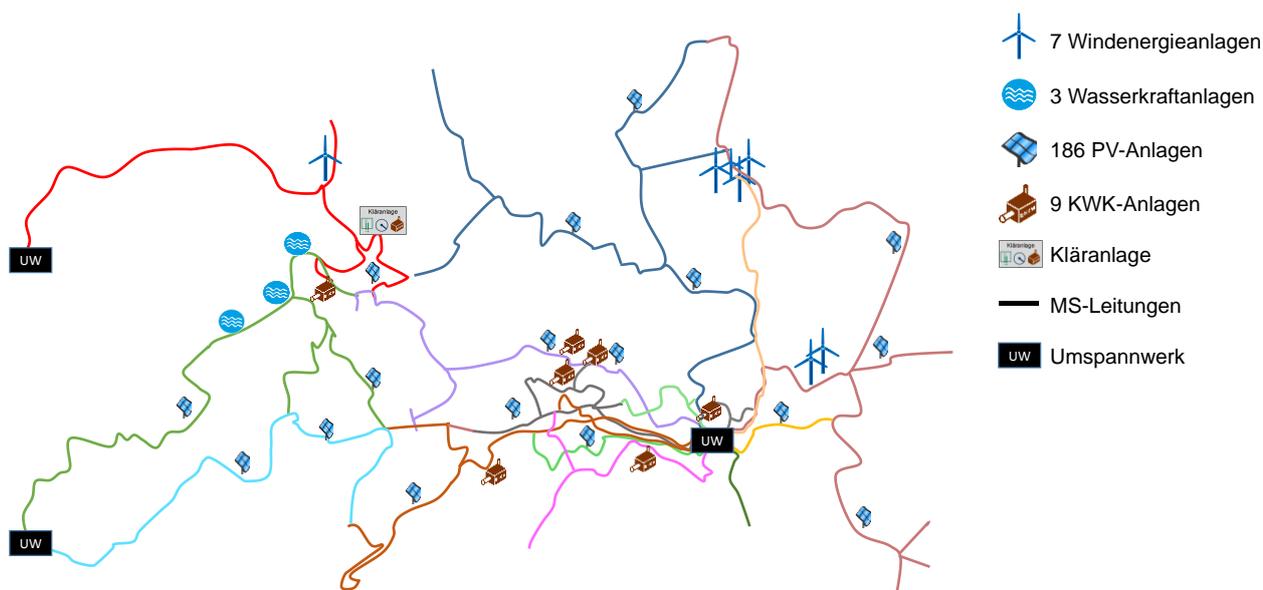
## 2.4 Modellregion Radevormwald

Die Kläranlage Radevormwald liegt in einer ländlichen Region in Nordrhein-Westfalen. Sie zeichnet sich durch einen klassischen und damit repräsentativen Aufbau einer kommunalen Kläranlage aus. Im Klärwerk Radevormwald wird das Abwasser aus Radevormwald sowie aus den Stadtteilen Lennep und Bergisch Born gereinigt. Die Kläranlage Radevormwald mit einer Ausbaugröße von  $EW = 66.700$  E gehört zu der Größenklasse 4 (AbwV Anhang 1). An der Kläranlage waren im Jahr 2014 im Durchschnitt 58.000 Einwohner (berechnet über CSB) angeschlossen. Der verfahrenstechnische Aufbau der Anlage bietet relevante Flexibilitätspotenziale vor allem in der biologischen Stufe, wemgleich die tageszeitlich und meteorologisch bedingten Belastungsschwankungen der Kläranlage erheblich sind.



**Bild 7:** Fließschema der Kläranlage Radevormwald

Das Mittelspannungsnetz in Radevormwald umfasst sowohl städtisch und vorstädtisch geprägte Bereiche als auch ländliche Netzausläufer. Das Versorgungsnetz setzt sich dabei aus 144 km Mittelspannungs- und 168 km Niederspannungsnetz zusammen. Die Nennspannung auf Mittelspannungsebene beträgt 10 kV. Der Verkabelungsgrad liegt bei rund 88 % und wurde in den letzten Jahren sukzessiv erhöht. Drei Umspannwerke dienen zum Anschluss des Versorgungsgebietes an das übergelagerte 110 kV Hochspannungsnetz. Von den Umspannwerken werden über insgesamt 23 Mittelspannungsabgänge 186 Ortsnetzstationen (ONS) und 77 Kundenstationen versorgt. Die Jahreshöchstlast des gesamten Versorgungsgebietes liegt bei rund 30 MW.



**Bild 8:** Lageorientierte Darstellung des 10 kV Mittelspannungsnetzes

Die dominierende Technologie bei der dezentralen Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energiequellen ist die Windenergie. Darüber hinaus sind im Netzgebiet Photovoltaikanlagen und Wasserkraftanlagen angeschlossen (vgl. Bild 8). Im Rahmen der entwickelten Szenarien wird im Wesentlichen von einem weiteren Ausbau der Windenergie- und Photovoltaik ausgegangen.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.3.1  
im Bericht

## 2.5 Flexibler Betrieb der Pilot-Kläranlage

### 2.5.1 Aggregatmanagement

Mit einer ausführlichen Analyse wurden für den Status-Quo Aggregate identifiziert, die für einen flexiblen Betrieb geeignet sind. Als Aggregatmanagement wird nachfolgend das gezielte Nutzen der Kläranlagenaggregate zur Bereitstellung von Flexibilität unter Einbeziehung der kläranlagenspezifischen Randbedingungen bezeichnet. Hierbei wird unter Einhaltung der primären Aufgabe, der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung, und einem vorausgesetzten energieeffizienten Betrieb der Anlagenteile ein methodisches Vorgehen vorgestellt, um freie Kapazitäten für einen flexiblen Betrieb kurzzeitig zu nutzen. Mit Hilfe des entwickelten Vorgehens, den entsprechenden Kennzahlen und Kontrollparametern sowie deren Überprüfung kann diese Managementstrategie als Hilfestellung zur Erfassung und Hebung von Flexibilitätspotenzialen auf Kläranlagen dienen.

Insgesamt wurden für die Pilotanlage Radevormwald 10 Aggregate bzw. Aggregatgruppen, ergänzend zu den BHKW und NEA, identifiziert und ausführlich hinsichtlich ihres Flexibilitätspotenzials untersucht. Die betrachteten Aggregate sind nachfolgend aufgeführt:

- Sandfanggebläse
- Belüftung (Biologische Stufe)
- Rührwerke (Biologische Stufe)
- Rezirkulationspumpen
- Rücklaufschlammumpen
- Rührwerke (Faulturm)
- Heizschlammpumpe (Faulturm)
- Rohschlammpumpe (Faulturm)
- Kammerfilterpresse
- Maschinelle Überschussschlammverdickung

Für die Beurteilung der Flexibilität der Aggregate wurden Abschaltversuche durchgeführt. Mit den Abschaltversuchen der Gebläse der biologischen Stufe konnte gezeigt werden, dass das Abschalten der kompletten Belüftung für 60 min zu keiner signifikanten Verschlechterung der Reinigungsleistung der Kläranlage führt. Das Abschalten der RS-Pumpen für 120 min führte ebenfalls zu keiner signifikanten Verschlechterung der Reinigungsleistung der Kläranlage. Somit konnte gezeigt werden, dass die RS-Pumpen genauso wie die

Gebläse für die Flexibilitätsdienstleistung angeboten werden können. Zusätzlich wurden auf zwei weiteren Anlagen des Wupperverbandes Abschaltversuche durchgeführt, die ebenfalls positiv verlaufen sind.

Auf Grundlage umfassender Literaturlauswertung, eigener Untersuchungen und den Erfahrungen bei der Umsetzung auf der Pilotanlage Radevormwald sind in Tabelle 4 Kennwerte zur Bereitstellung von Flexibilität zusammengestellt. Hierbei wurden Abschaltzeiten, Regenerationszeiten und Kontrollparameter für die einzelnen Aggregate zusammengestellt, um negative Auswirkungen auf den Reinigungsbetrieb auszuschließen bzw. zu minimieren. Die entwickelten Kennwerte sind als erste allgemeine Anhaltswerte zur Flexibilisierung der Aggregate zu verstehen. Diese können nicht uneingeschränkt übertragen werden, vielmehr sind die individuellen Randbedingungen der jeweiligen Kläranlage zu berücksichtigen. Eine Bewertung der einzelnen Aggregatgruppen zur Flexibilitätsbereitstellung erfolgt in Tabelle 5.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.3.3  
im Bericht

**Tabelle 4: Übersicht der untersuchten Aggregate inkl. Kenngrößen zur Bereitstellung von Flexibilität auf der Kläranlage Radevormwald, (verändert nach (Schäfer et al. 2017b) )**

Aggregatgruppe	Kontrollparameter	Abschalt-	Zu-	Rege-	Anfahrzeit	Abfahrzeit
		dauer	schaft-	nera-		
		(min./	dauer	tions-		
		max.)	(min./	zeit		
		[min]	max.)	[min]	[s]	[s]
Sandfang (intermittierende Belüftung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zulaufwassermenge</li> <li>Mindestbelüftungszeit</li> </ul>	5 - 60	5 - 60	30	60	60
Belebungsbecken 1+2 (intermittierende Belüftung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>NH<sub>4</sub> -Konzentration (biol. Stufe &amp; Ablauf Nachklärung)</li> <li>Zulauffracht (NH<sub>4</sub>-/ CSB)</li> </ul>	5 - 120	-	15	10	5
Belebungsbecken 1 (Rührwerk, intermittierend)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mindestlaufzeit</li> <li>Schaltzyklen</li> </ul>	15 - 30	15 - 40	30	60	60
Rücklaufschlammumpen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zulaufwassermenge</li> <li>Schlamm Spiegel</li> </ul>	5 - 120	-	60	60	5
Rezirkulationsumpen	<ul style="list-style-type: none"> <li>NO<sub>3</sub>-Konzentration (Ablauf Belebungsbecken)</li> </ul>	5 – 1.440	-	30	60	60
Heizschlammpumpe (Faulturm 1+2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur (min/max)</li> </ul>	15 – 1.440	15 – 1.440	60	10	5
Rohschlammpumpe (Faulturm 1+2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Füllstand Voreindicker/ Vorlagebehälter (min/max)</li> </ul>	15 - 360	-	60	120	60
Rührwerke (Faulturm 1+2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mindestlaufzeit,</li> <li>Schaumbildung</li> </ul>	15 - 30	-	15	180	60
Seihbandanlage/ ÜSS-Pumpen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trockensubstanzgehalt<sup>2</sup> (Belebungsbecken) bzw. ÜS-Entnahme</li> <li>Anlagenbesetzung</li> </ul>	-	120 – 1.440	15	60	900
Kammerfilterpresse 1+2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Füllstand Nacheindicker (min/max)</li> <li>Anlagenbesetzung (Personal)</li> </ul>	-	120	60	120	120
BHKW 1+2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Füllstand Gasspeicher (min/max)</li> <li>max. Schaltvorgänge</li> </ul>	5 - 1,440	5 – 1.440	5/30*	180	300
NEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Füllstand Treibstoffspeicher (min/max)</li> <li>Max. Nutzungsstunden</li> </ul>	-	15 - 240	2.5	60	30
		* negative Flexibilität/positive Flexibilität				

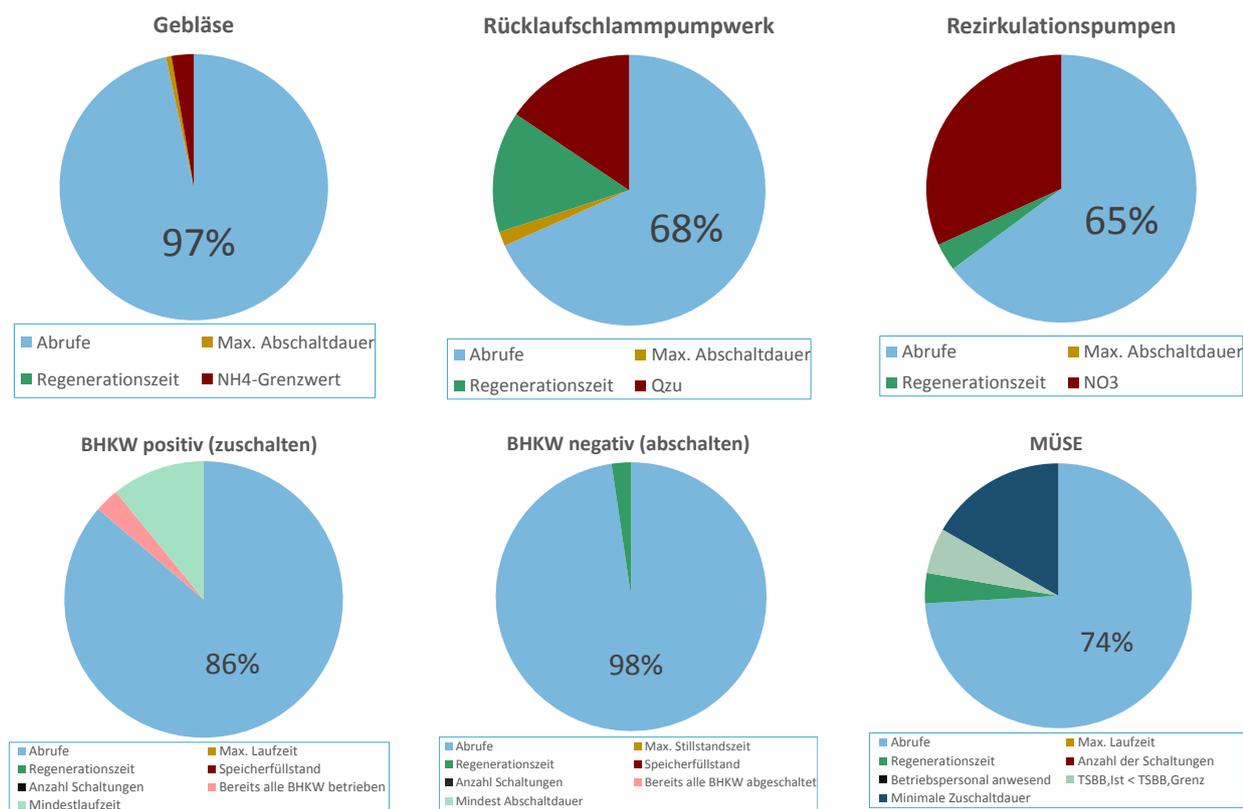
Tabelle 5: Zusammenfassende Bewertung der Aggregatgruppen als Flexibilitäts Optionen

Aggregatgruppe	Flexibilität	Leistungs- potenzial	Einbin- dung	Bemerkung zu möglichen Auswirkungen
Zulaufhebewerk	+	Gering - Mittel	Bedingt möglich	- Stark abhängig vom vorgelagerten Kanalnetz - Unterscheidung von unterschiedlichen Grenzwerten in Tag/Nacht sinnvoll
Sandfang	+	Gering - Mittel	Bedingt möglich	- Absetzen von org. Substanzen beachten - Wenig Spielraum zur Abschaltung bei guter FU-Steuerung
Belebungsbecken (Belüftung)	+ / -	Groß	Gut mög- lich	- Bei längeren Abschaltungen auf Änderung der Biozönose achten - Phosphor Rücklösung durch lange Anaerobzeiten möglich - Möglichkeit der Überbelüftung prüfen
Belebungsbecken (Rührwerke)	+	Mittel	Möglich	- Absetzverhalten prüfen - Abschaltung mit Belüftung ggf. nicht möglich
Rücklaufschlamm- pumpen	+ / -	Mittel	Gut mög- lich	- TS-Gehalt in der Belebung kann durch längere Abschaltung und großen Zufluss zu stark sinken
Rezirkulationspum- pen	+ / -	Gering	Gut mög- lich	- Je nach Anlagenbelastung Schwankungen im NO <sub>3</sub> -Ablauf
Heizschlammpumpe (Faulturm)	+ / -	Gering	Möglich	- Anpassung der Temperatur kann Auswirkungen auf die Biogasproduktion haben - Veränderungen in der Biozönose bei Temperaturen > 40°C über längere Zeiträume
Rohschlammpumpe (Faulturm)	+	Gering	Möglich	- Biogasproduktion abhängig von der Beschickung
Rührwerke (Faulturm)	+	Mittel	Bedingt möglich	- Auf Schaumbildung prüfen - Biogasproduktion könnte sinken - Absetzverhalten prüfen
Seihbandanlage/ ÜSS-Pumpen	-	Mittel	Möglich	- Abhängig von Relation des ÜSS-Anfalls und Aggregatleistung
Kammerfilterpresse	-	Mittel	Möglich	- Vorgang meist nicht zu unterbrechen - Meist nur im Schichtbetrieb möglich, da im Anschluss die Reinigung erfolgt
BHKW	+ / -	Groß	Gut mög- lich	- Schaltzyklen ggf. reglementiert (Garantieanspruch)
NEA	-	Groß	Gut mög- lich	- Je nach Speichergröße erhöhter Aufwand bei der Treibstoffbewirtschaftung

## 2.5.2 Analyse der Auswirkungen auf der Kläranlage (Modelltechnische Abbildung)

Um den Einfluss eines flexibilisierten Kläranlagenbetriebs auf Reinigungsleistung, Energieproduktion und Fremdbezug über einen längeren Zeitraum zu beurteilen, wurden die biologischen Prozesse der Abwasserreinigung und der Schlammbehandlung in dem Simulationsmodell ‚SIMBA‘ abgebildet. Die unterschiedlichen innovativen Anlagenkonzepte für die Bereitstellung von Flexibilität (vgl. Tabelle 3 Anlagenkonzepte) wurden in das Modell eingebunden. Für das Anlagenkonzept I wurde der flexibilisierte Betrieb von Gebläsen, Rücklaufschlamm-pumpen, Rezirkulationspumpen, maschineller Überschussschlammeindickung und BHKW berücksichtigt. Über aggregatespezifische Restriktionen (u. a. Ammoniumkonzentration im Ablauf der Belebung, Regenerationszeiten der Aggregate, Schalthäufigkeiten) wurde gewährleistet, dass der flexible Betrieb keine bzw. nur äußerst geringfügige Auswirkungen auf die Reinigungsleistung und die Betriebsabläufe der Kläranlage hat.

Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse eines flexiblen Betriebs für die untersuchten Aggregate der Kläranlage Radevormwald für den Betrachtungszeitraum 2035 für die Minutenregelleistung (MRL) dargestellt (vgl. Bild 9). Bei der MRL 2035 konnten die Abschaltensignale für die Gebläse unter Einhaltung der festgelegten Restriktionen zu 97 % bedient werden. Die Flexibilitätsbereitstellung der Rücklaufschlamm-pumpen und Rezirkulationspumpen sind im Vergleich zu den Gebläsen geringer. Die Rücklaufschlamm-pumpen werden hauptsächlich durch die Restriktion „Q<sub>zu</sub>“ begrenzt, um bei großen Wassermengen die Rück-führung des TS-Gehaltes aus der Nachklärung in die Belebung zu gewährleisten. Die Flexibilität der Rezirku-lationspumpen wird überwiegend über den Nitratgehalt im Ablauf der Belebung begrenzt, um eine ausrei-chende Denitrifikation sicherzustellen. Das Zuschalten der BHKW (positive Flexibilität) konnte bei MRL 2035 für 86 % der angefragten Signale bedient werden. Das Zuschalten wurde überwiegend durch die Mindest-laufzeit begrenzt. Das Abschalten der BHKW (negative Flexibilität) konnte bei MRL 2035 für 98 % der Anfra-gen durchgeführt werden.



**Bild 9: Simulationsergebnisse zur Bereitstellung von pos./neg. Flexibilität aufgrund von Marktsignalen des Jahres 2035 (MRL)**

Die Simulationen zeigen, dass eine Flexibilisierung der vorhandenen Verfahrenstechnik ohne eine Verschlechterung der Reinigungsleistung möglich ist. Die Aggregate mit der höchsten Leistung (Gebläse und BHKW) sind dabei am besten geeignet. Die Gebläse haben aufgrund schwankender Anlagenbelastung eine relativ hohe Varianz bei der bereitgestellten Leistung. Bei den BHKW kann immer eine definierte Leistung angeboten werden, sofern ein Betrieb in Teillast vermieden wird. Im Allgemeinen ist die Eignung eines Aggregats abhängig von der Charakteristik des betrachteten Marktes (Dauer der Abrufe, Häufigkeit der Abrufe, Prognostizierbarkeit/Planbarkeit). Durch die Flexibilisierung erhöht sich die Einspeisung ins Stromnetz zeitweise zwangsläufig (Erhöhung der Stromproduktion bei gleichzeitigem Abschalten von Verbrauchern). Bei Wiederanfahren zuvor abgeschalteter Verbraucher ergeben sich Leistungspeaks, welche allerdings durch eine Anpassung der Automatisierung vermieden werden könnten.

Im Konzept II wurde die Bereitstellung von Flexibilität durch die Erzeugung von Druckluft bzw. Reinsauerstoff mit EE-Überschussstrom untersucht. Bei beiden Konzepten werden die theoretisch substituierte Luftmenge und Stromverbrauch berechnet. In den innovativen Konzepten II-V werden die Einbindung einer Elektrolyse, die Nutzung der anfallenden Stoffströme und die erforderliche Speicherauslegung auf der Klär-

anlage beurteilt. Die bei der Elektrolyse anfallenden  $H_2$ -Mengen und unterschiedlichen Nutzungspfade ( $H_2$ -BHKW /  $H_2$ -Einspeisung / Methanisierung) werden für ein Jahr berechnet.

Die bei der Elektrolyse anfallenden Reinsauerstoffmengen liegen bei allen untersuchten Konzepten in einer Größenordnung, so dass sie in der biologischen Stufe gut eingesetzt werden und einen Teil der Belüftungsenergie substituieren können.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.3.4  
im Bericht

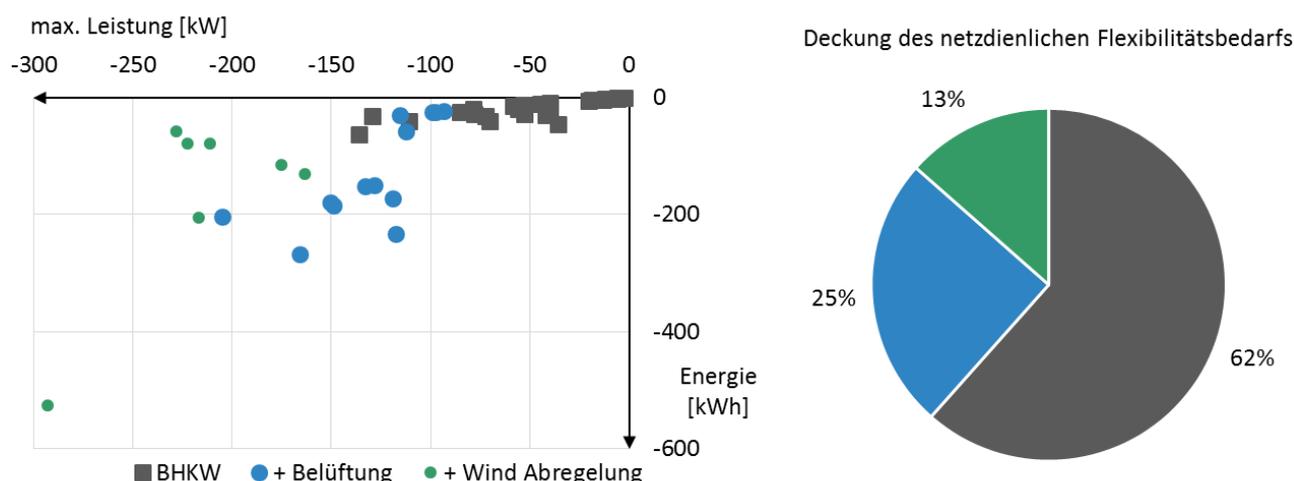
## 2.6 Analyse des Mittelspannungsnetzes

Im betrachteten Netzgebiet kommt es im Rahmen der untersuchten Szenarien zu Spannungsbandverletzungen, die durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien bedingt sind. Diese treten zeitlich sehr selten und sehr kurz auf und unterliegen keiner klaren Tages- oder Jahreszeitcharakteristik.

Der im Netzmodell berechnete Netzkapazitätskorridor dient als Eingangsgröße für das Kläranlagenmodell und die dynamische Simulation. Mit diesem Ansatz lässt sich analysieren, ob der Flexibilitätsbedarf durch die Kläranlage gedeckt werden kann und welche Auswirkungen eine netzdienliche Fahrweise auf den Betrieb der Kläranlage hat. Durch mehrere Simulationsläufe mit und ohne Berücksichtigung der Netzrestriktionen und mit unterschiedlichen Betriebs- und Vermarktungsstrategien lassen sich die Auswirkungen auf Netz- und Anlagenbetrieb ohne erneute Netzberechnung erfassen.

Der überwiegende Anteil des Flexibilitätsbedarfs (62 %) kann im Fallbeispiel durch die kurzzeitige Abschaltung des Klärgas-BHKW gedeckt werden. Für weitere 25 % der Fälle ist die Zuschaltung weiterer Belüftungsaggregate erforderlich und als Ultima Ratio wird in 13 % der Fälle noch die Windenergieanlage teilweise abgeregelt. Ohne die Flexibilität der Kläranlage wäre dies sonst in allen Fällen erforderlich (ca. 3,4 MWh/a). Der Anteil der abgeregelten Energie kann durch die Flexibilität der Kläranlage um 92 % reduziert werden.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass der Einsatz der Kläranlagenflexibilität grundsätzlich möglich ist und eine sinnvolle Option zur Reduzierung der abgeregelten Energie darstellt. Neben der Kläranlage können aber auch noch weitere Flexibilitätsoptionen im kritischen Netzabschnitt vorhanden sein. Die Sensitivität (Hebelwirkung) einer netzdienlichen Flexibilitätsbereitstellung ist abhängig vom Anschlusspunkt im Netzgebiet. D.h. um beispielsweise eine Spannungsbandverletzung zu beheben, sind je nach Anschlusspunkt unterschiedlich hohe Leistungsänderungen erforderlich. Darüber hinaus ist es für den Netzbetreiber erstrebenswert, die Flexibilitätsoption einzusetzen, die für ihn die geringsten Kosten verursacht.



**Bild 10:** Leistungs-Energie-Diagramm des netzdienlichen Flexibilitätsbedarfs und Deckung durch Flexibilitätsoptionen im OG-2035

Im Rahmen der Netzplanung müssen identifizierte Engpässe und Schwachstellen durch geeignete Netzaus- und Umbaumaßnahmen behoben werden. Hierfür stehen dem Netzbetreiber in der Regel mehrere konven-

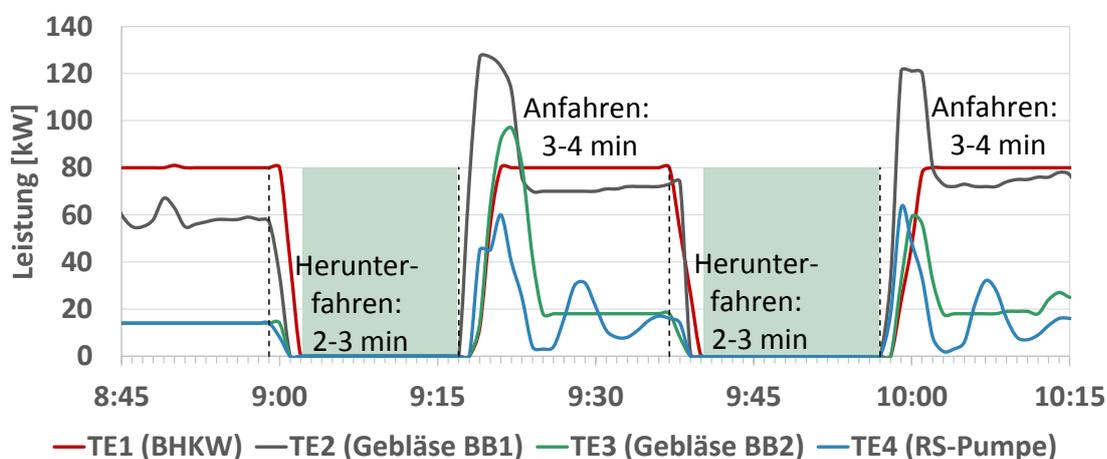
tionelle und innovative Handlungs- und Technologieoptionen zur Verfügung. Diese müssen in der Netzplanung entsprechend modelliert und unter technischen wie wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet werden. Im Rahmen dieses Projektes wurden mehrere Planungsvarianten ausgearbeitet, die jeweils den bevorzugten Einsatz einer bestimmten Technologie beinhalten. Sie dienen anschließend als Vergleichsvarianten für die Netzauslegung unter Berücksichtigung der Kläranlagenflexibilität.

Aus dem Vergleich der unterschiedlichen Handlungsalternativen des Netzbetreibers geht ein grundsätzlicher Vorteil der Netzzustandsüberwachung hervor. Im Rahmen der konventionellen Planungsvariante ist in allen Szenarien ein Kabelausbau erforderlich, obwohl es in der Zeitreihenbetrachtung noch zu keiner Grenzwertverletzung kommt. Dies ist dadurch begründet, dass bei der Festlegung der Worst-Case-Betriebspunkte in der konventionellen Planung strukturell mehr Sicherheitsreserve eingeplant werden muss, da im Zweifel keine nachträgliche Eingriffsmöglichkeit mehr besteht. In der Zeitreihenbetrachtung tritt dieser Worst-Case-Betriebspunkt dann oftmals nicht auf. Bei der Zustandsüberwachung kann die vorhandene Netzkapazität per se besser ausgenutzt werden, da im Falle einer Grenzwertverletzung diese identifiziert wird und betriebliche Maßnahmen (Flexibilitätseinsatz) ergriffen werden können.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.4 & B.4.4  
im Bericht

## 2.7 Integration in ein virtuelles Kraftwerk

Mit der Integration von Anlagentechnik auf der Kläranlage Radevormwald in ein virtuelles Kraftwerk wurde die technische Umsetzung des Anlagenkonzeptes I geprüft. Hierzu wurden 4 technische Einheiten (BHKW, Gebläse BB1, Gebläse BB2, RS-Pumpen) als Pool in dem virtuellen Kraftwerk der TSB angebunden und über mehrere Wochen mit realen Marktdaten aus dem Jahr 2014 betrieben. Für die Sicherstellung der Reinigungsleistung und Berücksichtigung betrieblicher Aspekte wurden Restriktionen für die einzelnen technischen Einheiten eingefügt. Für die Regelenenergieerbringung wurde im Vorfeld eine Präqualifikation der einzelnen Anlagen durchgeführt. Bild 11 zeigt, dass die Kläranlage mit ihren Stromverbrauchern und Stromerzeugern aus technischer Sicht die Regelleistung erbringen kann. Die Stromverbraucher (Gebläse, RS-Pumpen) weisen einen erhöhten Leistungsbezug beim Anfahren der Aggregate auf, dies kann durch eine Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme unterbunden werden.



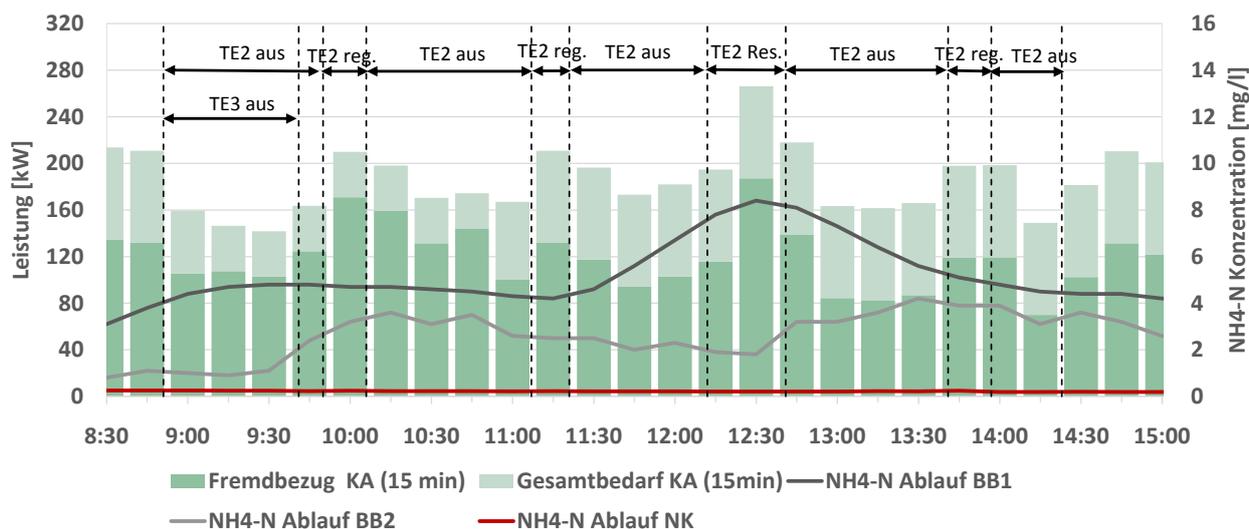
**Bild 11: Doppelhöckertest für alle vier technischen Einheiten auf der KA Radevormwald**

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass die Kläranlage mit ihren Aggregaten bis zu 200 kW positive und bis zu 80 kW negative Flexibilität bereitstellen kann. Diese Flexibilität kann mehrmals am Tag zur

Verfügung gestellt werden. Durch die Restriktionen, die für den Erhalt der Reinigungsleistung der Kläranlage aufgestellt wurden, wird die Flexibilitätsbereitstellung nur geringfügig vermindert. Die Bereitstellung auch langer Marktsignale, die z. B. zum Abschalten der Gebläse für bis zu 60 min führen können, haben keine signifikanten Auswirkungen auf die  $\text{NH}_4\text{-N}$  Ablaufwerte auf der Kläranlage Radevormwald (siehe Bild 12) und stimmen gut mit den Ergebnissen der dynamischen Simulation überein.

Für den Betreiber des virtuellen Kraftwerkes scheint es sinnvoll zu sein, dass der Pool nicht nur aus den Kläranlagen, sondern auch aus anderen Anlagen besteht. Dadurch kann die Sicherheit für die Verfügbarkeit der Regelleistung besser gewährleistet werden, wenn die Aggregate auf der Kläranlage witterungsabhängig keine Regelleistung aufgrund systembedingter Restriktionen erbringen können, z.B. bei erhöhten Mischwasserzuflüssen.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.4 & B.4.6  
im Bericht



**Bild 12:** Bereitstellung von positiver Regellenergie durch das Abschalten der Gebläse BB1 und BB2 und die Auswirkung auf die Ablaufwerte

## 2.8 Wirtschaftlichkeit

### 2.8.1 Wirtschaftliche Bewertung des Flexibilitätspotenzials der unterschiedlichen Anlagenkonzepte

In der wirtschaftlichen Bewertung wird der Einsatz der verschiedenen Energieversorgungskonzepte unter heutigen Bedingungen für das Bezugsjahr 2014 und für das Jahr 2035 untersucht. Zu den wirtschaftlichen Einflussfaktoren zählen unter anderem die Investitionskosten, die Energiepreise und die Gesetzgebung, insbesondere KWKG oder EEG. Da auch die zukünftige Energieversorgung der Kläranlagen im Jahr 2035 zu betrachten ist, spielt die zeitliche Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen und damit einhergehend die Strompreisentwicklung, vor allem der Zeitpunkt der Inbetriebnahme einer Energieversorgungsanlage eine wesentliche Rolle. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067. Nach der Annuitätenmethode werden aus abgeschätzten Investitionskosten für die Maschinen- und Bautechnik sowie für Gasspeicher und Kommunikationstechnik die zugehörigen Kapitalkosten bestimmt. In den Verbrauchskosten werden die Kosten für den Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung, und die Stromkosten der Hilfsenergie für die Energieerzeugungsanlagen berücksichtigt. Die Betriebskosten setzen sich u. a. aus Wartungs-, und Instandsetzungskosten sowie sonstigen Kosten wie Steuern, Versicherung, Planung und Unvorhergesehenes zusammen.

Aufgrund der Preisentwicklungen an den betrachteten Strommärkten bis 2035, könnten künftig die Verbrauchergruppen auf der Kläranlage sowie die Langzeitspeicher (PtG) die negativen Preisspitzen sowie den Mehrbedarf bei der positiven SRL vermehrt nutzen. Aufgrund dessen wird die Summe der obengenannten Kostenarten den Erlösen aus der Stromvergütung sowie den Einnahmen aus dem Verkauf von erzeugten Gasen wie z. B. Methan, Einnahmen für die vermiedenen Kosten für den Bezug für reinen Sauerstoff und

Einnahmen aus der Stromvermarktung am Regulenergiemarkt und an der Strombörse gegenübergestellt und anschließend das Jahresergebnis ermittelt.

Für die Kläranlage Radevormwald (58.000 E) sind die Konzepte I MRL und I SRL in beiden Betrachtungsjahren wirtschaftlich darstellbar.

Von den Konzepten IIIa, IIIb, IV und V lässt sich in beiden Betrachtungsjahren keine Wirtschaftlichkeit darstellen. Dort müssen noch weitere bzw. höhere Einnahmen generiert werden oder die Investitionskosten der Technologien wie PEM-Elektrolyseur oder Methanisierungsreaktoren müssen sich zukünftig stärker verringern.

Die Musterkläranlagen stellen sich in ähnlicher Form dar. In der Musterkläranlage 20.000 E kann neben den Konzepten I MRL und I SRL auch das Konzept IIa VPSA in beiden Jahren wirtschaftlich dargestellt werden. Im Jahr 2014 amortisiert sich das Konzept in 44 Jahren und im Betrachtungsjahr 2035 bereits nach 36 Jahren.

Für die Musterkläranlagen mit 150.000 E und 50.0000 E im Bezugsjahr 2014 sowie im Jahr 2035 lässt sich keines der Konzepte II bis V wirtschaftlich darstellen. Die Sensitivitätsanalyse und die anschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter veränderte Strompreisbestandteile für das Betrachtungsjahr 2035 haben gezeigt, dass sich die gesetzlichen Regelungen bezüglich der Vermarktung von Strom aus erneuerbaren Energien noch deutlich verändern müssen. Erst durch den Wegfall der Strompreisbestandteile der am Netz gekoppelten Umlagen, Netznutzungsentgelte, Konzessionsabgabe und der Stromsteuer konnte eine Wirtschaftlichkeit in der Zukunft für die Konzepte IV und V exemplarisch für Radevormwald dargestellt werden. Im Jahr 2035 wäre mit veränderten Strompreisbestandteilen das Konzept IV in weniger als 8 Jahren amortisiert und auch Konzept V wäre in fast 15 Jahren wirtschaftlich durchführbar.

Die Verringerung der Investitionskosten für die innovativen Technologien wie der PEM-Elektrolyse oder des Methanisierungsreaktors im Jahr 2035 hat voraussichtlich nicht allein die Kraft die Umsetzung wirtschaftlich darzustellen. Einen größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat die Verringerung der Strompreisbestandteile. Bisher ist die Befreiung bestimmter Strompreisbestandteile nur bei Eigenstromversorgung und Direktlieferung ohne das Durchleiten durch das Netz der allgemeinen Versorgung möglich, sowie im Rahmen der Privilegierung von Elektrolyseuren nach § 118 Abs. 6 EnWG (Befreiung von Netzentgelten).

Die Reduzierung der Stromnebenkosten (EEG-Umlage, Netznutzungsentgelt, netzentgeltbedingte Abgaben, Konzessionsabgabe, Stromsteuer) würde einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der untersuchten Anlagenkonzepte leisten. Zur Förderung von flexiblen Verbrauchern, hier der Kläranlage, bzw. zukünftig erforderlichen Langzeitspeichern (Power-to-Gas-Anlagen), ist eine temporäre (dynamische) Reduzierung oder Befreiung von einzelnen Strompreisbestandteilen denkbar. Insbesondere netzdienliche oder systemdienliche Einsatzzwecke sollten nicht durch den Ordnungsrahmen gehemmt werden. Neben der Entfaltung von Anreizen für Flexibilitäten sind Änderungen im Ordnungsrahmen aber auch stets hinsichtlich weiterer Kriterien, wie z.B. Diskriminierungsfreiheit, Transparenz, Verteilungswirkungen, Finanzierung von Infrastruktur und Gesetzeszielen etc., zu prüfen.

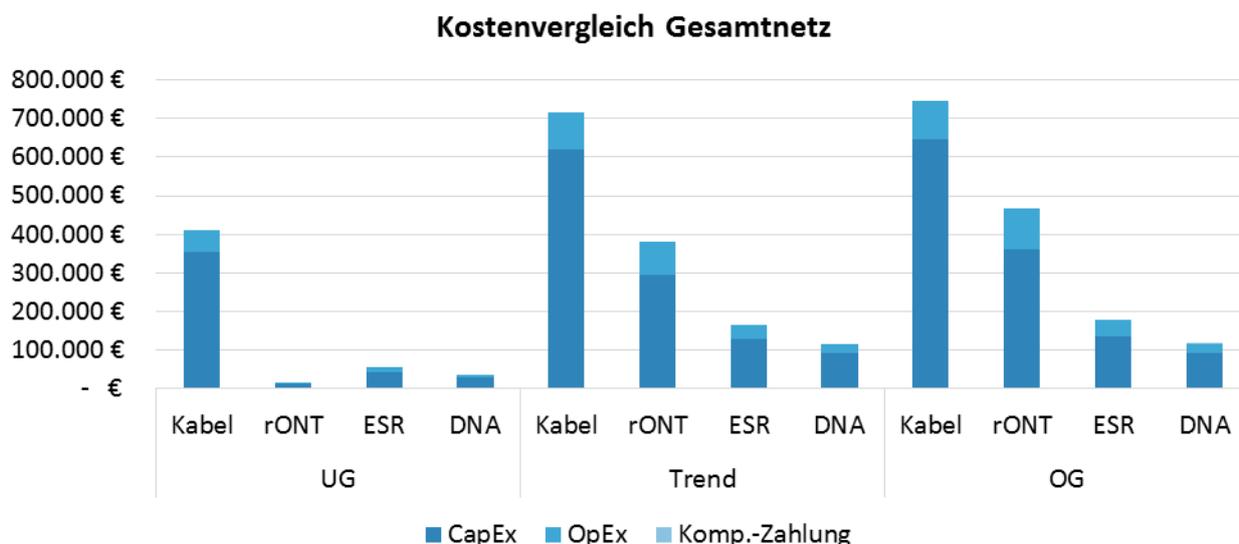


Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.5  
im Bericht

## 2.8.2 Wirtschaftliche Bewertung des erforderlichen Netzausbaus und der Handlungsalternativen

Der aggregierte Kostenvergleich für das gesamte Netzgebiet wird in Bild 13 dargestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mindestens eine der innovativen Ausbauoptionen - regelbare Ortsnetztransformatoren (rONT), Einzelstrangregler (ESR) und die dezentrale Netzautomatisierung zur Nutzung von Flexibilität (DNA) - stets deutlich günstiger sind als der konventionelle Netzausbau. In Netzbereichen, in denen nur eine geringe Anzahl von Ortsnetzstationen zum rONT umgerüstet werden muss, kann dies eine sinnvolle Variante sein. Ansonsten ist die dezentrale Netzautomatisierung unter Einbeziehung von Flexibilitäten die kostengünstigste Lösungsoption. Bereits der Einbau der Zustandsüberwachung und die Schaffung von Eingriffsmöglichkeiten erlaubt eine effizientere Ausnutzung der Netzkapazität, da hierfür andere Planungsansätze verwendet werden können. Des Weiteren ist die tatsächliche Entwicklung der Versorgungsaufgabe mit vielen Unsicherheiten verbunden. Der Einbau eines Smart-Grid-Systems hilft dabei, die Entwicklungen

ohne größere Investitionen zu beobachten. Die Gefahr von „stranded investments“ kann dadurch reduziert werden.



**Bild 13:** Kostenvergleich der Netzausbauvarianten je Szenario (Barwert 2015) im gesamten Netzgebiet

### 2.8.3 Kosten-Nutzenanalyse unter Berücksichtigung des Netzausbaus

In den untersuchten Fällen ist der Anteil der abzuregelnden Energie aus Erneuerbaren Energiequellen vergleichsweise gering. Da hierfür insgesamt nur geringe Kompensationszahlungen fällig wären, sind die Erlösmöglichkeiten für alternative Flexibilitätsoptionen ebenfalls relativ gering. In Netzgebieten, in denen die Abregelung näher an der 3 % Grenze oder darüber hinaus liegt, können sich aber deutlich höhere Erlösmöglichkeiten ergeben. Ebenfalls könnten rechtliche Änderungen hinsichtlich der Abregelung Erneuerbarer Energiequellen (z.B. ein Vorrang für speicherfähige Flexibilitätsoptionen) die Erlössituation verbessern. Eine solche Änderung wäre allerdings auch aus Kostensicht der Netzbetreiber und letztlich der Netznutzer zu beleuchten.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.5 & B.5.3  
im Bericht

## 2.9 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen

### 2.9.1 Energierechtliche Rahmenbedingungen

Der rechtliche Rahmen für den Betrieb dezentraler Stromerzeugungs- sowie Speicheranlagen ist derzeit wenig einheitlich und rechtlich kompliziert.

Für den dezentral im BHKW erzeugten Strom lässt sich eine Reihe von Privilegien in Anspruch nehmen. Vor allem fallen keine Netzentgelte und die hieran anknüpfenden Umlagen an, wenn der Strom in einer Kundenanlage und ohne Netzdurchleitung erzeugt und verbraucht wird. Betreibt der Verbraucher des Stroms die Stromerzeugungsanlage als Eigenerzeuger selbst, kann er vom sog. Eigenstromprivileg profitieren. Für sog. Bestandsanlagen, die bereits vor dem 01.08.2017 zur Eigenerzeugung genutzt wurden, bedeutet dies das vollständige Entfallen der EEG-Umlage. Für alle anderen Anlagen im Sinne von § 61b EEG 2017 reduziert sich die EEG-Umlage auf 40 Prozent. Schließlich können Betreiber von KWK-Anlagen, insbesondere kleineren Blockheizkraftwerken, von der Förderung nach dem KWKG sowie von der Stromsteuerbefreiung des § 9 Abs. 1 Nr. 3 StromStG profitieren.

Power-to-Gas-Anlagen werden an einzelnen Stellen im Gesetz privilegiert. Der für den Betrieb eines Elektrolyseurs aus dem Netz der allgemeinen Versorgung bezogene Strom wird nach § 118 Abs. 6 EnWG für die Dauer von zwanzig Jahren ab Inbetriebnahme von den Netzentgelten befreit. Die EEG-Umlage fällt auf den Strom, der im Elektrolyseur verbraucht wird, unter bestimmten Umständen ebenfalls nicht an. Daneben

kann unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben des EEG auch für den aus sog. Speichergas produzierten Strom eine Förderung in Anspruch genommen werden. Damit besteht grundsätzlich auch eine Möglichkeit der „Vermarktung“ des Speichergases. Daneben wird die Einspeisung von Wasserstoff und Methan in das Erdgasnetz unter bestimmten Voraussetzungen besonders privilegiert, etwa hinsichtlich des Netzanschlusses, der Bilanzierungsvorgaben für den Transport über das Erdgasnetz oder hinsichtlich der Berechtigung, ein besonderes Einspeiseentgelt zu beziehen.

Hinsichtlich weiterer Einsatzmöglichkeiten des erzeugten Wasserstoffs – d.h. neben der Einspeisung in das Erdgasnetz und der anschließenden Verstromung, etwa im Verkehrssektor oder in der Industrie – bestehen aktuell insoweit ebenfalls einige Unsicherheiten. Die zum 01.01.2018 in Kraft tretende 37. BImSchV sieht vor, dass der zur Erzeugung des Wasserstoffs eingesetzte Strom nicht aus einem Netz der allgemeinen Versorgung entnommen worden sein darf, da andernfalls die von der 37. BImSchV eröffnete Möglichkeit, durch den Wasserstoffeinsatz die sog. Treibhausgasminderungsquote (§ 37a BImSchG), der insbesondere Mineralölkonzerne unterliegen, zu erfüllen, entfällt. Etwas anderes gilt lediglich für Elektrolyseure, die sich in einem Netzausbauggebiet nach § 36c EEG 2017, d.h. grob gesprochen im Norden Deutschlands befinden. Die Lockerung dieser Vorgaben etwa dahingehend, dass ebenfalls mittels entsprechender Nachweise auch der „bilanziell grüne“ Strom zur Wasserstoffherzeugung eingesetzt werden kann, wäre insoweit zu begrüßen.

Der Rechtsrahmen für den Betrieb von Power-to-Gas-Anlagen ist derzeit bruchstückhaft und uneinheitlich. Er hat bislang nicht wie politisch artikuliert dazu beigetragen, die Erreichung entsprechender Anlagen voranzutreiben.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.6.1  
im Bericht

## 2.9.2 Rechtliche Rahmenbedingungen außerhalb des Energierechts

Die untersuchten rechtlichen Rahmenbedingungen jenseits des Energierechts stehen einer **Zulässigkeit** der im Rahmen des Projekts untersuchten Flexibilisierungsmaßnahmen grundsätzlich nicht entgegen. Es muss jedoch im jeweiligen Einzelfall geprüft werden, welche rechtlichen Grenzen sich ergeben. Organisationsrechtlich können jedenfalls solche energetischen Maßnahmen als zulässig angesehen werden, welche primär der Deckung des eigenen Energiebedarfs des Abwasserentsorgers dienen. Abwasserrechtlich müssen insbesondere die für die Abwassereinleitung in ein Gewässer geltenden Grenzwerte beachtet werden, welche auch nicht mit Blick auf die energetische Flexibilisierung gelockert werden können.

Zudem können neben dem Energierecht auch Vorschriften aus anderen Rechtsbereichen Auswirkungen auf die **Wirtschaftlichkeit** energetischer Flexibilisierungsmaßnahmen haben. Dies gilt beispielsweise für die Vorgaben zur Ansatzfähigkeit der Kosten und der Berücksichtigung der Erlöse solcher Maßnahmen im Rahmen der Abwasserentgelte, für die Umsatzbesteuerung von Abwasserentsorgern sowie für die Erhöhung der Abwasserabgabe, sollte es durch eine geänderte Betriebsweise der Kläranlage zu Überschreitungen der für die Abwassereinleitung geltenden Grenzwerte kommen.

Im Allgemeinen erscheinen die bestehenden nichtenergierechtlichen Regelungen als sachgerecht, auch soweit sie im Einzelfall der energetischen Flexibilisierung von Kläranlagen rechtliche oder wirtschaftliche Grenzen setzen.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.6.2  
im Bericht

## 2.10 Politische Rahmenbedingungen

Um die möglichen und wünschenswerten Zukunftsentwicklungen der politischen Rahmenbedingungen aufzuzeigen wurden vier Szenarien entwickelt. Die vier Szenarien zum Jahr 2027 zeigen auf, wie energie-, kommunal- und wasserpolitische Entscheidungen ausfallen müssten. Laut **Referenzszenario** werden die politischen Rahmenbedingungen in 2027 in Bezug auf die Schlüsselfaktoren wie folgt ausgeprägt sein:

**Stromverteilnetze:** Die politischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Flexibilität in Stromverteilnetzen in 2027 sind heute, zehn Jahre zuvor, noch offen, weil sie erst nach der Bundestagswahl 2017 Gegenstand energiepolitischer Entscheidungsfindung sein werden. Insgesamt könnte es eine deutlich höhere

Nachfrage nach Flexibilitäts-Anbietern in Stromverteilnetzen durch Vermarkter und Netzbetreiber geben, unter anderem zur Bewirtschaftung von Engpässen und zur Vermeidung von Abregelungen. Treiber hierfür könnten Schadensersatzforderungen abgeregelter Stromkunden an Netzbetreiber sein, sowie das Bestreben kommunaler Akteure, Kontrolle über energiewirtschaftliche Prozesse zu erlangen.

**Strommarkt:** Die Bundesenergiepolitik verzichtet bis 2027 ggf. auf grundlegende Weichenstellungen wie die Förderung von Stromspeichern oder Power-to-Gas. Auch werden nach dem Atomausstieg 2022 ggf. die fossilen Stromerzeuger nicht konsequent aus dem Markt genommen. Technisch-wirtschaftliche Entwicklungen könnten Anbietern von Flexibilität wie Kläranlagen im Vergleich zu 2017 eine deutlich höhere Nachfrage in den weiteren Strommarktbestandteilen verschaffen, ohne dass dies als Resultat gezielter politischer Steuerung zu werten ist. Die Energiepolitik wird nachsteuern müssen, um Ziele wie Klimaschutz, Kostenstabilität und Versorgungssicherheit zugleich zu wahren.

**Kalkulation/Anreize:** Die Rahmenbedingungen für die limitierte Gewinnerwirtschaftung im kostendeckenden Tarifikalkulationsbereich werden sich bis 2027 wenig ändern. Die für die Abwasserwirtschaft maßgeblichen Genehmigungsbehörden behandeln grundsätzlich energiewirtschaftliches Handeln wohlwollend. Falls eine Kläranlage jedoch sektorübergreifend in der Energiewirtschaft handelt, werden fast immer die steuerlichen Privilegien usw. des hoheitlichen Handelns entfallen, wie Gerichtsentscheidungen und bundesfinanzpolitische Entscheidungen klarstellten.

**Kommunalpolitik/Organisationsform:** Die deutschen Kommunen werden 2027 wie heute in sehr unterschiedlichem Ausmaß politische Ziele wie Klimaschutz oder Energiewende ihren kommunalen Unternehmen vorgeben. Die Kommunalpolitik wird grundsätzlich in der Lage sein, die Kommunalwirtschaft auf das Erreichen dieser Ziele zu verpflichten. Das sektorenübergreifend integrierte und sozial-ökologisch politisierte Stadtwerk, welches Abwasser- und Energiewirtschaft institutionell verbindet, wird in 2027 in mehr Großstädten als in 2017 anzufinden sein, da diese Städte sich zunehmend als Motor der Klimaschutzpolitik etablieren.

**Sektorenkopplung:** Die Kopplung der Energiemarktsegmente untereinander wird massiv ansteigen (Elektromobilität, Wärmewende). Auch die Kopplung der Versorgungssektoren wie Abwasser, Abfall mit den Energiemärkten wird politisch in 2027 stärker als heute politisch gefördert werden. Aber dies wird eher nicht explizit durch Abwasserpolitik und -recht, sondern übergeordnet über die EU-Kreislaufwirtschafts-RL, Nachhaltigkeitsziele im Bundes-Klimaschutzplan usw. geschehen.

**Reinigungsstandards:** Die Abwasserpolitik zur Festlegung der Reinigungsstandards wird in 2027 nach wie vor rein sektoral geprägt sein. Ggf. wird die EU-Umwelt- und Wasserpolitik ein Treiber der energetischen Klärschlammnutzung. Hierfür könnten EU-Kommissions-Initiativen zum Water Re-Use oder zur ressourceneffizienten Abfallverwertung als Indiz genommen werden.

In Bezug auf die betrachteten Schlüsselfaktoren wurden **im normativen Szenario** wurden im normativen Szenario die folgenden Ziele für arrivee definiert und hierzu notwendige politische Maßnahmen abgeleitet:

**Stromverteilnetze:** Die politischen Rahmenbedingungen sollten Verteilnetzbetreibern materielle und regulatorische Anreize bieten, regionale Flexibilitäten zu nutzen. Hierzu müsste auf regionaler Ebene für Stromnetzbetreiber Flexibilitäts-Nachfrage geschaffen werden, insb. durch die Einführung der sogenannten Netzampel, durch finanzielle Anreize für Netzbetreiber (u.a. über §14a EnWG), durch die Dynamisierung der Netzentgeltsystematik und/oder der EEG-Umlage sowie durch die Digitalisierung der Stromnetze.

**Strommarkt:** Es erfolgt die Etablierung stabiler politischer Rahmenbedingungen für Flexibilitäts-Anbieter, um Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und praktizieren zu können. Hierfür müssten jedoch Flexibilität-Anbieter in volatilen Strommarktsegmenten belohnt werden. Hierfür kämen als große Treiber extrem dynamische Arbeitspreise, die Bildung von regionalen, digitalisierten Marktdesigns sowie die Besteuerung fossiler Energieerzeugung mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Betracht.

**Kalkulation/Anreize:** Das energiewirtschaftliche Handeln der Kläranlage ist rechtlich unproblematisch und in der Abwasserwirtschaft anerkannt. Die politischen Rahmenbedingungen behalten den hoheitlichen Charakter und die kostendeckende Tarifikalkulation der Abwasserwirtschaft bei, das Kommunalabgabengesetz schafft Klarheit zu gewerblichem Handeln. Informationsplattformen der kommunalwirtschaftlichen Interessenverbände schaffen zu innovativen Ansätzen und positiven Praktiken Akzeptanz als immateriellen Anreiz.

**Kommunalpolitik/Organisationsform:** Die explizite und aktive kommunalpolitische Einbindung der Kläranlage in Klimaschutz- und Energiestrategien wird zur Regel. Die Europa-, die Bundes- und die Landespolitik müssten hierzu rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen schaffen, in denen Kommunen politisch und organisatorisch aktiver Treiber von Klimaschutz und Energiewende sein können. Partizipative Prozesse sind hierbei geboten, um zu gemeinsamen Zielen wie CO<sub>2</sub>-Neutralität oder zu einem inner-kommunalen Interessenausgleich zu gelangen. Hierbei sind die politische Rolle und die Marktrolle der Kommunalwirtschaft genau zu definieren. Stadtwerke sind für Pionierhandeln in der inter-sektoralen, regional verankerten Energiewende prädestiniert.

**Sektorenkopplung:** Abwasserpolitische Zielvorgaben und abwasserrechtliche Regelungen fordern das inter-sektorale Handeln der Kläranlagen ausdrücklich. Die politischen Rahmenbedingungen wären auf allen Ebenen (z.B. EU- und Bundeskreislaufwirtschaftsgesetz) so zu setzen, dass die Abwasserwirtschaft integriert ist. Die Markteinführung von P-t-x-Technologien müsste gefördert werden. Überzeugungsarbeit in Fachverbänden (DWA, BDEW, VKU usw.) ist für dieses neue Rollenverständnis der Abwasserwirtschaft notwendig. Die Höhe der Abwasserabgabe könnte an die Bereitschaft zu intersektorialem Handeln gebunden werden.

**Reinigungsstandards:** Die politischen Rahmenbedingungen priorisieren die Ziele des Gewässerschutzes, dabei bleibt aber das Ziel energiewirtschaftliche Kläranlagen-Flexibilität erhalten. Hierzu bedarf es unter anderem der Überzeugung genehmigungsbehördlicher Akteure durch erfolgreiche Pionierprojekte. Einheitliche Standards für Co-Substrate sowie strenge, aber zeitlich flexiblere Überwachungswerte könnten hilfreiche Rahmenbedingungen hierbei sein.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.6.3  
im Bericht

## 3 - FAZIT & HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Aus den in *arrivee* gewonnenen Erkenntnissen wurden Handlungsempfehlungen an die Akteure der Abwasserpraxis und Forderungen an Entscheidungsträger in Politik und Verwaltung entwickelt und formuliert.

### 3.1 Zentrale Erkenntnisse

Die Bereitstellung energiewirtschaftlicher Flexibilität durch Stromverbraucher, -erzeuger und -speicher ist ein notwendiger und damit sehr wesentlicher Erfolgsfaktor für die Transformation des Energiesystems. Auch Anlagen in kleinen und mittleren Leistungsklassen, wie sie auf Kläranlagen eingesetzt werden, verfügen über relevante Flexibilitätspotenziale insbesondere für Verteilnetze. Flexibilität kann für mehrere energiewirtschaftliche Zwecke genutzt werden, wie gezeigt markt-, system- und netzdienlich. Letzteres kann im Idealfall auch Netzausbau im Verteilnetz verzögern oder vermeiden.

Um einerseits die Flexibilitätspotenziale von Kläranlagen für marktorientierte Anwendungen zu heben und andererseits einen system- und netzdienlichen Einsatz zu ermöglichen, müssen sowohl technische als auch politisch-rechtliche Anpassungen vorgenommen werden.

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass Kläranlagen Flexibilität im Rahmen unterschiedlicher Konzepte bereitstellen können. In diesem Rahmen sind sie auch in der Lage für die Verteilnetze eine zunehmend bedeutende Rolle zu spielen.

Insgesamt konnte mit dem Verbundvorhaben *arrivee* gezeigt werden, dass Kläranlagen...

- ... ein relevantes Flexibilitätspotenzial aufweisen, dieses ohne großen technischen Aufwand aktivieren können und dass dieses ausbaufähig ist.
- ... aus Ressourcen- und Effizienz­sicht sinnvolle Standorte für Power-to-Gas-anlagen sind.
- ... an **neuen Geschäftsmodellen und Produkten der Energieversorgung** mit ihren **vorhandenen Flexibilitäten** partizipieren und davon profitieren können.
- ... in spezifischen Anschlusssituationen **im Verteilnetz** dazu beitragen können, dass **konventioneller Netzausbau entfallen oder verzögert** werden kann.
- ... einen **Beitrag zur bedarfsgerechten Entlastung und Stabilisierung von Stromnetzen** leisten können. Sie verfügen dazu über ein **signifikantes Potenzial**.
- ... mit Schlammfäulung **geeignete Standorte zur Umsetzung von Power-to-Gas-(to-Power-)Anlagen** sind. Dies ist jedoch abhängig von der örtlichen Situation der vorgelagerten Strom- und Gasnetze.
- ... die **Kopplung von Sektoren der Ver- und Entsorgung** (Wasser/Abwasser – Wärme/Strom/Gas) ermöglichen.
- ... technisch in der Lage sind ihre **Betriebsweise temporär** aufgrund externer (Strommärkte, Verteilnetze) sowie interner (Lastmanagement) Anforderungen **anzupassen, ohne den Klärprozess negativ zu beeinflussen**.

Die in *arrivee* verfolgten technischen Konzepte sind nicht nur innovativ, sondern im Sinne des Umwelt- und Klimaschutzes auch gesamtgesellschaftlich relevant, weil:

- vorhandene **Ressourcen energetisch effizient genutzt** werden,
- **Verfahren für dezentrale Energiemärkte der Zukunft** der Weg bereitet wird und
- die **gemeinwohlorientierte Kommunalwirtschaft** aktiv in die **Stabilisierung der Energiewende einbezogen** wird.

## 3.2 Technische Handlungsempfehlungen

### 3.2.1 Handlungsempfehlungen für Kläranlagenbetreiber

#### (1) Status Quo bietet relevantes Flexibilitätspotenzial

Die schon heute vorhandene technische Ausstattung auf Kläranlagen bietet mit den Aggregaten BHKW, Gebläsen, Rücklaufschlammumpfen, Rezirkulationspumpen, Rührwerken etc. ein relevantes Flexibilitätspotenzial, welches über ein intelligentes Aggregatemanagement mit geringen Investitionen erschlossen werden kann. Praxiserfahrungen können und sollten die Kläranlagenbetreiber z. B. in einem ersten Schritt über die Einbindung der KWK-Anlagen in den Regelenergiemarkt (mit Hilfe eines Virtuellen Kraftwerks) sammeln und in einem zweiten Schritt über die Integration weiterer nutzbarer Aggregate ausbauen. Es wird empfohlen, eine entsprechende Machbarkeitsstudie durchzuführen. Erfahrungsgemäß führt dies als Nebenergebnis zum Erschließen von Ansatzpunkten für eine Verbesserung der Energieeffizienz im Reinigungsbetrieb.

#### (2) Frühzeitig von absehbaren Entwicklung profitieren

Die ermittelten Flexibilitätspotenziale auf Kläranlagen sollten genutzt werden. Neben den externen Vermarktungsoptionen sprechen Energieeffizienzgründe sowie die Möglichkeit eines verbesserten internen Spitzenlastmanagements für ein solches Vorgehen. Das Heben der Potenziale bereitet auf eine absehbare Entwicklung, wie z. B. die Einführung von dynamischen Stromtarifen für industrielle und gewerbliche Verbraucher, sowie den steigenden Flexibilitätsbedarf im Energieversorgungssystem vor. Die daraus resultierenden Vorteile könnten dann frühzeitig genutzt werden.

#### (3) Flexible Einsatzmöglichkeiten bei Reinvestitionen beachten

Bei anstehenden Reinvestitionen oder einer Neuplanung von BHKW und Gasspeichern auf Kläranlagen sowie anderweitig für Flexibilitätsoptionen relevante Komponenten sollten flexibilisierte Einsatzmöglichkeiten berücksichtigt werden. Daraus können sowohl größere Gasspeicher als auch leistungsstärkere BHKW für einen ergänzenden Einsatzbereich als sinnvolle Maßnahmen resultieren, wenn die Abwägung zwischen möglichen Erlösen und Mehrkosten dies rechtfertigt.

#### (4) Adäquate Messinfrastruktur für Strom und Gas berücksichtigen

Bei Sanierungs- oder Umbauprojekten der Kläranlagen sollte stets eine geeignete Messinfrastruktur (z.B. in Anlehnung an DWA A 216) aufgebaut werden. Dadurch kann ein genaues Lastgangprofil für jeden Verbraucher erstellt und so ein mögliches Flexibilitätspotenzial aufgedeckt werden. Diese Messtechnik erleichtert ebenfalls die Steuerung der Aggregate durch das Virtuelle Kraftwerk, wenn sie für die Flexibilitätsdienstleistung angeboten werden. Sie kann zudem für eine Erhöhung der Energieeffizienz im Reinigungsbetrieb genutzt werden.

Die Onlinemesstechnik ist regelmäßig zu prüfen, da sie eine unmittelbare Auswirkung auf die Flexibilitätsbereitstellung (z.B. Gasanfallmessung für Ermittlung Flexibilitätsbereitstellung BHKW) und die Einhaltung der Überwachungswerte (z.B.  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablauffkonzentration zur Ermittlung der Restriktion der Belüftung) hat.

#### (5) Einsatz innovativer Anlagenkonzepte mit Elektrolyse

Mit der Nutzung der Power-to-Gas-Technologie (PtG) kann auf Kläranlagen Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) in speicherbare, regenerative Energieträger umgewandelt (Wasserstoff/Methan) werden. Mit dieser Verfahrenstechnik ausgestattete Kläranlagen können sowohl als Kurzzeit- als auch als Langzeitspeicher für EE-Strom agieren. Die Umsetzung der untersuchten Konzepte ist technisch möglich, aber wie dargestellt zurzeit nicht wirtschaftlich. Zum einen müssen sich die Investitionskosten der PtG-Technologien zukünftig stärker verringern; beispielsweise durch diesbezügliche bundespolitische Markteinführungsprogramme. Zum anderen könnte - wie beschrieben - durch den Erlass bestimmter Strompreisbestandteile (z.B. dynamische Netznutzungsentgelte, EEG-Umlage oder Stromsteuer) bei Aufnahme von Überschussstrom Wirtschaftlichkeit in Zukunft hergestellt werden.

### 3.2.2 Handlungsempfehlungen für Verteilnetzbetreiber

#### (1) Netzzustandsüberwachung etablieren

Als generelle Empfehlung wird ausgesprochen, die Netzzustandsüberwachung in kritischen Verteilnetzbereichen zu etablieren. Sie ist bereits ein Mehrwert an sich. Die Netze können besser ausgelastet und ein Ausbau vermieden werden. Das Risiko von Fehlinvestitionen auf Grund von schwer prognostizierbaren Entwicklungen kann durch die bessere Ausnutzung bestehender Infrastruktur reduziert werden.

#### (2) Innovative Handlungsoptionen bei der Netzplanung berücksichtigen

Es empfiehlt sich, innovative Betriebskonzepte (z.B. netzdienlicher Flexibilitätseinsatz, dynamisches Einspeisemanagement, dynamische Sollwertregelung im Umspannwerk etc.) sowie den Einsatz neuartiger Betriebsmittel (Einzelstrangregler, regelbare Ortsnetztransformatoren etc.) bei allen Netzplanungen zu berücksichtigen. Daraus ergeben sich oftmals kostengünstigere Alternativen zum konventionellen Netzausbau. Sie sollten bei jeder Planung in Betracht gezogen und auf Anwendbarkeit geprüft werden.

#### (3) Umgang mit netzdienlicher Flexibilität üben

Während sich das Einspeisemanagement von Erneuerbaren Energien langsam etabliert, ist die Ansteuerungen von alternativen Flexibilitätsoptionen für netzdienliche Zwecke noch keine gängige Praxis. Netzbetreiber sollten Forschungsprojekte vorantreiben und den Einsatz in Reallaboren „üben“. Dadurch lassen sich sowohl technische Erkenntnisse als auch organisatorische Aspekte (Transaktionsaufwand etc.) tiefergehend und unter realen Bedingungen analysieren.

### 3.2.3 Handlungsempfehlungen für Fachverbände der Ver- und Versorgungswirtschaft

#### (1) Fachaustausch und Ausbildung zum Thema „Flexibilität“

Das Thema Flexibilität auf Kläranlagen sollte durch die Fachverbände sowohl im Bereich der Abwasserwirtschaft (i. B. DWA) als auch seitens der Energie- und Wasserfachverbände (z. B. BDEW) verstärkt öffentlichkeitswirksam, z. B. auf Fachtagungen thematisiert werden. Ein Beitrag dazu kann auch die Gründung von entsprechenden Facharbeitsgruppen sein. Darüber hinaus können Seminare zur Flexibilitätsbereitstellung sowie Vorträge auf Kläranlagennachbarschaften organisiert werden.

#### (2) Flexibilität zum Gegenstand der Regelwerke machen (DWA)

Die innovativen Ansätze zur Erschließung von Flexibilitäten auf Kläranlagen könnten zeitnah auch Gegenstand von Energieanalysen nach DWA A 216 auf Kläranlagen werden und im entsprechenden Merkblatt Eingang finden. Das wäre ein wesentlicher Beitrag zur Hebung dieser Potenziale und würde auch dazu beitragen, den flexiblen Betrieb einer Kläranlage verstärkt in die Fachwelt zu tragen, Hemmschwellen abzubauen und mittelfristig als Stand der Technik zu implementieren.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.7.1  
im Bericht

### 3.3 Energierechtliche Hinweise für Betreiber

Für den dezentral im **BHKW** erzeugten Strom lassen sich vielfältige Privilegien in Anspruch nehmen. Vor allem fallen weder Netzentgelte noch die hieran anknüpfenden Umlagen an, wenn der Strom in der „Kundenanlage Kläranlage“ ohne Durchleitung durch ein Elektrizitätsversorgungsnetz verbraucht wird. Betreibt der Verbraucher des Stroms die Stromerzeugungsanlage als Eigenerzeuger selbst, kann er vom **Eigenstromprivileg** des EEG profitieren. Für Bestandsanlagen, die bereits vor dem 01.08.2017 zur Eigenerzeugung genutzt wurden, bedeutet dies das vollständige Entfallen der EEG-Umlage. Für alle anderen Anlagen im Sinne von § 61b EEG 2017 (einschließlich hocheffizienter KWK-Anlagen) reduziert sich die EEG-Umlage auf 40 %. Die Inanspruchnahme des Eigenstromprivilegs ist unter den aktuellen Randbedingungen – trotz verschiedener Versuche des Gesetzgebers, gegenzusteuern – oftmals wirtschaftlicher, als den auf der Kläranlage erzeugten Strom zu vermarkten. Schließlich können Betreiber von KWK-Anlagen, insbesondere klei-

neren Blockheizkraftwerken, bei Beachtung der gesetzlichen Vorgaben von der Förderung nach dem KWKG sowie von der Stromsteuerbefreiung des § 9 Abs. 1 Nr. 3 StromStG profitieren.

Praktisch wichtig ist, die **energierechtlichen Voraussetzungen zu beachten**, etwa im Hinblick auf erforderliche Anträge oder Meldungen gegenüber den übrigen Marktteilnehmern. Ebenfalls aufmerksam zu beachten ist, wie sich der Rechtsrahmen für die dezentrale Energieversorgung zukünftig entwickelt. Die diesbezüglichen Signale aus der Politik sind bislang nicht eindeutig, lassen aber eine gewisse Tendenz dahin erkennen, dass die bisherige Privilegierung der dezentralen Energieversorgung eingeschränkt werden soll.

Für den Betrieb einer **Elektrolyseanlage** existiert bislang kein einheitlicher (eigener) energierechtlicher Rahmen. Die Netzdienlichkeit von **Power-to-Gas**-Anlagen ist zwar im Grunde anerkannt, so dass auch einige gesetzliche Privilegien geschaffen wurden, die die Wirtschaftlichkeit des Betriebs einer Power-to-Gas-Anlage verbessern sollen. Allerdings besteht nach wie vor eine Reihe rechtlicher wie praktischer Hindernisse. Dies gilt etwa im Hinblick auf die erforderliche Nachweisführung des Einsatzes grünen Stroms zur Wasserstoffherzeugung. Daneben unterscheiden sich die rechtlichen Vorgaben auch im Hinblick darauf, ob der Wasserstoff verstromt oder in anderen Bereichen, etwa im Verkehr oder in der Industrie („Sektorkopplung“) eingesetzt wird. Diese Vermarktungshemmnisse gilt es zu überwinden.

Abwasserentsorger, die eine **energetische Flexibilisierung** planen, sollten neben den energierechtlichen Bestimmungen auch die sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen im Blick behalten. Wichtige Fragestellungen sind insoweit die Zulässigkeit der energiewirtschaftlichen Betätigung durch einen Abwasserentsorger, die Ansatzfähigkeit der Kosten und die Berücksichtigung der Erlöse energiewirtschaftlicher Betätigung im Rahmen der Abwasserentgelte, die umsatzsteuerliche Behandlung der energiewirtschaftlichen Betätigung von Abwasserentsorgern sowie die sich aus den (ab-)wasserrechtlichen Anforderungen an die Abwassereinleitung und an Abwasserbehandlungsanlagen ergebenden Grenzen für energiewirtschaftliches Handeln.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.7.2  
im Bericht

## 3.4 Politische Forderungen an den Gesetzgeber

### 3.4.1 Anpassungen bestehender gesetzlicher Vorschriften

#### (1) Vorteile für Flexibilitätsanbieter bei der Berechnung der Netzentgelte schaffen

Die Bereitstellung negativer Flexibilität mit einer netz- bzw. systemdienlichen Funktion darf nicht zu einer Erhöhung der für die Ermittlung der zu zahlenden Netzentgelte maßgeblichen Leistungsspitze führen. Dazu sollte die aktuelle Rechtslage angepasst werden. Vorbild kann die von der Bundesnetzagentur im Anwendungsbereich des § 19 Abs. 2 Satz 1 StromNEV bereits vertretene Auffassung sein, wonach die Erbringung negativer Regelenergie für die Ermittlung der abrechnungsrelevanten Leistungsspitze nicht berücksichtigt wird.

#### (2) Zugang zu Regelleistungsmärkten für dezentrale Flexibilitätsanbieter verbessern

Die derzeitigen Überlegungen der Bundesnetzagentur bzgl. der Regelleistungsausschreibung (Verkürzung der als negative Regelleistung anbietbaren Zeitscheiben für die Sekundärregelung auf vier Stunden und für die Minutenreserve auf Viertelstunden und Zulassung kleiner Angebotsgrößen ab 1 MW; siehe das am 23.11.2015 eröffnete Festlegungsverfahren der Bundesnetzagentur zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung, BK6-15-158, und für Minutenreserve, BK6-15-159) sollen wie vorgesehen zielgerichtet fortgeführt werden, um auch kleineren Anbietern eine Teilnahme zu ermöglichen und um insbesondere auch die Abgabe flexiblerer Angebote zu erreichen.

#### (3) Rechtsrahmen für Power-to-Gas verbessern

Der Rechtsrahmen für den Betrieb von Power-to-Gas-Anlagen sollte verbessert werden, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Dazu sollte der regulatorische Rahmen vereinfacht werden. Es bedarf zudem einer in sich schlüssigen und gesetzesübergreifenden Strategie zur Förderung der Wirtschaftlichkeit von P2G-Anlagen.

### 3.4.2 Fortentwicklung der Energiewendepolitik

Aus Sicht der Abwasserwirtschaft bedarf es möglichst **stabiler und klarer politischer Rahmenbedingungen und damit Planungssicherheit ab 2017** für dezentrale, flexible Anlagen der kommunalwirtschaftlichen Akteure.

Deshalb ist über politische Instrumente nachzudenken, die als **zentrale Lenkungsinstrumente einen großen Klimaschutzpolitischen Effekt** (wie CO<sub>2</sub>-Bepreisung oder Ausstieg aus Kohlestromerzeugung) haben könnten, und die auch die politischen Rahmenbedingungen im Sinne von arrivee grundlegend ändern würden. Diese Fortentwicklungen sollten sich an folgenden fünf Bausteinen orientieren.

#### (1) Digitalisierung des Verteilnetzes weiter ausbauen

Die Überwachung des Netzzustandes im Verteilnetz und auf dieser Basis technische Eingriffsmöglichkeiten für Netzbetreiber sind die Grundvoraussetzungen für den netzdienlichen Einsatz von Flexibilität. Um über starre Quotenmodelle hinaus Flexibilität zielgerichtet einsetzen zu können, müssen zumindest die potenziell kritischen Netzabschnitte mit Smart-Grid-Systemen permanent überwacht werden. Um solche Systeme in großem Umfang in den Netzbetrieb zu integrieren, müssen die regulatorischen Rahmenbedingungen derart gestaltet sein, dass weder die Entscheidung zugunsten von Investitionen in Assets noch die Entscheidung zur Nutzung von Flexibilität bevorteilt wird.

#### (2) Gleichbehandlung aller Technologien in der Anreizregulierung

Die geforderte Gleichbehandlung aller Technologien und Lösungsoptionen muss auch in der regulatorischen Behandlung der entstehenden Kosten berücksichtigt werden. Dies ist in der aktuellen, CAPEX-lastigen Anreizregulierung nicht der Fall. Um künftig regional stark unterschiedlichen und zeitlich stark beschleunigten Herausforderungen durch neue Technologien (z.B. Batteriespeicher, Elektromobilität, neue Vertriebsprodukte) zu genügen, muss sich die Wahlfreiheit der einzusetzenden Lösungsvarianten auch in der regulatorischen Auswirkung der Kosten widerspiegeln.

#### (3) Der Netzbetreiber muss Anreize für netzdienliches Verhalten schaffen können

Der Netzbetreiber muss rechtlich in die Lage versetzt werden, Anreize für ein netzdienliches Verhalten an flexible Netznutzer zu geben. Dies kann in Form von Zahlungen an den Netznutzer (Flexibilitätsprämien) oder temporären Vergünstigungen der Netzentgelte (spitzenentnahmeunabhängige Dynamisierung) erfolgen. Eine klare Definition und Differenzierung zwischen flexiblen und unflexiblen Netznutzern im regulatorischen Rahmen, beispielsweise im übergreifenden Energiewirtschaftsgesetz des Bundes (EnWG), wäre hierfür erwägenswert. Die Ausgestaltung muss in jedem Fall diskriminierungsfrei, transparent und entflechtungskonform sein und sich durch die Vielzahl dargestellter, relevanter Gesetzes- und Verordnungsvorschriften durchziehen (z. B. EEG, KWKG, Netzentgeltmodernisierungsgesetz).

#### (4) Netzbetreiber können aus technischen Handlungsoptionen wählen

Aus den zur Verfügung stehenden Lösungsvarianten konventioneller Netzausbau, innovativer Netzausbau (z.B. Einzelstrangregler/ rONT) und Nutzung der Flexibilität von Marktteilnehmern sollte jeder Netzbetreiber im Rahmen der regulatorischen Vorgaben frei wählen können. Die gesetzlichen Vorgaben als auch aus regulatorischen Bedingungen, so die für Investitionen in Stromnetze maßgebliche Anreizregulierungsverordnung, sollten keine Anreize für eine spezifische Technologie oder Lösungsvariante - wie Netzausbau - mehr geben. Auch die einzelnen Technologieoptionen im Bereich der Flexibilitätsnutzung, wie zum Beispiel Einspeisemanagement und Batteriespeicher, sollten in einem offenen Wettbewerb stehen, eine Festlegung oder gezielte Förderung einer Technologie ist hierbei zu vermeiden.

### 3.4.3 Fortentwicklungen in den Politikfeldern Abwasser und Kommunalwirtschaft

Die Rahmenbedingungen bezüglich der **Abwasserpolitik** können dabei unterstützen, die Rollendefinition der Abwasserwirtschaft anzupassen („Kläranlage als Kraftwerk“ oder „Bio-Energiezentrale“). Abwasserpolitisch sollte intersektorales Handeln zu bestimmten Zwecken wie der Energiewende explizit gefordert oder erlaubt werden. Die Förderung innovativer Technologien wie der Flexibilitätsbereitstellung oder der Elektrolyse auf Kläranlagen könnte mit dem unter den Expertenhinweisen dargestellten Abbau einiger rechtlich-bürokratischer Hürden unterstützt werden.

Die politischen Rahmenbedingungen bzgl. der Abwasserwirtschaft als Teil der **Kommunalwirtschaft** und der kommunalen Daseinsvorsorge sollten beibehalten und durch energiewirtschaftliches Handeln so wenig wie möglich tangiert werden. Damit Kläranlagenbetreiber dennoch möglichst zahlreich an Energiemärkten partizipieren können, ohne hierfür eigene juristische Expertise aufbauen zu müssen, sind rechtliche und politische Klarstellungen (z. B. im Kommunalabgabengesetz) als „Ermutigung zum diesbezüglichen Handeln“ wünschenswert – auch wenn die bestehenden Rahmenbedingungen keine faktischen Hürden enthalten.

Grundsätzlich sollten Europa-, Bundes- und Landespolitik verbesserte rechtliche und politische Rahmenbedingungen schaffen, damit die Kommunen als wichtige Treiber von Klimaschutz und Energiewende hierfür „ihre“ kommunalwirtschaftlichen Unternehmen verpflichten. Hierfür gibt es eine Vielzahl von Stellschrauben in Förderprogrammen, übergeordneten politischen Zielstellungen, in der Genehmigungspraxis, u.v.m. Partizipative Prozesse sind essentiell, um auf dem Weg zu kommunalpolitischen Zielen wie CO<sub>2</sub>-Neutralität Interessen, auch innerhalb der Kommunalwirtschaft, auszugleichen. Das Organisationsmodell des integrierten Stadtwerkes bietet sich nach wie vor an, um institutionell die Synergien intersektoralen Handelns optimal zu nutzen.

Weiterlesen  
in Kapitel:  
B.7.3  
im Bericht

## 4 - LITERATURVERZEICHNIS

- DESTATIS (2013a): Erhebung über die Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas 2012. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.
- Gretzschel, Oliver; Schäfer, Michael; Honeck, Verena; Dornburg, Arthur (2016): Wasserwirtschaftliche Anlage als Flexibilitätsdienstleister im Stromnetz. Zwischenergebnisse aus Projekten der BMBF-Fördermaßnahme ERWAS. In: *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 63 (8), S. 670–678.
- Schäfer, Michael; Gretzschel, Oliver (2016): Potential of Wastewater Treatment Plants for Long-Term-Storage Options via Power-to-Gas. Posterbeitrag - 11th International Renewable Energy Storage Conference (IRES), Düsseldorf. Online verfügbar unter [http://erwas-arrivee.de/userspace/EXT/arrivee/Dokumente/170313\\_Poster\\_IRES\\_2017\\_Schaefer.pdf](http://erwas-arrivee.de/userspace/EXT/arrivee/Dokumente/170313_Poster_IRES_2017_Schaefer.pdf), zuletzt geprüft am 20.07.2017.
- Schäfer, Michael; Gretzschel, Oliver; Schmitt, Theo G.; Knerr, Henning (2015): Wastewater Treatment Plants as System Service Provider for Renewable Energy Storage and Control Energy in Virtual Power Plants – A Potential Analysis. In: *Energy Procedia* 73, S. 87–93. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.566.
- Schäfer, Michael; Gretzschel, Oliver; Schmitt, Theo G.; Taudien, Yannick (2017a): Flexibilitätspotenziale von Kläranlagen am Energiemarkt. In: *wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik* (3), S. 8–12.
- Schäfer, Michael; Hobus, Inka; Schmitt, Theo G. (2017b): Energetic flexibility on wastewater treatment plants. In: *Water Sci Technol*, wst2017308. DOI: 10.2166/wst.2017.308.