

TEXTE

50/2021

Klimaschutz- und Energieeffizienz- potenziale in der Abwasserwirtschaft - aktueller Stand und Perspektiven

Abschlussbericht

TEXTE 50/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3718 41 326 0
FB000396

Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft - aktueller Stand und Perspektiven

Abschlussbericht

von

Jutta Niederste-Hollenberg, Jenny Winkler, Markus Fritz, Lin Zheng,
Thomas Hillenbrand
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, ISI, Karlsruhe

Gerd Kolisch, Gitta Schirmer
Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH, Wuppertal

Julia Borger, Hannes Doderer, Ilka Dörrfuß
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V., Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

April 2020

Redaktion:

Fachgebiet III 2.6 Abwassertechnikforschung, Abwasserentsorgung
Nathan Obermaier

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzfassung

Die Abwasserwirtschaft ist im kommunalen Kontext in der Regel der größte Energie-Einzelverbraucher. Gleichzeitig wird auf Kläranlagen nutzbare Energie in Form von Gas, Strom oder Wärme erzeugt. Im Kontext des Klimaschutzplans 2050 mit seinen weitreichenden klima- und energiepolitischen Zielsetzungen ist die Abwasserwirtschaft somit ein wichtiges kommunales Handlungsfeld.

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens ist, das Potenzial von Kläranlagen zur Erreichung der Klimaschutzziele zu eruieren. Der Fokus des Vorhabens liegt auf der Bewertung technischer Optionen der Abwasserwirtschaft zur Minderung von Treibhausgas-Emissionen durch die Substitution fossiler Energieträger in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität. Die Betrachtungen erfolgen für den aktuellen Status Quo, ein Benchmark Szenario, mit dem die bereits im jetzigen System möglichen, aber häufig nicht realisierten Optimierungspotenziale abgebildet werden, sowie ein innovatives Szenario, in dem die Kläranlage i. S. systemischer Transition einen Beitrag zur Regenergie in der Region leistet und über die Kernaufgabe hinaus Aufgaben im Energiesystem übernimmt.

Im Sinne einer verbesserten Einbindung der Abwasserwirtschaft in das Energiesystem werden die Wechselwirkungen mit dem Energiemarkt bzw. dessen Anforderungen und relevanten Rahmenbedingungen bei den Fragestellungen grundsätzlich berücksichtigt. Relevante Rechtsnormen und Anpassungsbedarfe werden aufgezeigt. Die Ergebnisse werden in einem Übersichtskatalog zusammengefasst.

Abstract

In the municipal context, wastewater treatment is usually the largest single energy consumer. At the same time, wastewater treatment plants generate usable energy in the form of gas, electricity or heat. In the context of Germany's Climate Action Plan 2050 with its comprehensive climate and energy policy objectives, wastewater management is therefore an important field of action for municipalities.

The overall objective of the research project is to determine the potential of wastewater treatment plants to achieve the climate protection goals. The project focuses on the evaluation of technical options in wastewater management to reduce greenhouse gas emissions by substituting fossil fuels in the areas of electricity, heat, and mobility. Analyses are conducted for the status quo, a benchmark scenario, which illustrates the already possible but often not realised optimisation potentials in the current system, as well as an innovative scenario, in which wastewater treatment plants contribute to balancing energy in the region in the sense of a systemic transition and take on energy system tasks beyond their core task.

In the sense of an improved integration of wastewater treatment into the energy system, the interactions with the energy market, its requirements and relevant framework conditions will be considered. The relevant legal standards and required adaptations are pointed out. The results are summarised in a general overview.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis	14
Zusammenfassung.....	18
Summary	26
1 Einleitung und Hintergrund.....	34
2 Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft	41
2.1 Status Quo.....	41
2.1.1 Entwicklung des Stromverbrauchs kommunaler Kläranlagen	41
2.1.2 Länderspezifische Datensätze.....	44
2.1.3 Bewertung und Verbesserungspotenzial.....	46
2.1.4 Energieeigenerzeugung aus Klärgas	48
2.1.5 Wärmebedarf und -dargebot auf Kläranlagen.....	52
2.2 Benchmark	52
2.2.1 Energieeffizienz bei Teilprozessen	52
2.2.2 Ableitung eines Benchmarks.....	55
2.2.3 Weiterführende Kennzahlen.....	56
2.2.4 Plausibilisierung/Erfolgskontrolle	59
3 Innovative Konzepte und Systemlösungen	60
3.1 Auswertung von Forschungsvorhaben und Förderschwerpunkten	60
3.1.1 ESYS - Initiative der Wissenschaftsakademien für eine nachhaltige, sichere und bezahlbare Energieversorgung	61
3.1.2 Powerstep - Full-scale demonstration of energy positive sewage treatment plant concepts towards market penetration	62
3.1.3 BMWI SINTEG - Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende	63
3.1.4 BMBF INIS - Intelligente Infrastrukturen	64
3.1.5 BMBF ERWAS - Energie und Wasser	69
3.1.6 BMBF MachWas (Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft)	76
3.2 Anforderungen des Energiemarktes	77
3.2.1 Einordnung.....	77
3.2.2 Lage der Kläranlagen.....	78

3.2.3	Stromerzeugung für die Eigenversorgung	80
3.3	Innovative Systemlösungen	80
3.3.1	Flexibilisierung von Stromerzeugung und -verbrauch	80
3.3.2	Power-to-X	83
3.3.3	Gaserzeugung und -nutzung	90
3.3.4	Wärmeerzeugung und -nutzung	95
3.3.5	Fazit zu innovativen Systemlösungen	102
4	Förderung - Randbedingungen, Möglichkeiten, Lücken	105
4.1	Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen	105
4.1.1	Effizienzverpflichtungen nach BImSchG (Betreiberpflicht)	105
4.1.2	Effizienzverpflichtungen nach Abwasserverordnung	106
4.1.3	Auswirkungen der Effizienzverpflichtungen auf staatliche Förderungsmöglichkeiten ..	107
4.2	Bestehende Maßnahmen und Förderprogramme	108
4.3	Förderbedarfe	109
5	Rechtliche Rahmenbedingungen	111
5.1	Kläranlagen als Stromverbraucher	111
5.1.1	Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung	111
5.1.2	Eigenversorgungskonstellationen	119
5.1.3	Kundenanlagen	123
5.1.4	Anreize für flexibles Verbrauchsverhalten	125
5.2	Kläranlagen als Stromerzeuger	125
5.2.1	Klärgasverstromung und EEG-Vergütung	126
5.2.2	Klärgasverstromung und KWKG-Förderung	128
5.2.3	Möglichkeiten der Massenbilanzierung, § 44b Abs. 5 EEG 2017	129
5.2.4	Anreize und Verpflichtungen für flexibles Erzeugungsverhalten	130
5.3	Abwasserwirtschaft als Wärmeerzeuger	135
5.3.1	EEWärmeG	136
5.3.2	EnEV	139
5.3.3	GEG-E	141
5.4	Kläranlagen als Biomethanerzeuger	142
5.4.1	Biomethan im Strom- und Wärmesektor	143
5.4.2	Biomethan im Mobilitätssektor	144
5.4.3	Zusammenfassung	146
5.5	Kläranlagen als Wasserstoffherzeuger	147

5.5.1	Wasserstoff im Strom- und Wärmesektor	147
5.5.2	Wasserstoff im Mobilitätssektor	149
5.5.3	Zusammenfassung	150
5.6	Kläranlagen als Systemdienstleister	150
5.6.1	Regelenergiebereitstellung.....	150
5.7	Zugang zur Wärmeinfrastruktur	152
5.7.1	Zugang zu Wärmenetzen auf Erzeugerseite	153
5.7.2	Zugang zu Wärmenetzen auf Verbraucherseite	154
5.8	Verpflichtungen nach dem TEHG für Kläranlagen	154
5.9	Ausblick auf die perspektivische Entwicklung des Energierechts.....	155
6	Risikomanagement.....	157
6.1	Technik und Prozesse.....	157
6.2	Zulässigkeit wirtschaftlicher Betätigung durch kommunale Kläranlagen.....	157
6.2.1	Zulässigkeit im Rahmen des kommunalen Wirtschaftsrechts	157
6.2.2	Zulässigkeit durch satzungsrechtliche Gebührenerhebung.....	159
6.2.3	Grenzen des wirtschaftlichen Handelns durch abwasserrechtliche Vorschriften	162
7	Schlussfolgerungen und Diskussion	164
8	Quellenverzeichnis	167
A	Anhang: Aktuelle Förderprogramme des Bundes und der Länder	174
A.1	Förderprogramme Bund	174
A.2	Förderprogramme Länder.....	176
B	Anhang	187
B.1	Anhang zu 6.1.1.....	187
C	Anhang: Eingangsgrößen.....	189
C.1	Anhang: Eingangsgrößen für die großen PV-Dachanlagen	189
C.2	Anhang: Eingangsgrößen für die Biomethanaufbereitungsverfahren.....	189
C.3	Anhang: Eingangsgrößen für die AEL-Elektrolyseur.....	190
D	Anhang: Berechnung	191
D.1	Anhang: Berechnung der Biomethangestehungskosten	191
D.1.1	Anhang: Formel für die Berechnungen der Biomethangestehungskosten	191
D.1.2	Anhang: Ergebnisse der Berechnung von den Biomethangestehungskosten	191
D.1.3	Anhang: Ergebnisse der Berechnung von den Biomethangestehungskosten ab 2021 ..	192
D.2	Anhang: Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten.....	192
D.2.1	Anhang: Formel für die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten.....	192

D.2.2	Anhang: Ergebnisse der Berechnung von Wasserstoffgestehungskosten	193
D.2.3	Anhang: Ergebnisse der Berechnung von Wasserstoffgestehungskosten in 2030.....	193
D.3	Anhang: Berechnung der Stromgestehungskosten von Biomethan.....	194
D.3.1	Anhang: Formel für Berechnung von Stromgestehungskosten.....	194
D.3.2	Anhang: Ergebnisse der Stromgestehungskosten von Biomethan.....	194
D.3.3	Anhang: Ergebnisse der Stromgestehungskosten von Biomethan ab 2021.....	195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} (eigene Darstellung WiW mbH).18
Abbildung 2:	Kennzahlen zur Bewertung von Verfahrensgruppen und Teilprozessen (eigene Darstellung, WiW mbH).....19
Figure 3:	Development of resident-specific total electricity consumption e_{tot} (own figure, WiW mbH)27
Figure 4:	Key indicators to assess groups of processes and subprocesses (own figure, WiW mbH).....28
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Energie- und wichtiger Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland ..34
Abbildung 6:	Entwicklung des absoluten und spezifischen Stromverbrauchs über die Größenklassen 1-5 (Daten des DWA-Leistungsvergleichs von 2011-2017, eigene Darstellung, WiW mbH)41
Abbildung 7:	Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Kläranlagen in Baden-Württemberg (Daten des DWA-Landesverbandes BW, eigene Darstellung, WiW mbH)42
Abbildung 8:	Verteilung des spezifischen Stromverbrauchs e_{ges} von 1.736 Kläranlagen in Deutschland bezogen auf ihre mittlere Einwohnerbelastung (DWA-Daten für das Jahr 2016 und Kläranlagen der Größenklasse 4+5, eigene Darstellung, WiW mbH)43
Abbildung 9:	Häufigkeitsverteilung des spezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} (Daten aus Rheinland-Pfalz für die Jahre 2010, 2011 und 2018, eigene Darstellung, WiW mbH)44
Abbildung 10:	Summenhäufigkeit des spezifischen Stromverbrauchs e_{ges} (Daten aus Baden-Württemberg für die Jahre bis 2013, 2017,2018) im Vergleich zu den deutschlandweit ermittelten Daten der DWA für 2016, eigene Darstellung, WiW mbH)45
Abbildung 11:	Box-Whisker-Plots des spezifischen Energieverbrauchs e_{ges} (Daten aus Bayern für die Jahre 2009-2011, 2017 und 2018, eigene Darstellung, WiW mbH)46
Abbildung 12:	Entwicklung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} auf Basis der Datensätze (Q2-Werte) für die Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Bayern und NRW von 2006 bis 2018, zusätzlich die Werte für Deutschland aus dem DWA-Leistungsvergleich der Jahre 2011 bis 2017 (eigene Darstellung, WiW mbH)48
Abbildung 13:	Entwicklung der Klärgaserzeugung in Deutschland von 1998 bis 2018 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH)49

Abbildung 14:	Entwicklung der Klärgasgewinnung und –nutzung in Deutschland von 1998 bis 2017 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH).....	50
Abbildung 15:	Entwicklung von Einspeisung und Eigenverbrauch von Klärgas-Strom über den Zeitraum von 1998-2018 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH)	51
Abbildung 16:	Verfahrensabhängige Methanverluste bei der Aufbereitung von Klärgas zu Bio-Methan nach (Pinnekamp et al., 2017).....	52
Abbildung 17:	Einwohnerspezifischer Stromverbrauch der Belüftung (108 Kläranlagen BW und NRW) als Summenhäufigkeit (eigene Darstellung, WiW mbH).....	54
Abbildung 18:	Kennzahlen zur Bewertung von Verfahrensgruppen und Teilprozessen (eigene Darstellung, WiW mbH).....	57
Abbildung 19:	Entfernung der Kläranlagen in Deutschland zu Wohngebieten (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI).....	79
Abbildung 20:	Vielfältige Nutzung von Biogas	84
Abbildung 21:	Verteilung der Verfahren zur Biogasaufbereitung	84
Abbildung 22:	Prozessdiagramm der Chemischen Absorption (Aminwäsche) (Zhou et al., 2017)	85
Abbildung 23:	Funktionsweise des Membranverfahrens	85
Abbildung 24:	Gestehungskosten für Biomethan (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	86
Abbildung 25:	Gestehungskosten für Biomethan ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO ₂ -Emission) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	87
Abbildung 26:	Schema einer Alkalie-Elektrolysezelle	88
Abbildung 27:	Wasserstoffgestehungskosten (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	89
Abbildung 28:	Wasserstoffgestehungskosten in 2030 (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	90
Abbildung 29:	Vermarktung in 2015 (oben) und Absatz als Kraftstoff (unten) von Biomethan	92
Abbildung 30:	Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	93
Abbildung 31:	Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO ₂ -Emission) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)	94
Abbildung 32:	Link: Kanal mit integriertem Wärmetauscher (Badenova (2007); Rechts: Kanal mit nachgerüstetem Wärmetauscher (Kasag, 2019).....	96

Abbildung 33:	Schematische Darstellung der Abwärmenutzung aus Grauwasser (Quelle: www.speichertechnik.com in SBZ, 2016)	99
Abbildung 34:	Technisches Konzept der innovativen Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation (Müller, 2019).....	100
Abbildung 35:	Schematische Darstellung einer nicht-leitungsgebundenen Abwärmenutzung (ma, 2009).....	101
Abbildung 36:	Stromnebenkosten für Letztverbraucher (Stand Januar 2020)	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Analysierte Power-to-X-Ansätze.....	21
Table 2:	Analysed Power-to-X approaches	29
Tabelle 3:	KlimAW-Katalog - Überblick über Maßnahmen, die adressierten Energieformen, ihre Wechselwirkungen mit dem Energiemarkt, den Rechtsrahmen und mögliche Erträge	37
Tabelle 4:	Einwohnerspezifischer Gesamtstromverbrauch e_{ges} in 4 Bundesländern.....	47
Tabelle 5:	Quartilswerte für die energetische Einordnung von Gesamtanlage, Verfahrensgruppe und -schritten (Gasse et al., 2017).....	56
Tabelle 6:	Übersicht über die aktuell relevanten Forschungsvorhaben im Bereich des Wasser-Energie-Nexus.....	60
Tabelle 7:	Übersicht der untersuchten Aggregate und deren Kenngrößen zur Bereitstellung von Flexibilität auf der Kläranlage Radevormwald (Arrivee, 2017).....	82
Tabelle 8:	Überblick über die Analyse innovativer Systemlösungen und qualitative Bewertung	104
Tabelle 9:	Zuschläge für in ein Netz der öffentlichen Versorgung eingespeisten Strom aus neuen und modernisierten KWK-Anlagen	129
Tabelle 10:	Eingangsgrößen von großen PV-Dachanlagen	189
Tabelle 11:	Jahreserträgen an typischen Standorten von PV	189
Tabelle 12:	Kennwerte von zwei Klärgasaufbereitungsverfahren (Aminwäsche und Membranverfahren)	189
Tabelle 13:	Kennwerte von AEL-Elektrolyseur (1 MW)	190
Tabelle 14:	Gestehungskosten für Biomethan.....	191
Tabelle 15:	Gestehungskosten für Biomethan ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO ₂ -Emission)	192
Tabelle 16:	Wasserstoffgestehungskosten	193
Tabelle 17:	Wasserstoffgestehungskosten in 2030	193
Tabelle 18:	Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung)	194
Tabelle 19:	Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO ₂ -Emission)	195

Abkürzungsverzeichnis

AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AblatV	Verordnung zu abschaltbaren Lasten
AbwVO	Abwasserverordnung
AEL	Alkalie-Elektrolyse
aFRR	Sekundärregelleistung (automatic Frequency Restoration Reserves)
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
Al	Aluminium
BAT	Best available technology, beste verfügbare Technik
BauGB	Baugesetzbuch
Bay	Bayern
BDEW	Bundesverband der deutschen Energie- und Wasserwirtschaft
BECCS	Bioenergy with carbon capture and storage
BGBI	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BiomasseV	Biomasseverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BW	Baden-Württemberg
CAPEX	Spezifischen Investitionskosten (engl. Capital Expenditure)
CCSU	Carbon Capture Storage and Use
CH₄	Methan
CO₂	Kohlendioxid
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSTR	Continuously Stirred Tank Reactor
CUTEC	Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH, TU Clausthal
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
E	Einheit für Einwohnerwerte
EA	Energieanalyse
EBel	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung in [kWh/(E*a)]
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

eges	Spezifischer Gesamtstromverbrauch in [kWh/(E*a)]
EMAS	Europäische Eco Management and Audit Scheme, von der EU entwickeltes System aus Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ERWAS	Fördermaßnahme des BMBF
EW	Einwohnerwerte
FCR	Primärregelleistung (Frequency Containment Reserves)
Fe	Eisen
Fraunhofer IEE	Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik
GAK	Granulierte Aktivkohle
GasNEV	Gasnetzentgeltverordnung
GasNZV	Gasnetzzugangsverordnung
GEG-E	Entwurf des Gebäudeenergiegesetzes
GK	Größenklasse (einer Kläranlage)
GO-SH	Gemeindeordnung Schleswig-Holstein
GWP	Global Warming Potential
HGrG	Haushaltsgrundsätzegesetz
HWC	Hamburg Water Cycle
H2	Wasserstoff
Ifak	Institut für Automation und Kommunikation e. V.
INIS	Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserver- und Abwasserentsorgung
InnAusV	Innovationsausschreibungsverordnung
ISO	Internationale Organisation für Normung
ISOE	Institut für sozial-ökologische Forschung
KA	Kläranlage
KAG	Kommunalabgabengesetz
KAV	Kommunalabgabenverordnung
KERAMESCH	Entwicklung und Erprobung von Keramik-Metall-Schwebekörpern aus Kompositwerkstoffen
kWh	Kilo-Wattstunden
KomS	Kompetenzzentrum Spurenstoffe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
KWKAausV	KWK-Ausschreibungsverordnung
LANUV	Landesanstalt für Naturschutz, Umweltschutz und Verbraucherschutz
LfU	Landesamt für Umwelt
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
LUA	Landesumweltamt
MAK	Massenalgenkultur

MBZ	Mikrobielle Biobrennstoffzelle
mFRR	Minutenregelleistung (manual Frequency Restoration Reserves)
Mg	Magnesium
MietStrFG	Gesetz zur Förderung von Mieterstrom und zur Änderung weiterer Vorschriften des Erneuerbare-Energien-Gesetzes
MGT	Mikrogasturbine
MURL	Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft
MW_{el}	Mega-Watt elektrisch
MWh	Mega-Wattstunden
NEA	Netzersatzanlage
NECP	Integrierte Nationale Energie- und Klimaschutzpläne
NKB	Nachklärbecken
Nm³	Normkubikmeter
NRW	Nordrhein-Westfalen
oTR	Organischer Trockenrückstand
O₂	Sauerstoff
P	Phosphor
PAK	Pulveraktivkohle
PE	Primärenergie
PEF	Primärenergiefaktor
PEM	Proton-Exchange-Membrane
PtG	Power-to-Gas (H ₂ oder CH ₄)
PtG(tp)	Power-to-Gas (to Power)
PtH	Power-to-Heat
PtX	Power to X
PV	Photovoltaik
Q1	1. Quartil (entspricht dem 25 %-Perzentil)
Q2	2. Quartil entspricht dem Median
Q3	3. Quartil (entspricht dem 75 %-Perzentil)
RADAR	Radikalische Abwasserreinigung
RED	Renewable-Energy-Directive (Erneuerbare Energien Richtlinie)
RLP	Rheinland-Pfalz
SIMBA	Simulations-Modell
SINTEG	Fördermaßnahme des BMWi
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
StromStV	Stromsteuer-Durchführungsverordnung
TDH	Thermodruckhydrolyse
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
TR	Trockenrückstand
TWh	Terra-Wattstunden
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UBA	Umweltbundesamt
USD	US Dollar
VPSA	Vakuum-Druckwechseladsorption
Wh	Wattstunde
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WKA	Wasserkraftanlage
WRG	Wärmerückgewinnung
α-Wert	Grenzflächenfaktor

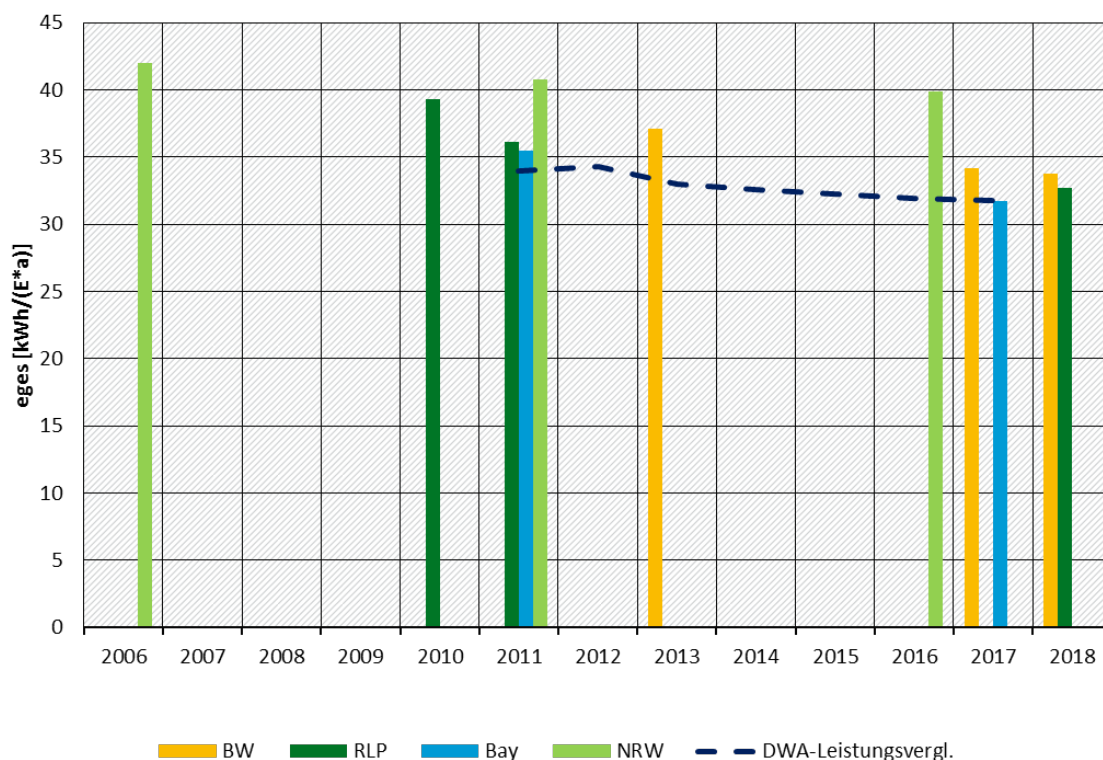
Zusammenfassung

Ziel des Projekts ist die Ermittlung der Energieeffizienz- und Klimaschutzpotenziale der Abwasserwirtschaft in Deutschland. Vor dem Hintergrund des Klimaschutzplans 2050 und der darin enthaltenen weitreichenden klima- und energiepolitischen Ziele gilt es, die Abwasserwirtschaft in beide Richtungen - Energieverbrauch und Energieproduktion - konsequent zu optimieren und so die indirekten Treibhausgasemissionen der Abwasserwirtschaft signifikant zu senken.

Im ersten Teil dieser Arbeit wird die Energieeffizienz von Kläranlagen im aktuellen Status Quo dokumentiert und die durch die Nutzung der besten verfügbaren Techniken erreichbaren Energieeffizienz im Benchmark-Szenario ermittelt. Darüber hinaus werden Technologien, die derzeit Stand der Forschung sind, auf ihre perspektivische Einsetzbarkeit untersucht.

Status Quo: Der Energieverbrauch kommunaler Kläranlagen ist seit über 20 Jahren im Fokus der Betreiber kommunaler Kläranlagen. In diversen Leitfäden einzelner Bundesländer wurde das Vorgehen zur Ermittlung und zur Optimierung des Energieverbrauchs detailliert beschrieben. Mit dem 2016 erschienenen DWA-Arbeitsblatt A 216 liegt ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung des Energieverbrauchs kommunaler Kläranlagen auf Basis der mittleren CSB-Belastung vor. Die Durchführung von Energieanalysen auf kommunalen Kläranlagen und die Umsetzung möglicher Maßnahmen zur Optimierung des Stromverbrauchs werden bis heute in unterschiedlichen Programmen auf Bundes- wie auch auf Landesebene gefördert.

Abbildung 1: Entwicklung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} (eigene Darstellung WiW mbH)



Obwohl auf einzelnen Kläranlagen regelmäßig Einsparpotenziale in Höhe von etwa 20-25 % des Gesamtstromverbrauchs erkannt werden, spiegelt die Entwicklung des Stromverbrauchs diese mögliche Reduktion nicht wider. Der im Leistungsvergleich der DWA erfasste spezifische Gesamtverbrauch sank so von 34 kWh/(E*a) im Jahr 2011 über 6 Jahre nur um knapp 2 kWh/(E*a)

auf 31,8 kWh/(E*a) im Jahr 2017. Das entspricht deutschlandweit einer mittleren Abnahme von lediglich 1,1 % pro Jahr. Andere länderspezifischen Datenerhebungen bestätigen diese nur geringe Verbesserung. Die Gründe sind vielfältig, u. a. nimmt eine vollständige Umsetzung erkannte Optimierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Austauschzyklen in der Maschinen- und Elektrotechnik etwa 10 Jahre in Anspruch.

In den Auswertungen spielt die 4. Reinigungsstufe noch keine Rolle. Zwischenzeitlich werden jedoch vereinzelt Anlagen zur Spurenstoffelimination betrieben. Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe führt z. B. für Baden-Württemberg bereits 31 Kläranlagen mit Spurenstoffelimination (Stand 2020) an. Die Verfahren der Spurenstoffelimination mittels Ozon (O₃), Pulveraktivkohle (PAK) oder granulierter Aktivkohle (GAK) weisen unterschiedliche Strombedarfe auf, die üblicherweise auf die bezogene Abwassermenge bezogen werden und mit 0,02 (PAK) bis zu 0,2 kWh/m³ bei Ozon eine hohe Spannweite aufweisen. Mit einer Abwassermenge von 50 m³/(E*a) entsprechend dem jährlichen Trinkwasserverbrauch und einem mittleren Stromverbrauch von 0,1 kWh/m³ ist bei einer flächigen Einführung vierter Reinigungsstufen eine Steigerung des Strombrauchs von derzeit 31,8 kWh/(E*a) (DWA, 2017) um rund 15 % zu rechnen.

Benchmark: Gegenüber dem spezifischen Gesamtverbrauch des DWA-Leistungsvergleichs weisen Energieanalysen nach dem DWA-Arbeitsblatt A 216 einen höheren Detaillierungsgrad auf und ermöglichen die Ableitung von Benchmark-Werten. Die im Rahmen einer Energiepotenzialstudie für Baden-Württemberg aus durchgeführten Energieanalysen ermittelten Quartilswerte [Gasse et al., 2015] ergaben als Benchmark bzw. Energieverbrauch einer in allen Verfahrensbereichen optimierten kommunalen Kläranlage einen Wert von 25 kWh/(E*a). Dieser unterschreitet den Mittelwert gemäß DWA-Leistungsvergleich 2017 um rund 20 % und zeigt das weiter bestehende Optimierungspotenzial auf. Die für eine Verbrauchsoptimierung relevanten Teilprozesse sind Hebewerk, Belüftung, Umwälzung, Rücklaufschlammförderung, Rezirkulation, Schlammfäulung und -entwässerung. Mit einem Benchmark-Verbrauch von 20 kWh/(E*a) decken sie rund 80 % des gesamten Stromverbrauchs der Kläranlage ab. Das mit Abstand höchste Einsparpotenzial liegt bei der Belüftung, die mit der heute verfügbaren Technik einen spezifischen Verbrauchswert von 10 kWh/(E*a) bzw. 40 % des Gesamtverbrauchs der optimierten Kläranlage erreicht.

Abbildung 2: Kennzahlen zur Bewertung von Verfahrensgruppen und Teilprozessen (eigene Darstellung, WiW mbH)

Gesamtverbrauch	Kläranlage $\frac{kWh}{EW}$					
	Kläranlage $\frac{kWh}{m^3}$					
Verfahrensgruppe	Hebewerk $\frac{Wh}{m^3 \cdot m}$	Mechanik $\frac{kWh}{m^3}$	Belebung $\frac{kWh}{\Delta kg_{CSB}}$	Schlammbehandlung $\frac{kWh}{m^3_{Schlamm}}$	Infrastruktur $\frac{kWh}{EW_{Ausbau}}$	Spurenstoffelimination $\frac{kWh}{m^3}$
Prozessschritt	Belüftung $\frac{kWh}{\Delta kg_{CSB}}$	Rührwerke $\frac{kWh}{m^3_{BB}}$	Rezirkulation $\frac{kWh}{m^3}$	Rücklaufschlamm $\frac{kWh}{m^3 \cdot m}$	Rührwerke Fäulung $\frac{kWh}{m^3_{BB}}$	Entwässerung $\frac{kWh}{m^3_{BB}}$

Ergänzend zu dem heute auf Basis des Parameter CSB bewerteten Energieverbrauch sollten auf kommunalen Kläranlagen weitere Energiekennzahlen regelmäßig ermittelt werden. Die hierfür notwendigen Messdaten liegen auf den meisten Anlagen bisher nicht oder nur teilweise in ausreichender Form vor; vielfach fehlt die zugehörige Messausstattung. Da Messinstrumente und die Visualisierung von Energiekennzahlen keine direkte Stromeinsparung bewirken, werden sie in den vorhandenen Förderprogrammen noch nicht unterstützt. Unter Berücksichtigung der möglichen Einsparungen und des vergleichsweise geringen Investitionsbedarfs, insbesondere bei einer Beschränkung auf den vorgenannten 80 %-Bereich, sollte die Umsetzung eines entsprechenden Messstellenkonzeptes jedoch vorrangiges Ziel zukünftiger Optimierungen für Betreiber sein. Nur so kann eine nachgelagerte Erfolgsprüfung zu umgesetzten Maßnahmen erfolgen. Die Bereitstellung detaillierter Verbrauchsdaten für ein weiterführendes Energiemanagement nach ISO 50001 ist dann möglich.

Innovative Konzepte

Seit einigen Jahren werden auch in der Forschung vermehrt Anstrengungen unternommen, die Potenziale der Abwasserwirtschaft für die Ziele der Energiewende nutzbar zu machen. Neben den technischen Herausforderungen ist die Integration anderer Sektoren in das Energiesystem mit seinen spezifischen Randbedingungen mit besonderen Fragestellungen verbunden.

Das Energiesystem unterliegt derzeit einem tiefgreifenden Wandel, insbesondere mit dem Ziel der Dekarbonisierung. Aktuell bestehen dadurch noch viele Unsicherheiten, bspw. hinsichtlich des zukünftigen Flexibilitätsbedarfs oder der Zukunft der Gasinfrastruktur. Diese Unsicherheiten müssen bei der Entwicklung und Anwendung von innovativen Ansätzen in der Abwasserwirtschaft berücksichtigt werden.

Flexibilisierung von Stromerzeugung und -verbrauch: Kläranlagen sind technisch in der Lage, sowohl die Stromerzeugung aus den Blockheizkraftwerken als auch ihren Stromverbrauch in einem bestimmten Maß zu flexibilisieren. Dies wurde im BMBF-Projekt Arrivee (Arrivee, 2019) im Detail untersucht. Eine solche Flexibilisierung kann im Kontext der Energiewende zur Effizienz des Gesamtsystems beitragen - in Frage kommen die flexible Vermarktung und Einkauf von Strom auf dem Stromgroßhandelsmarkt, die Teilnahme am Markt für Regenergie sowie die Bereitstellung von Flexibilität als Beitrag zur Stabilität im lokalen Verteilnetz. Für die beiden zuerst genannten Ansätze sind in den meisten Fällen (aufgrund der geringen Größe und fehlender Energiemarkt-Kompetenzen auf Kläranlagen) Aggregatoren, also Zwischenhändler, notwendig. Die Bereitstellung von lokaler Flexibilität kann hingegen auch direkt erfolgen.

Die aktuellen Rahmenbedingungen im Stromgroßhandel und dem Regenergiemarkt mit relativ geringen Preisen und Preisschwankungen machen eine Beteiligung von Kläranlagen derzeit aus wirtschaftlichen Gründen uninteressant. Rückzahlungszeiträume für entsprechende Investitionen liegen bei mehr als 35 Jahren. Falls in Zukunft Preisniveau und Preisvolatilität steigen sowie die Attraktivität der Eigenversorgung, bspw. durch eine Anpassung der Abgaben und Umlagen oder der Netzentgelte abnimmt, kann die aktive Beteiligung von Kläranlagen an Regelmärkten und Stromgroßhandel attraktiv werden.

Schon heute sinnvoll kann indes die lokale Bereitstellung von Flexibilität sein. Die Netzsituation unterscheidet sich zwar sehr stark und entsprechend ist auch der Bedarf an Flexibilität variabel. Aufgrund ihrer Lage sind Kläranlagen jedoch sehr gut geeignet, lokal zur Netzflexibilität beizutragen. In diesem Zusammenhang ist es empfehlenswert, mit dem lokalen Netzbetreiber bzgl. des tatsächlichen Flexibilitätsbedarfs Kontakt aufzunehmen.

Power-to-X: Kläranlagen können die Kopplung zwischen den Strom- und Gasnetzen und den anderen Energieträgern wie Klärgas, CH₄ und H₂ durch Power-to-X ermöglichen, indem Strom in andere Energieformen (bspw. Gas, Flüssigkeit) umgewandelt wird.

Zwei Power-to-X Ansätze werden auf ihre Rentabilität abhängig von ihren Nutzungen (in Kapitel 3.3.2) beispielhaft analysiert. Die Technologien werden vorgestellt und die Gasgestehungskosten unter unterschiedlichen Rahmenparametern und Annahmen (z. B. eine verfügbare und günstige Überschusssituation und eine optimale Stromerzeugung aus PV-Anlagen) berechnet. Hierfür wurden auch die CO₂-Emissionen inkl.CO₂-Bepreisung berücksichtigt.

Tabelle 1: Analyisierte Power-to-X-Ansätze

PtX Ansatz	Beispieltechnologie	Mögliche Nutzungen
Power to Biomethan (CH ₄)	Aminwäsche und Membranverfahren	• Gas Einspeisung/Vermarktung • Verstromung • Kraftstoff
Power to Wasserstoff (H ₂)	Alkalie-Elektrolyse	

Die Gestehungskosten von beiden Gasen (Biomethan und Wasserstoff) sinken mit ansteigenden Volllaststunden der Gaserzeugungssysteme (Klärgasaufbereitungsanlage und Elektrolyse).

Die Analyse von Power to Biomethan weist darauf hin, dass die Kosten durch Membranverfahren günstiger sind als durch Aminwäsche. Unter den getroffenen Annahmen liegen die Methan-gestehungskosten zwischen 3,17 und 4,48 €/kWh bei aktuell erreichbaren 5.000 Volllaststunden pro Jahr und zwischen 2,66 und 4,03 €/kWh bei 7.000 Volllaststunden (bspw. durch eine Verbesserung der Klärgaserzeugung) pro Jahr. Durch die Vermeidung der CO₂-Emission sinken die Gestehungskosten unter den getroffenen Annahmen auf 2,65 – 4,22 €/kWh bei 5.000 h/a Volllaststunden und auf 2,36 – 3,93 €/kWh bei 7.000 h/a Volllaststunden. Nur im idealen Fall (mit 7.000 h/a Volllaststunden, CO₂-Einsparung, und Membranverfahren) werden die Geste-hungskosten von Biomethan günstiger als die von Klärgas (ca. 2,56 €/kWh) (Fraunhofer IEE, 2018).

Die Wasserstoffgestehungskosten in Süddeutschland sind unter den getroffenen Annahmen am günstigsten aufgrund der höheren Stromerzeugung aus PV-Anlagen. Die so berechneten Kosten bei 6.000 Volllaststunden pro Jahr liegen zwischen 8,47 €/kg und 10,02 €/kg und in 2030 zwischen 7,47 €/kg und 7,54 €/kg. Im Moment liegen die Wasserstoffpreise je nach Qualität und Menge unter 4 €/kg (Glenk und Reichelstein, 2019). Wasserstoffherzeugung mit Elektrolyse ist damit derzeit nicht rentabel für Kläranlagen. Sofern diese Wasserstoffherzeugung politisch ge-wollt ist (vgl. die nationale Wasserstoffstrategie ¹), wäre aktuell eine gezielte Förderung notwen-dig.

Gaserzeugung und -nutzung: Zwei weitere Gaserzeugungsansätze werden als Optionen für Kläranlagen vorgestellt und ihre Rentabilität in Verbindung mit den Nutzungen analysiert.

Biomethanherzeugung durch Methanisierung: Die Kosten sind stark von Strompreis beeinflusst. Biomethan aus Methanisierung ist im Vergleich zur Klärgasaufbereitung nur dann kostengünsti-ger, wenn der Strompreis niedriger als 3,8 €/kWh (Collet et al., 2017) ist, was deutlich unter dem Strompreis liegt, den Betreiber von Kläranlagen aktuell bezahlen. Außerdem ist die Erzeu-gung von Wasserstoff (als Reaktant der Methanisierung) unter den aktuellen Bedingungen nicht rentabel für Kläranlagen (siehe Kapitel 3.3.3.1). Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass es bei in-termittierendem Betrieb der Methanisierung zu Verlusten des Klärgases während Off-Stunden

¹ <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html>

kommt. Der Prozess der Methanisierung erfordert einen kontinuierlichen Betrieb, was allein mit Überschussstrom nicht zu gewährleisten ist.

Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm: Aus Klärschlamm könnte Wasserstoff thermochemisch oder biologisch hergestellt werden. Generell sind biologische Verfahren kostengünstiger aber langsamer als thermochemische Verfahren. Obwohl biologische Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm im Moment noch Stand der Forschung ist, gibt es hier ein hohes Potenzial. Die Förderung von Pilotprojekten und Pilotanlagen kann hier sinnvolle Unterstützung bieten.

Die Wasserstofferzeugung und -nutzung ist aktuell, auch bei Nutzung von PV-Anlagen noch nicht wirtschaftlich für Kläranlagen. Dennoch ist vor dem Hintergrund der gewünschten und möglichen Entwicklungen eine Förderung an dieser Stelle sinnvoll und kann helfen, kostengünstige Wasserstofferzeugungsverfahren in naher Zukunft wirtschaftlicher zu gestalten.

Biomethan aus Klärgasaufbereitung wird unter den in diesem Projekt getroffenen Annahmen auch im idealen Fall nicht absehbar rentabel für Kläranlagen. Obwohl die Kosten von Power to Biomethan immer weiter sinken, ist die Durchführung der Klärgasaufbereitung zu Biomethan nur zur Verstromung (entweder für Eigenverbrauch oder für Einspeisen) in Kläranlagen weiterhin sehr aufwändig und führt zu keinem zusätzlichen Gewinn. Die Nutzung des Biomethans als Kraftstoff könnte für Kläranlagen eine Option darstellen.

Neben der Kläranlage spielt auch das Kanalnetz eine relevante Rolle, wenn es um die Nutzung von Energiepotenzialen in der Abwasserwirtschaft geht. Hier werden vor allem der Transport und die Nutzung von Wärme betrachtet.

Wärmeerzeugung und -nutzung: Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser durch regenerative Energien gilt als wichtiger Hebel für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Eine Möglichkeit ist hierbei die Nutzung von Fernwärme mit regenerativen Energiequellen. Hierbei können auch Kläranlagen eine Rolle spielen, in dem sie sich an ein bestehendes Fernwärmenetz anschließen und dort Wärme einleiten. Diese kann beispielsweise aus der Abwärmenutzung von KWK-Prozessen oder aus der gezielten Erzeugung von Wärme durch Klärschlammverbrennung, Klärgasverbrennung oder über die Erzeugung durch Wärmepumpen und auf der Kläranlage erzeugtem Strom stammen. Diese Technologieoptionen haben aber sowohl technische, als auch rechtliche Einschränkungen. Beispielsweise gibt es keinen gesetzlichen Anspruch auf den Zugang zu Wärmenetzen. Das bedeutet, dass der Wärmenetzbetreiber potenziellen Einspeisern die Möglichkeit der Einspeisung verwehren kann. Näheres zum rechtlichen Rahmen findet sich in Kapitel 5.6.

Zusätzlich zu den genannten Technologien wurden in diesem Projekt folgende Technologien analysiert:

- Abwasserwärmenutzung im Kanal
- Wärmerückgewinnung aus Grauwasser
- Innovative Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation
- Nicht-leitungsgebundene Abwärmenutzung

Eine direkte Einbindung der Kläranlage in bestehende Fern- und Nahwärmesysteme ist nur schwer zu realisieren. Dies liegt zum einen an dem aktuell nicht liberalisierten Markt für Fernwärme und zum anderen an den verhältnismäßig geringen überschüssigen Wärmemengen, welche auf der Kläranlage erzeugt werden können, da der Großteil der Wärme intern Verwendung findet. Der freie Zugang zu Wärmeinfrastrukturen sollte in Zukunft gesetzlich geregelt werden,

damit auch für kleinere lokale Einspeiser (wie der Kläranlage) die Möglichkeit besteht, Wärme in die vorhandenen Infrastrukturen einzuspeisen. Für die Wärmenutzung in der Kanalisation ergeben sich allerdings aussichtsreiche Möglichkeiten. Die Nutzung der Wärme im Kanal und im Grauwasser sind etablierte Technologien, welche auch unter Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind. Die vorgestellten Technologien zur Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung in der Kanalisation und die nicht-leitungsgebundene Abwärmenutzung befinden sich aktuell noch in frühen Forschungsstadien und sollten in weiteren Forschungsprojekten gefördert werden, um die Wirtschaftlichkeit dieser Ansätze zu überprüfen.

Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen bzw. für mit der Kläranlage im Zusammenhang stehende Anlagenteile finden sich im Immissionsschutz- sowie im Abwasserrecht. Obwohl für die Kläranlage an sich in der Regel keine Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz erforderlich ist, können dazugehörige Anlagenteile, bspw. Blockheizkraftwerke ab einer gewissen Größe, trotzdem genehmigungsbedürftig und als solche verpflichtet sein, Energie sparsam und effizient zu verwenden. Die Abwasseranlage wird unter Verweisung auf den Stand der Technik in der Abwasserverordnung ebenfalls verpflichtet, eine energieeffiziente Betriebsweise zu ermöglichen. Weitere detailliertere Anforderungen enthalten die Normen nicht. Aufgrund ihrer Unbestimmtheit ist es daher schwierig, spezifische Handlungsfolgen für den Anlagenbetreiber aus ihnen abzuleiten. Ihre Erfüllung steht jedoch im direkten Zusammenhang mit der Möglichkeit, staatliche Förderungen für energieeffiziente Maßnahmen in Anspruch zu nehmen. Der haushaltsrechtliche Subsidiaritätsgrundsatz gibt grundsätzlich vor, dass die Erfüllung einer gesetzlichen Pflicht nicht finanziell aus dem Bundeshaushalt gefördert werden kann. Aufgrund der offenen Formulierung der Effizienzverpflichtungen kann aus ihnen jedoch kein umfassendes Förderverbot für entsprechende Maßnahmen folgen. Vielmehr bedarf es einer konkreten Prüfung des Einzelfalls. Über die normierten Pflichten hinausgehende Maßnahmen, insbesondere für die Integration innovativer Technologien, sollten bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen angesichts der angestrebten Energiewende in der Regel einer Förderung zugänglich sein.

Grundsätzlich ist Energieeffizienz auf Kläranlagen ein Gebot der AbwVO und wird daher als Teil der Kernaufgabe von Kläranlagenbetreibern gesehen. Alle Maßnahmen des Benchmark-Szenarios (vgl. Kapitel 2.2) sind durch diese Forderung der AbwVO abgedeckt und bedürfen damit streng genommen keiner separaten Förderung. Ausnahmen können dann bestehen, wenn der aktuelle Rechtsrahmen die wirtschaftliche Produktion von Energie auf Kläranlagen erschwert oder z. B. ein Austausch von Aggregaten gezielt beschleunigt werden soll. Anreizstrukturen, z. B. die Förderung energetisch sinnvoller Maßnahmen, können die Ausschöpfung der Potenziale, die die Abwasserwirtschaft im Sinne von Klimaschutz und Energieeffizienz generieren kann, unterstützen.

Es gibt auf Ebene des Bundes oder einzelner Länder auch jetzt schon Möglichkeiten der Förderung im Bereich des Abwasser-Energie-Nexus, über die diese Arbeit ein Überblick gibt. Darüber hinaus stellt sich vor der konkreten Einführung von Förderinstrumenten die Frage, bei welchen Systemlösungen eine explizite Förderung tatsächlich sinnvoll ist. So erscheint aus Energiesystemsicht eine Kläranlage relativ klein und eine Flexibilisierung der Nachfrage eher über die Kopplung zum Wärmesektor sowie bei größeren Industriebetrieben sinnvoll. Aus kommunaler Sicht kann die Flexibilisierung des im Gesamtsystem zwar relativ kleinen, auf regionaler Ebene aber größten kommunalen Verbrauchers durchaus sinnvoll sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Förderung innovativer Systemlösungen auf Kläranlagen grundsätzlich in folgenden Fällen sinnvoll sein kann:

- Eine Technologie trägt erheblich zur CO₂-Reduktion bei und ist zudem technisch ausgereift, insbesondere dann, wenn die Lücke zur Rentabilität relativ gering ist. Zu nennen ist hier beispielsweise die Aufbereitung des Klärgases zu Methan. Solche Technologien können durch spezifische Förderprogramme auch in der Breite gefördert werden.
- Bei einer Technologie ist noch erheblicher Entwicklungsbedarf vorhanden bzw. eine Technologie wirkt vielversprechend und wurde zumindest im Kontext der Abwasserwirtschaft noch nicht oder selten getestet. Beispiele sind hier unter anderem die PEM-Elektrolyse oder der flexible Betrieb von Aggregaten inkl. der dafür notwendigen Messtechnik. In diesen Fällen ist eine Förderung von Pilotanlagen im Rahmen der Forschungsförderung angebracht.

Es gibt keinen spezifischen Rechtsrahmen, der konkret auf die Rolle von Kläranlagen im Gesamtenergiesystem zugeschnitten ist. Der rechtliche Rahmen für den Stromverbrauch und die Erzeugung von Energieprodukten aus Kläranlagen ist über verschiedene Gesetze und Verordnungen gestreut und teilweise nur fragmentarisch ausgestaltet. Kläranlagen müssen sich daher mit ihren verschiedenen Erzeugungs- und Verbrauchsoptionen in die allgemeinen energierechtlichen Regelungen einfügen. Dabei ergeben sich Lücken, aus denen ersichtlich wird, dass der Gesetzgeber die Rolle von Kläranlagen als Akteur des Energiemarkts bei der Konzeption des rechtlichen Rahmens nicht immer umfassend im Blick hatte.

Als größter kommunaler Stromverbraucher spielt der Strompreis eine bedeutende Rolle für den Betrieb von Kläranlagen. Zu der Kläranlage gehörende Speicher und Power-to-Gas-Anlagen gelten dabei grundsätzlich als Letztverbraucher im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017 und des Energiewirtschaftsgesetzes mit der Folge, dass sie grundsätzlich alle Letztverbraucherabgaben zu zahlen haben, was erhebliche Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen haben kann. Hiervon werden auch mögliche Geschäftsmodelle für Kläranlagenbetreiber beeinflusst, z. B. die Erzeugung und Vermarktung von Biomethan und Wasserstoff. Bei den staatlich induzierten Strompreisbestandteilen (insb. EEG-Umlage, Stromsteuer, Netzentgelte und netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen) existieren eine Reihe von Privilegierungen, die u. a. für einen Beitrag zur Stabilisierung des allgemeinen Stromnetzes in Anspruch genommen werden können.

In einem Spannungsverhältnis zu den bestehenden Flexibilitätsanreizen bestehen zahlreiche Privilegierungen für die Eigenversorgung mit Strom, wenn auf dem Gelände der Kläranlage Strom dezentral erzeugt und verbraucht wird. Liegen die Voraussetzungen einer Kundenanlage vor oder ist aus sonstigen Gründen keine Netzdurchleitung erforderlich, können Netzentgelte und daran gekoppelte Abgaben und Umlagen sogar vollständig entfallen.

Für die Einspeisung erneuerbar erzeugten Stroms besteht die Möglichkeit, eine Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017 oder eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz zu erhalten. Insbesondere das auf Kläranlagen anfallende Klärgas kann als erneuerbare Energie im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes eine Reihe von Privilegien für sich beanspruchen, auch weil es unter Anwendung der Vorschriften zur Massenbilanzierung von Gasen in das Erdgasnetz eingespeist und unter Nutzung seiner „grünen“ Eigenschaft an anderer Stelle für die Stromerzeugung vermarktet werden kann. Zusätzlich soll mithilfe von Innovationsausschreibungen, die grundsätzlich auch den Betreibern von Kläranlagen offenstehen, die Förderung innovativer Technologien gestärkt und die Flexibilität des Stromnetzes weiter gefördert werden.

Auch im Wärmesektor ist Klärgas (und auch Klärschlamm) grundsätzlich als erneuerbare Energie anerkannt und kann als solche für die Erfüllung von Verpflichtungen zur anteiligen Nutzung

erneuerbarer Energie bei der Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden herangezogen werden. Erzeugt eine Kläranlage über den eigenen Wärmebedarf hinaus einen Wärmeüberschuss, besteht die Möglichkeit, diese Wärme bspw. über die Einspeisung in ein Wärmenetz gegenüber Dritten zu vermarkten und auch dabei die erneuerbare Energien-Eigenschaft des Klärgases als Wettbewerbsvorteil zu nutzen. Die genaue rechtliche Ausgestaltung eines solchen (Dritt-) Zugangs zu von anderen Akteuren betriebenen Wärmenetzen befindet sich dabei in einer Umbruchphase und ist aufgrund europarechtlicher Vorgaben durch die Mitgliedsstaaten neu zu regeln, mit dem Ziel den Anteil erneuerbarer Energien in den Wärmenetzen signifikant zu erhöhen.

Auch die rechtlichen Bedingungen für die Vermarktung von Gaserzeugnissen, wie aus Klärgas aufbereitetes Biomethan oder mithilfe erneuerbarer Energien erzeugtem Wasserstoff („grüner“ Wasserstoff), sind weder umfassend noch systematisch geregelt. Bei der Einspeisung dieser Gase als Biogase in das Erdgasnetz existieren zwar eine Reihe von Privilegierungen, ihre weitere Vermarktung ist jedoch aufgrund vieler nicht anwendbarer technologiespezifischer Vorschriften sowohl im Strom- als auch im Mobilitätssektor stark eingeschränkt. Insbesondere ist „grüner“ Wasserstoff bisher nicht als erneuerbare Energie anerkannt, obwohl er als großer Hoffnungsträger für die Energiewende von der Politik erkannt wurde.

Die Möglichkeit des Poolings von Stromerzeugungsanlagen bietet Kläranlagenbetreibern darüber hinaus die Option, sich ein neues Geschäftsmodell als Systemdienstleister durch die Teilnahme am Regelenenergiemarkt zu erschließen. Durch die in der Kläranlage vorhandenen zahlreichen Stromverbraucher und teilweise auch -erzeuger ist nach der Präqualifikation dieser Anlage die Bereitstellung von Regelenenergie grundsätzlich möglich.

Bei jeder dieser wirtschaftlichen Betätigungen von kommunalen Kläranlagen, die nicht unter die klassische Abwasserentsorgung fallen, stellt sich die Frage nach ihrer rechtlichen Zulässigkeit. Diese ist nicht nur von dem jeweiligen Handlungsfeld, sondern auch von der kommunalrechtlichen Ausgestaltung der verschiedenen Bundesländer abhängig. Während die Bereitstellung von Energie, in Form von Strom, Gas oder Wärme, mit vergleichsweise geringen Hürden verbunden ist, bedarf die Betätigungen außerhalb dieser Handlungsfelder tiefergehender juristischer Prüfungen der Anforderungen im Einzelfall. Auch die Umlegung der für die Entwicklung solcher innovativen Konzepte für Kläranlagen notwendigen Kosten, ist nicht ohne weiteres möglich. Grundsätzlich lassen sich auf Grundlage kommunaler Gebührensatzungen nur solche Kosten auf die Abwassergebühren umlegen, die betriebsbedingt und kausal mit der Abwasserbeseitigung und -reinigung im Zusammenhang stehen. Darüber hinaus ist eine Ausweitung der Satzung nur in engen Grenzen rechtlich zulässig.

Die Ergebnisse des Projektes sind als Überblick im KlimAW-Katalog zusammengefasst.

Summary

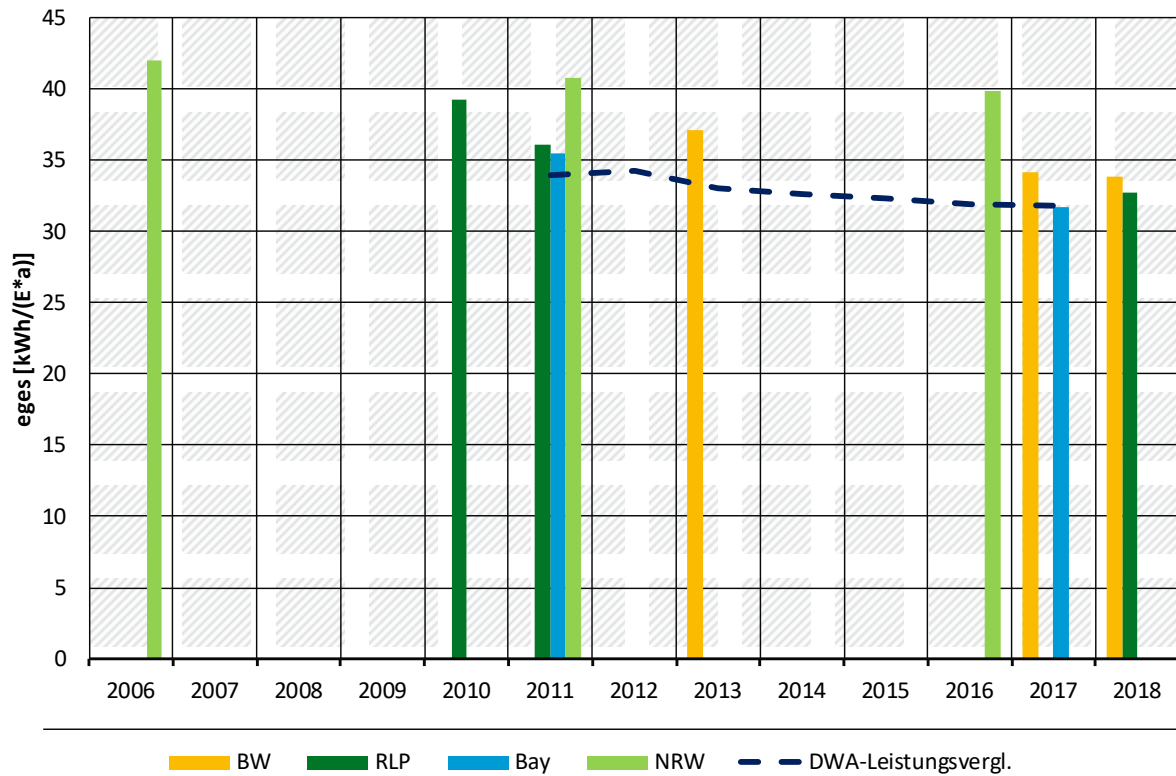
The objective of the project is to determine the energy efficiency and climate protection potentials of wastewater management in Germany. Against the background of Germany's Climate Action Plan 2050 and its far-reaching climate and energy policy goals, the aim is to optimise the treatment of sewage and wastewater in both directions – energy consumption and energy production – and thus to significantly lower the indirect greenhouse gas emissions of the wastewater treatment sector.

The first part of this paper documents the current energy efficiency of wastewater treatment plants in a status quo scenario, and then determines the achievable energy efficiency in a benchmark scenario using the best available technologies. In addition, the prospective applicability of emerging technologies is explored that represent cutting-edge research.

Status Quo: The operators of municipal wastewater treatment plants have focused on the energy consumption of these plants for more than 20 years. Diverse guidelines of individual federal states provide detailed descriptions of how to determine and optimise energy consumption. The Working Paper A 216 issued by the German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA) in 2016 represents a standardised procedure to assess the energy consumption of municipal wastewater treatment plants based on the average COD load. Conducting energy analyses at municipal wastewater treatment plants and implementing possible measures to optimise electricity consumption are still being funded today by different programmes at both national and federal state level. Although potential savings of about 20-25% of the total electricity consumption are regularly identified at individual wastewater treatment plants, the actual development of electricity consumption does not reflect this possible reduction. The specific total consumption documented in a benchmarking report by the DWA (DWA-Leistungsvergleich) only decreased by roughly 2 kWh/PE/a over 6 years from 34 kWh/PE/a in 2011 to 31.8 kWh/PE/a in 2017. At national level across Germany, this corresponds to an average decrease of only 1.1% per year. Other country-specific data surveys confirm this very minor improvement.

The fourth treatment stage does not yet play a role in the evaluations. However, isolated plants are now being operated to eliminate micropollutants. The Micropollutants Competence Centre, for example, already lists 31 wastewater treatment plants in Baden-Wuerttemberg with micropollutant removal (date 2020). The processes to remove micropollutants using ozone (O₃), powdered activated carbon (PAC) or granular activated carbon (GAC) also differ in the amount of electricity they require. This is usually related to the volume of wastewater treated and ranges widely from 0.02 kWh/m³ (PAC) up to 0.2 kWh/m³ for ozone. Given a wastewater volume of 50 m³/PE/a, which corresponds to the annual amount of drinking water consumed, and an average electricity consumption of 0.1 kWh/m³, a 15% increase in the current electricity consumption of 31.8 kWh/PE/a (DWA, 2017) is expected from the widespread introduction of the fourth treatment stage.

Figure 3: Development of resident-specific total electricity consumption e_{tot} (own figure, WiW mbH)



Benchmark: Compared to the specific total consumption shown in the DWA's benchmarking report, energy analyses conducted in line with the DWA's Working Paper A 216 are more detailed and make it possible to derive benchmark values. The quartile values determined by energy analyses conducted as part of a study of energy potentials for Baden-Wuerttemberg [Gasse et al., 2015] resulted in a benchmark or energy consumption value of 25 kWh/PE/a for a municipal wastewater treatment plant that has optimised all its processes. This is around 20% lower than the average according to the DWA-Leistungsvergleich 2017 and shows the existing potential for further optimisation. The relevant sub-processes for optimising consumption are pumping stations, aeration, mixing/stirring, return sludge conveyors, recirculation, sludge digestion and sludge dewatering. With a benchmark consumption of 20 kWh/PE/a, these sub-processes cover around 80% of the total electricity consumption of wastewater treatment plants. Aeration offers the biggest saving potential by far; using technologies available today, it reaches a specific consumption value of 10 kWh/PE/a or 40% of the total consumption of the optimised treatment plant.

Figure 4: Key indicators to assess groups of processes and subprocesses (own figure, WiW mbH)

total power consumption	$\frac{\text{WWTP } kWh}{PE}$	$\frac{\text{WWTP } kWh}{m^3}$				
process group	pumping station $\frac{Wh}{m^3 \cdot m}$	mechanical treatment $\frac{kWh}{m^3}$	biological treatment $\frac{kWh}{\Delta kg_{COD}}$	sludge treatment $\frac{kWh}{m^3_{sludge}}$	infra-structure $\frac{kWh}{PE_{design}}$	additional treatment $\frac{kWh}{m^3}$
process step	aeration $\frac{kWh}{\Delta kg_{COD}}$	mixing $\frac{kWh}{m^3_{AT}}$	recirculation $\frac{kWh}{m^3}$	return sludge pumping $\frac{kWh}{m^3 \cdot m}$	mixing digester $\frac{kWh}{m^3_{DI}}$	sludge dewatering $\frac{kWh}{m^3_{sludge}}$

In addition to the energy consumption currently assessed based on the COD parameter, other energy performance indicators should be regularly determined at municipal wastewater treatment plants. At most plants, the measurement data needed are not or only partially available in sufficient form; often the corresponding measurement equipment is missing. Since measurement instruments and the visualisation of energy performance indicators do not save electricity directly, they are not yet supported in the existing funding programmes. However, considering the potential savings and the comparatively low investment required, especially if this is limited to the previously mentioned 80% range, implementing the corresponding measuring point concept should be the top priority for operators in any future optimisation. This is the only way to verify the success of the implemented measures subsequently. It is then possible to provide the detailed consumption data needed for advanced energy management under ISO 50001.

Innovative concepts

For several years, there has been an increase in the research to harness the potentials of wastewater treatment for the goals of the energy transition. In addition to the technical challenges, there are specialised questions here related to the integration of other sectors into the energy system with its specific framework conditions.

The energy system is currently undergoing profound changes, especially concerning the goal of decarbonisation. There are still many uncertainties associated with this at present, for example, with regard to future flexibility requirements or the future of gas infrastructure. These uncertainties must be considered when developing and applying innovative approaches in wastewater management.

Transition to more flexible electricity generation and consumption: Wastewater treatment plants are technically capable of making both the electricity they generate in their block heating stations and the electricity they consume more flexible to a certain extent. This has been explored in detail in the BMBF Project Arrivee (Arrivee, 2019). In the context of the energy transition, such flexibility can contribute to making the entire system more efficient. Possible options include flexible buying and selling of power on the wholesale electricity market, participating in the market for providing balancing energy, and providing flexibility to contribute to the stability

of the local distribution networks. For the first two options mentioned above, most cases require aggregators, i.e. intermediaries (due to wastewater treatment plants' small size and lack of energy market expertise). However, local flexibility can be provided directly.

The current framework conditions on the wholesale electricity market and the balancing energy market with their relatively low prices and price fluctuations make it economically uninteresting for wastewater treatment plants to participate at present. Payback periods for the relevant investments are more than 35 years. The active participation of wastewater treatment plants in balancing markets and wholesale electricity may become attractive in the future if price levels and price volatility increase and the attractiveness of self-supply decreases, for example, due to an adjustment of the charges and levies or the network user fees.

It can already make sense today to provide local flexibility. The network situation varies widely as does the corresponding demand for flexibility. Due to their location, however, wastewater treatment plants are very well suited to contributing to local network flexibility. In this context, it is advisable to contact the local network operators with regard to the actual flexibility requirements.

Power-to-X: Wastewater treatment plants can make it possible to couple electricity and gas networks with other energy sources such as sewage gas, CH₄ and H₂ through Power-to-X by converting electricity into other forms of energy (e.g. gas or liquid).

As an example, two Power-to-X approaches are analysed in terms of their profitability depending on their use (in Chapter 3.3.2). The technologies are described and the gas production costs are calculated under different framework parameters and assumptions (e.g. an available and cheap surplus situation and optimal electricity generation from PV systems). This considers the CO₂ emissions including carbon pricing.

Table 2: Analysed Power-to-X approaches

PtX approach	Example technology	Potential uses
Power to biomethane (CH ₄)	Amine scrubbing and membrane processes	• Feeding-in/marketing gas
Power to hydrogen (H ₂)	Alkaline electrolysis	• Generating electricity • Fuel

The production costs of both gases (biomethane and hydrogen) decrease with increasing full-load hours of the gas producing systems (sewage gas processing plant and electrolysis).

The analysis of power-to-biomethane indicates that membrane processes have lower costs than amine scrubbing. Under the assumptions made, the methane production costs are between 3.17 and 4.48 €/kWh with the currently achievable 5,000 full-load hours per year and between 2.66 and 4.03 €/kWh at 7,000 full-load hours per year (e.g. due to improved sewage gas generation). Due to avoiding the emissions of CO₂, the production costs drop to 2.65 – 4.22 €/kWh at 5,000 full-load hours/year and to 2.36 – 3.93 €/kWh at 7,000 full-load hours/year under the given assumptions. The costs of producing biomethane are only lower than those of sewage gas in an ideal case (7,000 full-load hours/year, CO₂ saving, and membrane process) (approx. 2.56 €/kWh) (Fraunhofer IEE, 2018).

Under the assumptions made, the costs of producing hydrogen are the lowest in south Germany because of the larger amount of electricity generated by PV here. At 6,000 full-load hours per year, the calculated costs are between 8.47 €/kg and 10.02 €/kg and in 2030 between 7.47 €/kg

and 7.54 €/kg. At present, the hydrogen prices are less than 4 €/kg depending on quality and quantity (Glenk and Reichelstein, 2019). It is therefore not profitable at the moment for wastewater treatment plants to produce hydrogen using electrolysis. Targeted funding would be required today if producing hydrogen were desired politically².

Gas production and use: Two other gas production approaches are presented as options for wastewater treatment plants and their profitability analysed in combination with their uses.

Biomethane production through methanation: The electricity price strongly influences the costs. Compared to sewage gas treatment, biomethane from methanation is only more cost-effective if the electricity price is lower than 3.8 €/kWh (Collet et al., 2017), which is significantly below the electricity price currently paid by operators of wastewater treatment plants. In addition, producing hydrogen (as a reactant of methanation) is not profitable for wastewater treatment plants under current conditions (see Chapter 3.3.3.1). Another important point is that intermittent operation of methanation results in losses of sewage gas during off-hours. Methanation requires continuous operation, which cannot be guaranteed using only surplus electricity.

Hydrogen production from sewage sludge: Hydrogen could be produced thermochemically or biologically from sewage sludge. In general, biological processes are cheaper but slower than thermochemical methods. Although research is still being conducted on biological hydrogen production from sewage sludge, it offers high potential. Useful support can be provided here by funding pilot projects and pilot plants.

Hydrogen production and use is currently not yet economically viable for wastewater treatment plants even when using PV. Nevertheless, against the backdrop of the desired and possible developments, it may still make sense to promote this now and help to make cost-effective hydrogen production processes more economical in the near future.

Under the assumptions made in this project, biomethane from sewage gas treatment will not be profitable for wastewater treatment plants in the foreseeable future even under ideal circumstances. Although the costs of power-to-biomethane continue to fall, it is still very costly to turn sewage gas into biomethane only to generate electricity in wastewater treatment plants (either for the plant's own on-site consumption or to feed into the grid) and does not generate any additional profit. Using the biomethane as a fuel could be an option for wastewater treatment plants.

Alongside the wastewater treatment plant, the network of sewers also plays a relevant role in terms of using the energy potentials from wastewater management. This mainly concerns the transmission and use of heat.

Heat generation and use: Providing space heating and hot water using renewable energies is considered an important lever for decarbonising the building sector. One possibility here is to use district heating fed by renewable energy sources. Wastewater treatment plants can play a role if they are connected to existing district heating networks and supply them with heat. This heat can come from utilising the waste heat of CHP processes, for example, or from deliberately producing heat by incinerating sewage sludge, burning sewage gas or from heat pumps and electricity generated at the wastewater treatment plant. These technology options have both technical and legal limitations. For example, there is no legal right of access to heating networks. This means that the district heating network operator can refuse the potential heat providers access to feed in a heat supply. There are more details about the legal framework in Chapter 5.6.

In addition to the cited technologies, the following technologies were also analysed in this project:

² <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html>

- Wastewater heat utilisation in sewers
- Heat recovery from greywater
- Innovative waste heat utilisation by distributing heat via the sewer network
- Waste heat utilisation that is not pipeline-bound

It is difficult to directly integrate the wastewater treatment plants into existing district heating and local heating network systems. On the one hand, this is due to the currently non-liberalized market for district heating and, on the other hand, to the relatively low surplus amounts of heat that can be generated at the wastewater treatment plants, because most of the heat is used internally in the plants. Free access to heating infrastructures should be regulated by law in future so that smaller local suppliers (such as wastewater treatment plants) also have the option of feeding heat into existing infrastructures. However, there are also promising options for utilising heat in sewer systems. Utilising heat from sewers and from greywater are established technologies which are economical even under the current framework conditions. The technologies presented for utilising waste heat by distributing it through the system of sewers and waste heat utilisation that is not pipeline-bound are currently still in an early phase of research and should be promoted in further research projects to assess the economic efficiency of these approaches.

Efficiency obligations for wastewater treatment plants or for plant components related to wastewater treatment are found in Germany's immission control and wastewater regulations. Although the wastewater treatment plant itself does not usually require a permit under Germany's Federal Immission Control Act, related component parts, e.g. block heating stations above a certain size may still require permits and as such are obliged to use energy economically and efficiently. Reference to the state-of-the-art technology in the German Wastewater Ordinance means that wastewater treatment plants are also obliged to make energy-efficient operation possible. However, the standards do not contain other more detailed requirements. This vagueness makes it difficult to derive specific consequences from them for the plant operators. Fulfilling the requirements, however, is directly related to the possibility of claiming state subsidies for energy-efficient measures. The budgetary subsidiarity principle basically states that fulfilling a legal obligation cannot be supported financially by the federal budget. The open formulation of the efficiency obligations, however, means they cannot be interpreted as a comprehensive ban on funding the relevant measures. Rather, a concrete review of individual cases is required. In view of the desired energy transition, measures that go beyond the standard obligations should generally be eligible for funding if specific prerequisites are met, especially those for the integration of innovative technologies.

In principle, energy efficiency at wastewater treatment plants is a legal requirement of the German Wastewater Ordinance (AbwVO) and is therefore regarded as part of the core task of wastewater treatment plant operators. All the measures of the benchmark scenario (see chapter 2.2) are covered by this requirement of the AbwVO and therefore, strictly speaking, do not require separate funding. There may be exceptions if the current legal framework makes it more difficult to produce energy economically at wastewater plants or, if, for example, the replacement of aggregates should be accelerated. Incentive structures, e.g. funding measures that make sense in terms of energy, can help to exploit the potentials that wastewater management can generate in the sense of climate protection and energy efficiency.

This study provides an overview of already existing funding possibilities in the wastewater-energy nexus at national or federal state level in Germany. In addition, before introducing funding

instruments, it should be questioned which system solutions actually merit explicit funding. From an energy system perspective, for instance, a wastewater treatment plant appears relatively small and it seems more sensible to use coupling with the heat sector or larger industrial enterprises to increase demand flexibility. From a municipal viewpoint, however, it can make sense at regional level to make the biggest municipal consumer more flexible, even if this appears relatively small in the overall system.

In summary, it can be stated that it is sensible to fund innovative system solutions in wastewater treatment plants in the following cases:

- ▶ A technology makes a significant contribution to reducing CO₂ and is technically mature, especially if the gap to its profitability is relatively small. For example, processing sewage gas into methane. Such technologies can be supported on a broad scale through dedicated funding programmes.
- ▶ A technology still requires significant development, or a technology appears promising and has not yet been tested or has only rarely been tested, at least in the context of wastewater management. Examples here include PEM electrolysis or the flexible operation of aggregates, including the measurement technology needed for this. In these cases, it is advisable to support pilot plants within the scope of research funding.

There is no specific legal framework that is tailored to the role of wastewater treatment plants in the energy system as a whole. The legal framework for electricity consumption and the generation of energy products from wastewater treatment plants spans different laws and ordinances and is partially fragmented. Wastewater treatment plants with their different generation and consumption options must therefore be integrated into general energy law regulations. This results in gaps, which clearly show that the legislator did not have a comprehensive view of the role of wastewater treatment plants as energy market players when designing the legal framework.

As the largest municipal electricity consumer, the electricity price plays a decisive role for the operation of wastewater treatment plants. In principle, the storage and power-to-gas systems belonging to the wastewater treatment plants are considered final consumers in the sense of the German Renewable Energy Sources Act 2017 and the German Energy Industry Act, with the consequence that they also have to pay all final consumer charges. This can have considerable impacts on the economical operation of such systems. This also influences potential business models for operators of wastewater treatment plants, e.g. the production and marketing of bio-methane and hydrogen. A number of privileges can be claimed for the state-induced electricity price components (in particular the EEG surcharge, electricity tax, network fees and the charges and levies linked to these fees), among other things, when contributing to stabilising the power grid.

In a conflicting relationship with the existing flexibility incentives, there are a number of privileges for self-generated power if the electricity is generated and consumed on-site in distributed systems of the wastewater treatment plant. If the prerequisites of a customer plant are met, or if, for other reasons, no electricity transmission is required, the network fees and the related charges and levies may even be waived completely.

It is possible to receive remuneration for feeding renewably generated electricity into the grid under the Renewable Energy Sources Act 2017 or subsidies under the Combined Heat and Power Act. In particular, the sewage gas produced at the wastewater treatment plant can claim a

number of privileges as a renewable energy in the sense of the Renewable Energy Sources Act, because it can be fed into the natural gas network under the provisions for the mass balancing of gases, and can be marketed elsewhere for electricity generation using its “green” credentials. In addition, the aim is to strengthen the promotion of innovative technologies and further promote the flexibility of electricity grid using innovation calls for tenders that are in principle also open to the operators of wastewater treatment plants.

Sewage gas (and sewage sludge) is also recognised as a renewable energy in the heat sector and as such can be used to meet the obligations for the proportional use of renewable energies in the heating and cooling of buildings. If a wastewater treatment plant produces more heat than it needs itself, there is the possibility to market this surplus heat to a third party, for example, by feeding it into a heating network, and to use the renewable energy property of the sewage gas as a competitive advantage when doing so. The precise legal form of such a (third party) access to heating networks operated by other actors is currently in a phase of upheaval, and Member States must rework their regulations based on the requirements of European law, which has the objective to significantly increase the share of renewable energies in the heating networks.

The legal conditions for marketing gas products such as the biomethane produced from sewage gas or the hydrogen produced using renewable energies (“green” hydrogen) are neither comprehensive nor systematically regulated. There are a number of privileges when feeding these gases into the natural gas network as biogas, but marketing them in the power and mobility sectors is very limited due to the many technology-specific stipulations that cannot be applied here. In particular, “green” hydrogen is not yet accepted as a renewable energy, although politics does recognise it as a major potential enabler of the energy transition.

The possibility of pooling electricity generation systems offers wastewater treatment plant operators the option to develop a new business model providing system services by participating in the balancing energy market. The numerous electricity consumers and generators present in the wastewater treatment plant mean that providing balancing energy is possible in principle following the prequalification of these plants.

The question of legal admissibility arises for each of these economic activities of municipal wastewater treatment plants that does not fall under traditional sewage and wastewater disposal. This not only depends on the respective field of action, but also on how the municipal law is designed in the different federal states. Whereas there are comparatively few barriers to the supply of energy in the form of electricity, gas or heat, activities outside these fields require in-depth legal reviews of the requirements in individual cases. In addition, passing on the costs required to develop such innovative concepts for wastewater treatment plants is not straightforward. Based on the municipal statutes of fees, the only costs that can be allocated to sewage fees are those that are operationally and causally related to sewage and wastewater disposal and treatment. Extending the fees beyond this is legally admissible only within very narrow limits.

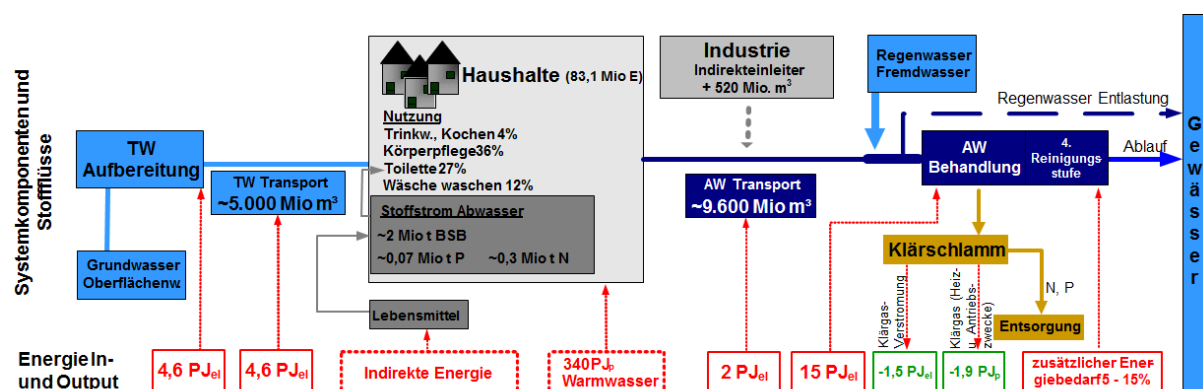
The project’s results are summarised in the KlimAW catalogue.

1 Einleitung und Hintergrund

Im kommunalen Bereich ist die Abwasserreinigung in der Regel der größte Energie-Einzelverbraucher. Gleichzeitig wird auf Kläranlagen nutzbare Energie erzeugt, indem z. B. anfallendes Faulgas aus der anaeroben Schlammstabilisierung zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt oder zur Betankung von Gas-Fahrzeugen zur Verfügung gestellt wird. Vor dem Hintergrund des Klimaschutzplans 2050 und der darin enthaltenen weitreichenden klima- und energiepolitischen Zielsetzungen muss es deshalb das Ziel sein, die Abwasserwirtschaft in beide Richtungen konsequent zu optimieren, durch herkömmliche aber auch innovative Maßnahmen den Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen signifikant zu senken und die Energieproduktion - soweit möglich und sinnvoll - zu steigern. Solche Anpassungen sind mit Energiekosten-Einsparpotenzialen verbunden, aber auch mit der Möglichkeit, (zusätzliche) Einnahmen aus der Vermarktung der erzeugten Energie zu generieren. Darüber hinaus kann die Abwasserwirtschaft bspw. durch kurzfristiges Abschalten relevanter Aggregate Stromspitzen kompensieren und so im kommunalen Bereich im Sinne des Energiesystems regelnd eingreifen.

Es ist deshalb unerlässlich, zukünftige Entwicklungen der Energiemärkte bei diesen Betrachtungen mit einzubeziehen. Neben der im Abwasser enthaltenen chemischen Energie ist dabei zusätzlich die enthaltene Wärme zu berücksichtigen: Entsprechend Abbildung 5 ist die bei der Warmwasserbereitung eingebrachte Wärme der größte Energiefluss in der Siedlungswasserwirtschaft. Die Betrachtungen müssen demzufolge das Gesamtsystem der Abwasserentsorgung umfassen.

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Energie- und wichtiger Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland



Quelle: Wietschel et al. (2010, S. 725) bzw. Menger-Krug et al. (2012, S. 98) (aktualisiert Fraunhofer ISI, 2020)

Nach den allgemeinen Anforderungen sind Abwasseranlagen für häusliches und kommunales Abwasser so zu errichten, zu betreiben und zu benutzen, dass "... eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Die bei der Abwasserbeseitigung entstehenden Energiepotenziale sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, zu nutzen" (Abwasserverordnung Anhang 1, B Allgemeine Anforderungen). Die 4 % der bundesdeutschen Kläranlagen der Größenklasse (GK) 5, d. h. mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 EW, repräsentieren mit 72,2 Mio. angeschlossenen Einwohnerwerten fast 52 % der Gesamtausbaugröße in Deutschland und bilden zusammen mit Kläranlagen der Größenklasse 4 (55,6 Mio EW bzw. 40 % der Gesamtausbaugröße) den größten Hebel für Optimierungsansätze. Energieeffizienzpotenziale auf Klär-

anlagen werden seit vielen Jahren diskutiert und sind in vielen Studien und Forschungsprojekten bearbeitet worden³. Auswertungen bspw. der DWA (28. DWA-Leistungsvergleich; DWA 2015) zeigen, dass selbst bei Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 der Median des spezifischen Stromverbrauchs auch nach über 15 Jahren an intensiver fachlicher Diskussion, Durchführung von Energieanalysen und öffentlicher Förderung von Modernisierungsmaßnahmen über 30 kWh/(EW*a) liegt. Diese Werte haben sich damit seit den vom UBA (2009) veröffentlichten Durchschnittswerten für GK 4 und 5 von 35 bzw. 32 kWh/(EW*a) nicht wesentlich verändert. Dabei wurde bereits von Haberkern et al. (2008) ein Zielwert von 18 kWh/(EW*a) für Kläranlagen der GK 3 bis 5 ermittelt. Auf der anderen Seite ist davon auszugehen, dass durch erweiterte Anforderungen an die Abwasserwirtschaft der Energiebedarf aufgrund zusätzlich notwendiger Techniken in den betroffenen Anlagen in den nächsten Jahren ansteigen wird (z. B. durch die Erweiterung von Kläranlagen zur Spurenstoffelimination⁴).

Das Energiesystem, in dem auch Kläranlagen agieren, befindet sich in einer Phase des grundlegenden Wandels. Die Bundesregierung strebt bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % im Vergleich zum Jahr 1990 an. Im Stromsektor wird der Anteil an dargebotsabhängigen erneuerbaren Energien, also Wind- und Sonnenenergie, deren Produktion von der aktuellen Wetterlage abhängt, weiter ansteigen. Der Anteil an regelbarer Stromproduktion, also Kraftwerken, die bis auf Ausnahmefälle mit ihrer Produktion der Nachfrage folgen können, sinkt entsprechend. Längerfristig werden daher im Stromsystem vor allem Flexibilitätsoptionen benötigt, die immer dann Strom liefern können, wenn der aus Wind und Sonne erzeugte Strom nicht ausreicht. Es ist damit zu rechnen, dass die Preise für die Bereitstellung von Flexibilität in Zukunft deutlich ansteigen. Das kann Akteuren im System Anreize bieten, mit ihren Möglichkeiten zur Flexibilitätssteigerung beizutragen. Kläranlagen mit separater Faulung und KWK-Nutzung halten z. B. Anlagen zur Speicherung von Gas und dessen Verstromung vor. Ergänzt durch Power-to-Gas-Anlagen (PtG) könnte hier bspw. Strom aus regenerativen Energien umgewandelt, zwischengespeichert und im Bedarfsfall wieder verstromt werden. Der bei diesem Prozess anfallende Sauerstoff könnte effizienzsteigernd für die Belüftung der biologischen Stufen eingesetzt werden.

Die aktuell relativ geringen Preise am Großhandelsstrommarkt sowie an den Märkten für Regenergie ergeben sich aufgrund der in Europa (noch) bestehenden Überkapazitäten, die mittelfristig vermutlich abgebaut werden (z. B. durch Ausscheiden alter Kraftwerke, Atomausstieg etc.). Für neue Akteure, die zur Flexibilisierung beitragen können, ergeben sich dadurch mittelfristig wirtschaftlich rentable Möglichkeiten, in den Energiemarkt einzusteigen. Zudem kann die Eigenversorgung mit anderen erneuerbaren Energien wie Photovoltaik aufgrund der stetig sinkenden Erzeugungskosten der Anlagen und gleichzeitig relativ hohen Endkundenstrompreisen sinnvoll sein. Für die Dekarbonisierung des Wärme- und Verkehrssektors wird derzeit davon ausgegangen, dass diese zumindest teilweise bspw. über Wärmepumpen und Elektromobilität elektrifiziert werden müssen. Im Wärmebereich spielt zudem für die Dekarbonisierung auch der weitere Ausbau von Nahwärmenetzen eine Rolle. Dieses Feld wird durch Abwasserwärmenutzung in Kanalnetzen schon teilweise von Abwasserentsorgern adressiert. Da das Abwasser eine

³ Z. B. im Rahmen verschiedener BMBF-ERWAS-Projekte, insbesondere "arrivee" und "ESITI"; Übersichten u. a. bei difu (2012): Klimaschutz & Abwasserbehandlung; Hallett et al. 2012: Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities; Wietschel et al. (2010): Energietechnologien 2050 (s. o.); Haberkern et al. (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen; UBA-Texte 11/08.

⁴ Für entsprechende Anlagen wird eine Steigerung des Energieverbrauchs um durchschnittlich 5–30 % erwartet (Umweltbundesamt (2018): Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_pos_mikroverunreinigung_final_bf.pdf).

sehr konstante Temperatur aufweist, bietet sich der Einsatz von Wärmepumpen an. Die Abwasserwärmenutzung bietet sowohl konventionell als auch mit innovativen Konzepten noch Optimierungspotenzial, das in diesem Projekt (kurz: KlimAW) ebenfalls adressiert wird.

Kläranlagen haben das Potenzial, relevante Knoten in einem Netz zu sein, an den Wärmequellen, Gas und Strom angeschlossen sind. Sie können in einem sich wandelnden Energiesystem durch sektorübergreifendes Vorausblicken und aktive Anpassung zu einem Akteur auf dem Energiemarkt werden. Daraus ergeben sich technische und rechtliche Anforderungen, die es zu identifizieren und zu beachten gilt.

Das Projekt umfasst die Betrachtung des Status Quo, des Benchmarks und innovativer Konzepte, ihre Potenziale und die Einordnung in die Rahmenbedingungen des Energiemarkts und des Rechtsrahmens. Ein Überblick über die Ergebnisse ist im folgenden KlimAW-Katalog (vgl. Tabelle 3) zusammengefasst. Emissionen, die bspw. durch den Bau von Anlagen entstehen, sind nicht Teil dieser Betrachtungen.

Tabelle 3: KlimAW-Katalog - Überblick über Maßnahmen, die adressierten Energieformen, ihre Wechselwirkungen mit dem Energiemarkt, den Rechtsrahmen und mögliche Erträge

Szenario	Maßnahme / ***Bsp. sofern vorhanden	Prozess	Energieform								Wechselwirkungen mit Energiemarkt	Mögliche Erträge	Rechtsrahmen	Bewertung
			Strom	Wärme	Klärgas	Bio-CH4	H2	O2	O3	Lage				
Status Quo														
SQ1	KA mit Median-Verbrauch		x	x	(x)									
Benchmark														
BM1	Kläranlage mit Q25-Verbrauch	Optimierungsmaßnahmen aus Energieanalysen umgesetzt, Benchmark erreicht	x	x							keine/geringe Wechselwirkungen mit Energiemarkt	Stromeinspeisung bei Überschüssen	nur geringe Vergütung für eingespeisten BHKW-Strom nach EEG bei Einsatz von EE, ggf. Privilegierung bei Eigenverbrauch möglich, alternativ KWKG-Zuschlag möglich; Kapitel 5.1 (ggf. 5.2 bei Stromeinspeisung)	Randbedingungen KA beachten, sonst Stand der Technik
BM2	Pumpwerke mit Q25-Verbrauch	Optimierungsmaßnahmen aus Energieanalysen umgesetzt, Benchmark erreicht	x	x							Einsatz von Notstromaggregaten in Pumpwerken bei Spitzenlastnachfrage im Netz	Reduktion Stromfremdbezug	nur geringe Vergütung für eingespeisten BHKW-Strom nach EEG bei Einsatz von EE, ggf. Privilegierung bei Eigenverbrauch möglich, alternativ KWKG-Zuschlag möglich; Kapitel 5.1 (ggf. 5.2 bei Stromeinspeisung)	Randbedingungen Pumpwerk beachten, sonst Stand der Technik
BM3	PV ***Bsp.: KA Wuppertal Kohlfurth		x								evtl. Stromüberschuss, Einspeisung	Stromeinspeisung bei Überschüssen	Privilegierungen und Vergütungsoptionen des EEG, Kapitel 5.2	nur geringe Leistung
BM4	Wind ***Bsp.: KA Bermen-Seehausen		x								evtl. Stromüberschuss, Einspeisung	Stromeinspeisung bei Überschüssen	Privilegierungen und Vergütungsoptionen des EEG, Kapitel 5.2	Standorte KA vielfach nicht für WKE geeignet
BM5	Wasserkraft ***Bsp. KA Trier		x							x	evtl. Stromüberschuss, Einspeisung	Stromeinspeisung bei Überschüssen	Privilegierungen und Vergütungsoptionen des EEG, Kapitel 5.2	nur geringe Leistung
BM6	Solarthermie			x							Wärmeautarkie, keine/geringere konventionelle Wärmeerzeugung notwendig	Einsparung konventionelle Wärmeerzeugung	Anrechnung auf EE-Nutzungsverpflichtung nach EE-WärmeG in Verwaltungsgebäuden u. ä. möglich, Kapitel 5.3	nur geringe Leistung, auf aeroben Stabilisierungsanlagen sinnvoll
BM7	Wärmetauscher in NKB ***Bsp.: KA Nassau	Wärmebereitstellung		x							Wärmeautarkie, keine/geringere konventionelle Wärmeerzeugung notwendig	Einsparung konventionelle Wärmeerzeugung	Kapitel 5.3	nur geringe Leistung, auf aeroben Stabilisierungsanlagen sinnvoll
BM8	Steigerung der Klärgasproduktion durch Co-Substratzugabe in Faulung; Kohlenstoffbewirtschaftung, Schlammhydrolyse	BHKW	x	x	x						Stromeinspeisung; (saisonale) Ausspeisung von Wärme, Wärmeverkauf	Stromeinspeisung, Wärmeverkauf	nur geringe Vergütung für eingespeisten BHKW-Strom nach EEG bei Einsatz von EE; alternativ KWKG-Zuschlag möglich, u. U. problematischer Zugang zu Wärmenetzen zu erhalten, Kapitel 5.2, 5.3, 5.6	an verfügbare Faulraumkapazitäten gebunden

Szenario	Maßnahme / ***Bsp. sofern vorhanden	Prozess	Energieform								Wechselwirkungen mit Energiemarkt	Mögliche Erträge	Rechtsrahmen	Bewertung
			Strom	Wärme	Klärgas	Bio-CH4	H2	O2	O3	Lage				
BM9	***Bsp.: KA Kronweiler, RLP (Klärgasleitung zur Deponie)	kein BHKW			x						Ausspeisung von Klärgas; Überschussgas per Gasleitung zu externem Verbraucher überleiten	Stromeinspeisung, Wärmeverkauf	Nutzung EE-Eigenschaft möglich bei Massen-bilanzierung § 44b Abs. 5 EEG 2017, Kapitel 5.2.3	Netzeinspeisung erfordert Gasaufbereitung
Innovation														
IN1	Erzeugung Bio-CH4 ***Bsp.: KA Bottrop	Aufbereitung Klärgas mittels Membran oder alternativer Prozesse	x		x	x					Einspeisung in Erdgasnetz und Verkauf von Gas	Preis für eingespeistes Gas	Nutzung EE-Eigenschaft möglich bei Massen-bilanzierung § 44b Abs. 5 EEG 2017, Privilegierungen als Biogas bei Einspeisung in Erdgasnetz, Kapitel 5.2.3, 5.4.1	aktuell kostendeckend für die Nutzung der Stromerzeugung, CO ₂ -Reduktion bei der Verbrennung kann Technologie fördern
IN2		zusätzlich PV-Anlage auf der Anlage zur Deckung des zusätzlichen Strombedarfs	x		x	x					Einspeisung und Verkauf von zusätzlichem Strom	Preis für eingespeisten Strom	nur geringe Vergütung für eingespeisten Strom nach EEG bei Einsatz von EE, ggf. Privilegierungen bei Eigenverbrauch möglich, Kapitel 5.2 (ggf. Kapitel 5.1.2 bei Eigenverbrauch)	aktuell kostendeckend für die Nutzung der Stromerzeugung, CO ₂ -Reduktion bei der Verbrennung kann Technologie fördern
IN3	***Bsp.: BioCat Projekt inDänemark	Methanisierung	x		x	x					Einspeisung in Erdgasnetz und Verkauf von Gas	Preis für eingespeistes Gas	Nutzung EE-Eigenschaft möglich bei Massen-bilanzierung § 44b Abs. 5 EEG 2017, Privilegierungen als Biogas bei Einspeisung in Erdgasnetz, Kapitel 5.2.3, 5.4.1	kontinuierlicher Betrieb und Stromversorgung notwendig. CO ₂ -Emission ist abhängig von der Herkunft des Stroms
IN4	***Bsp.: KA Bottrop		x		x	x	x	x			Nutzung von Biomethan als Brennstoff für Fahrzeuge	Preis für Brennstoff	Anrechnung auf europäische und nationale erneuerbare-Energien-Quoten mit Einschränkungen möglich, Anpassungsbedarf bezüglich Umsetzung europarechtlicher Vorgaben, Kapitel 5.4.2	Rentabilität unsicher, CO ₂ -Reduktion bei der Verbrennung kann Technologie fördern
IN5	Erzeugung Wasserstoff ***Bsp.: BioCat Projekt in Dänemark, KA Sonneberg	Elektrolyseur			x		x	x			Einspeisung in Erdgasnetz (bzw. Wasserstoffnetz) und Verkauf von Gas	Preis für eingespeistes Gas	Privilegierung in GasNZV und GasNEV vorhanden; Privilegierung für Elektrolysestrom bei EEG-Umlage; Kapitel 5.4.1; 5.1.1	aktuell nicht kostendeckend, langfristige Verfügbarkeit Gasinfrastruktur unklar
IN6		zusätzlich PV-Anlage auf der Anlage zur Deckung des zusätzlichen Strombedarfs, ggf. mit Speicher	x		x		x	x	x		Einspeisung und Verkauf von zusätzlichem Strom	Preis für eingespeisten Strom	mangels EE-Eigenschaft des Wasserstoffs keine Einspeisevergütung nach EEG möglich (anders für überschüssigen PV-Strom), Privilegierungen als Speichergas in EEG und EnWG, daneben gelten Speicher als Letztverbraucher, ggf. Privilegierung möglich, um Doppelbelastungen zu verhindern; Privilegierungen als Speichergas in EEG und EnWG; Kapitel 5.4.1, 5.1, 5.2	aktuell nicht kostendeckend, günstigere Flexibilitätspotenziale auf KA und im Stromsystem, regelmäßige Prüfung der Rentabilität empfohlen

Szenario	Maßnahme / ***Bsp. sofern vorhanden	Prozess	Energieform								Wechselwirkungen mit Energiemarkt	Mögliche Erträge	Rechtsrahmen	Bewertung
			Strom	Wärme	Klärgas	Bio-CH4	H2	O2	O3	Lage				
IN7		Erzeugung aus Klärschlamm					x				Einspeisung in Erdgasnetz (bzw. Wasserstoffnetz) und Verkauf von Gas	Investition in Anlage, zusätzliche Stromkosten		Technologie aktuell noch nicht ausgereift, Kosten- und Potenzialabschätzung unsicher
IN8	***Bsp.: KA Bottrop		x		x		x				Nutzung von Wasserstoff als Brennstoff für Fahrzeuge	Preis für Brennstoff	Wasserstoff aus EE-Strom auf in der 37. BImSchV verankerte gesetzliche Verpflichtung zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehr anrechenbar	Rentabilität abhängig von den Kosten der Wasserstoffherkunft, zukünftige Entwicklung H2-Fahrzeuge unklar, günstigere Erzeugungsmöglichkeiten
IN9	Nutzung von O2 aus Elektrolyseur	Als Ausgangsstoff für Ozonierungsanlage und 4. Reinigungsstufe						x	x		Vermeidung Leistungsbezug O2-Erzeugung	Einsparung konventionelle O2-Erzeugung		aktuell noch Status F+E
IN10	***Bsp.: KA Sonneberg	Nutzung in Belebungsbecken						x			Vermeidung Leistungsbezug O2-Erzeugung	Energie Effizienz von Belebungsbecken erhöhen		Stromverbrauch reduziert durch die erhöhte Energie-Effizienz
IN11	Wasserkraft im Kanal		x							x	Einspeisung Strom	Stromeinspeisung in Netz	EEG-Vergütung oder KWK-Zuschlag möglich; vgl. Kapitel 5.2	Vielzahl technischer Randbedingungen, Wechselwirkung KA
IN12	Batteriespeicher auf Kläranlage	Klärgas plus Einsatz von Batteriespeicher; im virtuellen Kraftwerk/über Aggregator	x	x	x						Verändertes Einspeiseprofil und -menge, geringerer Stromeinkauf; ggf. Teilnahme am Regelmarkt/lokalen Flexibilitätsmärkten, Einkauf und Verkauf von Strom in Abhängigkeit flexibler Tarife oder Großhandelspreise	Einnahmen (positive) Regelenergie, ggf. lokale Flexibilitätsmärkte	Teilnahme am Regelenenergiemarkt möglich (EnWG) nach vorheriger Präqualifikation der Anlage, Anlagenpooling möglich, Speicher gelten als Letztverbraucher, für sie sind grds. alle Strompreisbestandteile zu zahlen, aber Privilegierungen möglich, um Doppelbelastungen zu verhindern; Kapitel 5.5, 5.1	aktuell nicht rentabel, zukünftig steigender Flex-Bedarf lokal
IN13	Flexibles Betreiben der Klärprozesse (z. B. Co-Substratzugabe; Kohlenstoffzugabe; Hydrolyse)	im virtuellen Kraftwerk/über Aggregator	x		x						Teilnahme an Regelmärkten/lokalen Flexibilitätsmärkten, Einkauf am Großhandelsstrommarkt oder über variable Tarife	Einnahmen (positive) Regelenergie, ggf. lokale Flexibilitätsmärkte	Teilnahme am Regelenenergiemarkt möglich (EnWG), Anlagenpooling möglich, um Mindestgebotsgrößen zu erreichen, ggf. Anspruch auf individuelles Netzentgelt nach § 19 Abs. 2 StromNEV wg. Atypischer Netznutzung; Kapitel 5.5, 5.1.1.3	aktuell nicht rentabel, zukünftig steigender Flex-Bedarf lokal, regelmäßige Prüfung der Rentabilität empfohlen

Szenario	Maßnahme / ***Bsp. sofern vorhanden	Prozess	Energieform								Wechselwirkungen mit Energiemarkt	Mögliche Erträge	Rechtsrahmen	Bewertung
			Strom	Wärme	Klärgas	Bio-CH4	H2	O2	O3	Lage				
IN14	EE-Erzeugung (PV, Wind, Wasserkraft) in Kombination mit Batteriespeicher	im virtuellen Kraftwerk/über Aggregator	x							x	Teilnahme an Regelmärkten/lokalen Flexibilitätsmärkten, Einkauf am Großhandelsstrommarkt oder über variable Tarife	Einnahmen (positive) Regelernergie, ggf. lokale Flexibilitätsmärkte	Teilnahme am Regenergiemarkt möglich (EnWG) nach vorheriger Präqualifikation der Anlage, Anlagenpooling möglich, um Mindestgebotsgrößen zu erreichen, erzeugungsseitig kaum mehr Potenzial, da Redispatch ordnungsrechtlich und ab 100 kWh Leistung erfolgen soll (NABEG 2.0), Speicher gelten als Letztverbraucher, für sie sind grds. alle Strompreisbestandteile zu zahlen, ggf. Privilegierung möglich, um Doppelbelastungen zu verhindern, für Strom zum Betrieb der Wärmepumpe fallen ggf. je nach Stromquelle (alle) Strompreisbestandteile an; Kapitel 5.5, 5.1, 5.2	aktuell nicht rentabel, zukünftig steigender Flex-Bedarf lokal
IN15	Abwasserwärmenutzung im Kanal	Wärmetauscher und Wärmepumpe in bestehenden Kanal	x	x							ggf. Wärmeverkauf durch Kanalnetzbetreiber	Einsparung konventionelle Wärmeerzeugung	u. U. problematisch, Zugang zu Wärmenetzen zu erhalten, Abwasserwärme als Abwärme als Ersatzmaßnahme für anteilige Nutzungsverpflichtung für EE aus EEWärmeG zulässig; Kapitel 5.6, 5.3	Vielzahl technischer Randbedingungen, Wechselwirkung KA
IN16	Abwärmeeinleitung in Kanal und Abwasserwärmenutzung	Einleitung von industrieller Abwärme in den Kanal und Abwasserwärmenutzung		x							ggf. Wärmeverkauf durch Kanalnetzbetreiber	Einsparung konventionelle Wärmeerzeugung	u. U. problematisch, Zugang zu erhalten, Abwasserwärme als Abwärme als Ersatzmaßnahme für anteilige Nutzungsverpflichtung für EE aus EEWärmeG zulässig; Kapitel 5.6, 5.3	Vielzahl technischer Randbedingungen, Wechselwirkung KA
IN17	Abwärmenutzung über chemische Wärmespeicher	Abwärme in chemischen Wärmespeichern gespeichert und transportierbar		x							ggf. Wärmeverkauf durch Betreiber KA und/oder Kanal	Einsparung konventionelle Wärmeerzeugung	Abwärme als Ersatzmaßnahme für anteilige Nutzungsverpflichtung für EE aus EEWärmeG zulässig; Kapitel 5.6, 5.3	Transportgewicht limitiert Speicherkapazität, zusätzlicher CO2-Ausstoß

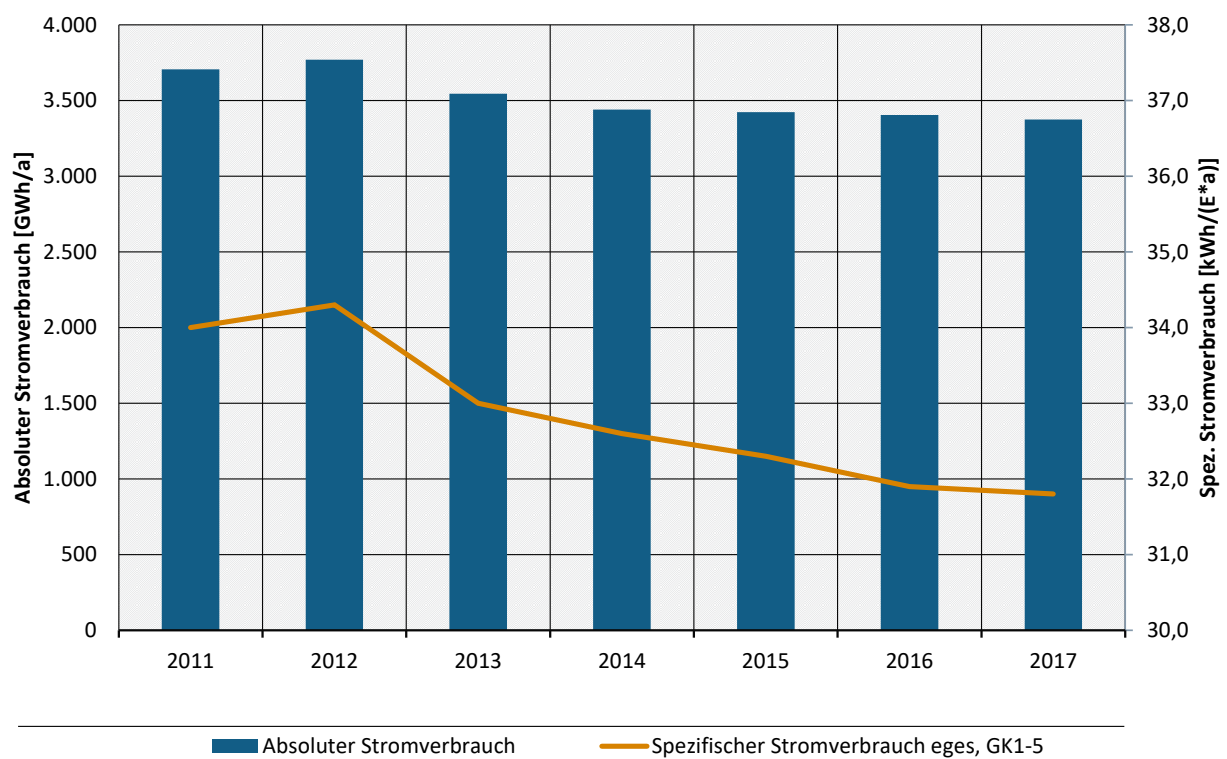
2 Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft

2.1 Status Quo

2.1.1 Entwicklung des Stromverbrauchs kommunaler Kläranlagen

Der Energieverbrauch kommunaler Kläranlagen ist bereits seit Mitte der 1980er Jahre im Fokus der Kläranlagenbetreiber wie auch der Umweltpolitik. Handbücher und Leitfäden zu diesem Thema beschreiben den jeweiligen Stand der Technik und berücksichtigen zeitaktuelle technische Neuerungen. Der Zielzustand einer energetisch optimierten Kläranlage wird hierbei über ausgewählte Kennzahlen (Benchmarking) oder die Berechnung anlagenspezifischer Zielwerte (theoretische Idealwerte) definiert. Für das Handbuch Energie in Kläranlagen (MURL, 1999) wurden mit Modellanlagen solche Idealwerte berechnet. In der UBA-Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ (Umweltbundesamt, 2006) wurden dagegen ein Zielwert und ein Toleranzwert (Mindeststandard) aus Häufigkeitsverteilungen empirisch abgeleitet. Das DWA-Arbeitsblatt A 216 (2015) verzichtet auf Zielvorgaben, führt aber den spezifischen Gesamtverbrauch e_{ges} als Vergleichsparameter aus Erhebungen der DWA an. Die Größe e_{ges} in $[kWh/(E \cdot a)]$, die seit dem Jahr 2011 von der DWA bundesweit im jährlichen Leistungsvergleich mit erhoben wird, stellt neben dem summarischen Gesamtverbrauch aller Kläranlagen bis heute die wesentliche Kennzahl für die Beurteilung des Stromverbrauchs kommunaler Kläranlagen und dessen Entwicklung dar (Abbildung 6).

Abbildung 6: Entwicklung des absoluten und spezifischen Stromverbrauchs über die Größenklassen 1-5 (Daten des DWA-Leistungsvergleichs von 2011-2017, eigene Darstellung, WiW mbH)



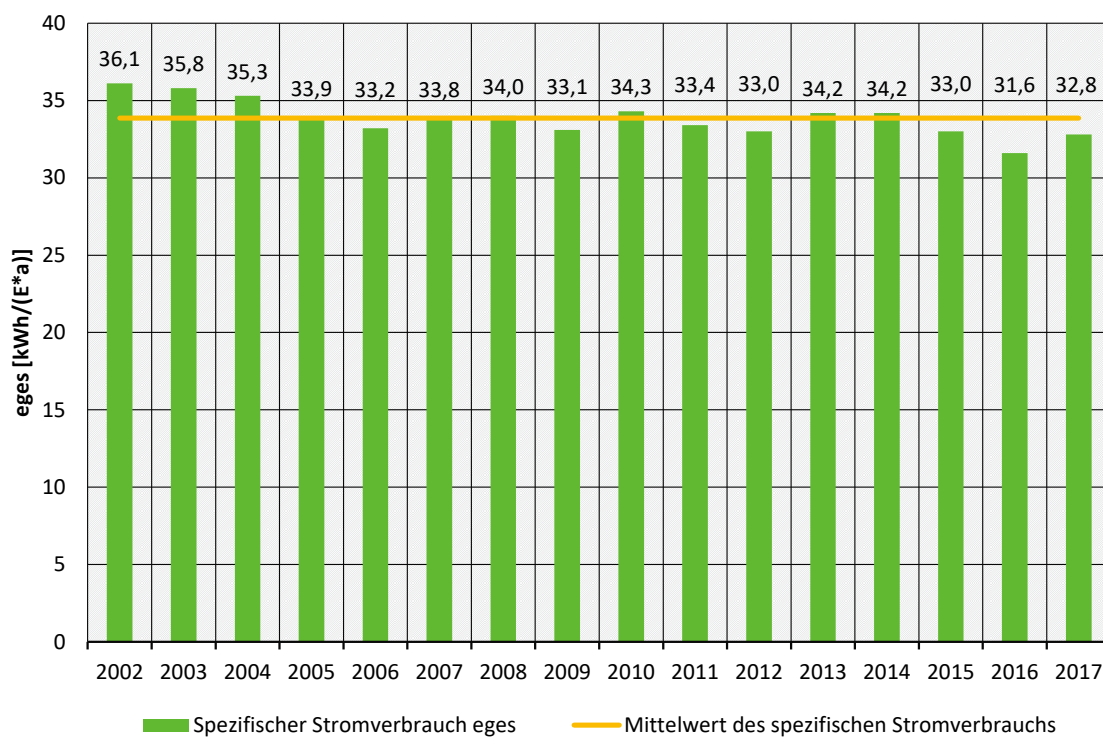
Quelle: DWA-Leistungsvergleich, eigene Darstellung

Nach den von der DWA veröffentlichten Daten ist der Gesamtverbrauch aller bundesdeutschen kommunalen Kläranlagen seit dem Jahr 2011 von rund 3,7 TWh/a bis zum Jahr 2017 auf rund

3,4 TWh/a gesunken und wurde damit um insgesamt etwa 8 % bzw. jährlich 1,3 % kontinuierlich verringert. Die Kennzahl e_{ges} , die die tatsächliche Auslastung der Kläranlagen berücksichtigt, zeigt, dass dieser Rückgang maßgeblich auf eine Steigerung der Energieeffizienz zurückzuführen ist. Der einwohnerspezifische Gesamtverbrauch der Anlagen sank so von 34,0 kWh/(E*a) im Jahr 2011 ebenfalls kontinuierlich auf 31,8 kWh/(E*a) im Jahr 2017 um rund 6,5 % bzw. im Mittel etwa 1,1 %/a ab. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass jährlich nur jeweils etwa 80 % aller Kläranlagen mit unterschiedlicher Verteilung an dem Leistungsvergleich teilnehmen.

Vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg liegen spezifische Stromverbrauchswerte für den deutlich längeren Zeitraum von 2002 bis 2017 vor (vgl. Abbildung 7). Ausgehend von 36 kWh/(E*a) im Jahr 2002 reduziert sich der Stromverbrauch erkennbar nur in den ersten und den letzten Jahren um insgesamt 4 kWh/(E*a) bzw. 10 %. Die Daten über einen Zeitraum von 15 Jahren lassen zwar eine Abnahme des Stromverbrauchs erkennen, bezogen auf 10 Jahre ergibt sich aber lediglich eine Einsparung von 7,5 %.

Abbildung 7: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Kläranlagen in Baden-Württemberg (Daten des DWA-Landesverbandes BW, eigene Darstellung, WiW mbH)

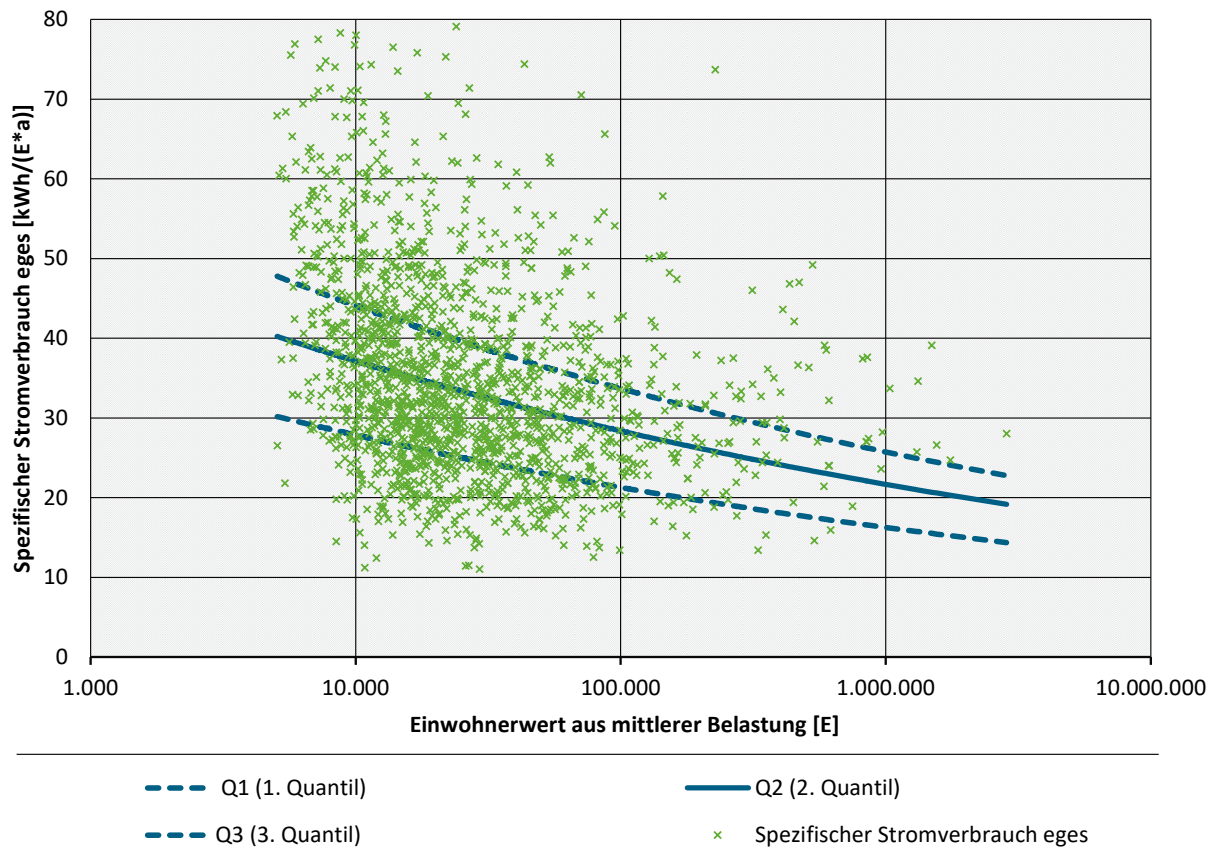


38. Leistungsvergleich (2002-2011); DWA-Leistungsvergleiche 2011-17

Quelle: DWA-Leistungsvergleich auf Landesebene

Für die nachfolgenden Betrachtungen werden nur die Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 mit einer Ausbaugröße von über 10.000 EW herangezogen. Der Anteil dieser Kläranlagen beträgt 94 % der Abwasserfracht und 86 % der behandelten Abwassermenge (Destatis, 2018), so dass hiermit der energetische Ist-Zustand der Abwasserreinigung umfassend beschrieben wird. Abhängig von der Belastung ergibt sich folgende Verteilung der spezifischen Stromverbrauchswerte (Abbildung 8) aus dem Leistungsvergleich der DWA mit insgesamt 1.736 erfassten Kläranlagen der genannten Größenklassen.

Abbildung 8: Verteilung des spezifischen Stromverbrauchs e_{ges} von 1.736 Kläranlagen in Deutschland bezogen auf ihre mittlere Einwohnerbelastung (DWA-Daten für das Jahr 2016 und Kläranlagen der Größenklasse 4+5, eigene Darstellung, WiW mbH)



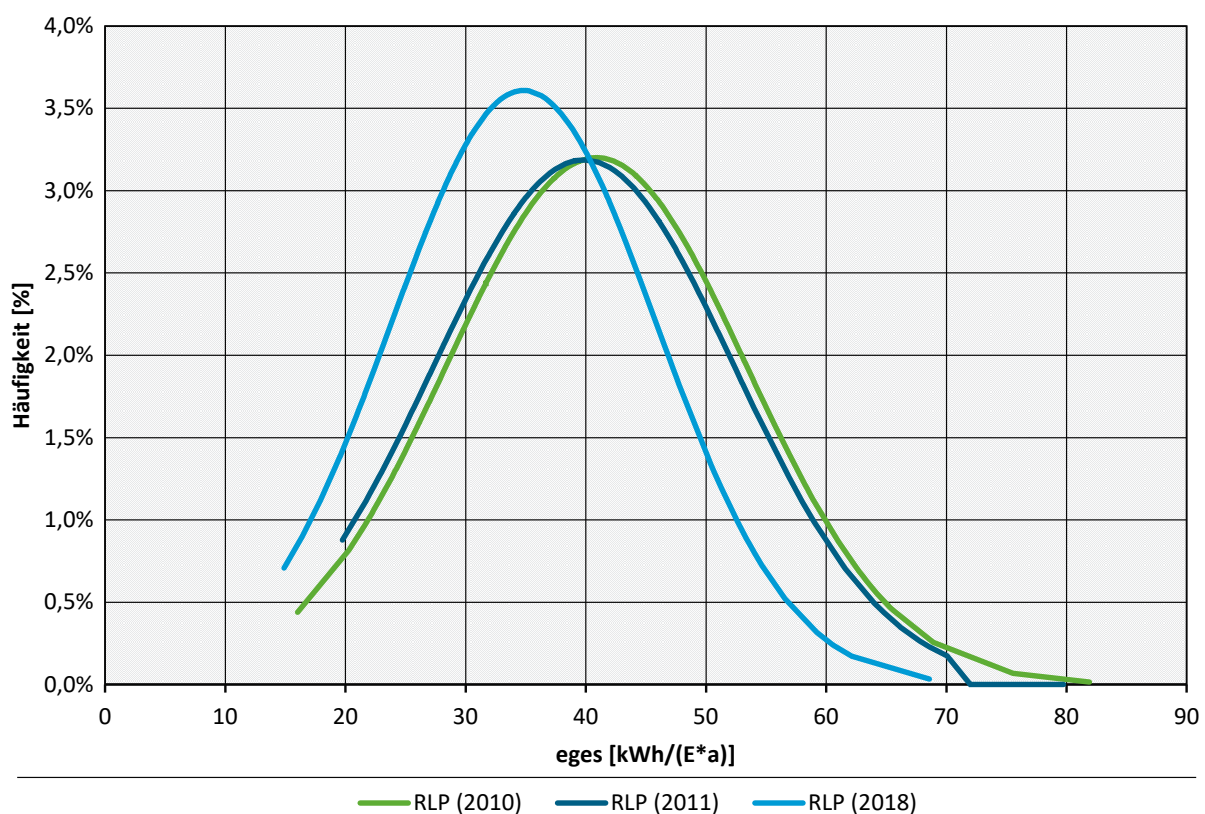
Bei dem Leistungsvergleich der DWA werden die Einwohnerwerte nicht über mittlere Tagesfrachten des Parameters CSB (DWA-A-216 [2015]), sondern über das Produkt aus mittlerer CSB-Konzentration mit der Jahresabwassermenge ermittelt. Mit diesem Vorgehen, das sich an der realen Verfügbarkeit der Belastungsdaten orientiert, werden in der Regel höhere Einwohnerwerte und in der Folge bis zu 10 % niedrigere einwohnerspezifische Energiekennwerte errechnet (Gasse et al., 2017). Grundsätzlich sinkt der Verbrauch mit dem Anstieg der Ausbaugröße wie auch in anderen Auswertungen zu diesem Thema. Insgesamt streut der spezifische Stromverbrauch stark bei einem Median (Q2-Wert) aller Anlagen von 32,7 kWh/(E*a). Auch nach über 20 Jahren durchgeführter Energieoptimierungen weist ein erheblicher Anteil der Kläranlagen Verbrauchswerte von weit über 30 kWh/(E*a) auf und lediglich ein Viertel (Q1-Linie) erreicht den angestrebten Verbrauchsbereich für energetisch optimierte Anlagen von 20 bis 30 kWh/(E*a). Deutlich wird auch, dass günstige spezifische Verbrauchswerte nicht auf große Kläranlagen mit separater Schlammfäulung beschränkt sind, sondern durchaus auch bei Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von unter 20.000 EW erreicht werden können, die meist über eine simultane aerobe Schlammstabilisierung verfügen. Dem Mehrverbrauch in den Bereichen Vorklärung, Schlammbehandlung und Entwässerung bei den Fäulungsanlagen steht bei diesen Anlagen vielfach nur der Mehrverbrauch für die Belüftung durch ein längeres Schlammalter gegenüber. Bei der Bewertung des Gesamtverbrauchs ist daher der Einfluss der Schlammbehandlung als eher gering zu bewerten.

2.1.2 Länderspezifische Datensätze

Der Status Quo und eine mögliche Entwicklung des Stromverbrauchs kommunaler Kläranlagen kann ergänzend zu den Daten des DWA-Leistungsvergleichs auch anhand ausgeführter Energieanalysen bewertet werden. Energieanalysen sind durch eine hohe Genauigkeit in der Ermittlung der Kennzahlen gekennzeichnet und zeigen den Realverbrauch der Kläranlagen sehr gut auf. Durch ihren Auswahlcharakter stellen sie allerdings nicht die Gesamtsituation aller Kläranlagen einer Region in einem Verbrauchsjahr dar. Energieanalysen werden so eher bei verbrauchsuffälligen Kläranlagen durchgeführt und weisen damit spezifisch ungünstigere Kennzahlen auf. Um eine Verbesserung infolge einer nachgelagerten Umsetzung von erkannten Maßnahmen nachzuweisen, wäre zudem eine Zweitanalyse notwendig, die jedoch in der Regel nicht erfolgt. Der Vergleich ausgeführter Energieanalysen dokumentiert daher nur die „ohnehin“ aufgetretenen Veränderungen bzw. den Unterschied zwischen den betrachteten Kläranlagengruppen.

Als Datenbasis standen zum einen Energiekennwerte aus ausgeführten Energieanalysen, zum anderen Daten der Landesumweltämter der Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zur Verfügung. Die Daten umfassen den Zeitraum von 2000 bis 2018 in unterschiedlicher Auflösung. Die Verbrauchswerte wurden jeweils auf Länderebene statistisch ausgewertet und es wurden unter Berücksichtigung der vorgenannten Einschränkungen Entwicklungen im Energieverbrauch abgeleitet. Die Auswertung umfasst nur Kläranlagen mit einer Anschlussgröße größer 10.000 EW. Zwischen aerober und anaerober Schlammstabilisierung wurde nicht unterschieden. Häufigkeitsverteilungen wie Abbildung 9, zeigen hierbei auf, ob sich der Stromverbrauch insgesamt verbessert hat und in welchem Bereich der Schwerpunkt der Verbrauchswerte liegt.

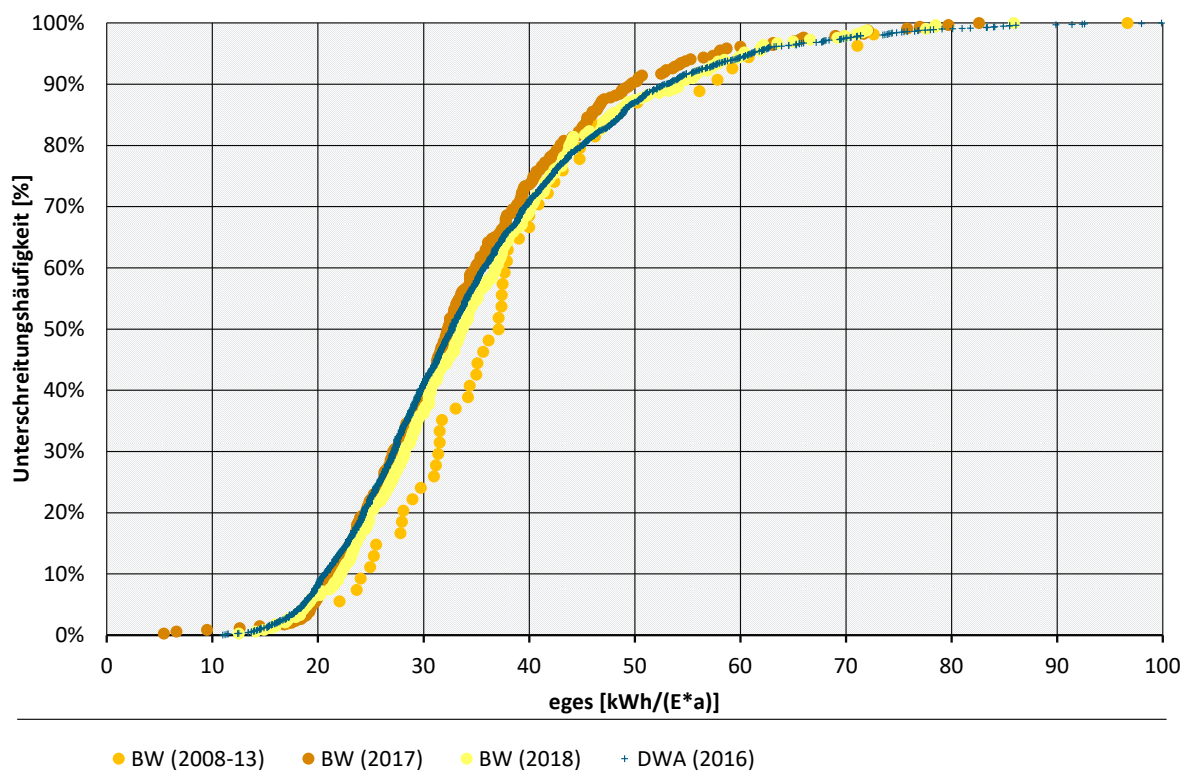
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung des spezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} (Daten aus Rheinland-Pfalz für die Jahre 2010, 2011 und 2018, eigene Darstellung, WiW mbH)



Aus den hieraus gebildeten Summenhäufigkeiten lässt sich die prozentuale Verteilung des Verbrauchs entnehmen (s. Abbildung 9). Für Rheinland-Pfalz lagen Energieverbrauchsdaten für die drei Jahre 2010, 2011 und 2018 mit jeweils über 140 Kläranlagen vor, die vom Landesumweltamt direkt bei den Betreibern abgefragt wurden. Der Stromverbrauch reduzierte sich in diesem Zeitraum von 39,3 auf 32,7 kWh/(E*a) um 6,6 kWh/(E*a) entsprechend einer rechnerischen Einsparung von 19 % über 10 Jahre.

Für Baden-Württemberg lagen zwei Datensätze der Jahre 2016 und 2017 des Umweltministeriums vor. Zusätzlich konnte mit kleinerem Datenumfang auf ältere Daten verschiedener Jahre aus Energieanalysen zurückgegriffen werden (Abbildung 10). Der Stromverbrauch reduzierte sich gegenüber den Energieanalysen aus den Jahren 2008 bis 2013 von 37 auf 34 kWh/(E*a) über einen Zeitraum von etwa 9 Jahren. Das entspricht einer Einsparung von etwa 9 % über 10 Jahre.

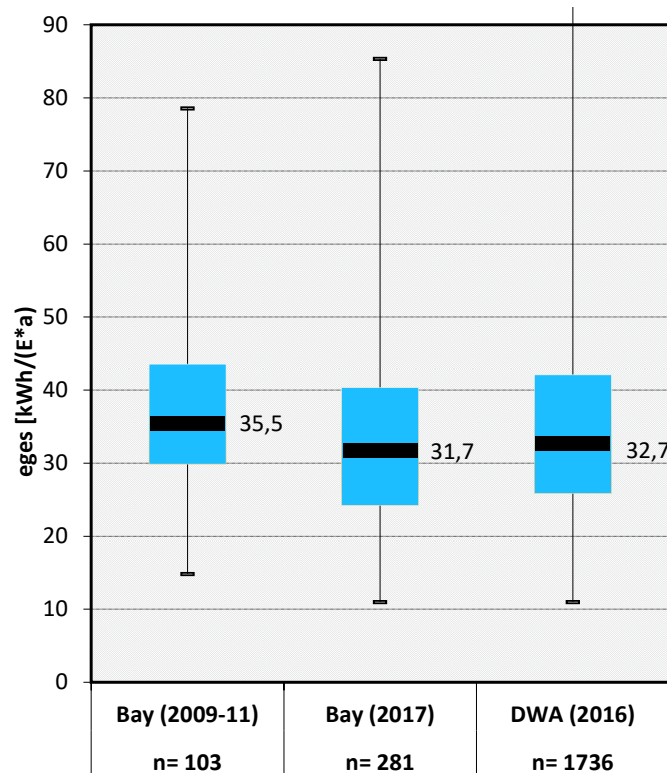
Abbildung 10: Summenhäufigkeit des spezifischen Stromverbrauchs e_{ges} (Daten aus Baden-Württemberg für die Jahre bis 2013, 2017, 2018) im Vergleich zu den deutschlandweit ermittelten Daten der DWA für 2016, eigene Darstellung, WiW mbH)



In Bayern erfolgte in den Jahren 2009 bis 2011 ein Sonderprogramm des bayerischen Landesumweltamtes zur Durchführung von Energieanalysen. Zusätzlich zu den Daten aus diesem Sonderprogramm wurden die für 2017 erfassten Verbrauchswerte kommunaler Kläranlagen vom bayerischen Landesumweltamt (LfU) zur Verfügung gestellt. Ausgewertet wurden die Daten von 289 Kläranlagen mit einer Ausbaugröße > 10.000 EW. Der Einwohnerwert konnte hierbei nur aus der mittleren BSB₅-Belastung berechnet werden und führte möglicherweise zu erhöhten spezifischen e_{ges} -Werten. Anhand dieser Zahlen ergibt sich eine Verbesserung von 35,5 auf 32,7 kWh/(E*a) bzw. eine Reduktion von 8 % innerhalb von etwa 7 Jahren. In sogenannten Box-Whisker-Plots wird diese Verteilung zum direkten Vergleich einzelner Datensätze mit den Quartilswerten (25 %, Median, 75 %) dargestellt (Abbildung 11).

Für Nordrhein-Westfalen standen drei Datensätze zu ausgeführten Energieanalysen aus Förderprogrammen des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz aus dem Zeitraum von 2000 bis 2016 zur Verfügung. Der Stromverbrauch reduzierte sich von 43,0 auf 40,4 kWh/(E*a) um 2,6 kWh/(E*a) entsprechend einer theoretischen Verbesserung von lediglich 4 % über 10 Jahre, wobei die beschriebene Auswahlproblematik zu berücksichtigen ist.

Abbildung 11: Box-Whisker-Plots des spezifischen Energieverbrauchs e_{ges} (Daten aus Bayern für die Jahre 2009-2011, 2017 und 2018, eigene Darstellung, WiW mbH)



2.1.3 Bewertung und Verbesserungspotenzial

In Tabelle 4 sind die Datensätze zusammengefasst. Die ausgewerteten Verbrauchskennzahlen ermöglichen die Ableitung einer globalen Aussage zum Stromverbrauch der kommunalen Abwasserreinigung, nicht jedoch zum Einsparpotenzial von Einzelanlagen. Dieses hängt in hohem Maße von den spezifischen Randbedingungen ab und erfordert eine detaillierte Einzelbetrachtung. Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Datenerfassung (Landesdaten bzw. Energieanalysen) und der Anzahl der jeweils erfassten Kläranlagen ist grundsätzlich eine Verbesserung der spezifischen Verbrauchssituation in allen vier Bundesländern zu erkennen. Die länderspezifischen Auswertungen bestätigen insgesamt die Entwicklung in den Zahlen des DWA Leistungsvergleichs nach Kapitel 1.1.1 mit einem theoretischen Verbrauchsrückgang von ca. 1 % pro Jahr (vgl. Abbildung 12, Strichlinie).

Das Einsparpotenzial, das bei der Durchführung von Energieanalysen ermittelt wird, liegt demgegenüber bei 20-25 % des Gesamtstromverbrauchs. Die vollständige Umsetzung auch der abhängigen Maßnahmen, die einen erheblichen Anteil der in Energieanalysen erkannten Optimierungen darstellen, nimmt unter Berücksichtigung von Austauschzyklen in der Maschinen- und Elektrotechnik etwa 10 Jahre in Anspruch. Bei baulichen Maßnahmen sind zudem die langen Ab-

schreibungszeiträume vorhandener Bauwerke zu berücksichtigen, die vielfach einer Maßnahmenumsetzung entgegenstehen. Insofern ist davon auszugehen, dass das mögliche Optimierungspotenzial, das sich aus den durchgeführten Energieanalysen ergibt, in der Praxis nur in Teilen und zudem zeitlich stark verzögert realisiert wird. Zweitanalysen nach einer Umsetzung von Maßnahmen aus den Paketen S, K und A (sofort, kurzfristig, abhängig) für Kläranlagen, die diese Annahme bestätigen könnten, liegen nur in wenigen Ausnahmefällen vor. Eine Erfolgskontrolle der erkannten und bereits umgesetzten Maßnahmen erfolgt bisher praktisch nicht und sollte daher Ziel weiterführender Untersuchungen sein.

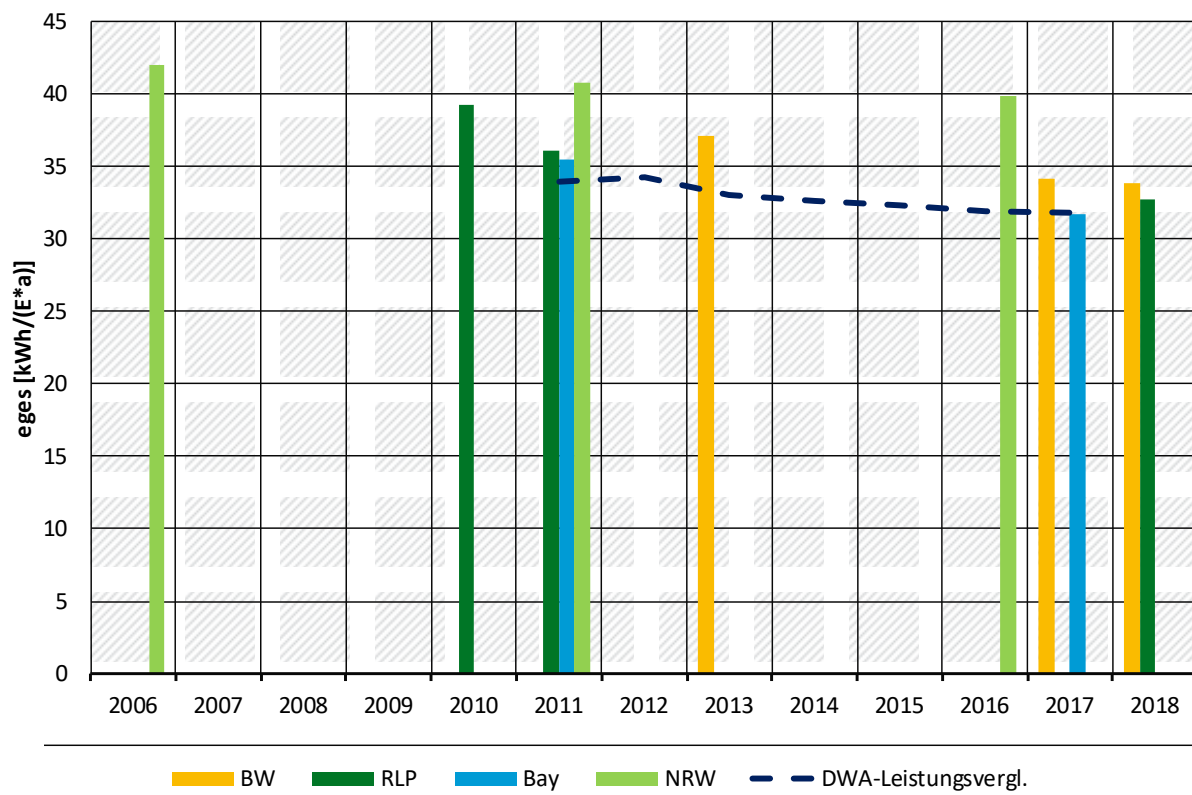
Tabelle 4: Einwohnerspezifischer Gesamtstromverbrauch e_{ges} in 4 Bundesländern

	Quelle	n	Q1	Q2	Q3	Max.
		-	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]
BW (2008-13)	EA	54	31,0	37,1	43,0	96,7
BW (2017)	LUA	338	26,2	34,2	40,6	82,6
BW (2018)	LUA	334	27,1	33,8	42,4	85,9
RLP (2010)	LUA/ EA	149	31,0	39,3	48,9	81,9
RLP (2011)	LUA/ EA	144	31,4	36,1	47,5	79,8
RLP (2018)	LUA	141	26,7	32,7	41,9	68,6
Bay (2009-2011)	EA	103	29,9	35,5	43,5	78,6
Bay (2017)	LFU	281	24,2	31,7	40,3	85,3
NRW (1997-2006)	EA	108	35,6	41,5	52,9	72
NRW (2006-2011)	EA	72	32,0	40,8	53,1	100,3
NRW (2012-2016)	EA	40	34,4	39,9	45,8	70,0

*) Einsparung jeweils länderweise berechnet

In den gezeigten Auswertungen spielt die 4. Reinigungsstufe noch keine Rolle. Zwischenzeitlich werden bereits Anlagen zur Spurenstoffelimination betrieben. Die Anzahl der Anlagen ist nicht bekannt. Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) zählt in Baden-Württemberg 31 Kläranlagen mit Spurenstoffelimination (Stand 2020).

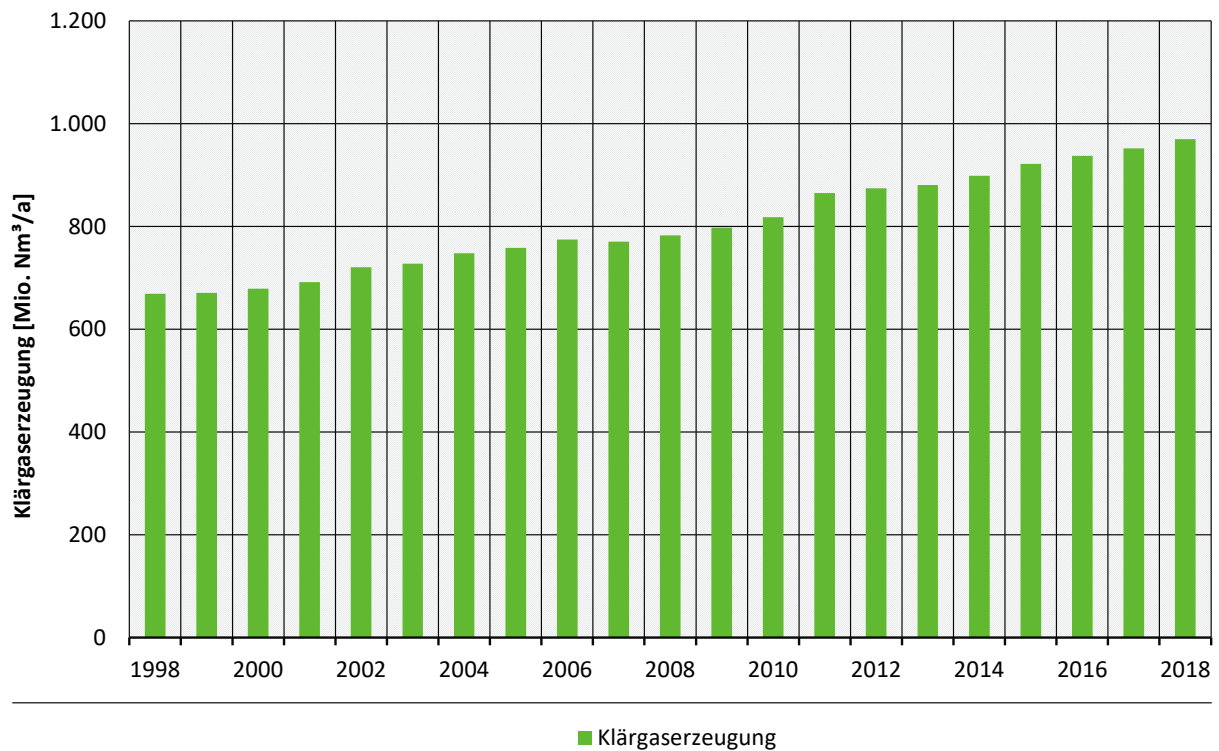
Abbildung 12: Entwicklung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauchs e_{ges} auf Basis der Datensätze (Q2-Werte) für die Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Bayern und NRW von 2006 bis 2018, zusätzlich die Werte für Deutschland aus dem DWA-Leistungsvergleich der Jahre 2011 bis 2017 (eigene Darstellung, WiW mbH)



2.1.4 Energieeigenerzeugung aus Klärgas

Die auf kommunalen Kläranlagen erzeugte Klärgasmenge stieg über die letzten 20 Jahre um 2,1 % pro Jahr stetig an (s. Abbildung 13). Diese Entwicklung ist unter anderem auf den Zubau von Faulungsanlagen, eine verbesserte Betriebsführung der Faulreaktoren und eine vermehrte Nutzung von Co-Substraten zurückzuführen. Ebenso ist die Einführung einer maschinellen Vorverdickung für den Überschussschlamm auf vielen Kläranlagen zu berücksichtigen. Ein hierdurch erreichter höherer Feststoffgehalt im Zulauf der Faulungsanlagen verlängert die Faulzeit, reduziert den Wärmebedarf, verbessert den oTR-Abbau und steigert letztlich die mögliche Faulgasproduktion. Als aktuelle Zahl gibt das Statistische Bundesamt für das erzeugte Klärgas eine Primärenergiemenge in Höhe von 6,3 Mio. MWh/a für das Jahr 2018 an. Dies entspricht bei einem unteren Heizwert des Klärgases zwischen 6,0 und 7,0 kWh/Nm³ einer gesamten Klärgasmenge zwischen 900 und 1050 Mio. Nm³/a.

Abbildung 13: Entwicklung der Klärgaserzeugung in Deutschland von 1998 bis 2018 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH)

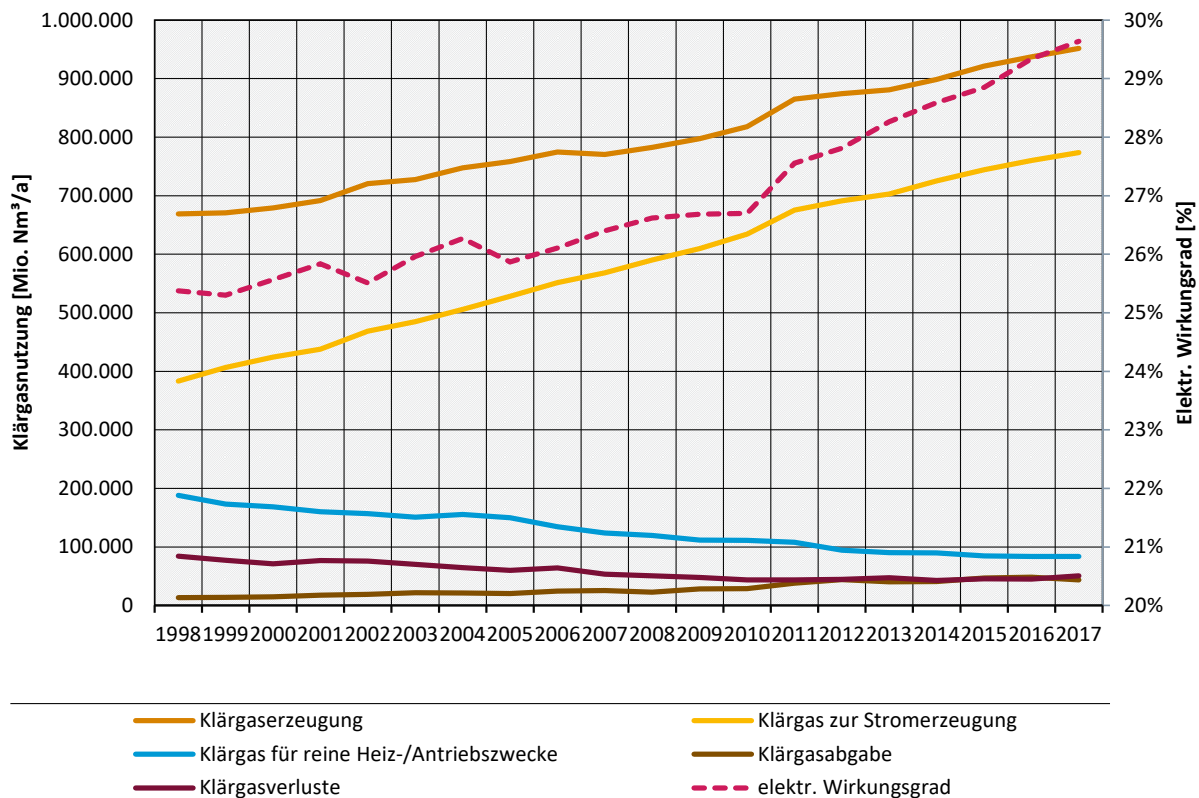


Quelle: Destatis, 2020, Stand 7.2.2020

*) Das Statistische Bundesamt gibt die Klärgasdaten in GJ Primärenergie an. Hier wurde mit einem pauschalen Klärgasheizwert von 6,5 kWh/Nm³ und 3,6 kJ/Wh in die gebräuchliche Einheit Nm³/a umgerechnet.

Der Strombedarf von Kläranlagen wird durch Fremdbezug aus dem vorgelagerten Versorgungsnetz und dem aus Klärgas, in Einzelfällen auch aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen erzeugten Eigenstrom gedeckt. Das produzierte Klärgas wird mit weiter steigenden Anteilen und erhöhten Wirkungsgraden der hierfür eingesetzten KWK-Anlagen verstromt (s. Abbildung 14). Durch betriebliche Optimierung und die technische Entwicklung hat sich der elektrische Wirkungsgrad der zur Stromerzeugung eingesetzten Aggregate (BHKW/MGT) hierbei im Mittel von 25 % auf heute knapp 30 % erhöht. Der reine Einsatz von Klärgas für Heizzwecke und auftretende Fackelverluste gingen im Vergleichszeitraum entsprechend zurück. Durch die gestiegenen Strombezugspreise stellt sich der Einsatz von KWK-Anlagen heute auch auf kleineren Kläranlagen wirtschaftlich dar. Die Grenze für die Integration einer Schlammfaulung kann bei einer Ausbaugröße von etwa 20.000 EW angesetzt werden, wobei die negativen Effekte der auch auf Klärgasstrom zu zahlenden EEG-Umlage auf die Wirtschaftlichkeit eines Umbaus zu berücksichtigen sind. Es werden allerdings teilweise auch Faulstufen auf Kläranlagen geringerer Ausbaugröße betrieben.

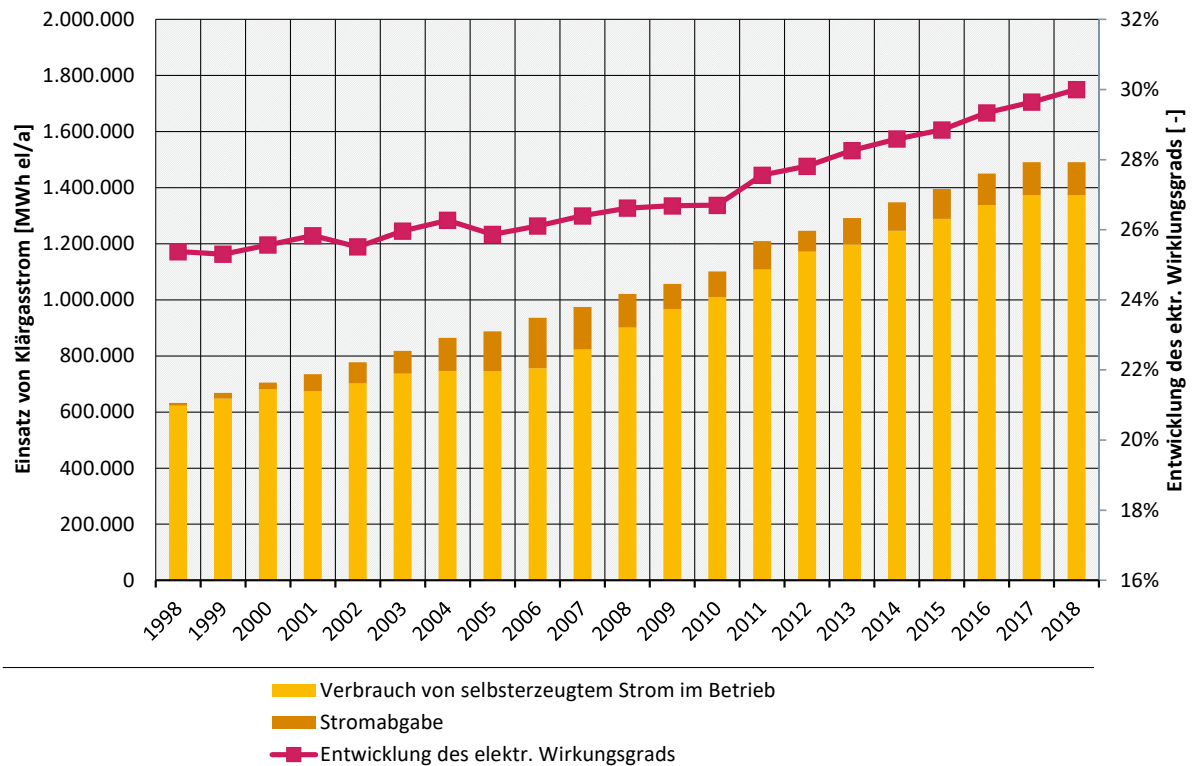
Abbildung 14: Entwicklung der Klärgasgewinnung und –nutzung in Deutschland von 1998 bis 2017 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH)



Quelle: Destatis, 2019, Stand 30.4.2019/12:13:52

Mit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2000 stieg die Abgabe von Strom deutlich. Der Vergütungssatz lag zeitweise über dem durchschnittlichen Strompreis, so dass die Einspeisung für die Betreiber lukrativer als der Eigenverbrauch war. Dies hat sich durch den Anstieg der Strompreise und gleichzeitige Abnahme der Vergütungssätze im Laufe der Novellierungen des EEG wieder umgekehrt. Die heute noch auftretenden Netzeinspeisungen ergeben sich insbesondere bei Kläranlagen mit sehr hoher Eigendeckung, insbesondere bei Einsatz einer Co-Fermentation, da Stromverbrauch und Eigenproduktion nicht exakt aufeinander abgestimmt werden können. Insbesondere die Bereiche Klärgaseinsatz für reine Heiz-/Antriebszwecke und Klärgasverluste stellen heute ein maßgebliches Optimierungspotenzial für die Eigenerzeugung von Strom auf kommunalen Kläranlagen dar, das weiterverfolgt werden sollte. Für 2017 errechnet sich für diese beiden Bereiche beispielhaft ein Anteil von rund 15 % der gesamten jährlichen Klärgaserzeugung. Ein weiteres Optimierungspotenzial ergibt sich daneben aus dem Ersatz der vorhandenen KWK-Anlagen durch effizientere Aggregate bei anstehenden Austauschmaßnahmen. Die Steigerung der Klärgasmenge insgesamt wird durch den weitgehend abgeschlossenen Ausbau der Faulungsanlagen begrenzt. Hier könnten sich verfahrenstechnische Optimierungen, z. B. durch Verschaltung zu mehrstufigen Faulungen, verbesserte Voreindickung mit dann verlängerter Faulzeit oder auch die Gasfassung an Nacheindickern als zielführend erweisen.

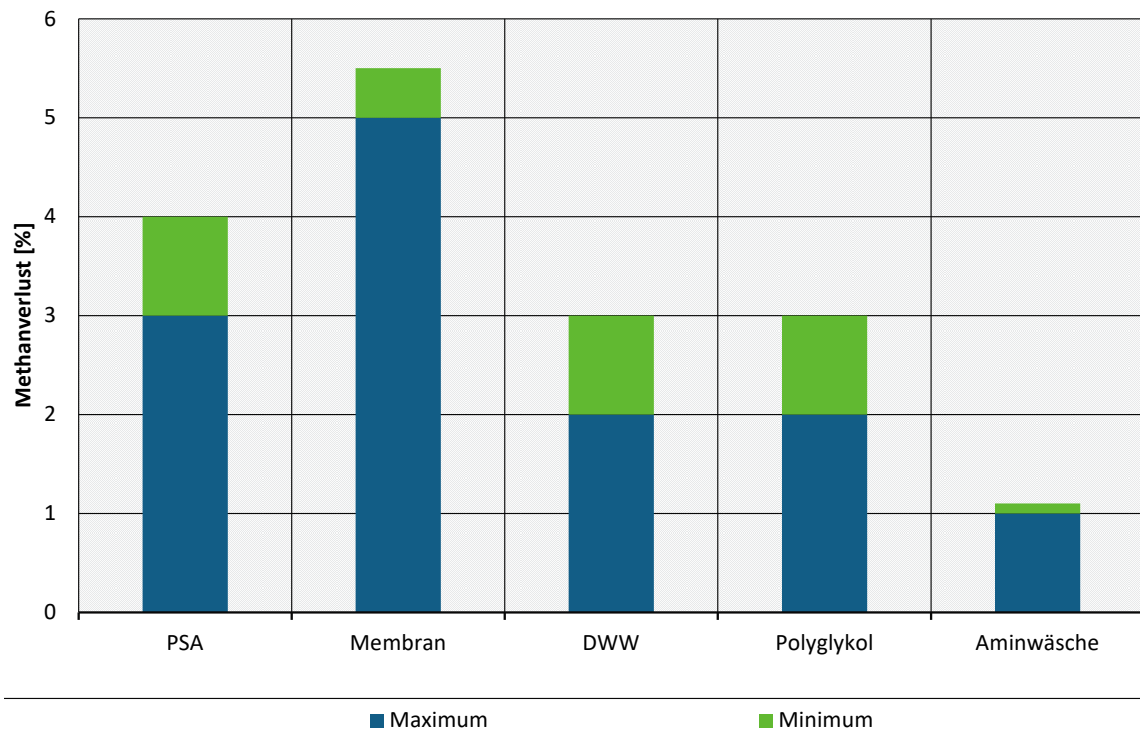
Abbildung 15: Entwicklung von Einspeisung und Eigenverbrauch von Klärgas-Strom über den Zeitraum von 1998-2018 (destatis-Daten, eigene Darstellung, WiW mbH)



Methanverluste

Für die Emissionen aus dem Betrieb abwassertechnischer Anlagen ist neben CO₂ aus der Verbrennung fossiler Energieträger und Lachgas infolge unvollständiger Nitrifikation/Denitrifikation auch Methan als Produkt der anaeroben Schlammstabilisierung von Bedeutung. Das Global Warming Potential (GWP) von Methan beträgt etwa das 28fache von CO₂ (IPCC, 2013). Restmengen an Methan gelangen durch Schlupf an Gasaggregaten und am Kopf von Faulbehältern in die Atmosphäre sowie durch Verschleppung mit der Wasser-/Schlamm-Phase in Becken, die der Faulstufe nachgelagert sind. Erhöhte Emissionen können sich zudem bei Nacheindickern durch eine Nachgärung ergeben. Weitere Emissionsquellen können Lagerung, Transport sowie Konditionierung und Trocknung der Klärschlämme sein (DWA, 2017). Durch die maschinelle Entwässerung wird der Feststoffgehalt des ausgefaulten Schlammes von etwa 3 % TR auf 25 bis 30 % TR erhöht, so dass bis zu 0,9 m³ Schlammwasser pro m³ Klärschlamm anfallen. Unter Berücksichtigung des theoretischen Methangehalts von Klärgas von 65 % und einer Wasserlöslichkeit des CH₄ von 33,8 ml/l (20°C) erhält man eine im Schlammwasser gelöste maximale Methanmenge von ca. 20 l pro Kubikmeter ausgefaultem Klärschlamm. Zu den Methanmengen, die aus dem abgetrennten Schlammwasser tatsächlich in die Atmosphäre emittieren, gibt es allerdings keine detaillierten Messungen (Wuppertal Institut, 2004). Weitere Methanverluste treten bei einer Aufbereitung von Faulgas zu sogenanntem Bio-Methan in Abhängigkeit von dem eingesetzten Verfahren auf (Abbildung 16). Aufgrund der bei allen Verfahren erforderlichen Nachbehandlung der Abgase bei der Aufbereitung sind die Methanverluste in die Atmosphäre bei der Gasaufbereitung jedoch vernachlässigbar.

Abbildung 16: Verfahrenabhängige Methanverluste bei der Aufbereitung von Klärgas zu Bio-Methan nach (Pinnekamp et al., 2017)



Quelle: Energiehandbuch 2.0

2.1.5 Wärmebedarf und -angebot auf Kläranlagen

Der Wärmebedarf kommunaler Kläranlagen ergibt sich aus der Beheizung von Betriebsgebäuden und Werkstätten, dem Aufheizen des Rohschlammes und den Wärmeverlusten des Faulbehälters sowie der Bereitstellung von Warmwasser für Sanitärzwecke. Der Bedarf einer aerob stabilisierenden Kläranlage beschränkt sich daher auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser im Betriebsgebäude über fossile Energieträger. Auf einigen Kläranlagen erfolgt auch eine Nutzung von Abwasserwärme über stromgetriebene Wärmepumpen. Bei Kläranlagen mit separater Schlammfaulung kann dagegen mit dem erzeugten Klärgas sowohl bei einer reinen Nutzung in Kesselanlagen als auch bei Einsatz von Anlagen der Kraft-Wärme-Kupplung (BHKW, MGT) eine vollständige Eigendeckung an Wärme erreicht werden. Aufgrund des jahreszeitlich schwankenden Wärmebedarfs der Schlammbehandlung kann im Sommer hierbei sogar ein Wärmeüberschuss auftreten. Dieser Überschuss wird bei Annahme von Co-Substraten in die Schlammfaulung mit dem Ziel einer Stromautarkie noch vergrößert. Eine externe Nutzung von Wärmeüberschüssen wird in der Regel nicht verfolgt, sie ist durch das niedrige Temperaturniveau der Überschusswärme jedoch auch wirtschaftlich nur schwer darstellbar.

2.2 Benchmark

2.2.1 Energieeffizienz bei Teilprozessen

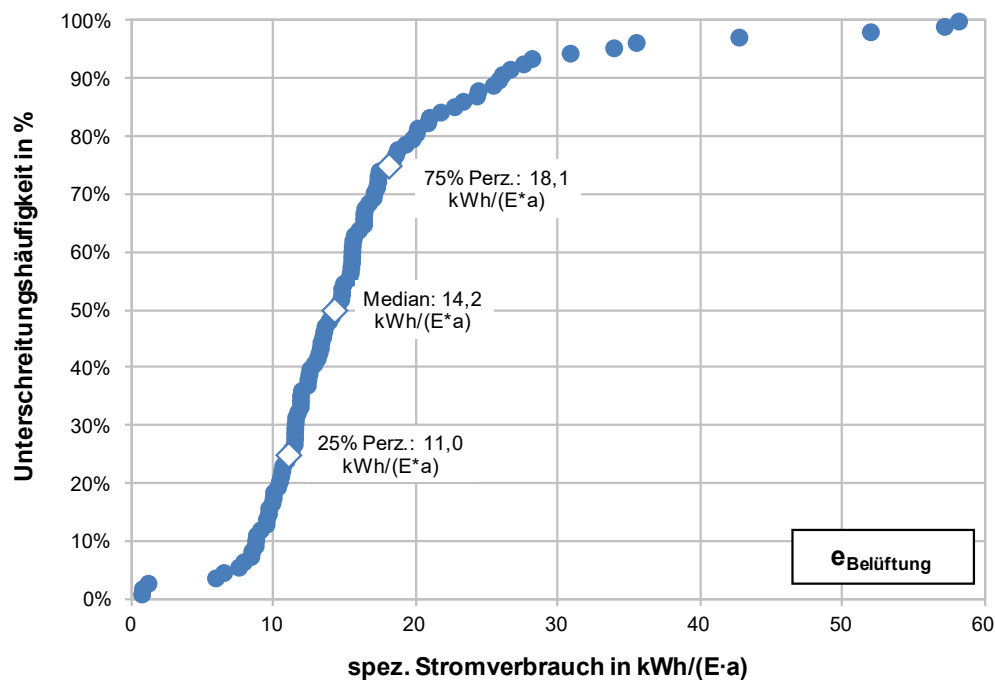
Energieanalysen weisen im Gegensatz zu den übergeordneten Daten des DWA-Leistungsvergleichs einen höheren Detaillierungsgrad auf und ermöglichen die Ableitung von Benchmark-Werten für den Energieverbrauch von Teilprozessen und einzelnen Verfahrensstufen. Trotz der Förderung von Energieanalysen durch die Länder gehören Betriebsdaten jedoch dem jeweiligen Betreiber, und die fördernde Stelle darf die Daten nicht ohne Einwilligung an Dritte weitergeben.

Aus diesem Grund wird hier für die Darstellung der Energieeffizienz von Teilprozessen auf die Energiepotenzialstudie Baden-Württemberg (Gasse et al., 2017) zurückgegriffen, bei der 62 Kläranlagendatensätze aus Baden-Württemberg und zusätzlich 84 Datensätze von Energieanalysen aus dem IPA-Förderprogramm (LANUV, 2014) des Landes Nordrhein-Westfalen ausgewertet wurden. Die Datensätze umfassen Kläranlagen aller Ausbaugrößen. Die Auswertung ergab einen spezifischen elektrischen Gesamtverbrauch von 39 kWh/(E·a) im Median (Q3-Wert: 50,2 kWh/(E·a) und Q1-Wert: 31,5 kWh/(E·a)), der über den Werten des DWA-Leistungsvergleich liegt (vgl. Tabelle 5). Ursachen hierfür können in der unterschiedlichen Ermittlung der Verbrauchswerte aber auch in dem Auswahlcharakter von Energieanalysen bestehen, die in der Regel eher für verbrauchsintensive Kläranlagen durchgeführt werden. In der Studie wurden die fünf Verfahrensgruppen Einlaufhebewerk, Mechanik gesamt, Biologische Stufe, Schlammbehandlung und Infrastruktur unterschieden.

Das Einlaufhebewerk hängt von den anlagenspezifischen Zulaufbedingungen ab. Der Energieverbrauch ergibt sich aus der physikalischen Hebeenergie pro Meter Förderhöhe, der Förderhöhe sowie dem typabhängigen Wirkungsgrad der eingesetzten Pumpe. Auch wenn das Optimierungspotenzial beschränkt ist, sollte das Hebewerk als Bestandteil des Gesamtenergieverbrauchs nicht unberücksichtigt bleiben. Bei einem Vergleich mit anderen Kläranlagen ist es daher grundsätzlich separat zu bewerten. Die Mechanik gesamt umfasst die Teilprozesse Rechen, Sandfang und Vorklärung. Die Räumerantriebe weisen in der Regel geringe Nennleistungen auf und werden vielfach getaktet betrieben. Größere Leistungswerte bestehen bei Sandfang-Gebläsen, Waschpressen und Fahrbahnheizungen. Die biologische Stufe umfasst die Teilprozesse Belüftung, Durchmischung, interne Rezirkulation für die Denitrifikation und die Förderung des Rücklaufschlammes (ohne Nachklärung). Sie stellt den maßgeblichen Verbraucher einer Kläranlage für elektrische Energie mit einem Verbrauchsanteil von 60 bis 70 % des Gesamtverbrauchs dar. Die eingesetzten technischen Aggregate weisen hohe Nennleistungen bei einem meist ganzjährig durchlaufenden, teilweise auch intermittierenden Betrieb auf. Zur Steigerung der Effizienz und für eine optimierte Regelung der einzelnen Prozessschritte werden vielfach Frequenzumformer eingesetzt.

Die Abbildung 17 zeigt beispielhaft die Verbrauchswerte für den Teilprozess der Belüftung, der auch im DWA-Arbeitsblatt A 216 (2015) mit einer eigenen Kennzahl (e_{Bel}) hinterlegt ist. Die im A 216 angeführte Verbrauchsverteilung bestätigt die aus den Energieanalysen ermittelte sehr große Bandbreite zwischen etwa 10 und bis zu 60 kWh/(E·a). Trotz der technologischen Entwicklung von leistungsfähigen Belüftermembranen mit deutlich gesteigerten Sauerstoffeintragungswerten und energieeffizienter Druckluftherzeuger (Hybridaggregate, Turboverdichter) besteht hier weiterhin ein erhebliches Optimierungspotenzial. Mögliche Ursache für die hohen Verbrauchswerte können in einer ungünstigen Staffelung der Druckluftherzeuger und zeitnahen Foulingeffekten bei getauschten Belüfterelementen bestehen, durch die eine erzielte Effizienzsteigerung innerhalb weniger Jahre wieder verloren gehen kann. Wagner (2018) weist daneben auch auf den vermehrten Einsatz waschaktiver Substanzen im gesamten Haushaltsbereich hin, die sich negativ auf den α -Wert und damit auf den Sauerstoffeintrag auswirken.

Abbildung 17: Einwohnerspezifischer Stromverbrauch der Belüftung (108 Kläranlagen BW und NRW) als Summenhäufigkeit (eigene Darstellung, WiW mbH)



Der Verfahrensbereich Schlammbehandlung umfasst die Teilprozesse Eindickung, Faulung und Entwässerung. Der Stromverbrauch der Schlammbehandlung wird bei Kläranlagen mit separater Schlammfaulung aufgrund des vermehrten technischen Aufwandes für die Prozesse Eindickung, Faulung und Gasnutzung höher ausfallen als bei einer aerob stabilisierenden Kläranlage. Demgegenüber steht allerdings der höhere Belüftungsaufwand der Stabilisierungsanlage infolge der fehlenden Vorklärung und des höheren Schlammalters der biologischen Stufe mit einer vermehrten endogenen Schlammatmung. In der Infrastruktur werden üblicherweise die sonstigen Verbraucher, wie z. B. das Betriebsgebäude, das Labor und die Beleuchtung, zusammengefasst. Gerade bei kleineren Kläranlagen oder Anlagen mit einem niedrigen Auslastungsgrad kann dieser Bereich einen nicht unerheblichen Anteil des Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie verursachen. Einrichtungen zur weitergehenden Abluftreinigung, wie sie z. B. bei ortsnaher Wohnbebauung erforderlich sein können, oder übergreifende Verwaltungsgebäude und zentrale Werkstätten z. B. bei Verbänden der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sollten separat ausgewiesen werden und nicht Bestandteil der Infrastruktur sein.

Zukünftig wird zusätzlich der Stromverbrauch einer 4. Reinigungsstufe zu berücksichtigen sein. Die aktuell 4 diskutierten Verfahren der Spurenstoffelimination weisen folgende Strombedarfe auf, die üblicherweise auf die bezogene Abwassermenge bezogen werden. Der spezifische Strombedarf der Ozonung beträgt 0,04-0,17 kWh/m³ (Pinnekamp et al., 2015). Für PAK-Anlagen beträgt der Stromverbrauch 0,025-0,035 kWh/m³, wird der Filter zum Kohlerückhalt mit einbezogen, ergeben sich 0,035-0,045 kWh/m³. Die Filtration über GAK bedarf 0,04-0,13 kWh/m³ inkl. Filtration. Wird eine Abwassermenge von 50 m³/(E*a) entsprechend dem jährlichen Trinkwasserverbrauch angesetzt, so ergeben sich Stromverbräuche zwischen 1,25 kWh/(E*a) (= 0,025 kWh/m³*50m³/(E*a)) und 8 kWh/(E*a) je nach Verfahren und Bedingungen vor Ort.

Bei flächenhaftem Ausbau in den Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 ist mit einer Steigerung des Stromverbrauchs von derzeit etwa 31,8 kWh/(E*a) um 15 % zu rechnen. Die Steigerung ergibt sich aus Ansatz eines mittleren spezifischen Stromverbrauchs von etwa 5 kWh/(E*a)

für eine 4. Reinigungsstufe. Der Stromverbrauch vor Ort auf der Kläranlage ist für die Ozonung aufgrund der Ozonproduktion vor Ort vergleichsweise hoch. Für die Aktivkohleverfahren ist daher anzuraten, ebenfalls den Energiebedarf für die Herstellung und den Transport mit einzubeziehen.

2.2.2 Ableitung eines Benchmarks

Die beste verfügbare Technik (best available technology, BAT) entspricht „dem effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden „...“, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder „...“ zu vermindern“ (IE-Richtlinie 2010/75/EU). BAT sind Verfahren, die aktuell auf dem Markt verfügbar sind, die - im Sinne der Transitionstheorie - aber noch nicht den Weg aus der Nische in die breite Anwendung gefunden haben. Die im Rahmen der Energiepotenzialstudie für Baden-Württemberg ermittelten Quartilswerte können zur Bewertung und Ableitung von BAT herangezogen werden. In Gasse et al. (2015) wird vorgeschlagen, die Q1-Werte einzelner Teilprozesse als energetisch optimiert und damit als BAT anzusetzen (s. Tabelle 5). Da nur wenige Kläranlagen über alle Verfahrensbereiche hinweg energetisch optimiert sind, ist die Summe der Q1-Werte als BAT für den Gesamtverbrauch anzusetzen. Insgesamt ergibt sich hiernach für die über alle Bereiche optimierte Kläranlage ein Gesamtverbrauchswert von kleiner 25 kWh/(E*a), während der Q1-Wert für eine gesamte Kläranlage bei 31,5 kWh/(E*a) liegt.

Tabelle 5: Quartilswerte für die energetische Einordnung von Gesamtanlage, Verfahrensgruppe und -schritten (Gasse et al., 2017)

Verfahrensgruppe	Anzahl	Quartile		
		Q1	Q2	Q3
		[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]
Gesamtanlage	n = 146	31,5	39,0	50,2
Einlaufhebewerk	n = 73	2,0	3,2	4,8
Mechanik gesamt	n = 120	0,9	1,5	3,4
Rechen	n = 107	0,1	0,2	0,3
Sandfang	n = 115	0,5	1,0	1,9
Vorklärung	n = 95	0,1	0,2	0,4
Fällmitteldosierung	n = 79	0,03	0,05	0,11
Biologische Stufe gesamt	n = 80	17,4	23,9	29,3
Belüftung	n = 108	11,2	14,4	18,1
Umwälzung	n = 101	1,9	3,0	5,4
Rezirkulation	n = 59	0,8	1,6	2,3
Rücklaufschlammförderung	n = 88	1,7	2,5	4,4
Nachklärung	n = 92	0,4	0,7	1,5
Schlammbehandlung gesamt	n = 115	2,9	4,8	6,8
Voreindickung	n = 57	0,1	0,4	1,1
Schlammstabilisierung/Faulung	n = 82	1,7	2,6	4,5
Nacheindickung	n = 31	0,05	0,17	0,33
Schlammentwässerung	n = 93	0,8	1,3	2,2
Infrastruktur	n = 120	1,2	2,3	4,7
Energetisch optimierte Kläranlage		< 25,0¹⁾		
Summe der Quartilswerte Q2 und Q3			35,7	49,0

¹⁾ Summe der Q1-Werte aller Verfahrensschritte

2.2.3 Weiterführende Kennzahlen

Die für eine Verbrauchsoptimierung relevanten Teilprozesse sind Hebewerk, Belüftung, Umwälzung, Rücklaufschlammförderung, Rezirkulation, Schlammfaulung und -entwässerung (vgl. Tabelle 5). Mit einem Q1-Wert von zusammen 20,1 kWh/(E*a) bilden sie rund 80 % des gesamten Stromverbrauchs ab. Das mit Abstand höchste Einsparpotenzial besteht hierbei bei der Belüftung, die mit der heute verfügbaren Technik spezifische Verbrauchswerte von 10 kWh/(E*a) erreicht (vgl. a. Haberkern, 2018). Für die übergeordnete Bewertung und die Ermittlung des Anteils am Gesamtverbrauch ist der Bezug auf Einwohnerwerte ein erster Schritt. Für aussagekräftige Kennzahlen ist neben der Bestimmung des Stromverbrauchs jedoch eine weiterführende

Wahl und Erfassung der Bezugsgrößen notwendig. Erfahrungsgemäß sind nicht auf allen Kläranlagen alle Bezugsgrößen verfügbar. Nachfolgend werden die vorgenannten sieben Teilprozesse bezüglich der Kennzahlenbildung eingeordnet und bewertet. Weitere verbrauchsintensive Teilprozesse, wie z. B. eine Abluftreinigung, eine Filtration oder eine Spurenstoffelimination, sind entsprechend separat in ihren Kennzahlen abzubilden und zu bewerten.

Abbildung 18: Kennzahlen zur Bewertung von Verfahrensgruppen und Teilprozessen (eigene Darstellung, WiW mbH)

Gesamtverbrauch	Kläranlage $\frac{kWh}{EW}$	Kläranlage $\frac{kWh}{m^3}$				
Verfahrensgruppe	Hebewerk $\frac{Wh}{m^3 \cdot m}$	Mechanik $\frac{kWh}{m^3}$	Belebung $\frac{kWh}{\Delta kg_{CSB}}$	Schlammbehandlung $\frac{kWh}{m^3_{Schlamm}}$	Infrastruktur $\frac{kWh}{EW_{Ausbau}}$	Spurenstoffelimination $\frac{kWh}{m^3}$
Prozessschritt	Belüftung $\frac{kWh}{\Delta kg_{CSB}}$	Rührwerke $\frac{kWh}{m^3_{BB}}$	Rezirkulation $\frac{kWh}{m^3}$	Rücklaufschlamm $\frac{kWh}{m^3 \cdot m}$	Rührwerke Faulung $\frac{kWh}{m^3_{FB}}$	Entwässerung $\frac{kWh}{m^3_{Schlamm}}$

Die Kennzahlen werden wie folgt berechnet:

Hebewerk: In Abhängigkeit von der Topografie des Einzugsgebietes geringer bis großer Verbrauch, je nach notwendiger Förderhöhe.

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{Q \cdot h} \left[\frac{Wh}{m^3 \cdot m} \right]$$

mit:

e_{spez} Energiebedarf der Pumpe(n) im Bilanzzeitraum [kWh]

Q geförderte Wassermenge im Bilanzzeitraum [m^3]

h Förderhöhe [m]

1.000 Umrechnungsfaktor auf Wh [Wh/kWh]

Belüftung: innerhalb der Verfahrensgruppe in der Regel der größte Verbraucher

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{Q \cdot (C_{CSB,Zulauf BB} - C_{CSB,Ablauf NKB})} \left[\frac{kWh}{\Delta kg_{CSB}} \right]$$

mit:

E Energiebedarf der Belüftung im Bilanzzeitraum [kWh]

Q behandelte Abwassermenge im Bilanzzeitraum [m^3]

$C_{CSB,Zulauf BB}$ mittlere CSB-Konzentration im Zulauf der Belebung im Bilanzzeitraum [mg/l]

$C_{CSB,Ablauf NKB}$ mittlere CSB-Konzentration im Ablauf NKB im Bilanzzeitraum [mg/l]

1.000 Umrechnungsfaktor von mg/l auf kg/ m^3

Umwälzung Belebungsbecken: Die Energieaufnahme der Rührwerke wird auf das umgewälzte Volumen bezogen. Der Verbrauch der Rührwerke ist nicht belastungsabhängig, sondern von der Baugröße des Belebungsbeckens abhängig.

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{V \cdot t} \left[\frac{W}{m^3_{Becken}} \right]$$

mit:

E	Energieaufnahme im Bilanzzeitraum [kWh]
V	Volumen umgewälztes Becken [m³]
t	Laufzeit [h]
1.000	Umrechnungsfaktor auf W [1.000 W/kW]

Rücklaufschlamm:

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{Q \cdot h} \left[\frac{Wh}{m^3 \cdot m} \right]$$

mit:

E	Energiebedarf der Pumpe(n) im Bilanzzeitraum [kWh]
Q	Geförderte RLS-Menge im Bilanzzeitraum [m³], alternativ kann auch die Zu- laufmenge zur KA angesetzt werden, um das betriebene Rücklaufverhältnis zu bewerten.
h	Förderhöhe [m]
1.000	Umrechnungsfaktor auf Wh [Wh/kWh]

Rezirkulation:

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{Q \cdot h} \left[\frac{Wh}{m^3 \cdot m} \right]$$

mit:

E	Energiebedarf der Pumpe(n) im Bilanzzeitraum [kWh]
Q	Geförderte Rezi-Menge im Bilanzzeitraum [m³], alternativ kann auch die Zu- laufmenge zur KA angesetzt werden, um das betriebene Rezi-Verhältnis zu bewerten.
H	Förderhöhe [m]
1.000	Umrechnungsfaktor auf Wh [Wh/kWh]

Faulbehälter: Die Energieaufnahme der Umwälzung wird auf das Faulbehältervolumen bezogen. Der Verbrauch ist nicht abhängig von der Schlammmenge, sondern von der Baugröße des Behälters abhängig.

$$e_{spez} = \frac{E \cdot 1000}{V \cdot t} \left[\frac{W}{m^3_{Behälter}} \right]$$

mit:

E	Energieaufnahme im Bilanzzeitraum [kWh]
V	Volumen umgewälzter Behälter [m³]
T	Laufzeit [h]
1.000	Umrechnungsfaktor auf W [1.000 W/kW]

Entwässerung:

$$e_{spez} = \frac{E}{Q_{Schlamm}} \left[\frac{kWh}{m^3_{Schlamm, Zulauf Entwässerung}} \right]$$

mit:

E Energieaufnahme im Bilanzzeitraum [kWh]
 $Q_{Schlamm}$ (Zulauf-)Schlammmenge im Bilanzzeitraum [m³]

2.2.4 Plausibilisierung/Erfolgskontrolle

Verbrauchswerte, die im Rahmen einer Energieanalyse über eine Energiebilanz auf ihre Plausibilität geprüft worden sind, weisen erfahrungsgemäß eine hohe Genauigkeit auf, die Voraussetzung für eine sinnvolle Bewertung ist. Für eine bessere Datenlage wird folgendes empfohlen:

1. Die Ergebnisse von Energieanalysen sollten in den Bundesländern zentral gesammelt und anonymisiert ausgewertet werden (wie bspw. in Nordrhein-Westfalen).
2. Die jährliche Abfrage von Stromverbrauchswerten (Strombezug, Eigenerzeugung, Gaserzeugung, Mittlere CSB-Frachtbelastung) sollte in allen Bundesländern an geeigneter Stelle (Umweltamt oder Umweltministerium) abgefragt und plausibilisiert werden. Dies erfordert einen hohen Zeitaufwand, der jedoch von einzelnen Ländern, wie z. B. Rheinland-Pfalz und Bayern bereits erbracht wird. Eine Automatisierung ist nur begrenzt möglich, die Daten erfordern unbedingt einer Plausibilitätsprüfung.
3. Schon mit Erscheinen des Energiehandbuchs NRW (1999) wurde auf die Notwendigkeit einer Erfolgskontrolle hingewiesen. Tatsächlich findet eine Erfolgskontrolle gemäß Plan-Do-Check-Act-Kreislauf (ISO-9001, 2011) nur selten statt. Nach Realisierung von Energiesparmaßnahmen ist die angestrebte Einsparung mit den genannten Bezugsgrößen und Kennzahlen mit der tatsächlich erreichten Reduktion abzugleichen. Ggf. sind weitere Maßnahmen zur Optimierung zu ergreifen.
4. Maßnahmen, die aufgrund eines ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses zunächst zurückgestellt wurden - dies sind in der Regel Maßnahmen der Kategorien K und A - sind in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre wirtschaftliche Umsetzung zu prüfen. Steigende Strompreise ermöglichen kürzere Amortisationszeiten.
5. Die Koppelung der Fördermittel für Energieanalysen an die Umsetzung der Sofort- und kurzfristigen Maßnahmen - wie in vielen Bundesländern praktiziert - ist sinnvoll, um Einsparpotenziale auch wirklich zu realisieren.
6. Die Verbesserung der energiebezogenen Leistungen sollte mit der passenden Messtechnik idealerweise gemessen und dokumentiert werden.
7. Die Einführung eines Energiemanagementsystems nach ISO-Norm 50001 inkl. der Auditierung nach ISO-Norm 50003 kann besonders für größere Kläranlagen und Betreiber von mehreren Kläranlagenstandorten relevant sein.

3 Innovative Konzepte und Systemlösungen

Innovative Konzepte und Systemlösungen können weitere Ansätze für eine Steigerung der Energie- und Klimaeffizienz der Abwasserwirtschaft liefern. Dabei können im Sinne sektorübergreifender Ansätze neue Schnittstellen entstehen, die sowohl einer Einordnung in den Energiemarkt als auch einer rechtlichen Bewertung (vgl. Kapitel 5) bedürfen.

Im Kapitel 3.1 werden aktuelle Forschungsvorhaben und Förderschwerpunkte ausgewertet. Kapitel 3.2 fasst die Anforderungen des Energiemarktes zusammen und in Kapitel 3.3 werden die erfolgversprechenden innovativen Ansätze zur besseren Ausschöpfung der Energiepotenziale (Produktion und Nutzung) im Sinne einer Potenzialanalyse untersucht. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Konzepten, die über die einfache Optimierung hinaus die Kläranlage als Knoten in einem sektorübergreifenden System verstehen und die Potenziale einer grundsätzlich neuen Prozesslogik in diesem Kontext untersuchen.

Die Rahmenbedingungen für Kläranlagen bieten aktuell wenig Anreiz für Investitionen in innovative Lösungen. So können Kläranlagen bspw. derzeit nicht von der EEG-Einspeisevergütung profitieren. Vor dem Hintergrund der Wandelprozesse und des sich wandelnden Energiemarktes kann sich das aber derzeit schnell ändern und es ist sinnvoll, neue Entwicklungen voranzutreiben und die Möglichkeiten innovativer Lösungen zu eruieren.

3.1 Auswertung von Forschungsvorhaben und Förderschwerpunkten

Seit einigen Jahren gibt es rege Forschungsaktivitäten im Bereich des Wasser-Energie-Nexus. Tabelle 6 gibt einen Überblick über aktuelle Forschungsvorhaben mit den adressierten Themen. In den darauffolgenden Unterkapiteln folgt jeweils eine kurze Beschreibung.

Tabelle 6: Übersicht über die aktuell relevanten Forschungsvorhaben im Bereich des Wasser-Energie-Nexus

	Energiecheck und Energieeffizienz	Flexibilität/Regelung	Speichertechnologien	Biogas, Klärgas/Fermentation	Synthesegas/H ₂ -Elektrolyse	KWK/BHKW/Mikro-gasturbinen	C-Verfügbarkeit	Deammonifikation/Nitritation	Algen/Wasserlin-sen-Bioreaktor	PtX	Abwärme/Wärmerückgewinnung	Teilstrome/Resourcenrückgewinnung
ESYS				x	x	x						
Powerstep							x	x	x	x	x	
WindNODE	x			x								
KREIS				x		x					x	x
TWIST++				x							x	x
nida200									x			
netWORKS											x	x
NoNitriNox		x										
E-Klär	x						x	x				
BioMethanol					x							
BioBZ					x							
KRN-Mephrec												x
ARRIVEE		x	x	x						x		
ESiTI		x	x	x			x					
KEStro		x			x							

3.1.1 ESYS - Initiative der Wissenschaftsakademien für eine nachhaltige, sichere und bezahlbare Energieversorgung

Projektkoordination: Acatech

Webseite: <https://energiesysteme-zukunft.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-sektorkopplung/>

https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Presse-Materialien/ESYS_Publikationsflyer_screen.pdf

https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Materialien_Bioenergie.pdf

Ziel: ESYS bündelt das in unterschiedlichen Disziplinen vorhandene Wissen zu Energie, ordnet es ein und bereitet es für die politisch-gesellschaftliche Debatte auf. Die für Kläranlagen wichtigen Arbeitsbereiche sind die Sektorkopplung und Bioenergie.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Energieszenarien

Im für KlimAW relevanten Themenfeld Biomasse werden genannt: Biogas-KWK, Biomethan aus Biogas, Holzvergasung mit KWK, Holzbasierte Synthesegas-Bioraffinerie, BECCS (bioenergy with carbon capture and storage).

Ergebnisse: Die Integration in das Europäische Emissionshandelssystem ist erforderlich. Außerdem Sektorkopplung zur Schaffung von Pufferkapazitäten. Als Langzeitspeicher werden Tanks für flüssige Brennstoffe, Erdgasnetz mit Kavernen- und Porenspeichern eingesetzt. Reservekraftwerke mit Kapazität von ca. 60-100 GW (Gaskraftwerke, Brennstoffzellen, KWK-Anlagen), aber relativ geringer Belastung. Daher müssen neue Geschäftsmodelle entwickelt werden, die diese Investitionen lohnenswert machen. Anlagentechnisch aufwändigere Systeme: So könnte allein die gesamte installierte Leistung zur Stromerzeugung von heute etwa 200 Gigawatt auf rund 600 Gigawatt (500 Gigawatt erneuerbarer Energien zuzüglich 100 Gigawatt Reservekraftwerke) steigen. Hinzu könnten bis zu 100 Gigawatt an Elektrolyse- und Methanisierungsanlagen und in gleicher Größenordnung Batteriespeicher kommen.

Im Gebäudesektor scheint es aus Kostengründen nicht optimal, die technischen Möglichkeiten im Bereich der energetischen Sanierung voll auszureizen. Eine wesentliche Rolle spielt der Einbezug erneuerbarer Energien. Dabei kommen als lokal im Gebäude nutzbare erneuerbare Energien insbesondere Solarenergie (Solarthermie, Photovoltaik) und Umweltenergie (Erdreich, Außenluft) in Verbindung mit Wärmepumpen in Betracht. Für die dezentrale Wärmeversorgung in Einzelgebäuden erweisen sich insbesondere elektrische Wärmepumpen aus systemischer Sicht als zentrale Bausteine, ohne deren Einsatz im großen Maßstab Klimaschutzziele im Gebäudebereich mittel- und langfristig schwer erreichbar erscheinen.

Langfristig werden biomassebasierte Energieträger voraussichtlich nicht oder nur in sehr geringem Umfang direkt verbrannt werden, um daraus Niedertemperaturwärme für Raumheizung und Warmwasser bereitzustellen. Dagegen können Verfahren zur Nutzung von Biomasse in Prozessen in Gewerbe und Industrie, bei denen hohe Temperaturen benötigt werden, zukünftig eine wichtigere Rolle spielen. Die Bedeutung von Biomasse für die Bereitstellung von Kraftstoffen im Verkehr wird ebenfalls deutlich zunehmen.

Bioenergie: Eine Option ist, Kohlendioxid in Bioenergieanlagen abzuscheiden und dauerhaft unterirdisch zu speichern (BECCS). Ein ausreichend hoher CO₂-Preis und Zertifizierungssysteme können sicherstellen, dass Bioenergie dem Klima nützt. Sie sind am wirksamsten, wenn nicht nur Bioenergieträger, sondern alle landwirtschaftlichen Produkte darin einbezogen werden.

Weitere Ergebnisse und Details sind auf der Projekt-Webseite zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Strom aus regenerativen Quellen wird zum dominierenden Energieträger im Energiesystem. Der Strombedarf könnte sich bis 2050 nahezu verdoppeln. Technologien wie Elektroautos und Wärmepumpen, die Strom direkt und effizient nutzen, werden in Zukunft immer wichtiger. Doch auch synthetische Brenn- und Kraftstoffe sind voraussichtlich unverzichtbar. Kurz- und Langzeitspeicher sowie flexible Stromnutzungsmodelle müssen künftig die volatile Stromerzeugung ausgleichen helfen. Auch Reservekapazitäten werden benötigt, um die Versorgung in „Dunkelflauten“ abzusichern. Ihr Umfang entspricht etwa dem heutigen konventionellen Kraftwerkspark.

3.1.2 Powerstep - Full-scale demonstration of energy positive sewage treatment plant concepts towards market penetration

Projektkoordination: Dr. Christian Loderer, Kompetenz Zentrum Wasser Berlin - Gemeinnützige GmbH

Webseite: <http://www.powerstep.eu/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<http://powerstep.arctik.tech/index.php>

<http://www.powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/d5-5-recommendations-for-eco-efficient-new-concepts-of-energy-positive-wwtp.pdf>

Powerstep wurde im Rahmen von Horizon2020 gefördert. Während der Laufzeit von Juli 2015 bis Juni 2018 wurde im Wesentlichen das Ziel verfolgt, energiepositive Klärwerksverfahren großtechnisch zu demonstrieren und zur Marktreife zu bringen.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Untersucht wurden an sechs Fallstudien in vier europäischen Standorten unter anderem die folgenden Prozesse:

- Verbesserte Kohlenstoffextraktion durch Vorfiltration und Biosorption
- Innovative Verfahren der Stickstoffentfernung durch verbesserte Steuerung, Deammonifikation des Hauptstroms oder Wasserlinsen-Bioreaktor
- Power-to-Gas-Technologie in Verbindung mit intelligentem Stromnetz
- Energiegewinnung aus Abwärme über thermoelektrische Systeme zur Energierückgewinnung in BHKWs, Dampf-Kreislauf nach Rankine und Wärmespeicherkonzepte
- Innovative Prozesswasseraufbereitung über Nitritation und MBR-Ammoniak-Stripping

Ergebnisse: Innovative Projekte können in der kommunalen Abwasserbehandlung den Energiebedarf und dazugehörige Treibhausgasemissionen signifikant senken.

Abhängig von der Größe der Kläranlage variieren die Energieeinsparungen zwischen 29-84 % für verdünnten Abwasserzufluss und zwischen 76-134 % für konzentrierten Abwasserzufluss. Der Anteil an indirekt vermiedenen Treibhausgasemissionen liegt - bezogen auf den Strommix des Analysejahres - bei 6-33 % für verdünntes Abwasser und bei 9-43 % für konzentriertes Abwasser. Falls die N₂O-Emissionen in der Hauptstrom-Anammox höher als erwartet ausfallen, kann es zu einer Kompensation der eingesparten Treibhausgasemissionen kommen. Dies müsste standortspezifisch geprüft werden.

Insgesamt liegen die Werte für die Energieeinsparungen höher als für die Treibhausgaseinsparungen. Strengere Auflagen für die Stickstoffeliminierung erhöhen normalerweise den Energiebedarf, jedoch könnte die Denitrifikation als N₂O-Senke wirken.

Des Weiteren wurde herausgefunden, dass Energiebedarf und Treibhausgasemissionen umso geringer sind, je größer die Kläranlage ist. Dies liegt hauptsächlich an der erhöhten Effizienz der Aggregate. Selbstverständlich ist der Nutzen von Powerstep in Ländern mit einem hohen Anteil fossiler Energiequellen im Stromnetz am größten. Ist der Anteil an erneuerbaren Energien > 75 %, so werden auf Grund der hohen Chemikaliennutzung die Umweltauswirkungen der Kläranlagen nicht verbessert.

Weitere, detailliertere Aussagen zu kleinen, mittelgroßen und großen Kläranlagen, sowie zu unterschiedlichen Szenarien und Zulaufkonzentrationen sind in den Arbeitsergebnissen von Powerstep zu finden⁵.

Anmerkungen/Fazit: Insgesamt werden die jährlichen Kosten durch Powerstep nicht signifikant erhöht, denn die Investitionen werden teilweise oder komplett durch geringere Betriebskosten kompensiert. Damit ist das Powerstep-Konzept wettbewerbsfähig.

Die Daten für die verschiedenen Szenarien in Powerstep sind hypothetisch, daher bedarf es jeweils einer Simulation und eines Abgleichs mit lokalen Daten. In den Arbeitsergebnissen sind Empfehlungen für die Realisierung umweltfreundlicher Kläranlagen gegeben.

3.1.3 BMWI SINTEG - Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende

Die Fördermaßnahme SINTEG des BMWI zielte darauf ab, in großflächigen "Schaufensterregionen" skalierbare Musterlösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie zu entwickeln und zu demonstrieren.

WindNODE - Projektkoordination: 50Hertz Transmission

Webseite: <https://www.windnode.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://www.sinteg.de/fileadmin/media/Publikationen/SINTEG-Broschuere_2018.pdf

https://www.sinteg.de/fileadmin/media/Publikationen/Praesentationen_Jahreskonferenz_2018/1-5_Graebig_WindNODE.pdf

https://www.bwb.de/de/assets/downloads/Poster_AP-7-5_WindNODE.pdf

⁵ Ab p. 46
<http://www.powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/d5-5-recommendations-for-eco-efficient-new-concepts-of-energy-positive-wwtp.pdf>

Im Projekt WindNODE wurden Lösungen identifiziert, mit denen Erzeugung und Verbrauch von erneuerbarem Strom in ein Gleichgewicht gebracht werden können. Im Arbeitspaket 7.5 wurden Lastverschiebepotenziale in der Wasserver- und Abwasserentsorgung untersucht.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Mithilfe des Simulationsmodells SIMBA wurden Optionen zur Optimierung der Faulgasverwertung und Reduzierung von Lastspitzen durch Anpassung der BHKW-Steuerung untersucht. Außerdem wurde ein Energiecheck nach DWA-A 216 durchgeführt, um elektrisch relevanter Aggregatgruppen durch Betriebsdatenauswertung und Leistungsmessungen zu ermitteln und zu priorisieren. Die Ergebnisse wurden in das Prozessleitsystem überführt.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen, dass eine Spitzenlastreduzierung am Klärwerk Münchehofe (GK5) um bis zu 330 kW möglich ist (bisherige Lastspitze 1050 kW). Es wurde ein positives Flexibilitätspotenzial von 5,9 MW allein im Bereich der Abwasserentsorgung für die Berliner Wasserbetriebe identifiziert. Mehrstufige Automatisierung zum Lastabwurf: Sandfang, Rücklaufpumpen und Rezirkulationspumpen, Zentrifugen sowie Gebläse der biologischen Reinigungsstufe. Eine Verschlechterung der Ablaufqualität durch Lastabwurf ist gemäß Abwasserverordnung nicht zulässig.

Weitere Details und Ergebnisse sind auf der Projekt-Homepage zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Aus WindNODE sind neben der Steigerung der Faulgasausbeute die Flexibilisierung in der 4. Reinigungsstufe, die Integration von Power-to-X und Batteriespeichertechnologien zur Bereitstellung von Aufnahme-Flexibilität zu Zeiten mit hohem EEG-Anteil in der Stromerzeugung.

3.1.4 BMBF INIS - Intelligente Infrastrukturen

In der BMBF-Fördermaßnahme INIS "Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)" wurden Verbundvorhaben zu intelligenten Infrastruktursystemen gefördert, von denen einige einen Bezug zu Energieeffizienzthemen haben. Diese Verbundvorhaben adressieren alle die Modularisierung der Abwasserwirtschaft - entweder im Sinne dezentraler Konzepte oder mit Blick auf Teilstrombehandlung und damit einhergehende Ressourceneffizienz.

3.1.4.1 KREIS - Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtendwasserung

Projektkoordination: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft

Webseite: <https://www.hamburgwatercycle.de/foerderung-forschung/bmbf-fona/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

http://uest.ntua.gr/swws/proceedings/pdf/SWWS2016_londong_full_paper_final_to_iwa.pdf

<https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaeheige-stadt.html>

https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf

Ziel: Wissenschaftliche Begleitung der Umsetzung des Hamburg Water Cycle[®] (HWC) im Hamburger Stadtquartier Jenfelder Au.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: In der Jenfelder Au wird die Trennung und separate Aufbereitung und Nutzung von Schwarz-, Grau- und Regenwasser vorgenommen. Dies geschieht mittels Unterdruckentwässerung von Schwarzwasser und Fermentation mit weiteren Bioressourcen/Co-Substraten (Edukte: Gas als Energieträger, Dünger, Festbrennstoff). Grau- und Regenwasser werden nach adäquater Aufbereitung als Betriebswasser zur Verfügung gestellt.

Es wurden Teststrecken zur Überwachung von Inkrustationen in der Unterdruckentwässerung des Schwarzwassers installiert. Außerdem wurden ein Leitfaden für die Installation von Unterdruckentwässerungssystemen und Möglichkeiten zur Verhinderung und Beseitigung der Inkrustationen erarbeitet. Die anaerobe Schwarzwasserbehandlung (mit und ohne Co-Substrate) wurde mit CST-Reaktoren (continuous flow stirred-tank) und UASB-Reaktoren (upflow anaerobic sludge blanket) stabil betrieben. Hierbei erzielte der UASB-Reaktor höhere Gaserträge und einen besseren Ab- und Umbau von Arzneimitteln. Letztere variieren mit der Substratmischung, daraus konnte ein neues Behandlungsdesign abgeleitet werden. Als lokale Co-Substrate zur Fermentation mit dem Schwarzwasser wurden Rasenschnitt und Fettwasser erprobt.

Grauwasser wurde an drei Systemen charakterisiert (Konzentrationen, Abflüsse und Temperatur). Des Weiteren wurden BHKW und Mikrogasturbine zur Biogasnutzung verglichen und die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser erprobt.

Ergebnisse: Die Wärme- und Stromversorgung wurde simuliert und unter Einbeziehung der Biogasnutzung aus der Schwarzwasser- und Bioressourcenvergärung bewertet. Danach wird das in der Jenfelder Au realisierte System im Vergleich zum konventionellen Referenzsystem bis zu 22 % Primärenergie einsparen können, und das optimierte System des KREIS-Projekts würde über 50 % der Primärenergie einsparen⁶.

Anmerkungen/Fazit: Genauere Ergebnisse werden im Folgeprojekt KREIS 2 erwartet.

3.1.4.2 TWIST++ Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme: Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum

Projektkoordination: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)

Webseite: <https://www.twistplusplus.de/twist-de/index.php>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://www.twistplusplus.de/twist-de/inhalte/ergebnisse.php>

<https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaehige-stadt.html>

https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf

Ziel von TWIST++ war die Entwicklung ressourceneffizienter Infrastrukturkonzepte für drei Modellgebiete inkl. technischer Teilkomponenten (Nährstoffrückgewinnung, Abwasserbehandlung, Trinkwassernetz), Software-Tools und eines Bewertungssystems.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Im Rahmen des Projektes wurden folgende technische Module untersucht:

- Grauwasserfilter als dezentrale Installation auf Hausbasis.

⁶ http://uest.ntua.gr/swws/proceedings/pdf/SWWS2016_londong_full_paper_final_to_iwa.pdf

- ▶ Grauwasserfilter als Fit-for-Purpose-Aufbereitung: Aufbereitung in verschiedenen Stufen, je nach angestrebtem Verwendungszweck des Wassers und je Abwasser-Teilstrom.
- ▶ UASB-Reaktoren (Upflow Anaerobic Sludge Blanket): Anaerobbehandlung von Schmutz- und Schwarzwasser.
- ▶ CSTR-Reaktoren (Continuously Stirred Tank Reactor): Anaerobbehandlung von Schwarzwasser und Mischschlamm.
- ▶ Außerdem: Ammonium- und Phosphorrückgewinnung, netzentkoppelte Löschwasserbereitstellung und semivermaschte Netze.

Außerdem wurden integrierte Systemkonzepte zur Umsetzung in drei verschiedenen Gebieten entwickelt:

- ▶ i.WET Konzept (integriertes Wasser-Energie-Transitions-Konzept): Wiederverwertung von Grau- und Regenwasser, Wärmerückgewinnung aus Grauwasser, i.WET-Allee als straßenbegleitendes Grünelement zur Ableitung von Regen- und Grauwasser mit Ökosystemleistungspotenzial (blau-grüne Infrastruktur). Das Konzept wurde mit einer positive Energie- und Emissionsbilanz bewertet und zeichnet sich durch seine hohe Flexibilität gegenüber sich verändernder Randbedingungen im innerstädtischen Umfeld aus.
- ▶ Ländliches Konzept: Trennung der Abwasserteilströme, netzentkoppelte Löschwasserbereitstellung und Integration mit der Landwirtschaft.

Ergebnisse: Der Grauwasserfilter unterstützt den Transitionsprozess und kann als solitäre Lösung ubiquitär eingesetzt werden. Die Technik kann in weiteren Bereichen adaptiert werden. Die Wiedergewinnung von Ressourcen (Al, Fe, P) und das Elektrodenmaterial (Mg, zur Nutzung des Outputs als Dünger) sollten noch überprüft und angepasst werden. Berechnet wurde eine Netto-Einsparung von 120-280 kWh/Person*Jahr Primärenergie.

Die Fit-for-Purpose-Aufbereitung von stark verschmutzten Wässern ist verglichen mit biologischen Prozessen sehr kostenintensiv. Einsatzgebiete sind nährstoffarme Wässer, kurzfristige Anwendungen mit schwankenden Frachten und Volumen oder besondere qualitative Anforderungen, zum Beispiel in Gewerbe und Industrie.

Eine Behandlung von Schmutz- und Schwarzwasser ist in einem UASB-Reaktor prinzipiell möglich, insgesamt aber nicht für die Transition geeignet.

Die Co-Vergärung von Schwarzwasser in CSTR-Reaktoren ermöglicht die Trennung von Grau- und Schwarzwasser. Dadurch können energetische Vorteile erzielt werden. Da es zu Problemen in der Denitrifikation kommen kann, bedarf es einer separaten Stickstoffelimination oder einer gezielten Nährstoffrückgewinnung.

Das i.WET-Konzept kann im Sinne eines Transformationsprozesses sukzessive mit der Gebäude- und Kanalsanierung eingeführt werden. Eine Umsetzung von i.WET ist ab 2016/2017 geplant. Das ländliche Konzept kann schrittweise innerhalb von sieben Jahren umgesetzt werden.

Anmerkungen/Fazit: Wesentliche Hemmnisse sind Organisationsstrukturen, der rechtliche Rahmen und das Regelwerk.

3.1.4.3 nidA200 Nachhaltiges, innovatives und dezentrales Abwasserreinigungssystem inklusive der Mitbehandlung des Biomülls auf Basis alternativer Sanitärkonzepte

Projektkoordination: LimnoSun GmbH

<http://www.limnosun.de/forschung.html>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaehige-stadt.html>

https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf

Ziel: Die Entwicklung eines dezentralen Abwasserreinigungssystems im Pilotmaßstab.

Innovation/Untersuchungsgegenstand:

- ▶ Ein MAK-Röhrensystem (Massenalgenkultur-Röhrensystem): Eine Algen-Bakterien-Mischkultur, die auf hohe Wachstumsraten und schnelle Sedimentation selektiert wurde.
- ▶ Schlammwaschanlage: Für Braunwasser, Algenschlamm und Schlämme aus der Vorklärung des Algenschlammes.

Ergebnisse: Nach einer Trennung in Teilströme werden Grau- und Braunwasser in die dezentrale Kläranlage geleitet. Das Grauwasser wird nach der Belebung in das MAK-Röhrensystem geleitet. Die Stickstoff- und Phosphatwerte sind im Ablauf sehr gering, auch Bakterien, Viren und Mikroschadstoffe sind deutlich gemindert. Der Algenschlamm muss regelmäßig geerntet werden. Durch die Sedimentationsfähigkeit der Algen in einem konischen Algen-Nachklärbecken ist die Ernte ohne großen technischen Aufwand möglich. Da der Algenertrag auch im Winter nicht allzu gering ist, besteht die Möglichkeit eines jahresdurchgängigen Betriebes. Es wurde ein relativ niedriger Biogasertrag der MAK-Algen um rund 300 m³/t oTS ermittelt. Dies liegt vermutlich daran, dass nur Algen, die lange anaerobe Phasen überstehen, positiv selektiert werden.

Bereits nach einer Stunde wurde der Großteil des Stickstoffs und Phosphors von der Algenkultur aufgenommen. Die Nährstoffrückgewinnung ist nach 2,5 Stunden nahezu vollständig, der Stickstoffanteil ist kleiner als 2 mg/l und der Phosphoranteil kleiner als 0,01 mg/l⁷. Außerdem wurden hohe Eliminationsraten für Pathogene ermittelt. Für Noroviren 70-80 % und für Enterobacteriaceen 80 %. Auch die Mikroschadstoffeliminierung funktionierte erfolgreich. Nach 48 Stunden war Ibuprofen zu 97 % und Terbutryn zu 79 % eliminiert.

Weitere Ergebnisse und Details sind in den Abschlussberichten der Teilprojekte in dem Gemeinsamen Verbundkatalog (GVK) zu finden (<https://kxp.k10plus.de/>).

Anmerkungen/Fazit: Die Anlagenkonzeption ist energieeffizient, weist eine sehr gute Reinigungsleistung und einen hohen Hygienestandard auf. Die Algenmassenkulturen haben ein hohes Potenzial, zukünftig als alternative vierte Reinigungsstufe genutzt zu werden ⁸⁹.

⁷ https://www.researchgate.net/profile/Kerstin_Wunder/publication/296700865_nidA200_-_A_sustainable_concept_for_decentralised_wastewater_treatment_based_on_algae_mass_cultures/links/56d942da08aebadb40dbce0/nidA200-A-sustainable-concept-for-decentralised-wastewater-treatment-based-on-algae-mass-cultures.pdf?origin=publication_detail.

⁸ https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf, p. 33.

⁹ <https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaehige-stadt.html> p. 120ff.

3.1.4.4 netWORKS3 Potentialabschätzung und Umsetzung wasserwirtschaftlicher Systemlösungen auf Quartiersebene in Frankfurt am Main und in Hamburg

Projektkoordination: ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung

Webseite: <https://networks-group.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaehige-stadt.html>

https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf

Winkler, M.; Trapp, J. H.; Libbe, J.; Schramm, E. (2017): Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten - Technische Varianten, räumliche Potenziale, institutionelle Spielräume. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, Berlin

Ziel: Unterstützung von Wasserwirtschaft und Kommunen bei der Weiterentwicklung und dem Umbau ihrer siedlungswasserwirtschaftlichen Systeme, sowie die Untersuchung der Nutzerakzeptanz und der rechtlichen und unternehmerischen Handlungsspielräume.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Rückgewinnung und Nutzungspotenzial von Wärme aus Grau-, Schwarz- und Misch-/Schmutzwasser. Nutzung von Schwarzwasser zur Stromerzeugung und Nährstoffrückgewinnung. Bereitstellung von Betriebswasser aus Regen- und Grauwasser.

Einige Ergebnisse: Durch unterschiedliche Kombination der Technischen Module lassen sich verschiedene Systemvarianten für die Modellgebiete Frankfurt am Main und Hamburg ableiten, wodurch eine Optimierung vorhandener Infrastrukturen oder eine sukzessive Transformation erfolgen kann. Mit einer konventionellen Schwarzwasserableitung und -behandlung kann, trotz einer innovativen Grauwasserbewirtschaftung, die Ressourceneffizienz nur gering gesteigert werden. Der Schwarzwasserstrom sollte daher auch im Sinne der Ressourceneffizienzsteigerung genutzt werden.

Die Bilanz der Energieströme der neuartigen Varianten schneidet in beiden Modellgebieten besser ab als die Referenz. Je nach Systemvariante und Modellgebiet variieren die Werte stark. Alle neuartigen Varianten haben ein hohes Potenzial bezüglich Wärmerückgewinnung. Ob dies in der Praxis genutzt werden kann, ist von den jeweiligen Gegebenheiten abhängig. Als energetisch am günstigsten stellt sich eine neuartige Variante in Frankfurt heraus, in der die Potenziale zur Strom- und Wärmeproduktion besonders hoch sind. Dies liegt an der Zugabe an großen Mengen Co-Substrate (Fettwasser und Rasenschnitt), die eine gute Biogasproduktion bei der Schwarzwasservergärung bewirkt.

Weitere Ergebnisse und Details sind in den genannten Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Durch die Kopplung von Energie und Wasser ergeben sich neue Geschäftsfelder, z. B. im lokalen Lastmanagement. Wasserinfrastruktur wird zukünftig aus diversen koexistierenden Systemen, die sich mit einander kombinieren lassen, bestehen. Die ideale Systemvariante muss von Fall zu Fall bestimmt werden und ist von verschiedenen Faktoren abhängig (bestehende Organisationsform, Unternehmensgröße, Organisationsmodell). Grenzen ergeben sich aus rechtlichen Restriktionen, sowie Interessen und Konflikten der Akteure.

3.1.4.5 NoNitriNox - Planung und Betrieb von ressourcen- und energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen

Projektkoordination: ifak - Institut für Automation und Kommunikation e. V.

Webseite: <https://www.ifak.eu/de/node/131>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://difu.de/publikationen/2017/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaehige-stadt.html>

https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf

Ziele: Maßnahmen zur Kläranlagenertüchtigung bezüglich Emissionen, Ablaufwerten und Energieverbrauch sollen mit einem Planungswerkzeug bewertet werden.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Entwicklung eines Planungswerkzeuges zur Auslegung und Optimierung von Kläranlagen, welches neben der Einhaltung typischer Anforderungen (Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffelimination), der Abschätzung des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung auch explizit eine Quantifizierung und Bewertung der Nitrit-, Lachgas- und Methanemissionen berücksichtigt (die Errechnung der CO₂-Emission ist auch enthalten).

Entwicklung von intelligenten Regelungskonzepten, die neben der klassischen Einhaltung der Ablaufanforderungen und der Erreichung einer Energieverbrauchsminimierung auch das Risiko von Nitrit-, Lachgas- und Methanemissionen reduzieren.

Ergebnisse: Es wurde eine direkte Korrelation der Lachgasemission mit der Ammoniumkonzentration im Belebungsbecken nachgewiesen.

Basisentwicklungen für das fundierte Abschätzen von Energieverbräuchen beim Kläranlagenbetrieb wurden durchgeführt. Bei regelungstechnischen Maßnahmen zur Energieeinsparung kann es teilweise zu leicht erhöhten Lachgasemissionen kommen. Es wird erwartet, dass i. d. R. der Klimateffekt der vermiedenen CO₂-Emissionen in der Energieproduktion die emittierten Lachgasemissionen übersteigen. Das gilt für den dt. Strommix zum Zeitpunkt der Untersuchungen und ändert sich mit steigenden regenerativen Anteilen.

Weitere Ergebnisse sind in den angegebenen Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Mit der neuen Planungstechnik lassen sich Verfahrenstechnik, Maschinenteknik und Automatisierung energetisch optimieren. Die Abwasserreinigung wird gesichert und unerwünschte Emissionen können abgeschätzt und reduziert werden.

3.1.5 BMBF ERWAS - Energie und Wasser

In der BMBF-Fördermaßnahme ERWAS wurden 12 Verbundvorhaben gefördert, in denen für die Wasserwirtschaft Lösungsansätze für einen effizienteren und sparsameren Umgang mit Energie und Wege für eine bessere Nutzung vorhandener Ressourcen zur Energieerzeugung untersucht wurden. Die Abschlussberichte der Projekte sind auf der Homepage von ERWAS zu finden (<https://bmbf.nawam-erwas.de/de/results>).

3.1.5.1 E-Klär: Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagentechnologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende

Projektkoordination: Institut für Siedlungswasserwirtschaft - ISA, RWTH Aachen

Webseite: <https://www.e-klaer.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/abschlussbericht_e-klaer_geschuetzt.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Entwicklung von Strategien für eine optimale Nutzung potenzieller Energie- und Wertstoffquellen mit Hilfe planerischer und technologischer Werkzeuge.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Innovative Verfahren für die Abwasserreinigung in folgenden Bereichen:

Kohlenstoffausschleusung: Rechengutwaschpresse, Abwassersiebung, zweistufige Verfahren, Sedimentationsunterstützung mit chemischen Additiven

Stickstoffeliminierung: Deammonifikation in Teilströmen

Spurenstoffeliminierung und Desinfektion: Adsorption an Aktivkohle, Oxidationsverfahren, UV-Bestrahlung, (Membran-) Filtration

Kohlenstoffnutzung: Faulung thermisch desintegrierten Klärschlammes, Faulung mit Co-Substraten, Faulschlammentwässerung

Wertstoffrückgewinnung: Faserrückgewinnung, Phosphorrückgewinnung, Rückgewinnung von Metallen und weiteren Elementen

Des Weiteren wurde eine Methodik zur strategischen Planung von konkreten Kläranlagen, sowie Modell- und Methodenansätze zur Umsetzung einer strategischen Infrastrukturplanung entwickelt.

Ergebnisse: Neue Erkenntnisse über innovative Verfahren und über die Folgen der Einführung dieser Verfahren auf andere Kläranlagenstufen wurden gewonnen.

Beispielsweise konnte der CSB-Gehalt, verglichen mit einer konventionellen Vorklärung (ca. 33 % CSB Entfernung), durch den Einsatz eines großtechnischen Feinsiebs (50% CSB Entfernung) oder durch Zugabe von Fäll- und Flockungsmitteln (bis zu 60% CSB Entfernung) in Zulaufproben einer Vorklärung deutlich gesenkt werden.

Weitere und detailliertere Ergebnisse sind in den genannten Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Eine optimale Nutzung von Energie und Ressourcen, sowie die Ermittlung optimaler Transformationspfade ist möglich. Ein kontinuierlicher Controlling-Prozess ist im Projekt angelegt, sodass Entwicklungen der Rahmenbedingungen miteinbezogen werden können.

3.1.5.2 BioMethanol: Nachhaltige Synthese des Energieträgers Methanol aus Abwasser

Projektkoordination: Institut für Mikrosystemtechnik - IMTEK, Universität Freiburg

Webseite: <http://www.biomethanol.uni-freiburg.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/biomethanol_abschlussbericht_uni_freiburg.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Einen biogen-chemischen Prozess zur Abwassernutzung und nachhaltiger Methanolsynthese entwickeln.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Mikrobielle Elektrolysezelle: Abwasserreinigung (Oxidation der Kohlenstofffracht) mit H_2 - und CO_2 -Gewinnung. Energiebedarf geringer als bei konventionellem Verfahren (vgl. Wasser-Elektrolyse), eine Belüftung des Abwassers ist nicht notwendig. Umsetzung von CO_2 und H_2 in Methanol als Wertstoff.

Ergebnisse:

- ▶ Durch definierte mikrobielle Konsortien (Animpf-Verfahren) ist eine ca. 80-fache Steigerung der Anodenstromdichte möglich (bis zu 1,2 A/m²).
- ▶ Eine neue Syntheseroute für die Methanproduktion durch einen Katalysator mit Carbonat-Struktur wurde entwickelt (80 % bei 200°C und 40 bar entsprechen 10 % erhöhter Selektivität für Methanol gegenüber dem Benchmark).
- ▶ Durch eine nachgelagerte Dimethylethersynthese erhöht sich die CO_2 -Umsatzrate (um 20 % verglichen mit dem Benchmark).
- ▶ Die benötigte Anodenfläche und der CO_2 -Zukauf sind die Hauptkostenfaktoren; der CO_2 -Zukauf für die Methansynthese und die Quelle des benötigten Elektrolysestroms (Ökostrom oder Deutscher Mix) sind Hauptfaktoren der CO_2 -Emissionen des Projekts.

Weitere und detailliertere Ergebnisse sind in den angegebenen Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Eine kostengünstigere Produktion und ein höherer Ertrag sind wesentlich für die Wirtschaftlichkeit. Die technische Realisierung ist voraussichtlich innerhalb von 5 Jahren möglich (Stand 2017). Wissenschaftliche und technische Aussichten sind vielversprechend, daher sind Folgeprojekte angesetzt oder in Planung.

3.1.5.3 BioBZ: Die bio-elektrochemische Brennstoffzelle als Baustein einer energieerzeugenden Abwasserbehandlungsanlage

Projektkoordination: Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC), TU Clausthal

Webseite: <https://www.bio-bz.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

<https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/abschlussbericht-biobz-kompr.pdf>

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Die chemisch gebundene Energie des Abwassers direkt in elektrischen Strom umwandeln.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Bio-Brennstoffzelle als Baustein einer energieerzeugenden Abwasserbehandlungsanlage (elektroaktive Bakterien in Biofilm). Sie besteht aus einer anaeroben Zelle (Anode), in der organische Stoffe oxidiert werden, und entweder einer aeroben Zelle mit Sauerstoffreduktion, oder einer anoxischen Zelle mit Nitratreduktion (Kathode).

Ergebnisse: Erzielt wurden Ergebnisse in Laboruntersuchungen zu Anoden, Kathoden, Biofilmcharakterisierung und -konditionierung, Mikroschadstoffelimination und Bioelektrolysezelle. Eine Ökobilanzielle Bewertung der Labor- und Technikumsanlagen sowie die Systementwicklung und ein Scale-up durchgeführt. Zudem wurde ein Pilotversuch durchgeführt und bewertet.

Unter anderem wurde herausgefunden, dass man durch die Integration der Bio-Brennstoffzelle in die Nähe des Energieautarken Betriebes einer 20.000 EW-Kläranlage kommen kann. Für Kläranlagen der Klassen GK1 und GK2 ist eine Vorklärung einzuplanen und eine Nachbehandlung mit Nitrifikation ist weiterhin sicherzustellen. Eine Energieeinsparung von ca. 30 kWh/EW/a ist ohne Berücksichtigung der Primärschlammverwertung für kleinere Kläranlagen möglich.

Es zeigte sich außerdem, dass die CO₂-Bilanz bereits nach 2-3 Jahren Betrieb positiv wird, denn die Minderung der Emissionen übersteigt die Emissionen des Materialverbrauchs.

Weitere detaillierte Ergebnisse zu den Laboruntersuchungen sind in den angegebenen Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Die Umsetzung ist bisher für kleine, dezentrale Kläranlagen GK 1-3 am wirtschaftlichsten. Bei einer technischen Umsetzung verbessert sich die Gesamtenergiebilanz der Kläranlagen erheblich. In Kombination mit einem energieeffizienten Stickstoffeliminationsverfahren ist eine kommunale Energiewende möglich.

3.1.5.4 KRN-Mephrec: Klärschlammverwertung Region Nürnberg - Klärschlamm zu Energie, Dünger und Eisen mit metallurgischem Phosphorrecycling in einem Verfahrensschritt

Projektkoordination: Klärschlammverwertung Region Nürnberg GmbH

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/20180425_krn-mephrec_abschlussbericht_online.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Die Untersuchung des metallurgischen Phosphorrecyclings durch Schmelzvergasung von Klärschlamm bezüglich Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und ökologischer Nachhaltigkeit.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Ein Kupolofen, in dem Briketts aus getrocknetem Klärschlamm oder Monoverbrennungsasche mit Gießerei-Koks und Kalkstein unter Luftzufuhr eingeschmolzen werden. Dabei entstehen Eisen, Phosphor-Schlacke und Synthesegas.

Ergebnisse:

- ▶ Die Phosphorschlacke wird zu streufähigem Dünger granuliert, das Granulat kann auch als Baustoff verwendet werden. Über 80 % des enthaltenen Phosphors können darin zurückgewonnen werden (2,6 % des Granulats). Allerdings wird Uran in der Glasstruktur fest eingebettet. 20 % des Phosphors werden im Rauchgas-Staub angereichert und können zu Phosphor-Säure aufbereitet werden.
- ▶ Nahezu der gesamte Klärschlamm kann in Rohstoffe konvertiert werden. Neben Phosphor und Eisen kann Zink elektrolytisch gewonnen werden. Auch sonstige (Schwer-) Metalle können in industriellen Betrieben genutzt werden. Allerdings reichern sich diese nicht wie erwartet in der Eisenschmelze an.
- ▶ Die Reinigung des Synthesegases zur motorischen Direktnutzung ist wegen einer hohen Teer- und Staubfracht nicht sinnvoll, daher sollte es konventionell als Brennstoff für die Dampferzeugung genutzt werden.
- ▶ Die Ökobilanz ist mit der Monoverbrennung vergleichbar. Sie verbessert sich unter Einbeziehung der P-Rückgewinnung. Negativ wirkt sich der Einsatz fossiler Energieträger für die Schmelzkonversion aus. Der Anteil wäre bei einer Großanlage in Dauerbetrieb jedoch geringer. Insgesamt ergibt sich eine positive Energiebilanz des Verfahrens mit einem Überschuss an Strom und Energie trotz energieintensiver Trocknung und Brikettierung des Klärschlammes.

Weitere und ausführlichere Ergebnisse sind in den genannten Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Das Verfahren könnte als Ersatz der Mitverbrennung oder anstelle der Monoverbrennung eingesetzt werden. Ein kontinuierlicher Betrieb ist für die Prozessoptimierung erforderlich.

3.1.5.5 ARRIVEE: Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung

Projektkoordination: Technische Universität Kaiserslautern

Webseite: <https://erwas-arrivee.de/startseite/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/170821_arrivee_schlussbericht_final_1.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Flächendeckend vorhandene Kläranlagen mit Schlammfäulung in ein optimiertes Flexibilitäts- und Speicherkonzept für Energie integrieren (Ausgleich der Fluktuation erneuerbarer Energien).

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Integrierte Systemlösungen: Verschiedene Konzepte für Flexibilität durch Zu- und Abschalten vorhandener und innovativer Anlagenkomponenten (auch für aerob stabilisierende Kläranlagen).

Flexibilitätsbausteine (Stromverbraucher, -erzeuger und -speicher) sind KWK-Anlagen, Aggregatemanagement (Reinigung, Entwässerung), Gaszwischenlagerung, Methanproduktion (PtG), H₂-Erzeugung (PtG) und -Nutzung, O₂-Erzeugung (VPSA), Druckluftspeicherung und Batterien.

Ergebnisse:

- ▶ Kläranlagen in Deutschland besitzen das Potenzial und die technischen Voraussetzungen, um Flexibilität als Systemdienstleistung bereit zu stellen.
- ▶ Durch die Einbindung von Kläranlagen in ein zustandsüberwachtes Stromverteilnetz kann der kostenintensive konventionelle Netzausbau ersetzt bzw. verzögert werden.
- ▶ Die biologische Methanisierung hat sich als geeignetes innovatives Anlagenkonzept zur Energiezwischenlagerung und zur Stabilisierung des Stromnetzes herausgestellt. Des Weiteren ergeben sich Synergien durch die Nutzung des Elektrolyseprodukts Sauerstoff zur Belüftung oder zur Erzeugung von Ozon. Dieser Ansatz lässt sich bisher allerdings nur bedingt wirtschaftlich in Deutschland darstellen.
- ▶ Schätzung des Flexibilitätspotenzials (bundesweit) der Kläranlagenaggregate, KWK-Anlagen und NEA auf 650 MWel (positiv) und -338 MWel (negativ). Somit ist ein nicht unerhebliches Potenzial gegeben, um Stromproduktion und Flexibilität bereit zu stellen.

Weitere Ergebnisse und Details sind in den genannten Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Das technische Potenzial und die Voraussetzungen für einen Beitrag zur Energiewende sind vorhanden. Wirtschaftliche Anreize, verstärkte Rechtssicherheit und politische Willensbekundung sind entscheidend für die Umsetzung der Konzepte.

3.1.5.6 ESiTi: Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft: Energiespeicher in der Interaktion mit technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch

Projektkoordination: TU Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Abwassertechnik; Universität der Bundeswehr München

<http://www.esiti.de/index.php/de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/180307_abschlussbericht_gesamt_final.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel: Maßnahmen für ein ganzheitliches Energiemanagement durch Untersuchung und Bewertung der Verknüpfung zwischen Energiewirtschaft und Energieströmen der Kläranlagen hinsichtlich Speicherung und Flexibilität entwickeln.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Ein Planungswerkzeug (Leitfaden und Tool) zur Identifizierung, Nutzung und Optimierung möglicher Flexibilitätsbausteine von Kläranlagen.

Flexibilitätsbausteine: Strom- und Wärmemanagement, Thermische Vorbehandlung (Thermohydrolyse), Co-Substrate, Faulung (konventionell/Hochlastfaulung).

Ergebnisse: Es wurde eine Vorgehensweise für die Flexibilitätsoptionen von Kläranlagen entwickelt. Diese Ergebnisse werden in einem Leitfaden zusammengeführt. Dabei werden Energiedaten von Jahres- bis Tagesgang ausgewertet sowie die Kapazitäten der Energiespeicher identifiziert. Des Weiteren wurden Bewirtschaftungsstrategien für Betreiber berücksichtigt, darunter Ausgleich des Tagesgangs, Regelenergie und die Nutzung dynamischer Strompreise.

Durch eine flexible Fahrweise der Blockheizkraftwerke lassen sich CO₂-Emissionen einsparen. Der Energie, bzw. Gasspeicher hat darauf einen hohen Einfluss. Für das Strom- und Wärmemanagement ist eine ganzheitliche Betrachtung der Energieströme nötig. Eine Betrachtung einzelner Aggregate ist nicht ausreichend.

Weitere Ergebnisse sind in den angegebenen Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Der entwickelte Leitfaden zeigt Betreibern Möglichkeiten und Grenzen der flexiblen Betriebsweise auf.

3.1.5.7 KESTro: Kläranlagen als Energiepuffer für Stromnetze

Projektkoordination: DECHEMA-Forschungsinstitut Stiftung bürgerlichen Rechts

Webseite: <http://kestro.de/>

Quellen der folgenden Zusammenfassung:

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/kestro-abschlussbericht_0.pdf

https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/erwas_broschuere_ergebnisse_low-druckversion.pdf

Ziel von KESTro war die Pufferung der fluktuierenden erneuerbaren Energien durch ein System aus einer energieliefernden und einer energieverbrauchenden Komponente.

Innovation/Untersuchungsgegenstand: Ein zwei-Komponenten-System:

1. Energieliefernde Komponente: Mikrobielle Biobrennstoffzelle (MBZ)

Ein Biofilm an der Anode baut organische Inhaltsstoffe ab. An der Kathode (Gasdiffusions-Elektrode) läuft eine Sauerstoffreduktion zu Wasser ab. Dadurch wird negative (abgeschaltet) und positive (angeschaltet) Regelenergie generiert.

2. Energieverbrauchende Komponente: elektrochemisches, mehrstufiges Verfahren (Absorption/Desorption und Elektrolyse) zur Spurenstoffelektrolyse.

Nach der Adsorption an Aktivkohle werden die Spurenstoffe durch eine Spannungsanlegung gelöst angereichert (Desorption) und in einer Elektrolysezelle abgebaut. Dabei wird das Abwasser gereinigt und negative Regelenergie generiert.

Ergebnisse: Um das Aufwachsen des Biofilms zu beschränken, wird die Stromquelle phasenweise abgeschaltet (ohne signifikanten Leistungseinfluss). Gasdiffusions-Elektroden mit Silber-Katalysatoren liefern die höchsten Energiewerte. Ein sich darauf bildender Biofilm hatte keinen signifikanten Einfluss. Der Betrieb ist ohne teure Trennmembran und Sauerstoffpumpe möglich.

Die elektrochemische Desorption hängt von den Parametern chemische Struktur der Spurenstoffe, pH-Wert, angelegte Spannung und Oberflächeneigenschaften der Aktivkohle ab. Das Zusammenspiel dieser ist nicht vollständig aufgeklärt. Der Abbau hat nachweislich für halogenierten Röntgenkontrastmitteln und Pharmawirkstoffe funktioniert.

Die MBZ senkt den Strombedarf (908 kWh/a Überschuss), baut Organik ab und generiert einen Stromüberschuss. Das höchste Potenzial besteht auf kleinen Kläranlagen (75 kWh/EW/a).

Detailliertere Ergebnisse sind in den genannten Quellen zu finden.

Anmerkungen/Fazit: Eine Netzstabilisierung durch die Kombination von Biobrennstoffzelle und Spurenstoffelektrolyse ist prinzipiell realisierbar. Die Leistung der Biobrennstoffzelle sollte noch gesteigert werden. Die Komponenten der Spurenstoffelimination haben eigenständig ein hohes Potenzial.

3.1.6 BMBF MachWas (Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft)

Ziel der aktuellen BMBF-Fördermaßnahme MachWas ist die Entwicklung neuer Materialkonzepte für eine nachhaltigere Wasserwirtschaft um bspw. innovative Technologien zur Wasseraufbereitung und -gewinnung zu entwickeln. In der Fördermaßnahme werden insgesamt 13 Verbundprojekte in den 4 Themenfeldern „Materialien für Membranverfahren“, „Adsorptionsmaterialien“, „Materialien für oxidative und reduktive Verfahren“ und „Materialien für weitere Anwendungen in der Wassertechnik“ gefördert (<https://machwas-material.de/Verbundprojekte.html>) Nach aktuellem Stand wird die überwiegende Zahl der Projekte in 2020 beendet, über Zwischenergebnisse wurde im Rahmen verschiedener Veranstaltungen informiert. Im Folgenden sind einige der Projekte beschrieben, die einen hohen Energiebezug aufweisen.

- ▶ **ElektroPapier** - Entwicklung papierbasierter Elektroden für die mikrobielle, elektrochemische Abwasserreinigung: Ziel dieses Projekts ist es, mit Hilfe mikrobieller elektrochemischer Systeme (MES) die organische Schmutzfracht im Abwasser durch Mikroorganismen direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit dieser Systeme werden leitfähige papierbasierte Werkstoffe entwickelt und weiter zu dreidimensionalen Bioelektroden konfiguriert. Letztlich könnte durch diesen Ansatz die Energieeffizienz der Abwasserreinigung deutlich verbessert werden.
- ▶ **RADAR**- Radikalische Abwasserreinigung: Durch eine neuartige Kombination von bordotierten Diamantelektroden mit Gasdiffusionselektroden soll ein breit einsetzbares und energieeffizientes Verfahren für eine sehr weitgehende Elimination von Mikroschadstoffen entwickelt werden.
- ▶ In verschiedenen Projekten steht die Verbesserung von Membraneigenschaften im Fokus der Arbeiten. Dabei spielen die Permeabilität und damit der spezifische Energiebedarf eine wesentliche Rolle. Im Projekt MABMEM werden dazu neue Materialkombinationen für Ultrafiltrationsmembranen getestet, die bei der Wasseraufbereitung oder bei Abwasserreinigung eingesetzt werden. Das Projekt CNT Membran zielt dagegen auf die Aufbereitung industrieller Ab- und Prozesswässer (insbesondere der Erdöl- und Erdgasindustrie) und setzt dazu nanoporöse Membranen mit einem hohen spezifischen Fluss und einer hohen Energieeffizienz ein.
- ▶ **KERAMESCH** (Entwicklung und Erprobung von Keramik-Metall-Schwebekörpern aus Kompositwerkstoffen zur effizienten reduzierenden Schadstoffelimination aus Abwässern in fluidised-bed-Reaktoren bei hohen Durchsätzen): In diesem Projekt soll ein aus der Altlastensa-

nierung bekanntes Reaktionsprinzip, die Schadstoffreduktion durch Reaktion mit Eisenlegierungen, auf Abwasser übertragen werden, um damit ein effizientes und kostengünstiges Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen zu erhalten.

Zum Teil sind mit den Entwicklungen in den Projekten auch indirekte Effekte hinsichtlich der Energieeffizienz der Abwasserwirtschaft verbunden (z. B. die Vermeidung von hohen Transportaufwendungen durch die Regeneration beladener Aktivkohle vor Ort, die im Projekt "ZeroTrace - Neue Adsorptionsmaterialien und Regenerationsverfahren zur Elimination von Spurenstoffen in kommunalen und industriellen Kläranlagen" entwickelt wird).

3.2 Anforderungen des Energiemarktes

3.2.1 Einordnung

Das Energiesystem befindet sich derzeit in einem tiefgreifenden Wandel. Zur Dekarbonisierung des Sektors ist eine weitreichende Umstellung auf Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien notwendig. Ein Großteil der erneuerbaren Energien wird aus Wind- und Solarenergie kommen. Diese dargebotsabhängigen Energieträger erfordern ein flexibles Stromsystem, da Stromerzeugung nicht mehr vollständig an die Nachfrage angepasst werden kann, wie dies im traditionellen Stromsystem der Fall war.

Wenn die Dekarbonisierungsziele erreicht werden sollen, wird der Gesamtstrombedarf in Zukunft auch bei starken Anstrengungen zur Energieeffizienz ansteigen. Durch die Elektrifizierung anderer Sektoren, wie z. B. der Wärme- und Transportsektor werden auch diese Sektoren dekarbonisiert. Unklar sind dabei aktuell die langfristigen Rollen von Wasserstoff sowie anderer synthetischer Gase und Kraftstoffe. Aufgrund der geringen Wirkungsgrade bei der Herstellung dieser Produkte aus Strom und des damit einhergehenden hohen Strombedarfs stellt die direkte Elektrifizierung (wo möglich) i. d. R. die kostengünstigere Option dar.

Unklar ist außerdem die langfristige Entwicklung der Infrastrukturen. Während ein Ausbau von Stromnetzen und Wärmenetzen vermutlich eine No-Regret-Option darstellt, ist die Zukunft der Gasnetze sehr unsicher. Zumindest im Gebäudebereich wird durch bessere Dämmung und vermehrtem Einsatz von Wärmepumpen der Gasbedarf langfristig deutlich zurückgehen (vgl. u. a. UBA 2019). In Bezug auf die Gasnetze kann dies einen Rückbau implizieren, möglich ist jedoch auch eine Umnutzung durch synthetische Gase und Biomethan oder langfristig ein Umbau auf eine Wasserstoffinfrastruktur.

Weiterhin wird immer wieder auf den „Überschussstrom“ verwiesen, der in einem System mit hohen Anteilen dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien zur Verfügung stehen wird und daher zur Erzeugung bspw. von Wasserstoff oder Methan auch auf der Kläranlage zur Verfügung steht. Ein weiterer wichtiger Aspekt bzgl. der zukünftigen Entwicklung des Stromsystems betrifft die zukünftige Versorgungssicherheit bzw. die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien. In diesem Zusammenhang wird einerseits befürchtet, dass in Zeiten mit geringer Einspeisung aus Wind und PV die notwendige Last nicht gedeckt werden kann, in Zeiten mit hoher Einspeisung dagegen große Mengen an nicht benötigtem Strom, dem „Überschussstrom“, anfallen. Die tatsächliche Entstehung von „Überschussstrom“ hängt allerdings stark vom Aufbau des Gesamtstromsystems (und dessen Flexibilität) ab. Zum einen kann ein sinnvoller Mix von Technologien (also PV, Wind an Land und auf See) sowie ein guter Netzausbau, sowohl regional als auch grenzüberschreitend, die Stromerzeugung stark glätten. Zum anderen gibt es sehr unterschiedliche Flexibilitätsoptionen, insbesondere auch durch die Elektrifizierung von Strom- und Wärmesektor, die ihren Stromverbrauch in Zukunft flexibel regeln können. Auch in Zeiten mit

einer hohen Erzeugung von erneuerbarem Strom besteht daher Wettbewerb um den Strom. Mittel- bis langfristig soll die Förderung für erneuerbare Energien zudem auslaufen. Die Investitionen in neue Anlagen müssen dann durch die Strompreise refinanziert werden. Bei langen Perioden mit negativen oder sehr geringen Strompreisen („Überschussstrom“) ist dies nicht möglich. Investitionen in Neuanlagen werden dann nicht mehr getätigt. Entsprechend ist auch langfristig keine langfristige Verfügbarkeit von sehr günstigem Strom zu erwarten.

Ein weiterer Aspekt für die Abwasserwirtschaft und insbesondere für Kläranlagen relevanter Aspekt ist der Endkundenstrompreis und dessen Zusammensetzung. Endkundenstrompreise liegen typischerweise aufgrund weiterer Preisbestandteile (bspw. den Netzentgelten oder der EEG-Umlage) deutlich über dem Großhandelsstrompreis und sind aktuell auch kaum flexibel. Es gibt jedoch Überlegungen, die Endkundenstrompreise und die staatlich induzierten Preisbestandteile zu reformieren. Bspw. könnten die Netzentgelte künftig stärker leistungs- und weniger stark energiebasiert ausgestaltet werden, die Stromsteuer und/oder Teile oder die vollständige EEG-Umlage könnten über die Energiesteuer auf andere Energieträger umgelegt werden und Endkundenstrompreise stärker die Schwankungen des Großhandelsstrompreises reflektieren. Die Motivation für solche Anpassungen liegt hauptsächlich darin, stärkere Anreize für Sektorkopplungstechnologien (wie Wärmepumpen oder Elektroautos) zu setzen und die Flexibilität der Stromnachfrage zu steigern. Für Kläranlagen hätten diese Anpassungen hauptsächlich Einfluss auf die Attraktivität der Eigenversorgung, da ein geringerer Strompreis dazu führen kann, dass der Strombezug aus dem Netz ggf. unter den Kosten der Eigenversorgung liegt. Je nach Ausgestaltung können auch flexible Nachfrage und Stromerzeugung attraktiver werden.

Im Kontext der Wärme wird sehr wahrscheinlich eine Ausweitung der Wärmenetze stattfinden, da diese insbesondere im städtischen Kontext eine sinnvolle Dekarbonisierung der Wärmeversorgung darstellen. Dies kann eine Chance für die Einbindung der Kläranlagen in die Wärmeversorgung darstellen.

Insgesamt ist es für die Kläranlagen notwendig, die bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems in ihre Entscheidungen zu Investitionen im Energiebereich einzubeziehen. So kann bspw. eine Investition in eine Anlage zur Aufbereitung von Biogas zu Methan ggf. nicht sinnvoll sein, wenn das Gasnetz in Zukunft zurückgebaut wird, wenn nicht eine andere Verwendung für das Methan möglich ist (bspw. als Kraftstoff oder zur CO₂-armen Stromerzeugung).

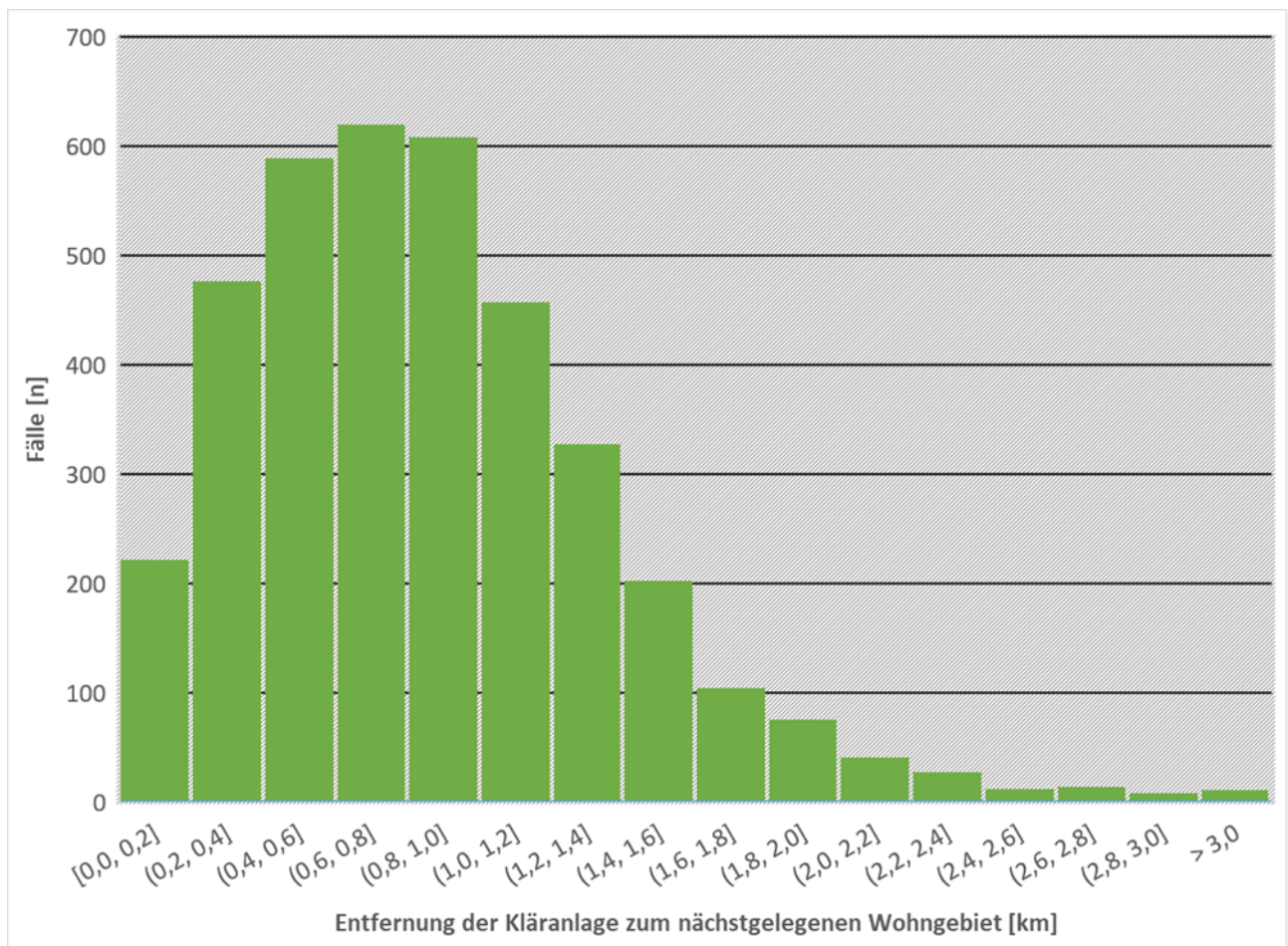
Kläranlagen sollten als wichtige kommunale Verbraucher einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten. Ihre Lage nahe der Siedlungsgebiete und die Verfügbarkeit von Flächen auf der Kläranlage kann sie auch zu wichtigen Knotenpunkten machen. Im Vergleich zum Gesamtenergieverbrauch Deutschlands ist der Verbrauch der Kläranlagen jedoch gering.

Im Folgenden wird in einem ersten Schritt die geographische Lage der Kläranlagen untersucht und anschließend unterschiedliche Optionen für Kläranlagen zur Integration in den Energiemarkt analysiert und bewertet. Bei den unterschiedlichen Optionen werden auch Ansatzpunkte im Kanal, insbesondere in Bezug auf die Wärmeerzeugung, betrachtet.

3.2.2 Lage der Kläranlagen

Kläranlagen haben i.d.R. eine räumliche Nähe zu Siedlungsgebieten. Die Entfernung kann für Konzepte der Abwärmenutzung relevant sein, daher wird hier die Distanz von Kläranlagen zu den nächsten Siedlungsgebieten analysiert. Datengrundlage für die georeferenzierte Darstellung der Kläranlagen bildet die "Urban Water Treatment Directive".

Abbildung 19: Entfernung der Kläranlagen in Deutschland zu Wohngebieten (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



Danach sind alle Betreiber von Kläranlagen, welche mindestens einen Einwohnerwert von 2.000 aufweisen, verpflichtet, ihre Daten zur Behandlung des Abwassers zu melden, um ein Monitoring der Kläranlagen durchzuführen. Die hierbei erfassten Daten werden auf der Website der EEA¹⁰ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Die Ausweisung von Wohngebieten basiert auf den öffentlichen Daten der OpenStreetMap¹¹. Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Raumanalyse als Histogramm der Entfernung in 200 Meter-Schritten. Die Ergebnisse zeigen, dass die größte Zahl an Kläranlagen eine räumliche Distanz von 600 bis 800 Meter aufweist. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass ca. 66 % der Kläranlagen eine kürzere Distanz als 1 km und ca. 90 % der Kläranlagen eine kürzere Distanz als 1,5 km aufweist. Allerdings zeigt sich auch, dass mehr als 80 % der Kläranlagen eine größere Distanz als 400 Meter aufweist.

Sollten die Abstandsregelungen für Windenergieanlagen wie derzeit geplant in Zukunft einen Mindestabstand von 1.000 m vorsehen, wären Kläranlagen damit in Zukunft i. d. R. nicht mehr als Standort für Windkraftanlagen geeignet. Mit Blick auf Abwärmenutzung ist die Nähe eher positiv und ermöglicht Synergienutzung.

¹⁰ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/waterbase-uwvtd-urban-waste-water-treatment-directive-6>

¹¹ <https://www.openstreetmap.org>

3.2.3 Stromerzeugung für die Eigenversorgung

Aktuell verfügen viele, insbesondere die großen Kläranlagen über BHKWs, in denen aus Klärgas Strom erzeugt wird. Dieser Strom kann entweder für die Stromversorgung der Kläranlage genutzt oder ins Stromnetz eingespeist werden.

Wie für die meisten Endverbraucher (ggf. mit der Ausnahme energieintensiver Industrien) ist es derzeit finanziell attraktiver, den Strom vor Ort selbst zu nutzen, um die Kosten des Strombezugs zu reduzieren. Die Strombezugskosten für Kläranlagen liegen bei etwa 15 bis 22 €/kWh, die möglichen Einsparungen bei Selbstverbrauch des Stroms liegen entsprechend deutlich über den möglichen Einnahmen bei Einspeisung in das Netz (6,1 €/kWh). Dies gilt auch, wenn die anteilige EEG-Umlage von 40 %, die bei Anlagen mit einer installierten Leistung von > 10 kW anfällt, eingerechnet wird.

Mittels unterschiedlicher Arten der Optimierung der Klärgaserzeugung kann die Stromerzeugung aus Klärgas auf der Kläranlage maximiert und damit die Autarkierate gesteigert werden (vgl. auch Kapitel 3.3.3.1). Die Flächen der Kläranlage können zudem für eine weitere Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien genutzt werden, bspw. für Photovoltaikanlagen, Windanlagen¹² oder ggf. auch Wasserkraft. Während die Einspeisevergütungen und -prämien nach dem EEG für PV (und teilweise für Wind) über der Einspeisevergütung bzw. -prämie für Strom aus Klärgas liegen, ist der mögliche Selbstverbrauchsanteil aus diesen Anlagen tendenziell geringer (zumindest ohne die zusätzliche Investition in eine Batterie, die meist nicht rentabel ist), tendenziell geringer aufgrund der dargebotsabhängigen und nicht konstanten Stromerzeugung durch PV und Wind.

Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass derzeit eine Optimierung der Stromerzeugung für die Eigenversorgung eine optimale Strategie für die Kläranlagen darstellt.

3.3 Innovative Systemlösungen

Neben der Optimierung der Eigenversorgung können Kläranlagen innovative Ansätze zur Energieerzeugung und -nutzung bzw. -vermarktung verfolgen. Dazu gehören einerseits die Flexibilisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch, andererseits Optionen zur Verwendung und Aufbereitung des Klärgases oder anderer Gase (z. B. Wasserstoff) sowie Optionen zur zusätzlichen Erzeugung und Verwendung von Wärme.

Diese Ansätze werden im Folgenden näher erläutert und hinsichtlich der CO₂-Einsparung, Innovationsgrad, Rentabilität sowie möglicher Risiken und weiterer Auswirkungen analysiert.

3.3.1 Flexibilisierung von Stromerzeugung und -verbrauch

Bei steigenden Anteilen dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien im Stromsektor ist es notwendig, dass das übrige Stromsystem im Vergleich zur herkömmlichen Stromerzeugung mit steuerbaren Kraftwerken deutlich flexibler wird. Diese Flexibilität kann grundsätzlich durch Netzausbau und Speicher, aber auch durch eine Flexibilisierung der Nachfrage und flexible Erzeuger erreicht werden. Die Abwasserwirtschaft bzw. Kläranlagen können grundsätzlich auf drei Arten Flexibilität bereitstellen:

- durch einen flexiblen Betrieb des Klärvorgangs (soweit möglich) und damit einer Flexibilisierung der Stromnachfrage,

¹² Bei Windanlagen kann allerdings die geplante (bzw. in einigen Bundesländern bereits bestehende) Abstandsregel aufgrund der Nähe der Kläranlagen zu Siedlungsgebieten dazu führen, dass eine Installation nicht möglich ist.

- ▶ durch einen flexiblen Betrieb des BHKWs (und damit ggf. einer verringerten Ausrichtung an der Selbstversorgung),
- ▶ durch die zusätzliche Installation von Batterien und deren flexiblen Einsatz.

Flexibilität wird in Zukunft zudem auf unterschiedlichen Ebenen benötigt bzw. kann ggf. zu Einsparungen oder Zusatzerlösen aufgrund verschiedener Märkte führen (nach Arrivee, 2017):

- ▶ Teilnahme am Regelenenergiemarkt
- ▶ Teilnahme am Großhandelsstrommarkt
- ▶ Beitrag zu lokalem Netzmanagement

Da die Kläranlagen im Vergleich zur Systemlast nur einen relativ geringen Beitrag zur Flexibilität des Gesamtsystems leisten können und zudem in der Regel nicht über ausreichend Expertise und Zeit für den Handel an den Strommärkten verfügen, ist zumindest für die Teilnahme an den nationalen Märkten (Regelenergie- und Großhandelsstrommarkt) ein Aggregator notwendig. Der Beitrag zu lokalen Netzengpässen dagegen könnte möglicherweise auch direkt geleistet werden.

Im Folgenden wird kurz analysiert, welche Potenziale zur Flexibilisierung auf Kläranlagen bestehen und inwieweit diese kurz- bis mittelfristig rentabel sein können. Aus Systemsicht ist dabei zu beachten, dass die Kläranlage in Konkurrenz zu anderen Flexibilitätsanbietern (bspw. großen Industrien oder Wärmenetzbetreibern) steht und jeweils die günstigen Flexibilitätsoptionen zuerst zum Zug kommen sollten. Eine weitere Rahmenbedingung besteht darin, dass aktuell fast durchgängig ausreichend Flexibilität vorhanden ist und die Marktpreise flexible Fahrweisen nicht stark honorieren. Beim Betrieb von BHKW oder Batterie stellt sich in den Kläranlagen zusätzlich die Frage, inwieweit die aktuell verfolgte Maximierung der Eigenversorgung auch zukünftig rentabel bleibt. Solange die aktuellen Eigenverbrauchsprivilegien so bestehen bleiben wie es aktuell der Fall, ist dies sehr wahrscheinlich.

Flexibler Betrieb des BHKWs

Kläranlagen, die über ein BHKW und einen Gasspeicher verfügen, können bereits heute Flexibilität bereitstellen. Das BHKW könnte zum einen auf die Strompreisschwankungen an der Börse reagieren, zum anderen wäre auch eine Teilnahme am Regelenenergiemarkt möglich.

Flexibilisierung der Nachfrage

Auf Kläranlagen stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung, die Nachfrage zu flexibilisieren. Im Projekt Arrivee wurden diese ausführlich hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse, die auf der Kläranlage Radevormwald stattfand, sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Zusätzlich wurde im Projekt Arrivee eine Simulation des Einsatzes unterschiedlicher Flexibilitätsoptionen durchgeführt. Im Ergebnis zeigte sich, dass eine Flexibilisierung bei gleichbleibender Reinigungsqualität möglich ist. Am besten geeignet für die Flexibilisierung sind demnach neben den BHKWs die Gebläse.

Auch die nachfrageseitigen Flexibilitätsoptionen können grundsätzlich für einen optimierten Stromeinkauf am Spotmarkt genutzt werden, also auch einen Beitrag zu Regelmärkten und lokalem Netzmanagement leisten.

Tabelle 7: Übersicht der untersuchten Aggregate und deren Kenngrößen zur Bereitstellung von Flexibilität auf der Kläranlage Radevormwald (Arrivee, 2017)

Aggregatgruppe	Kontrollparameter	Ab-schalt-dauer (min./max.) [min]	Zu-schalt-dauer (min./max.) [min]	Rege-nerati-onszeit [min]	Anfahr-zeit [s]	Abfahr-zeit [s]
Sandfang (<i>intermittierende Belüftung</i>)	- Zulaufwassermenge - Mindestbelüftungszeit	5 - 60	5 - 60	30	60	60
Belebungsbecken 1+2 (<i>intermittierende Be-lüftung</i>)	- NH₄ -Konzentration (biol. Stufe & Ablauf Nachklä-rung) - Zulauffracht (NH₄-/ CSB)	5 - 120	-	15	10	5
Belebungsbecken 1 (<i>Rührwerk, intermittie-rend</i>)	- Mindestlaufzeit - Schaltzyklen	15 - 30	15 - 40	30	60	60
Rücklaufschlamm-pum-pen	- Zulaufwassermenge - Schlamm Spiegel	5 - 120	-	60	60	5
Rezirkulationspumpen	NO₃-Konzentration (<i>Ablauf Belebungsbecken</i>)	5 – 1.440	-	30	60	60
Heizschlamm-pum-pe (Faulturm 1+2)	Temperatur (<i>min/max</i>)	15 – 1.440	15 – 1.440	60	10	5
Rohschlamm-pum-pe (Faulturm 1+2)	Füllstand Voreindicker/ Vorlagebehälter (<i>min/max</i>)	15 - 360	-	60	120	60
Rührwerke (Faulturm 1+2)	- Mindestlaufzeit, - Schaumbildung	15 - 30	-	15	180	60
Seihbandanlage/ ÜSS-Pumpen	- Trockensubstanzgehalt² (Belebungsbecken) bzw. ÜS-Entnahme - Anlagenbesetzung	-	120 – 1.440	15	60	900
Kammerfilterpresse 1+2	- Füllstand Nacheindicker (<i>min/max</i>) - Anlagenbesetzung (Perso-nal)	-	120	60	120	120
BHKW 1+2	- Füllstand Gasspeicher (<i>min/max</i>) - max. Schaltvorgänge	5 - 1.440	5 – 1.440	5/30*	180	300
NEA	- Füllstand Treibstoffspei-cher (<i>min/max</i>) - Max. Nutzungsstunden	-	15 - 240	2.5	60	30
* negative Flexibilität/positive Flexibilität						

Nutzung von Batterien auf der Kläranlage

Batterien auf der Kläranlage können grundsätzlich ebenfalls zur Erhöhung der Flexibilität genutzt werden. Die Flexibilität kann dabei genutzt werden, um den Eigenversorgungsanteil der Kläranlage zu erhöhen. Alternativ kann die Flexibilität der Batterie auch als Beitrag zur flexiblen Stromeinkauf, zur Regelenenergie oder für die lokale Netzstabilität genutzt werden.

Aufgrund der aktuell gültigen Rahmenbedingungen ist diese jedoch nicht wirtschaftlich (vgl. Arrivee). Aktuell ist eine Betriebsweise des BHKWs zur Minimierung des Fremdbezugs deutlich rentabler.

Kläranlagenbetreiber sollten jedoch die Entwicklung der Marktpreise und insbesondere der Ausgestaltung der staatlich induzierten Strompreisbestandteile beobachten. Sollte hier eine Änderung erfolgen (bspw. eine Umstellung auf kapazitätsbasierte Netzentgelte oder eine Anpassung der Energie- und Stromsteuer), kann ein flexibler Betrieb die Rentabilität erhöhen.

Zudem ist ein flexibler Betrieb zur Unterstützung des lokalen Netzmanagements ggf. sinnvoll. Dies hängt unter anderem davon ab, an welcher Stelle im Netz die Kläranlage genau liegt und ist damit lokal unterschiedlich. Interessierte Kläranlagenbetreiber sollten Möglichkeiten mit dem lokalen Netzbetreiber abklären. Grundsätzlich wird auch in diesem Zusammenhang der Bedarf in Zukunft ansteigen.

3.3.2 Power-to-X

Power-to-X beschreibt die Umwandlung von Strom in andere Energieformen (z. B. Wasserstoff oder andere Gase sowie synthetische Kraftstoffe). Kläranlagen bieten den Standort, die Koppelung zwischen den Netzen (Strom und Gas) und den anderen Energieträgern und eventuell die Ausgangsstoffe (z. B. Klärgas und Wasser) an. PtX kann daher für Kläranlagen eine Option sein.

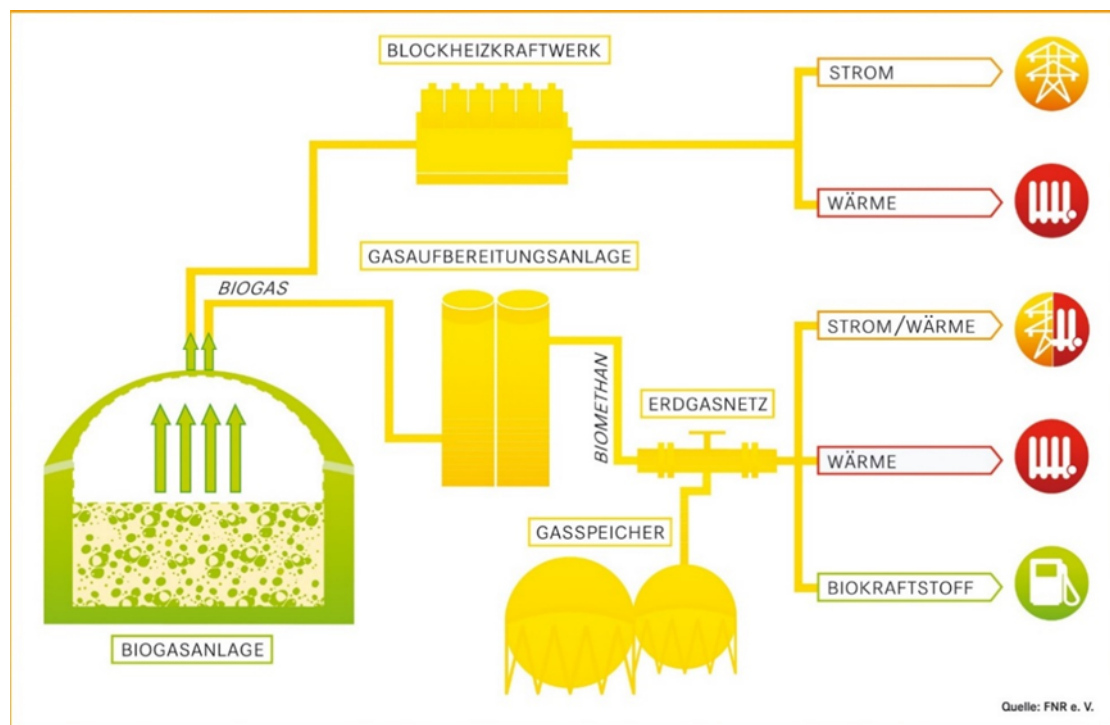
3.3.2.1 Power-to-Biomethan (CH₄)

Durch eine Aufbereitung kann das Klärgas Erdgasqualität erreichen. Das aufbereitete Klärgas, im Folgenden als Biomethan bezeichnet, kann in das Erdgasnetz einspeisen oder als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge genutzt werden (vgl. Abbildung 20).

Im Prinzip werden hauptsächlich CO₂ und die anderen störenden Gasbegleitstoffe (H₂S, Wasser usw.) entfernt, um die notwendigen Gaseigenschaften zu erreichen. Fünf Verfahren zur Methan-anreicherung und zur Aufbereitung des Biogases zu Erdgasqualität werden in Deutschland großtechnisch verwendet. Davon sind die chemische Absorption (Aminwäsche) und die Druckwasserwäsche am häufigsten (vgl. Abbildung 21).

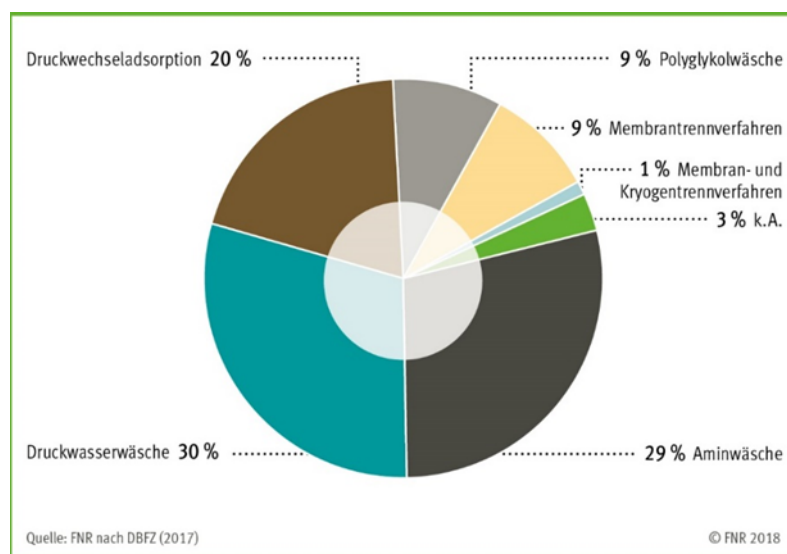
Das Klärgasaufbereitungsverfahren mit dem geringsten Energieverbrauch und Methanverlust (die chemische Absorption) sowie ein einfach zu bedienendes Verfahren (Membrantrennverfahren) werden als Beispiele für Auswertung der Methananreicherung des Klärgases in Kläranlagen analysiert.

Abbildung 20: Vielfältige Nutzung von Biogas



Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e. V. (FNR) (2011)

Abbildung 21: Verteilung der Verfahren zur Biogasaufbereitung

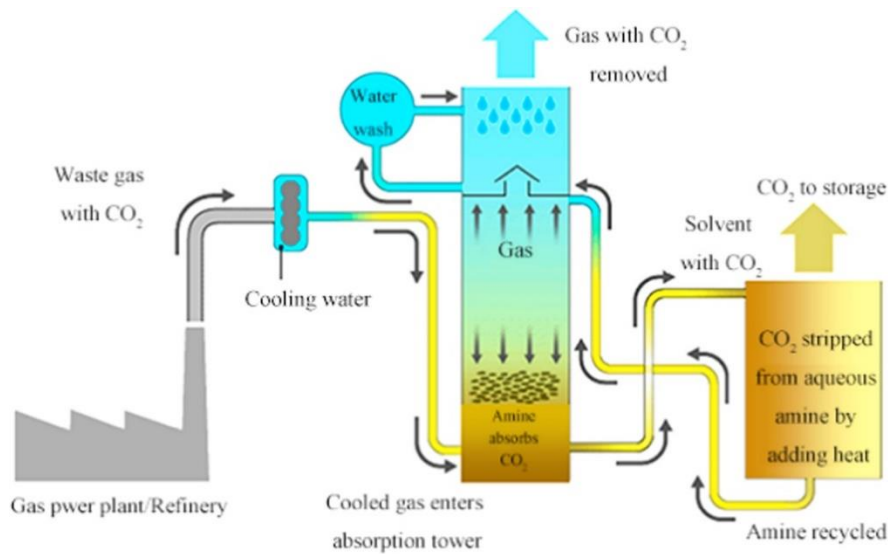


Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2018)

Bei der chemischen Absorption (Aminwäsche) sowie auch beim Membrantrennverfahren sind eine vorherige Trocknung und eine Entschwefelung des Klärgases notwendig.

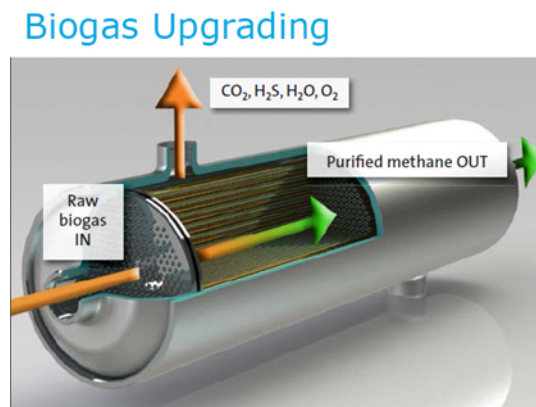
Die chemische Absorption verwendet organische Lösungsmittel (z. B. Ethanolamin-Wasser-Gemische) als Absorptionsmittel und nimmt das CO₂ aus dem gegenfließenden Klärgas in der Waschkolonne fast drucklos auf. Die beladene Waschlösung wird durch Wärmezufuhr regeneriert und kann danach wiederverwendet werden (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Prozessdiagramm der Chemischen Absorption (Aminwäsche) (Zhou et al., 2017)



Die Abtrennung unerwünschter Gaskomponenten aus dem Klärgas erfolgt bei Membranverfahren durch die Durchlässigkeit (Permeabilität) der polymeren Membran. Das getrocknete und feinentschwefelte Klärgas wird auf 5-10 bar komprimiert und in das Membranmodul geleitet, wo das CO₂ und andere Störstoffe mit hoher Permeabilität (H₂O, NH₃, H₂S usw.) die Membran durchdringen und das CH₄ (Methan) zurückgehalten wird (vgl. Abbildung 23). Aufgrund der Methanmenge im Permeatstrom ist eine Abgasnachbehandlung nach EEG & GasNZV notwendig.

Abbildung 23: Funktionsweise des Membranverfahrens



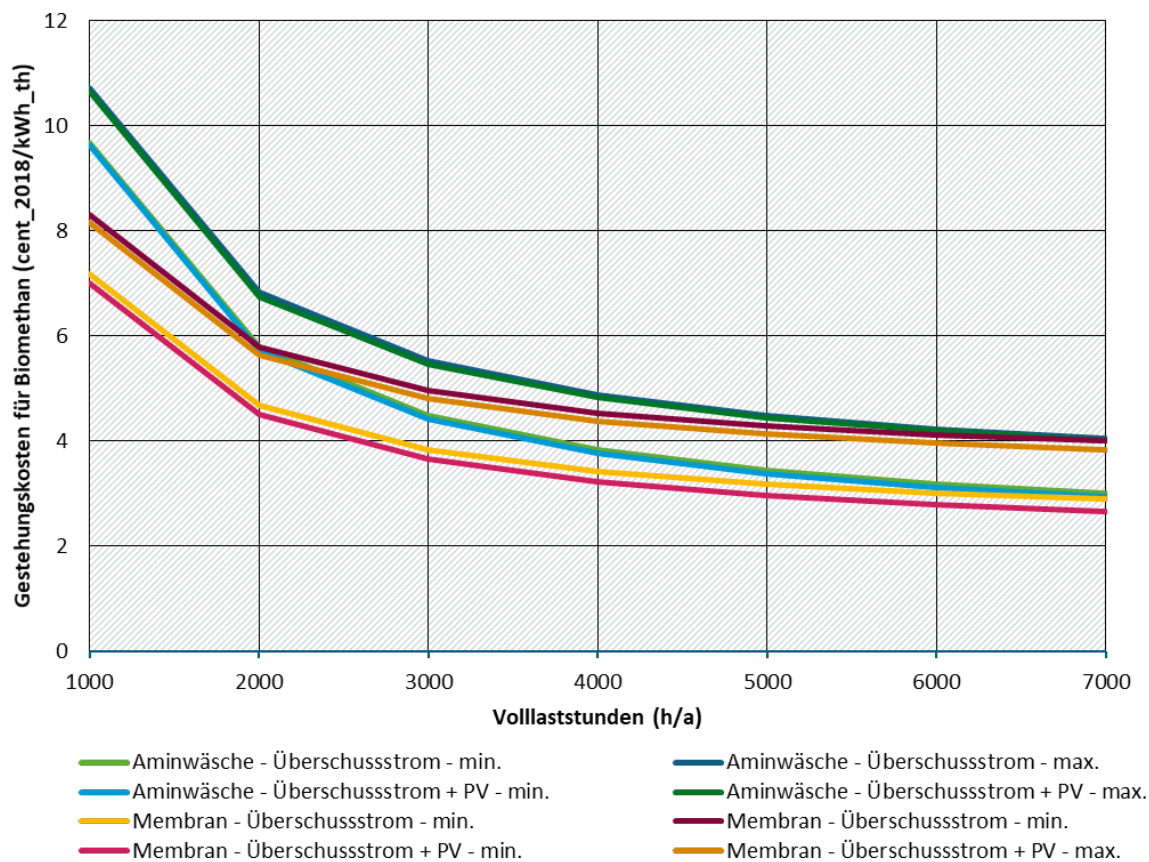
Quelle: Air Products PRISM Membranes

Um die Rentabilität der Aufbereitung von Biomethan zu analysieren, wurden im Rahmen des Projekts detaillierte Berechnungen zu den jeweils entstehenden Kosten unter unterschiedlichen Rahmenparametern berechnet. Dabei wurde angenommen, dass entweder Strom aus dem Netz bezogen wird, wenn dieser aufgrund einer Überschusssituation günstig verfügbar ist oder auf der Kläranlage eine PV-Anlage zur Stromerzeugung installiert wird. Die Zahl der Volllaststunden, die mit der Nutzung von Überschussstrom erreicht wird, liegt dabei deutlich über der vermutlich in Zukunft auftretenden Anzahl von Stunden mit Überschussstrom. Die Berechnungen sind daher eher als unteres Ende der Kosten zu interpretieren. Gleichzeitig steht den Kläranlagen auch in diesen Stunden der Strom nicht kostenlos zur Verfügung, da Abgaben, Umlage und Netzentgelte auch in Stunden mit geringen Börsenstrompreisen anfallen. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Methodik und der Annahmen zu Kosten, Strompreisen etc. findet sich in

Anhang C und in Anhang D.1. Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen werden in den nächsten Abschnitten dargestellt.

Generell sind die Biomethangestehungskosten durch Aminwäsche höher als die durch Membranverfahren. Sie sinken außerdem mit ansteigenden Volllaststunden¹³ der Biomethanaufbereitungsanlage (vgl. Abbildung 24). Aufgrund der aktuellen Klärgaserzeugungsmenge, können die Klärgasaufbereitungsverfahren auf den meisten Kläranlagen nur maximal bis zu 5.000 Stunden pro Jahr laufen¹⁴. Die unter den getroffenen Annahmen berechneten Kosten für das aufbereitete Methan betragen zwischen 3,38 €/kWh und 4,48 €/kWh für Aminwäsche und zwischen 3,17 €/kWh und 4,28 €/kWh für Membranverfahren. Werden 7.000 Volllaststunden pro Jahr erreicht (bspw. durch eine Verbesserung der Klärgaserzeugung) sinken die Biomethangestehungskosten auf 2,93 – 4,03 €/kWh für Aminwäsche und 2,66 – 3,99 €/kWh für die Aufbereitung mit Membranen.

Abbildung 24: Gestehungskosten für Biomethan (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



*Technische Kosten basieren auf Werten von Collect et al. (2017) und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2018); die EEG-Umlage Entwicklung basiert auf Öko-Institut (2017).

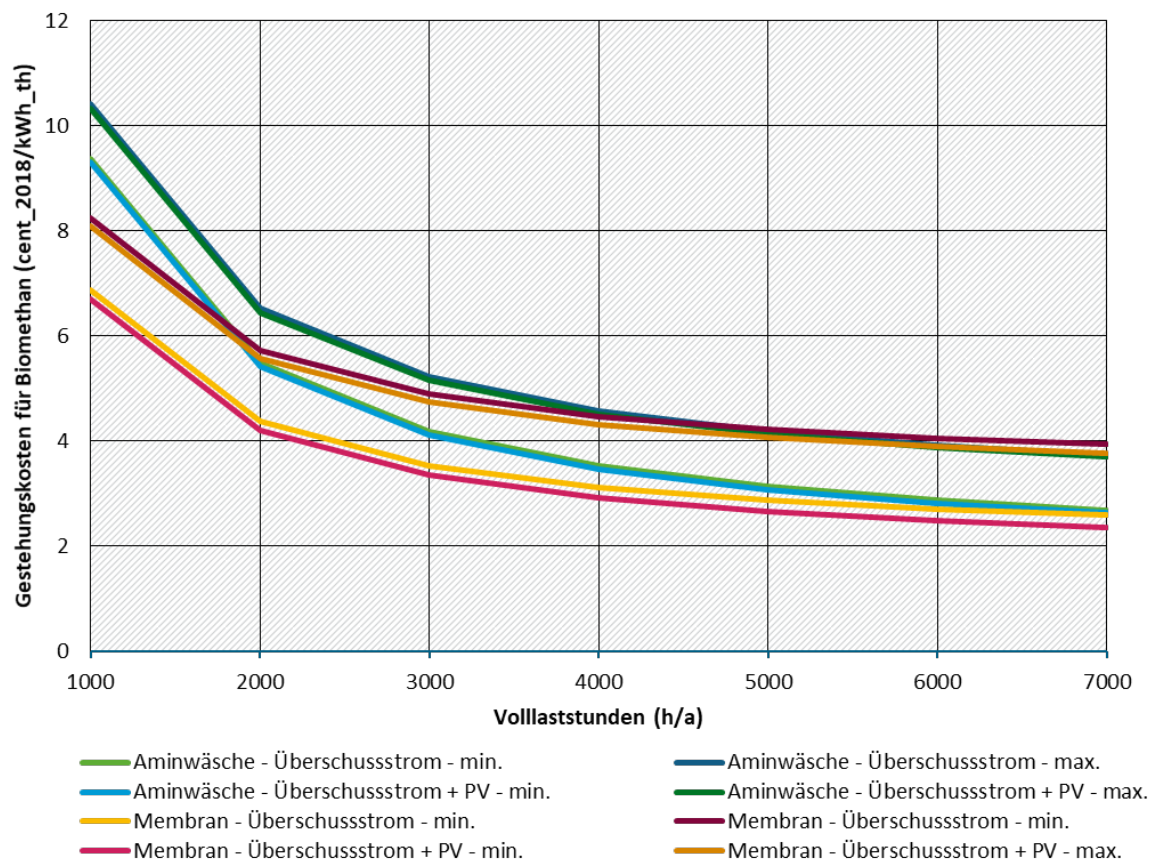
Im Moment betragen Klärgasgestehungskosten ca. 2,56 €/kWh (Hoffstede, 2018). Mit der Aufbereitung des Klärgases steigen die Kosten des erzeugten Biomethans, aber die CO₂-Emission

¹³ **Volllaststunden:** die Zeit, für die eine Anlage bei Nennleistung betrieben werden müsste, um die gleiche elektrische Arbeit umzusetzen. Es bezeichnet auch, wie die Anlage innerhalb eines festgelegten Zeitraums (inkl. Betriebspausen oder Teillastbetrieb) tatsächlich umgesetzt hat. Die Angabe bezieht sich meist auf einen Zeitraum von einem Kalenderjahr und wird vor allem auf Kraftwerke angewendet.

¹⁴ Die Aufbereitungskapazität ist 250 m³/h für Aminwäsche und Membranverfahren. Mit den aktuellen Klärgaserzeugungen in Kläranlagen von 614,1 Nm³/d (GK 4) und 3451,3 Nm³/d (GK 5) (arrivee, 2017) können die Klärgasaufbereitungsanlagen nur bis 5.000 h/a Volllaststunden erreichen.

wird reduziert. Eine CO₂-Bepreisung für die Bereiche Wärme und Verkehr wird ab 2021 eingeführt und kann auch die Kläranlagen betreffen. Die Vermeidung der CO₂-Emission durch Klärgasaufbereitung ist als Einsparung bei der Berechnung der Biomethangestehungskosten in Abbildung 25 berücksichtigt. Unter Einbeziehung der CO₂-Preise liegen die Gestehungskosten unter den getroffenen Annahmen zwischen 3,07 €/kWh und 4,17 €/kWh für Aminwäsche und zwischen 2,65 €/kWh und 4,22 €/kWh für Membranverfahren mit 5.000 h/a Volllaststunden. Mit steigenden Volllaststunden bis zu 7.000 h/a sinken die Biomethangestehungskosten auf 2,62 – 3,73 €/kWh für Aminwäsche und 2,36 – 3,93 €/kWh für Membranverfahren. Im idealen Fall mit 7.000h/a Volllaststunden und Ersparnissen aufgrund der CO₂-Einsparung können die Biomethangestehungskosten durch Membranverfahren dann sogar kostengünstiger als Klärgas sein.

Abbildung 25: Gestehungskosten für Biomethan ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO₂-Emission) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



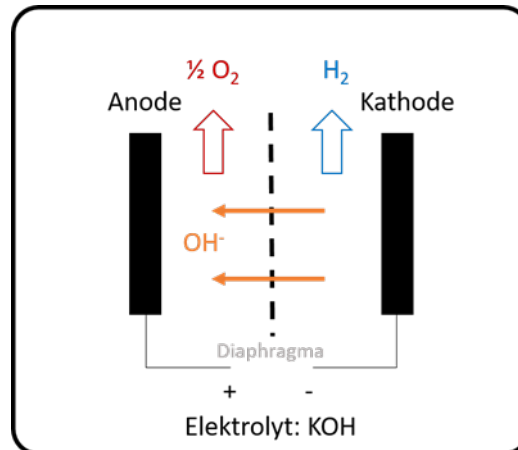
*Technische Kosten basieren auf Werten von Collect et al. (2017) und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2018); die EEG-Umlage Entwicklung basiert auf Öko-Institut (2017); der CO₂-Preis basiert auf das Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2019).

3.3.2.2 Power-to-Wasserstoff (H₂)

Wasserstoff kann mittels eines Elektrolyseurs in Kläranlagen erzeugt werden. Die Alkalie-Elektrolyse (AEL) (vgl. Abbildung 26) ist als Beispiel hier vorgestellt, weil sie heute bereits Stand der Technologie ist und sich durch eine hohe Langzeitstabilität und geringe Investitionskosten auszeichnet. Dabei wird Wasser mit Elektrizität mittels in eine alkalische Elektrolytlösung eingetauchter Metallelektroden gespalten. Die Elektroden werden durch eine permeable Membran getrennt, da an der Anode Sauerstoff und an der Kathode Wasserstoff entsteht.

Je nach Qualität und Menge kann der Wasserstoff ins Erdgasnetz bzw. ins Wasserstoffnetz eingespeist, als Gasprodukt verkauft oder als Kraftstoff genutzt werden. Das Nebenprodukt Sauerstoff (O_2) kann bspw. direkt in die Belebungsbecken für die Belüftung benutzt oder auch in einer Ozonierungsanlage für die 4. Reinigungsstufe verwendet werden. Die Nutzung des Sauerstoffs könnte die Effizienz des Reinigungsprozesses erhöhen oder die Wasserqualität am Kläranlageausgang verbessern. Damit könnten die Wasserstoffgestehungskosten indirekt sinken.

Abbildung 26: Schema einer Alkalie-Elektrolysezelle

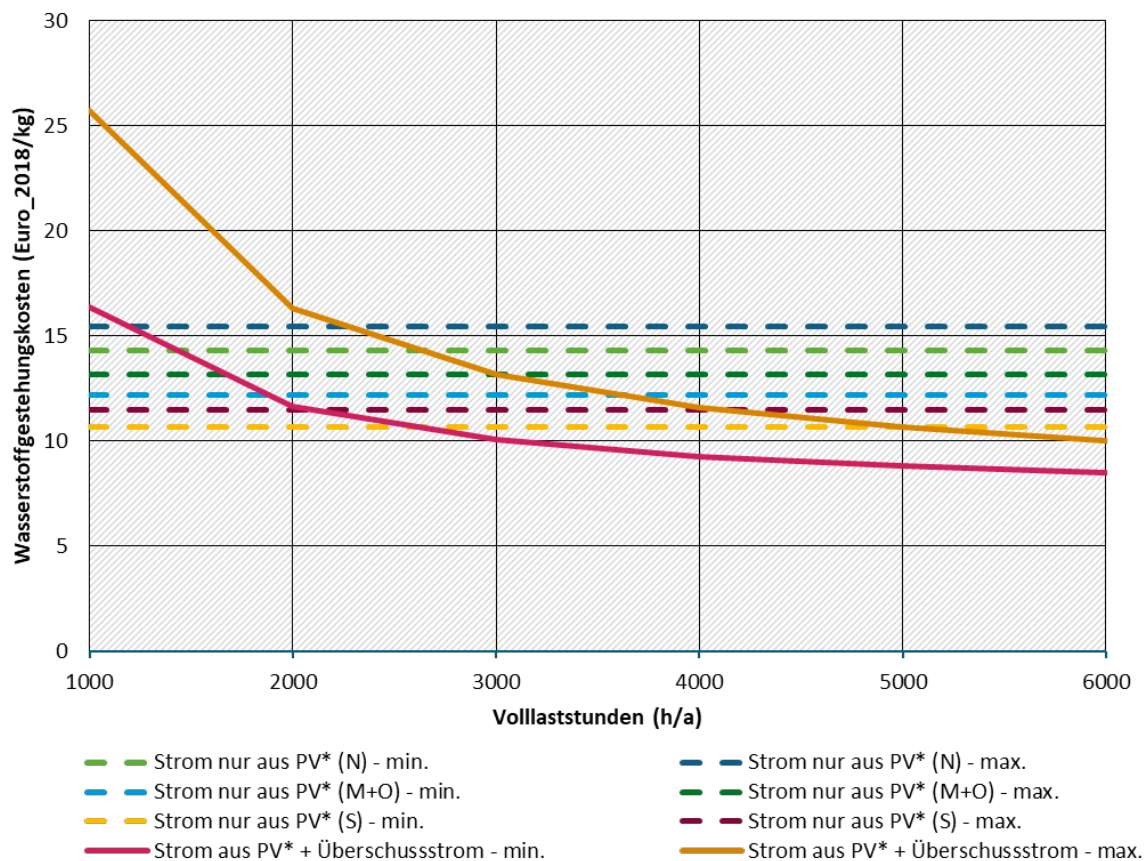


Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2018)

Die detaillierten Berechnungen wurden im Rahmen des Projekts zu den jeweils entstehenden Kosten unter unterschiedlichen Rahmenparametern berechnet, um die Rentabilität der Wasserstoffherzeugung zu analysieren. Dabei wurde angenommen, dass auf der Kläranlage eine PV-Anlage zur Stromerzeugung installiert wird und gleichzeitig Strom aus dem Netz bezogen wird, wenn dieser aufgrund einer Überschusssituation günstig verfügbar ist. Dazu sind die Kosten nur mit optimaler Stromerzeugung aus PV-Anlage gerechnet, um die rentablen Volllaststunden der Nutzung des Überschussstroms zu analysieren. Die Berechnungen sind eher als unteres Ende der Kosten zu interpretieren, weil die Zahl der mit Überschussstrom erreichten Volllaststunden deutlich über der vermutlich in Zukunft erwarteten Anzahl von Stunden mit Überschussstrom liegt. Gleichzeitig fallen Abgaben, Umlage und Netzentgelte auch in Stunden mit geringen Börsenstrompreisen bei den Kläranlagen an. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Methodik und der Annahmen zu Kosten, Strompreisen etc. findet sich in Anhang C und in Anhang D.2. In den nächsten Abschnitten werden die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen präsentiert.

Sowie die Gestehungskosten von Biomethan (siehe Kapitel 3.3.2.1) sinken die Wasserstoffgestehungskosten mit ansteigenden Volllaststunden. Durch die höhere Stromerzeugung aus PV-Anlagen sind die Wasserstoffgestehungskosten in Süddeutschland am günstigsten (vgl. Abbildung 27). Die jetzigen Wasserstoffgestehungskosten (Volllaststunden: 6.000 h/a) betragen unter den getroffenen Annahmen zwischen 8,47 €/kg und 10,02 €/kg. Das Betreiben des Elektrolyseurs mit Überschussstrom wird erst ab einer bestimmten Anzahl an Volllaststunden kostengünstiger als bspw. beim Betrieb mit PV-Strom. Abhängig von der Sonneneinstrahlung und unter den getroffenen Annahmen sind das für Norddeutschland ab ca. 2.800 h/a für Mittel- und Ostdeutschland ab ca. 3.800 h/a und für Süddeutschland ab ca. 5.000 h/a.

Abbildung 27: Wasserstoffgestehungskosten (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



*Optimale Stromerzeugung aus PV in Norddeutschland (N) 935 kWh/a/kWp, in Mittel und Ostdeutschland (M+O) 1105 kWh/a/kWp, und in Süddeutschland (S) 1280 kWh/a/kWp.

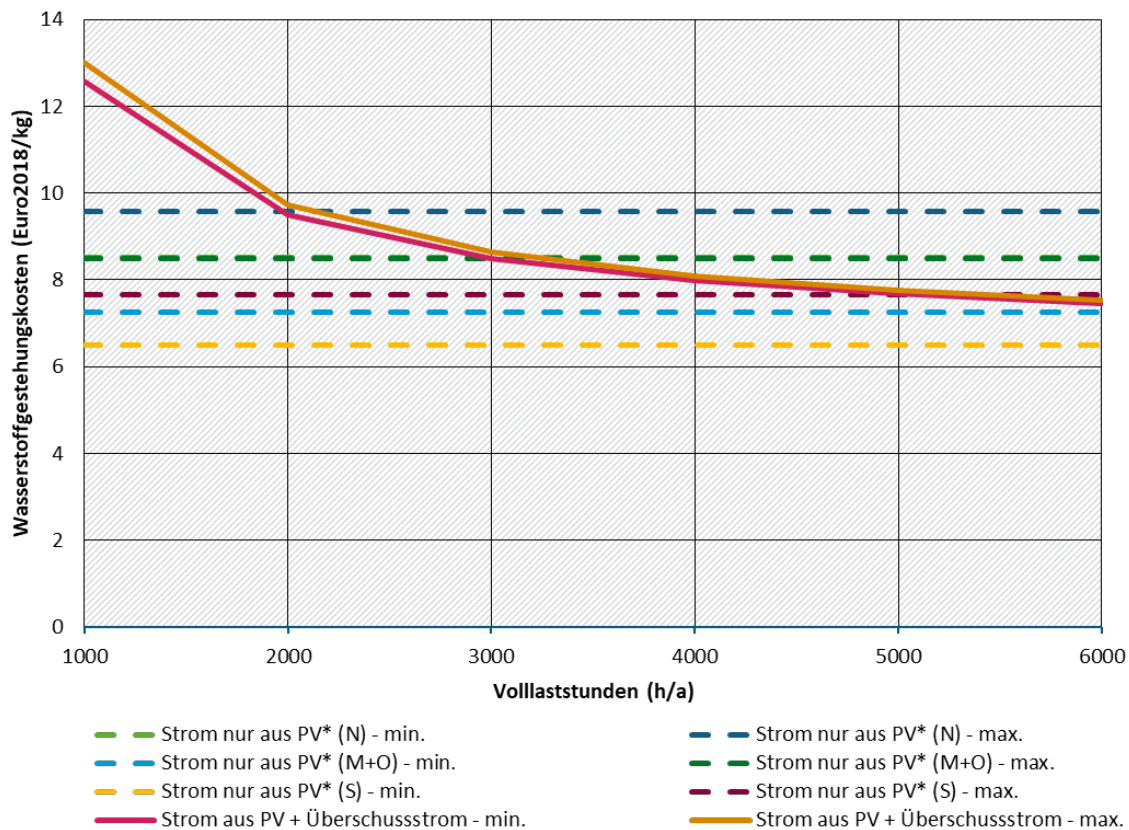
**Technische Kosten basieren auf Werten von Wehrspohn und Härle (Fraunhofer IMWS) (2019); die LCOE von PV basiert auf Werten von Kost et al. (Fraunhofer ISE) (2018); die EEG-Umlage Entwicklung basiert auf Öko-Institut (2017).

Zusätzlich zu den aktuellen Kosten werden im Folgenden die für das Jahr 2030 erwarteten Wasserstoffgestehungskosten dargestellt (vgl. Abbildung 28). Zur Berechnung wurde angenommen, dass in 2030 die Abgaben, Umlage und Netzentgelte für Kläranlagen konstant bleiben¹⁵. Durch die angenommenen sinkenden Investitionsausgaben für Elektrolyseur und PV-Anlage sind die Wasserstoffgestehungskosten in 2030 geringer. Trotzdem liegen die Gestehungskosten unter den getroffenen Annahmen zwischen 7,47 €/kg und 7,54 €/kg (oder 22,42 – 22,64 €/kWh). Die Nutzung von Überschussstrom ist in diesem Fall günstiger als die Nutzung von PV ab Volllaststundenzahlen von ca. 3.000 h/a für Norddeutschland, ca. 6.000 h/a für Mittel- und Ostdeutschland und über 6.000 h/a für Süddeutschland.

Im Moment liegen Preise für den Großeinkauf von Wasserstoff je nach Qualität und Menge unter 4 Euro/kg (Glenk und Reichelstein, 2019). Dies entspricht etwa der Hälfte der Wasserstoffgestehungskosten auf Kläranlagen. Wasserstoffherzeugung mit Elektrolyse ist damit eindeutig nicht rentabel für Kläranlagen. Falls diese Wasserstoffherzeugung gewünscht ist, wäre daher eine gezielte Förderung notwendig. Die Vor- und Nachteile einer solchen Förderung werden in Abschnitt 4.3 diskutiert.

¹⁵ Die tatsächliche Entwicklung dieser Strompreisbestandteile ist aufgrund diverser Reformüberlegungen aktuell sehr unsicher. Anpassungen können unter Umständen große Auswirkungen auf die berechneten Kosten haben. Auch die Entwicklung der Kosten für die Elektrolyse ist derzeit mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Abbildung 28: Wasserstoffgestehungskosten in 2030 (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



*Optimale Stromerzeugung aus PV in Norddeutschland (N) 935 kWh/a/kWp, in Mittel und Ostdeutschland (M+O) 1105 kWh/a/kWp, und in Süddeutschland (S) 1280 kWh/a/kWp.

**Technische Kosten basieren auf Werten von Wehrspohn und Härle (Fraunhofer IMWS) (2019); die LCOE von PV basiert auf Werten von Kost et al. (Fraunhofer ISE) (2018); die EEG-Umlage Entwicklung basiert auf Öko-Institut (2017).

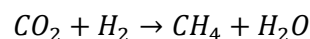
Grundsätzlich lassen sich die Gase auch als Basis zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe nutzen. Diese Weiterverarbeitung wird hier nicht näher betrachtet.

3.3.3 Gaserzeugung und -nutzung

Weitere Ansätze zur Gaserzeugung können auch für Kläranlagen eine Option sein und werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt. Zur Untersuchung der Rentabilität sind die Nutzungen der Gase sowie die entsprechenden Einnahmen wichtige Größen.

3.3.3.1 Biomethanerzeugung durch Methanisierung

Neben der Klärgasaufbereitung kann Biomethan auch durch Methanisierung erzeugt werden. Methanisierung beschreibt die Reaktion von Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu Methan (CH_4) und Wasser (H_2O):



Mittels Elektrolyse kann auf der Kläranlage Wasserstoff erzeugt werden (vgl. Kapitel 3.3.2.2). Dieser kann mit dem Kohlenstoffdioxid im Klärgas (ca. 25 %) zu Biomethan und Wasser umgewandelt werden. Das erzeugte Biomethan kann einen Methangehalt von über 95 % erreichen (Collect et al., 2017) und könnte in der Qualität in das Erdgasnetz eingespeist werden. Aus der Sicht von CO_2 -Einspeisung ist Biomethanerzeugung durch Methanisierung umweltfreundlicher als durch Klärgasaufbereitung, da CO_2 nicht nur eingespeist, sondern in einen Energieträger transformiert wird.

Die Biomethangestehungskosten durch Methanisierung werden stark durch den Strompreis beeinflusst. Biomethan aus Methanisierung ist im Vergleich zur Klärgasaufbereitung nur kostengünstiger, wenn der Strompreis niedriger ist als 3,8 €/kWh (Collet et al., 2017), was deutlich unter dem angenommenen und tatsächlichen Strompreis liegt, den Betreiber von Kläranlagen bezahlen. Außerdem ist Wasserstofferzeugung aktuell sowie im Szenario 2030 nicht rentabel für Kläranlagen (siehe Kapitel 3.3.2.2). Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass es bei intermittierendem Betrieb der Methanisierung zu Verlusten des Klärgases während Off-Stunden kommt. Der Prozess der Methanisierung erfordert einen kontinuierlichen Betrieb, was allein mit Überschussstrom nicht zu gewährleisten ist.

3.3.3.2 Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm

Wasserstoff kann nicht nur mittels Elektrolyse, sondern auch kostengünstiger aus Biomasse erzeugt werden. Die Wasserstoffgestehungskosten aus Biomasse in zentralen Anlagen liegen bei ca. 3,3 €/kg H₂ bis maximal 7,4 €/kg H₂, und die Kosten bei dezentraler Erzeugung liegen bei ca. 5 €/kg (mit Abweichung zwischen 2,5 €/kg und 7,5 €/kg) (Adolf et al., 2017).

Auch direkt aus Klärschlamm könnte Wasserstoff thermochemisch oder biologisch hergestellt werden. Generell sind biologische Verfahren kostengünstiger aber langsamer als thermochemische Verfahren.

Bei thermochemischen Verfahren wird Wasserstoff aus Klärschlamm erzeugt. Daneben entstehen weitere Gase (z. B. Methan und Kohlenmonoxid) und mineralische Asche. Pyrolyse und Vergasung werden am häufigsten für Wasserstofferzeugung aus Biomasse genutzt und sind perspektivisch für großtechnische Anlagen geeignet. Studien weisen darauf hin, dass mit beiden Methoden Wasserstoff aus nassem Klärschlamm erzeugt werden kann. Mittels Pyrolyse kann dabei über 35 vol. % Wasserstoff erreicht werden (Liu et al., 2019; Domínguez et al., 2006a).

Für die wirtschaftliche Analyse der Methoden fehlen derzeit noch belastbare Daten.

Im Labormaßstab kann Biowasserstoff aus organischem Klärschlamm durch anaerobe Vergärung gewonnen werden. Durch Mikroorganismen werden die organischen Substanzen im Klärschlamm unter anaeroben Bedingungen abgebaut und es werden CO₂ und H₂ gebildet. Dunkle Fermentation, die ohne zusätzliches Licht für den Biomasseabbau auskommt, ist im Vergleich zu Photofermentation eine vielversprechende und leicht zu industrialisierende Gärungsmethode (Liu et al., 2019). Co-Fermentation mit energiereichen organischen Substraten (z. B. Biomüll) wirkt sich zusätzlich positiv aus. Obwohl biologische Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm im Moment noch in der Forschungsphase (Labormaßstab mit Kapazität unter 10 L¹⁶) ist, gibt es ein hohes Potenzial und dafür sollten Pilotprojekte und Pilotanlagen gefördert und unterstützt werden.

3.3.3.3 Nutzung von Biomethan

Um die Rentabilität der Biomethanerzeugung zu analysieren, werden die Möglichkeiten der Nutzung von Biomethan berücksichtigt.

Einspeisung: Als erneuerbare Energie könnte das erzeugte Biomethan direkt in das Erdgasnetz eingespeist oder als Gasprodukt vermarktet werden (rechtliche Rahmenbedingungen siehe Kapitel 5.4). Aktuell liegen die Biomethanhandelspreise zwischen 5,56 €/kWh und 5,75 €/kWh¹⁷.

¹⁶ Rechtenbach, D.: Fermentative Erzeugung von Biowasserstoff aus biogenen Roh- und Reststoffen. Diss. TU Hamburg-Hamburg, 2009.

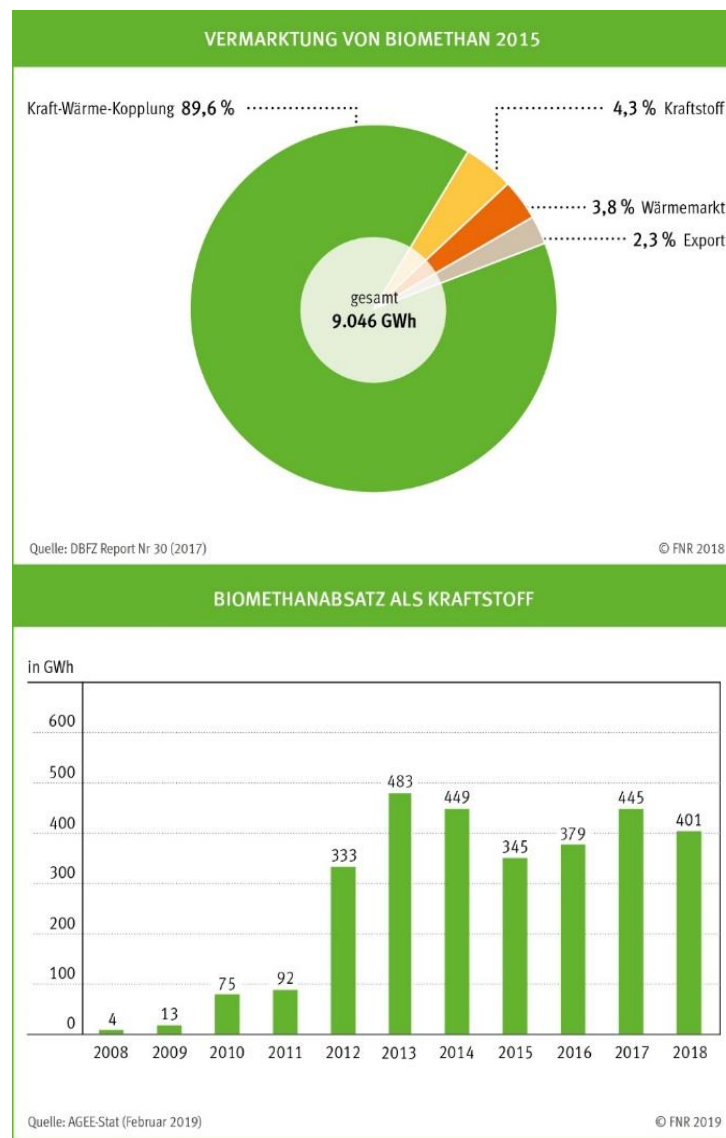
¹⁷ Persönliche Mitteilung von Frau Janet Hochi von Biogasrat.

Mit den Biomethangestehungskosten unter getroffenen Annahmen (2,36 – 4,48 €/kWh, siehe Kapitel 3.3.2.1) können 1,08 €/kWh bis 3,39 €/kWh eingespeistes Biomethan erzielt werden.

Im Vergleich zu dem Erdgaspreis (Haushalt) von 6 €/kWh, wovon die Beschaffungs- und Vertriebskosten zwischen 2,83 und 3,05 €/kWh betragen (BDEW, 2019), könnte aus Klärgas aufbereitetes Biomethan auch für Endkunden attraktiv sein.

Der größte Teil des Biomethans wird über **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)** (89,6 %) vermarktet (vgl. Abbildung 29 oben). Der erzeugte Strom und die Wärme können nicht nur vorort in Kläranlagen genutzt, sondern auch bei Bedarf in Strom- und Regionalwärmenetz eingespeist werden.

Abbildung 29: Vermarktung in 2015 (oben) und Absatz als Kraftstoff (unten) von Biomethan

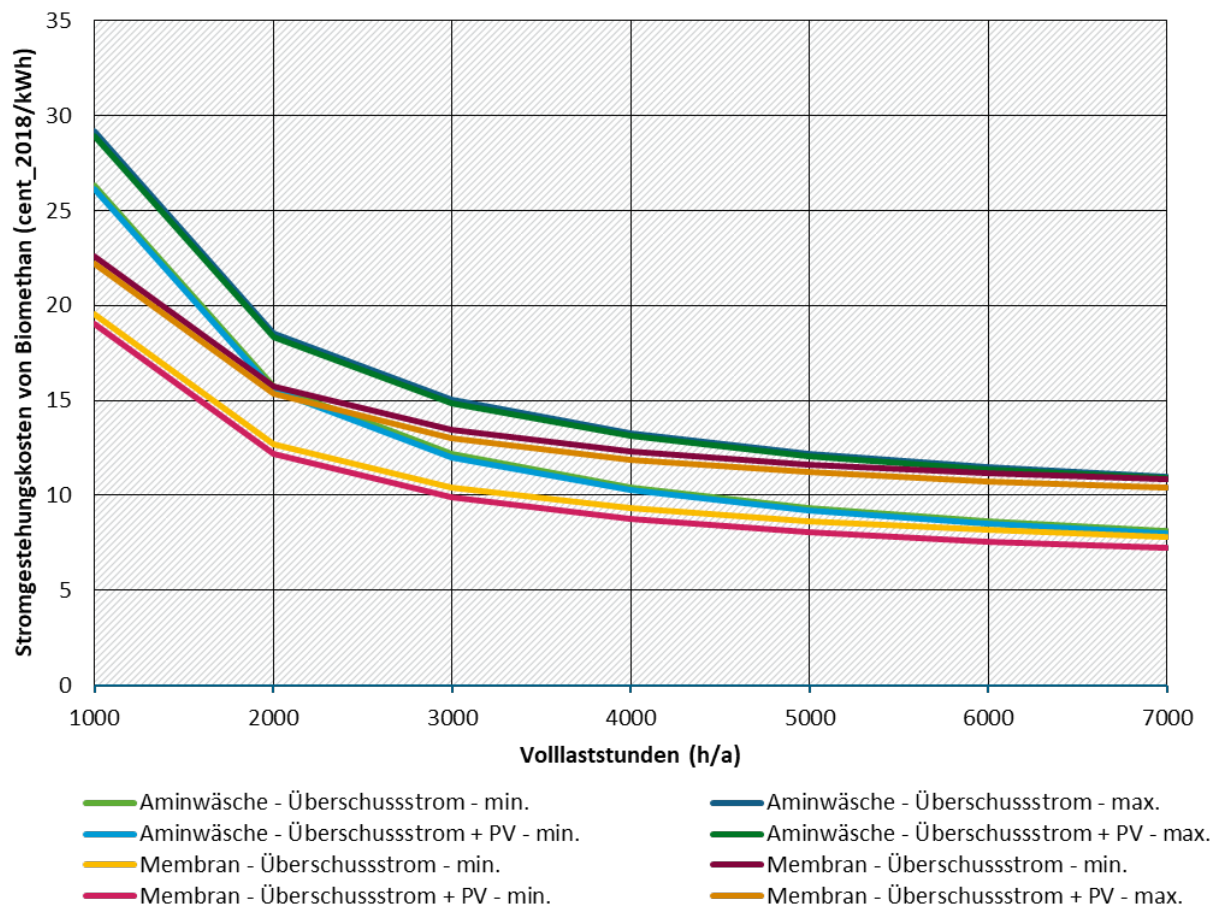


Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2015; 2019)

Aktuell liegen die Stromgestehungskosten von Klärgas bei 6,96 €/kWh (Hoffstede et al., 2018). Aufgrund der Aufbereitung des Klärgases werden die Stromgestehungskosten von Biomethan steigen, dabei wird aber die CO₂-Emission verringert und damit werden Wartungsarbeiten (z. B. für BHKW und Gasleitung) reduziert. Wie die Biomethangestehungskosten (vgl. Abbildung 24 in Kapitel 3.3.2.1) sind die Stromgestehungskosten aus Biomethan mit Membranverfahren generell

günstiger als mit Aminwäsche aufbereitetes Biomethan. Unter den getroffenen Annahmen betragen die Stromgestehungskosten zwischen 9,18 €/kWh und 12,18 €/kWh für durch Aminwäsche aufbereitetes Biomethan und zwischen 8,04 €/kWh und 11,63 €/kWh für durch Membranverfahren aufbereitetes Biomethan. Angesetzt wurden jeweils 5.000 h/a Volllaststunden. Mit steigenden Volllaststunden von bis zu 7.000 h/a sinken die Stromgestehungskosten von Biomethan aus Aminwäsche auf 7,97 – 10,96 €/kWh und aus Membranverfahren auf 7,23 – 10,85 €/kWh (vgl. Abbildung 30).

Abbildung 30: Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)

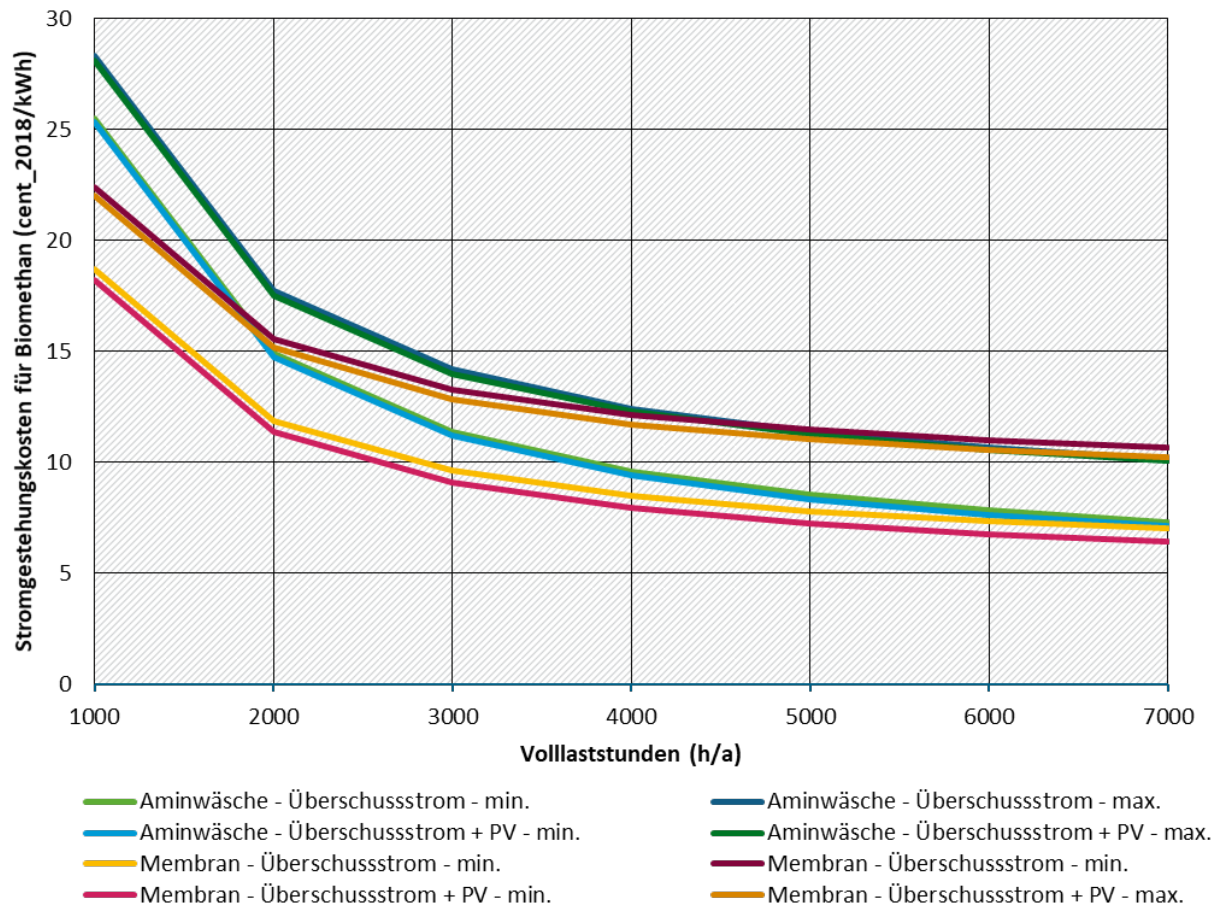


Wenn die CO₂-Bepreisung ab 2021 auch die Kläranlagen betrifft (siehe Kapitel 3.3.2.1) und die entsprechende Einsparung durch Vermeidung der CO₂-Emission berücksichtigt ist, sinken die Stromgestehungskosten unter getroffenen Annahmen auf 8,35 – 11,34 €/kWh von Biomethan durch Aminwäsche und auf 7,21 – 11,46 €/kWh von Biomethan durch Membran mit 5.000 h/a Volllaststunden. Die Stromgestehungskosten reduzieren sich bei Volllaststunden bis zu 7.000 h/a auf 7,13 – 10,12 €/kWh für Aminwäsche und 6,40 – 10,67 €/kWh für Membranverfahren (vgl. Abbildung 25). Im idealen Fall mit 7.000h/a Volllaststunden und Ersparnissen aufgrund der CO₂-Einsparung können die Stromgestehungskosten von Biomethan aus Membranverfahren sogar niedriger als aus Klärgas sein.

Die Einspeisung von Strom aus zu Biomethan aufbereitetem Klärgas wird genauso wie die von Strom aus Klärgas vergolten (6,1 €/kWh eingespeister Strom, siehe Kapitel 3.2.3). Damit ist der Eigenverbrauch des Stroms attraktiver als die Einspeisung, weil so die Differenz zwischen Marktpreis und Gestehungskosten (inkl. reduzierte EEG-Umlage) eingespart werden (rechtliche

Rahmenbedingungen der Reduktion der EEG-Umlage siehe in Kapitel 5.1.2). Trotzdem ist die Klärgasaufbereitung für die Nutzung des Eigenverbrauch zu aufwändig und nicht wirtschaftlich genug für die Kläranlagen in Vergleich zu dem Eigenverbrauch des Stroms direkt aus Klärgas.

Abbildung 31: Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO₂-Emission) (eigene Darstellung, Fraunhofer ISI)



Eine weitere häufige Nutzung ist die als **Kraftstoff** (4,3 %) (vgl. Abbildung 29 oben). Der Biomethanabsatz als Kraftstoff sind von 2008 bis 2013 stark gestiegen und bewegt sich seitdem relativ stabil bei rund 400 GWh pro Jahr (vgl. Abbildung 29 unten). Kläranlagen können als Kraftstoffanbieter für Biomethan- und Erdgasfahrzeuge fungieren (rechtliche Rahmenbedingungen siehe in Kapitel 5.4.2). Derzeit sind rund 860 Erdgastankstellen in Deutschland im Einsatz (Stand: 2018) (BDEW, 2019). Der Kraftstoffpreis von Biomethan (ohne Umlagen und Steuern) beträgt rund 10 €/kWh (Wietschel et al., 2019). Abgesehen von anderen Investitionen (z. B. für die Tankstelle) besteht eine Marge zwischen 5,52 €/kWh und 7,64 €/kWh Biomethan. Da sehr wenige wirtschaftliche Daten für Erdgastankstelle verfügbar sind, kann die Rentabilität der Nutzung im Mobilitätssektor nicht vollständig analysiert werden. Dennoch zeigt die Nutzung des Biomethans als Kraftstoff ein hohes Potenzial.

3.3.3.4 Nutzung von Wasserstoff

Während sich eine Wirtschaftlichkeit für die Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse noch nicht abzeichnet, kann sich das bei der Wasserstoffherzeugung aus Klärschlamm (Biowasserstoff)

mittelfristig anders darstellen. In diesem Abschnitt werden die möglichen Nutzungen und entsprechenden Einnahmen von Wasserstoff dargestellt.

So wie Biomethan kann auch Wasserstoff in Brennstoffzellen verstromt werden, in Gasnetze (Erdgasnetz bzw. Wasserstoffnetz) eingespeist oder als Brennstoff genutzt werden. Da die Wasserstoffgestehungskosten mit Elektrolyse (siehe Kapitel 3.3.2.2) den Strompreis sowie die Vergütung und den Marktpreis von Wasserstoff übersteigen, besteht aktuell kein wirtschaftlicher Anreiz, Wasserstoff mit Elektrolyse zu herstellen, als Gasprodukt zu verkaufen oder zu verstromen.

Aktuell sind 386 Wasserstofffahrzeuge in Deutschland registriert (Fokus Online, 2019). Auf der Kläranlage erzeugter Wasserstoff kann als Brennstoff für Wasserstoff- und Brennstoffzellenfahrzeugen genutzt werden (rechtliche Rahmenbedingungen siehe in Kapitel 5.5.2). Derzeit gibt es 71 H₂-Tankstellen in Deutschland und mehr werden zugebaut (Fokus Online, 2019). Für eine Wasserstofftankstelle werden außer einem Elektrolyseur Niederdruckspeicher, Kompressor, Hochdruckspeicher, Vorkühler und Dispenser benötigt.

An der Tankstelle kostet Wasserstoff ca. 9,5 €/kg (Spiegel, 2019). Unter den getroffenen Annahmen betragen die Wasserstoffgestehungskosten mittels Elektrolyse in Kläranlagen durchschnittlich 9,25 €/kg (siehe Kapitel 3.3.2.2) und in 2030 7,5 €/kg. Außer den Gestehungskosten fallen noch die Investitionskosten, Wartung- und Betriebskosten, und andere Kosten (z. B. Umlage und Steuern) an. Damit ist Wasserstoff auch für die Nutzung im Mobilitätssektor aktuell nicht wirtschaftlich. Die Studie von Shell (Adolf et al., 2017) weist die Kapitalkosten von 1 bis 2 Mio. USD für H₂-Tankstellen mit Tageskapazitäten von etwa 200 bis 300 kg H₂ auf. Dazu fallen noch Sachinvestitionen von 1,5 bis 2 Mio. USD an.

Im Sinne der Weiterentwicklung der Wasserstofferzeugung auf Kläranlagen sind weitere Anstrengungen im Bereich von Forschung und Entwicklung und damit Anreize durch Förderung notwendig.

3.3.4 Wärmeerzeugung und -nutzung

In Deutschland werden über 30 % der Endenergie für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser genutzt (AGEB, 2018). Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser durch regenerative Energien gilt als wichtiger Hebel für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Eine Möglichkeit ist hierbei die Nutzung von Fernwärme mit regenerativen Energiequellen. Hierbei können auch Kläranlagen eine Rolle spielen, in dem Sie sich an ein bestehendes Fernwärmenetz anschließen und dort Wärme einleiten. Diese kann beispielsweise aus der Abwärmennutzung von KWK-Prozessen oder aus der gezielten Erzeugung von Wärme durch Klärschlammverbrennung, Klärgasverbrennung oder über die Erzeugung durch Wärmepumpen und auf der Kläranlage erzeugtem Strom stammen. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung der Wärme innerhalb des Abwassers. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt "Realisierung einer Abwärmennutzungsanlage im Wiental Aachen". In diesem Projekt wurde mittels Abwasserwärmepumpen und Abluftwärmepumpen die Wärme aus Abwasser zur Gebäudebeheizung zur Verfügung gestellt. Dadurch konnte der Erdgasverbrauch der zuvor verwendeten Heizungen vollständig durch Abwärme aus Abwasser ersetzt werden (UBA, 2020). Die Amortisationszeit dieses Projektes beträgt 19 Jahre (UBA, 2020). Eine nähere Beschreibung zu dieser Technologie findet sich in Kapitel 3.3.4.1. Die hier vorgestellten Optionen haben aber neben technischen auch rechtliche Einschränkungen. Beispielsweise gibt es keinen gesetzlichen Anspruch auf den Zugang zu Wärmenetzen. Das bedeutet, dass der Wärmenetzbetreiber potenziellen Einspeisern die Möglichkeit der Einspeisung verwehren kann. Näheres zum rechtlichen Rahmen findet sich in Kapitel 5.6.

Zusätzlich zu diesen etablierten Technologien kann die Wärme auf Kläranlagen und im Abwassersystem auch durch andere Technologien nutzbar gemacht werden. Im Folgenden werden einige (innovative) Ansätze vorgestellt.

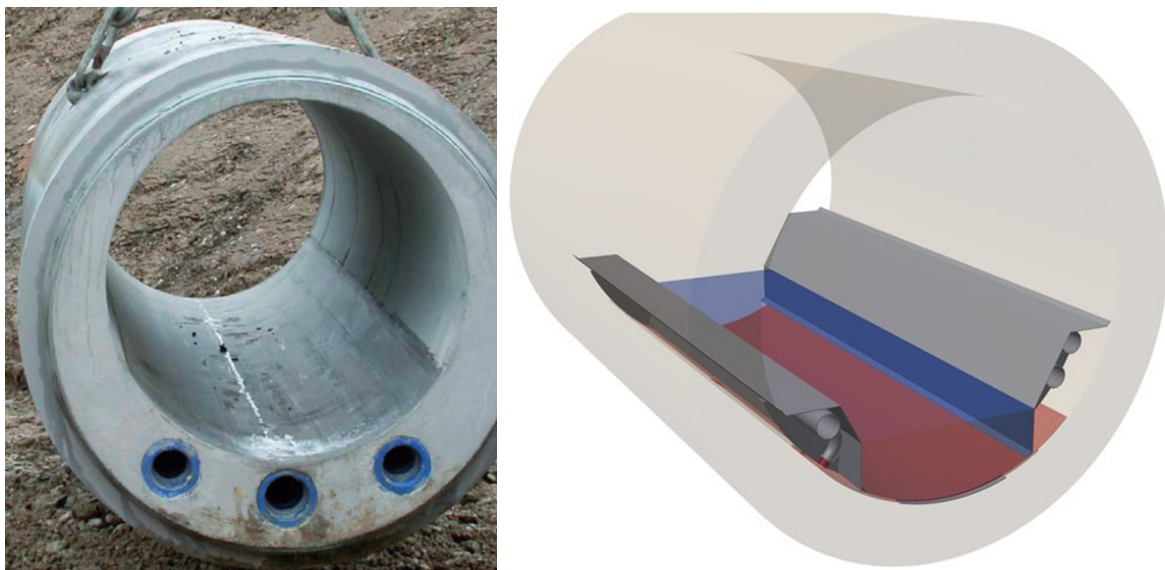
3.3.4.1 Abwasserwärmenutzung im Kanal

Die Abwasserwärmenutzung bietet die Möglichkeit, die vorhandene Energiemenge im Abwasser zur Gebäudeheizung nutzbar zu machen.

Die Abwasserwärmenutzung kann entweder (1) im Abwasser vor der Kläranlage im Kanal, (2) innerhalb der Kläranlage oder (3) im gereinigten Abwasser nach der Kläranlage erfolgen. Die Nutzung der Abwärme innerhalb oder nach der Kläranlage ist im Allgemeinen leichter zu realisieren, allerdings gibt es in räumlicher Nähe oftmals keine Wärmeabnehmer. Die Analysen aus Abbildung 19 Kap. 3.2.2 zeigen, dass mehr als 80 % der Kläranlagen eine Distanz von mehr als 400 Metern zu Siedlungsgebieten aufweist. Aus diesem Grund bietet die Nutzung der Abwasserwärme direkt im Kanal die größten Potenziale.

Dabei wird durch einen Wärmetauscher Wärme aus dem Abwasser entnommen und einer Wärmepumpe zugeführt. Für die Nutzung der Wärme im Kanal werden spezielle Wärmetauscher benötigt. Diese können entweder direkt in den Kanal integriert oder als Bypass-Lösung ausgestaltet werden. Beim Neubau können spezielle Kanalrohre mit integriertem Wärmetauscher installiert werden, bei der direkten Integration kann man diese nachrüsten (vgl. Abbildung 32).

Abbildung 32: Link: Kanal mit integriertem Wärmetauscher (Badenova (2007)); Rechts: Kanal mit nachgerüstetem Wärmetauscher (Kasag, 2019)



Mittels der Wärmepumpe wird die vorhandene Wärme auf das benötigte Temperaturniveau zur Wärmeversorgung angehoben. Die Wärmepumpe arbeitet umso effizienter, je geringer der Temperaturunterschied zwischen der Abwasserwärme und der benötigten Heizwärme ist. Das bedeutet, dass die höchsten Wirkungsgrade der Wärmepumpe dann erreicht werden, wenn die Temperatur im Kanal möglichst hoch und die benötigte Vorlauftemperatur im Gebäude möglichst gering ist. Daraus lässt sich schließen, dass die Technologie vor allem an Orten vorteilhaft ist, an denen eine hohe Konzentration von warmem Abwasser und Neubauten oder sanierte Bestandsgebäude vorhanden sind.

Durch die Entnahme der Wärme wird die Abwassertemperatur im Kanal reduziert. Da die Behandlungskapazität von Kläranlagen mit der Abwassertemperatur abnimmt, sollte die Einlauf-temperatur am Kläranlagenstandort nicht wesentlich unter der Auslegungstemperatur liegen. Daher ist die unbegrenzte Entnahme von Wärme durch den Abwasserwärmetauscher nur eingeschränkt möglich. So werden für den Einsatz von Abwasserwärmetauschern nur Abwasserkanäle mit einer Mindesttemperatur in der Heizperiode im Winter über 10°C empfohlen.

Die Ausführung der Technologie kann entweder als Einzellösung über Zentralheizungen in den Gebäuden oder über die Integration in Nahwärmenetze erfolgen. In bisherigen Praxisbeispielen wird meistens die Integration in Nahwärmenetze bevorzugt, da sich dadurch die Investitionskosten pro angeschlossenen Haushalt reduzieren. Die Nutzung dieser Technologie für Einfamilienhäuser ist in der Regel nicht sinnvoll, da die Investitionskosten zu groß sind. Die meisten der realisierten Projekte in Deutschland setzen Wärmepumpen im bivalenten Betrieb ein, um höhere jährliche Leistungszahlen gewährleisten zu können. So werden Abwärmenutzungsanlagen und Wärmepumpen oft mit Blockheizkraftwerken (BHKW) oder anderen Spitzenlasttechnologien (z. B. Brennstoffkessel) kombiniert.

Potenzial

Eine generelle Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Energie aus Abwasser für die Raumwärme- und Warmwasserversorgung ist aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen der einzelnen individuellen Standorte nur bedingt möglich. Die Wirtschaftlichkeit einer Installation hängt sowohl von den lokalen Gegebenheiten als auch von der Wirtschaftlichkeit des lokalen Fernwärmenetzes ab. Folgende generellen Aussagen können aber getroffen werden:

- Je höher die Wärmebedarfsdichte, desto geringer sind die Installationskosten für Fernwärmenetze (AGFW, 2017).
- Je höher die Wärmebedarfsdichte, desto geringer sind die Netzverluste (FFE, 2017).
- Niedrigere Vorlauftemperaturen und kleinere Nahwärmenetze reduzieren die Betriebskosten von Wärmepumpen und die Netzverluste (badenova, 2007).

Außerdem hängt die Wirtschaftlichkeit explizit vom Strompreis einschließlich aller Steuern und Abgaben und zusätzlich auch von den Kosten konkurrierender Technologien ab.

Realisierte Projekte in Deutschland zeigen folgende mögliche Kostenspanne: Ein Wärmetauscherhersteller gibt Kosten von 7,2 ct€/kWh an geeigneten Standorten an (Müller, 2005). Diese Kosten sind inklusive Kosten für Installation, Abwasserkanalwärmetauscher, Wärmepumpe und Betriebskosten. In einer Machbarkeitsstudie in Baden-Württemberg wurde die Bandbreite der Wärmegestellungskosten auch in Abhängigkeit von der nutzbaren Abwassermenge aufgeführt und schwankte von ca. 5,5 ct€/kWh bei 200 l/s bis ca. 8 ct€/kWh bei 20 l/s (badenova, 2007). Auch für das Niedrigenergiehausquartier NeckarPark in Stuttgart wurden die Wärmegestellungskosten verschiedener Alternativen dargestellt, wobei die Kombination von Abwasserwärme und KWK die günstigste Variante ist (15 ct€/kWh) und damit günstiger als der monovalente Betrieb von Wärmepumpe (18,7 ct€/kWh), Gas-Brennwertkessel (16,1 ct€/kWh) und Groß-KWK (15,1 ct€/kWh) (Görres, 2015).

In Gebieten mit hohem Abwasseraufkommen (z. B. neben dem Hauptkanal) kann Energie aus Abwasser bereits heute wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden. Ein großes Problem ist, dass das Wissen um das Potenzial dieser Abwärmequelle im kommunalen Bereich nicht weit verbreitet ist. Bundesweit sind keine kartographischen Informationen über Kanalnetze und die entspre-

chenden Abwassermengen digital verfügbar. Das bedeutet, dass privaten Bauherren und Energiedienstleistern, die in der Regel die Abwasserwärmenutzungsanlagen betreiben, die Planungsgrundlage fehlt. Zudem sind die Investitionskosten für die Technik hoch und stellen eine erste Hürde dar. Ein sehr guter Ansatzpunkt für ein solches System kann die integrierte Planung für neue Stadtteile und/oder Stadteilsanierungen von Abwassersystemen sein, um Wärmetauscher von Anfang an in Nahwärmesysteme zu integrieren.

Die Installation von Systemen zur Wärmeerzeugung oder Wärmerückgewinnung in den öffentlichen Abwassersystemen, insbesondere von Wärmepumpen und Wärmetauschern, wird derzeit über drei Förderprogramme unterstützt:

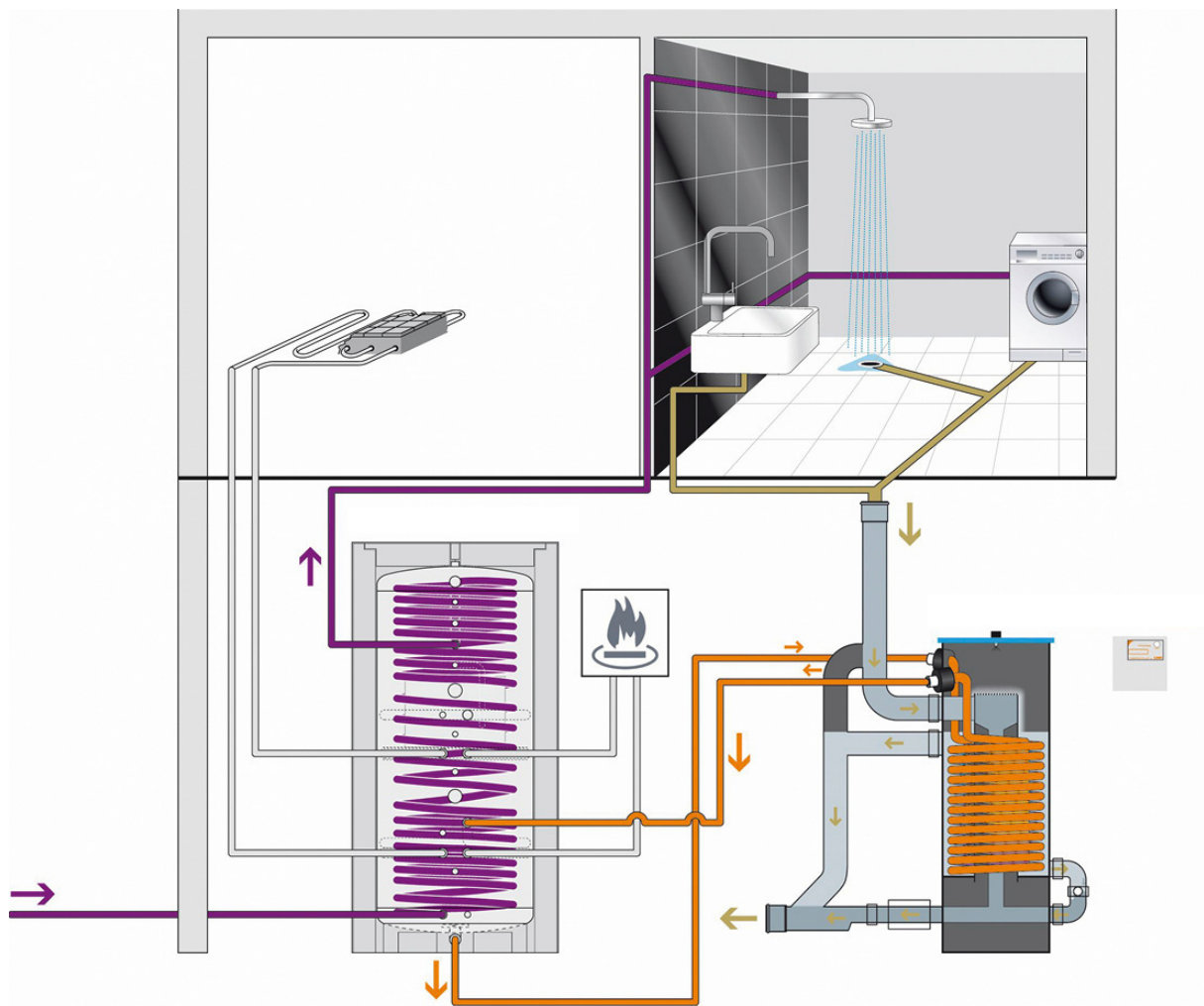
- ▶ **Energetischer Stadtumbau (KFW, 2019).** Ein Investitionskredit für nachhaltige Investitionen in die Energieeffizienz von kommunalen Wärme-, Kälte-, Wasser- und Abwassersystemen in Stadtteilen, in denen die Installation von Wärmetauschern und Wärmepumpen gefördert werden kann.
- ▶ **Marktanreizprogramm (MAP) (BMWi, 2019):** Heizungen, die vollständig mit erneuerbaren Energien betrieben werden, wie z. B. Wärmepumpen und Biomasse-Anlagen werden mit einem Investitionszuschuss von bis zu 35 Prozent gefördert. Wird eine alte Ölheizung ausgetauscht, kann sich der Fördersatz auf 45 Prozent erhöhen. Mit dem MAP bietet das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) auch Förderung für Unternehmen - insbesondere für KMU -, um ihre Wärme-/Kälteerzeugung auf erneuerbare Energien umzustellen.
- ▶ **Wärmenetze 4.0 (bafa, 2019):** Mit der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0) werden innovative Wärmenetzsysteme mit überwiegendem Anteil erneuerbarer Energien und Abwärme adressiert. Gefördert werden zunächst Machbarkeitsstudien mit bis zu 60 Prozent der förderfähigen Ausgaben und einer maximalen Höhe der Förderung von 600.000 Euro.

3.3.4.2 Wärmerückgewinnung aus Grauwasser

Eine weitere Möglichkeit der Abwasserwärmenutzung stellt die Abwärmenutzung des Grauwassers (aus Dusche, Badewanne etc.) innerhalb eines Gebäudes dar. Grauwasser hat den Vorteil, dass es im Vergleich zu Mischwasser deutlich weniger belastet ist und ganzjährig hohe Temperaturen aufweist (SBZ, 2016). Bei einem Gebäude ohne Grauwasser-Wärmerückgewinnung verschwinden große Mengen an thermischer Energie ungenutzt in der Kanalisation. Diese thermische Energie kann dem Grauwasser entzogen und bspw. zur Vorwärmung des Heizungsvorlaufs verwendet werden. Dadurch kann die Energieeffizienz des Gesamtsystems erhöht werden.

Abbildung 33 zeigt eine schematische Darstellung der Technologie. Der vorhandene Warmwasserspeicher wird zusätzlich zu konventionellen Wärmeerzeugungstechnologien durch die thermische Energie des Grauwassers aufgeheizt. Dafür wird ein Teil des Wassers des Wärmespeichers entlang des Grauwasserstroms geführt und nimmt dort über einen Wärmetauscher Energie aus dem Grauwasser auf. Das so vorgeheizte Wasser wird dann wieder in den Warmwasserspeicher geführt und kann dort, mittels eines zweiten Wärmetauschers, auf das Warmwasser übertragen werden. Die thermische Energie des Grauwassers wird mittels zweier Wärmetauscher und einem Zwischenmedium übertragen, um Kontaminationen auszuschließen (Menger-Krug, 2010).

Abbildung 33: Schematische Darstellung der Abwärmenutzung aus Grauwasser (Quelle: www.speichertechnik.com in SBZ, 2016)



Potenzial

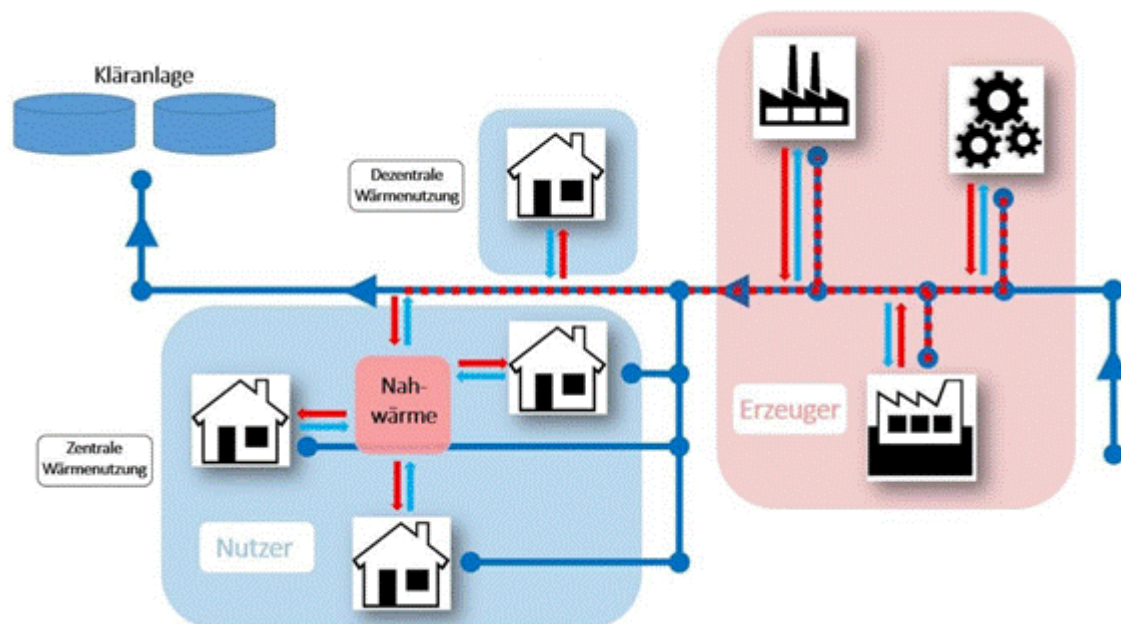
Das Potenzial dieser Technologie ist für verschiedene Fälle sehr unterschiedlich. Vor allem die Zulauftemperatur des Trinkwassers und die Vorlauftemperatur des Warmwassers haben einen großen Einfluss auf die Effizienz des Systems und somit auch auf die Wirtschaftlichkeit. In einer Pilotanlage in Freiburg wurde eine Grauwasserwärmerückgewinnungs- und -aufbereitungsanlage installiert (Menger-Krug, 2010). Dort fallen täglich 4 m³ Grauwasser an. Im Mittel konnten dort pro m³ Wasser zwischen 5 und 12 kWh Wärme zurückgewonnen werden. Dies entsprach bei diesem Projekt einer Einsparung von ca. 20 % der Energie zur Warmwasserbereitung. Die Ergebnisse dieser Pilotanlage zeigen, dass die Amortisationszeit dieser Anlage ca. 10 Jahre beträgt und somit eine wirtschaftliche Option darstellt. Zusätzlich zur Wärmerückgewinnung ist in diesem Projekt auch die notwendige Wasseraufbereitung des Grauwassers berücksichtigt worden.

3.3.4.3 Innovative Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation

Der hier vorgestellte Ansatz zeigt die Möglichkeit der Nutzung industrieller Abwärme unter Verwendung des kommunalen Abwassers als Wärmeträgermedium auf. Dieser Ansatz wurde im

Rahmen des Projektes InnoA2¹⁸ erarbeitet. Die industrielle Abwärme wird über die vorhandene Abwasserkanalinfrastruktur zu Gebäuden transportiert und mittels Wärmepumpe nutzbar gemacht. Dabei wird die Temperatur des Abwassers durch die Abwärme eines Unternehmens angehoben (Müller, 2019). Die Einleitung der Abwärme kann entweder direkt über das sowie so anfallende Abwasser, oder über zusätzliche Wärmetauscher im Kanal erfolgen. Über die vorhandenen Abwasserkanäle wird das Abwasser mit erhöhter Temperatur in Fließrichtung zum Verbraucher transportiert und kann mittels Wärmetauscher im Bereich des Abwasserkanals sowie mithilfe einer Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung verwendet werden (Aydemir et al., 2019). Durch die Verwendung des erwärmten Abwassers als Quelle für die Wärmepumpe, wird der COP der Wärmepumpe deutlich verbessert. Dadurch lassen sich Primärenergie und Treibhausgasemissionen einsparen. Abbildung 34 visualisiert das technische Konzept der Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation.

Abbildung 34: Technisches Konzept der innovativen Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation (Müller, 2019)



Potenzial

Das Potenzial dieser Technologie ist noch nicht explizit abzuschätzen, da sich dieses Konzept aktuell noch in der Forschungsphase befindet. Es wurden allerdings erste Untersuchungen getätigt, um das generelle Potenzial dieser Technologie zu überprüfen. In Fritz und Aydemir (2019) wurde untersucht, welches Potenzial diese Technologie in Europa hat. Dafür wurden anhand vorhandener Datensätze von Industrieanlagen und Kläranlagen Abschätzungen über den Transportverlust der Wärme innerhalb des Abwasserkanals getroffen. Die Ergebnisse zeigen, dass im Mittel ca. 20 % der vorhandenen Abwärme durch den Transport über den vorhandenen Kanal verloren geht. Eine generelle Aussage über die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie kann auf Grund der unterschiedlichen Rahmenbedingen nur begrenzt getroffen werden. Aktuell wird in

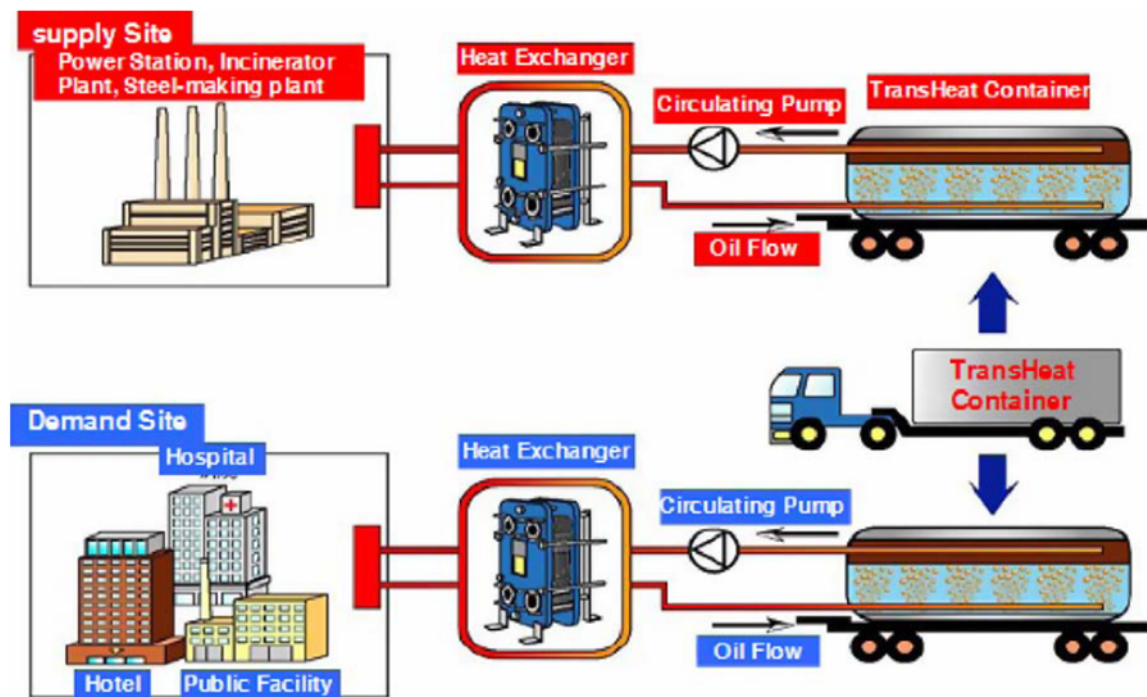
¹⁸ https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/nachhaltigkeit-infrastruktursysteme/projekte/inno_a2.html.

einem Forschungsprojekt¹⁹ die generelle Umsetzbarkeit des Konzepts, sowie auch die rechtlichen Rahmenbedingungen erprobt. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts werden Ende 2020 vorliegen.

3.3.4.4 Nicht-leitungsgebundene Abwärmenutzung

Die Möglichkeit der nicht-leitungsgebundenen Abwärmenutzung bietet für Kläranlagen die Möglichkeit, die auf der Kläranlage anfallende Abwärme nutzbar zu machen. Wie in Kapitel 3.2.2 gezeigt, weisen die meisten Kläranlagen eine Distanz von durchschnittlich ca. 850 m zu Siedlungsgebieten auf. Deshalb ist eine weitere Möglichkeit der Abwärmenutzung die Speicherung der Abwärme in einem transportfähigen Medium. Solche Medien können Energie aufnehmen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben. Die Wärme kann so über verschiedene Infrastrukturen transportiert werden, beispielsweise mit LKWs, auf der Schiene oder mit Schiffen. In Abbildung 35 ist eine mögliche schematische Darstellung dieses Konzeptes dargestellt (ma, 2009). Ein mögliches Transportmedium stellen Phase change Materials (PCM), bspw. Zeolithe dar. Zeolithe nehmen bei Anwesenheit von Luft Feuchtigkeit auf und es findet eine exotherme Reaktion statt. Heiße und trockene Luft entweicht aus den Zeolithen, die durch die Reaktion aufgenommene Feuchtigkeit kann durch die Zufuhr von Wärme in einer endothermen Reaktion wieder ausgetrieben werden. Somit können Zeolithe als Wärmespeicher dienen, welche keine Transportverluste aufweisen, wenn sie unter Ausschluss von Luft transportiert werden. Diese Technologie wird beispielsweise beim japanischen Teilchenbeschleuniger in Kitakami eingesetzt (Yoshioka, 2018). Vorteile sind die Flexibilität und eine hohe Effizienz (Fujita et al., 2006).

Abbildung 35: Schematische Darstellung einer nicht-leitungsgebundenen Abwärmenutzung (ma, 2009)



¹⁹ <https://www.bauing.uni-kl.de/baubetrieb/forschung/forschung/innoa2/>.

Potenzial

Das Potenzial dieser Technologie ist schwer abzuschätzen, da sie nicht weit verbreitet ist. Für Kläranlagen könnte sich dadurch aber die Möglichkeit bieten, ihre vorhandene Abwärme zu nutzen, ohne in kostenintensive neue Infrastruktur zu investieren. Gerade für die verhältnismäßig geringen Abwärmemengen und Temperaturen, wie sie auf Kläranlagen vorhanden sind, kann dies eine mögliche Lösung darstellen. Die in Kitakami verwendeten Zeolithen haben eine Wärmespeicherfähigkeit von 580 MJ/m^3 (Yoshioka, 2018). Unter der Annahme einer verfügbaren Abwärmemenge von 300 MWh/a bedeutet das ein benötigtes Transportvolumen von $1860 \text{ m}^3/\text{a}$. Bei einer Ladekapazität von 20 m^3 eines LKW müsste demnach alle 3-4 Tage ein LKW die Zeolithe abtransportieren. Dies zeigt, dass diese Technologie insgesamt realistische Werte aufweist. Allerdings existieren noch keine Praxiserfahrungen bei der Verwendung auf Kläranlagen.

3.3.5 Fazit zu innovativen Systemlösungen

Die in diesem Kapitel beschriebenen Analysen unterschiedlicher innovativer Systemlösungen in den Bereichen Strom, Gas und Wärme ergeben, dass einige der betrachteten Optionen für Kläranlagen sinnvoll erscheinen und andere ggf. zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht gezogen werden sollten. Dies liegt zum einen, je nach Technologie, an hohen Kosten und geringen zu erwartenden Einnahmen. Zum anderen an Unsicherheiten, die bzgl. der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems (bspw. hinsichtlich der Rolle von Gas und Wasserstoff oder des Flexibilitätsbedarfs) sowie der technologischen Weiterentwicklung dieser Optionen bestehen.

Im Bereich der Wärmeversorgung haben die Analysen gezeigt, dass eine direkte Einbindung der Kläranlage in bestehende Fern- und Nahwärmesysteme schwierig zu realisieren ist. Dies liegt zum einen an dem aktuell nicht liberalisierten Markt für Fernwärme und zum anderen an den verhältnismäßig geringen überschüssigen Wärmemengen, welche auf der Kläranlage erzeugt werden können, da der Großteil der Wärme intern Verwendung findet. Maßnahmen wie eine ausreichende Schlammeyndickung vor der Faulung und eine Dämmung von Gebäuden und Faulbehältern können den Wärmebedarf hier reduzieren. Der freie Zugang zu Wärmeinfrastrukturen sollte in Zukunft gesetzlich geregelt werden, damit auch für kleinere lokale Einspeiser (wie der Kläranlage) die Möglichkeit besteht, Wärme in die vorhandenen Infrastrukturen einzuspeisen. Für die Wärmenutzung in der Kanalisation ergeben sich allerdings aussichtsreiche Möglichkeiten. Die Nutzung der Wärme im Kanal und im Grauwasser sind etablierte Technologien, welche auch unter Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind. Die vorgestellten Technologien zur Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung in der Kanalisation und die nicht-leitungsgebundene Abwärmenutzung befinden sich aktuell noch in frühen Forschungsstadien und sollten in weiteren Forschungsprojekten gefördert werden, um die mittel- bis langfristige Wirtschaftlichkeit dieser Ansätze zu überprüfen.

Die Wasserstoffherzeugung und -nutzung ist aktuell, trotz der Nutzung von PV-Anlagen für Kläranlagen nicht wirtschaftlich. Trotzdem könnten potenziell kostengünstige Wasserstoffherzeugungsverfahren wie die Klärschlammfermentation durch Forschungsförderung unterstützt werden, um diese in Zukunft wirtschaftlicher zu gestalten.

Biomethan aus Klärgasaufbereitung wird unter den in diesem Projekt getroffenen Annahmen im idealen Fall (mit 7.000 h/a Volllaststunden und Einsparungen durch die Reduktion von CO_2 -Emission) rentabel für Kläranlagen. Bei der Umsetzung ergeben sich jedoch Hürden, bspw. bzgl. der Nutzung des anfallenden CO_2 sowie durch den zusätzlichen Aufwand, eine Biomethanaufbereitungsanlage zu installieren und das gewonnene Biomethan (wie auch das Klärgas) anschließend zu verstromen. Obwohl die Kosten von Power to Biomethan immer weiter sinken, ist die Durchführung der Klärgasaufbereitung zu Biomethan nur zur Verstromung (entweder für Eigenverbrauch oder für Einspeisen) in Kläranlagen weiterhin sehr aufwändig und führt zu keinem

zusätzlichen Gewinn. Die Nutzung des Biomethans als Kraftstoff könnte für Kläranlagen eine Option darstellen.

Eine Methanisierung benötigt eine kontinuierliche Stromversorgung und kann somit nicht ausschließlich mit Überschussstrom betrieben werden. Wenn die Kläranlage die Methanisierung mit konventionellem Strom betreibt, wird indirekt CO₂ emittiert, was dadurch keine direkte Klimaschutzmaßnahme darstellt. Deshalb ist die Methanisierung auf Kläranlagen unter heutigen Rahmenbedingungen nicht empfohlen.

Kläranlagen sind technisch in der Lage, sowohl ihre Stromerzeugung (aus dem BHKW) als auch ihren Stromverbrauch zu flexibilisieren. Die Ergebnisse des Projekts Arrivée zeigen allerdings, dass dahingehende Investitionen unter den getroffenen Annahmen mit sehr langen Rückzahlungsperioden (Amortisationsdauer > 35 Jahre) verbunden sind. Derzeit sind die Einnahmemöglichkeiten für zusätzliche Flexibilität (bspw. am Markt für Regelenenergie oder am Day-Ahead und Intraday-Markt) in Deutschland beschränkt, da im Gesamtsystem ausreichend Flexibilität vorhanden ist. Zudem sind die Kläranlagen in der Gesamtsystembetrachtung relativ kleine Verbraucher. Eine Flexibilisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch auf der Kläranlage macht daher nur in begrenztem Rahmen Sinn:

- Die Flexibilisierung kann für eine Maximierung der Eigenversorgung genutzt werden.
- Die Kläranlage kann ggf. zur lokalen Netzstabilität beitragen. Mögliche Beiträge und Nutzen sind sehr lokalspezifisch. Entsprechend sollten sich Kläranlagen dazu beim lokalen Netzbetreiber informieren.
- Zur Teilnahme am Spotmarkt oder Regelmarkt bietet sich eine Zusammenarbeit mit einem Aggregator (Zwischenhändler oder Direktvermarkter) an. Es gibt bereits einige Akteure, die bspw. Batterien aus Privathaushalten poolen und am Regelmarkt anbieten. Inwieweit dies eine sinnvolle Option für Kläranlagen darstellt, konnte im Rahmen des Projekts nicht ermittelt werden.

In den meisten Fällen müsste eine zusätzliche Förderung der Flexibilisierung erfolgen, um die Projekte wirtschaftlich zu machen. Allerdings wird in den Diskussionen zur Energiepolitik meist argumentiert, dass Flexibilität über entsprechende Marktpreise angereizt werden sollte und die Preise aktuelle keine Knappheit dahingehend signalisieren (was auch der Realität entspricht). Wir empfehlen daher derzeit keine spezifische finanzielle Förderung für Flexibilisierungsmaßnahmen bei Kläranlagen. Im lokalen Markt können Flexibilitätsoptionen mit dem Netzbetreiber abgesprochen und nutzbar gemacht werden. Kläranlagenbetreiber sollten jedoch die Entwicklung der Marktpreise und insbesondere der Ausgestaltung der staatlich induzierten Strompreisbestandteile beobachten. Sollte hier eine Änderung erfolgen (bspw. eine Umstellung auf kapazitätsbasierte Netzentgelte oder eine Anpassung der Energie- und Stromsteuer) kann ein flexibler Betrieb die Rentabilität erhöhen. Zudem ist ggf. ein flexibler Betrieb zur Unterstützung des lokalen Netzmanagements sinnvoll. Dies hängt unter anderem davon ab, an welcher Stelle im Netz die Kläranlage genau liegt und ist damit lokal unterschiedlich. Interessierte Kläranlagenbetreiber sollten Möglichkeiten mit dem lokalen Netzbetreiber abklären. Grundsätzlich wird auch in diesem Zusammenhang der Bedarf in Zukunft ansteigen.

Aus kommunaler Sicht kann sich die Bewertung der vorgestellten Technologien und Maßnahmen allerdings anders darstellen. Der Kläranlage kann als größter kommunaler Energieverbraucher im kommunalen Energiesystem eine größere Bedeutung zukommen. Ein langsamer Einstieg in einige Technologien, bei denen noch Entwicklungsbedarf besteht (wie z. B. der Erhöhung

der Nachfrageflexibilität, der PEM-Elektrolyse, der Abwärmenutzung über die Kanalisation oder der Methanisierung) kann daher auch auf Kläranlagen sinnvoll sein und zu deren Weiterentwicklung beitragen.

Tabelle 8 gibt einen Überblick zu den analysierten innovativen Systemlösungen und bewertet sie qualitativ.

Tabelle 8: Überblick über die Analyse innovativer Systemlösungen und qualitative Bewertung

Innovative Systemlösungsop-tion	Innovations-grad (gering, mittel, hoch)	Technisches Risiko (ge-ring, mittel, hoch)	Einsparungspo-tenzial CO2 (gering, mittel, hoch)	Wirtschaftlichkeit (gegeben, abseh-bar, unwahrschein-lich)	Empfehlung/ Kommentar
Flexibilisierung (Kap. 3.3.1)	Gering	Gering	Gering	Auf lokaler Ebene ggf. gegeben, natio-nal noch unklar	Austausch mit lo-kalem Netzbetrei-ber, Beobachtung Strommarktpreise
Pt CH4 (Kap. 3.3.2.1)	Gering	Gering	Mittel bis hoch	Unrentabel für Ein-speisung; absehbar für KWK	Nicht praktikabel
Pt H2 (Kap. 3.3.2.2)	Mittel	Gering	Gering	Unwahrscheinlich	Nicht wirtschaft-lich für Kläranlagen
Methanisierung (Kap. 3.3.3.1)	Mittel	Hoch	Hoch	Unwahrscheinlich	benötigt kontinu-ierliche Stromver-sorgung, nicht ge-eignet für Kläranla-gen
H2 aus Klär-schlamm (Kap. 3.3.3.2)	Hoch	Mittel	Gering	Absehbar	Förderung not-wendig
Abwärme Kanal (Kap. 3.3.4.1)	Gering	Gering	Abhängig von substituierter Technologie	Gegeben	Bereitstellung von Informationen und Förderung hilfreich
WRG Grauwas-ser (Kap. 3.3.4.2)	Gering	Gering	Abhängig von substituierter Technologie	Gegeben	Bereitstellung von Informationen und Förderung hilfreich
Kanalisation als Wärmetrans-portleitung (Kap. 3.3.4.3)	Hoch	Mittel	Abhängig von substituierter Technologie	Absehbar	Förderung not-wendig
Wärmetransport über PCM (Kap. 3.3.4.4)	Hoch	Mittel	Abhängig von substituierter Technologie	Noch Unbekannt	Forschungsförde-rung notwendig

Die Möglichkeiten zur Förderung werden im nächsten Abschnitt detaillierter diskutiert.

4 Förderung - Randbedingungen, Möglichkeiten, Lücken

Die Potenziale, die die Abwasserwirtschaft im Sinne von Klimaschutz und Energieeffizienz generieren kann, sollen möglichst weitgehend ausgeschöpft werden. Anreizstrukturen, wie z. B. die Förderung energetisch sinnvoller Maßnahmen, können diese Entwicklung unterstützen. Grundsätzlich ist Energieeffizienz auf Kläranlagen ein Gebot der AbwVO und wird daher als Teil der Kernaufgabe von Kläranlagenbetreibern gesehen. Alle Maßnahmen des Benchmark-Szenarios (vgl. Kapitel 2.2) sind durch diese Forderung der AbwVO abgedeckt und bedürfen damit streng genommen keiner separaten Förderung. Ausnahmen können dann bestehen, wenn der aktuelle Rechtsrahmen die wirtschaftliche Produktion von Energie auf Kläranlagen erschwert oder z. B. ein Austausch von Aggregaten gezielt beschleunigt werden soll.

4.1 Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen

Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen bzw. für mit der Kläranlage im Zusammenhang stehende Anlagenteile finden sich im Immissionsschutz- sowie im Abwasserrecht. Ihre Erfüllung steht im direkten *Zusammenhang* mit der Möglichkeit, staatliche Förderungen für energieeffiziente Maßnahmen in Anspruch zu nehmen. Dabei gilt es zu klären, ob das Bestehen solcher Pflichten staatliche Zuwendungen grundsätzlich ausschließt bzw. unter welchen Voraussetzungen eine Förderung zulässig sein kann.

4.1.1 Effizienzverpflichtungen nach BImSchG (Betreiberpflicht)

Anlagenbetreiber von genehmigungspflichtigen Anlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) sind gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG verpflichtet, ihre Anlagen so zu errichten, dass Energie sparsam und effizient verwendet wird. Durch die Schaffung solcher Betreiberpflichten soll ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt gewährleistet werden, in diesem Fall durch eine Senkung des Primärenergieverbrauchs.²⁰ Kläranlagen sind zwar nicht per se genehmigungsbedürftig²¹, es können im Einzelfall jedoch Anlagenteile bestehen, die auf ihre Zulässigkeit nach dem BImSchG hin untersucht werden müssen. Darunter fallen insbesondere Anlagen, die in Anhang 1 der auf § 4 Abs. 1 BImSchG beruhenden 4. BImSchV²² enthalten sind. Die in der Verordnung enthaltenen Anlagen haben gemeinsam, dass sie ein bestimmtes Beeinträchtigungspotenzial aufweisen, indem von ihnen schädliche Umweltauswirkungen oder sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen ausgehen können. Für Kläranlagen kann das beispielsweise die Verstromung von Klärgas errichteten BHKW, sofern sie eine bestimmte Wärmefeuereungsleistung überschreiten, vgl. Nr. 1.2 Anhang 1 zum BImSchG betreffen.²³

Für solche genehmigungsbedürftigen Anlagen bestehen die in § 5 BImSchG genannten Betreiberpflichten. Unter den Energiebegriff der Norm fallen alle Primärenergieträger, insbesondere Kohle, Erdgas, Erdöl, Kernenergie, aber auch Sekundärenergieträger wie Strom, Heißwasser, Wasserdampf oder Abwärme sowie Wind- und Sonnenenergie.²⁴ Die Norm ist relativ weit gefasst, sodass sich aus ihr nur schwer konkrete Verpflichtungen für Anlagenbetreiber ableiten las-

²⁰ Jarass BImSchG, 12. Aufl. 2017, BImSchG § 5 Rn. 96.

²¹ BGH, Urteil vom 29.03.1984; Az.: III ZR 11/83.

²² Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440).

²³ Eigenbetriebe und kommunale Unternehmen Rheinland-Pfalz/DWA Landesverband Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland (2018): Handreichung für die Konzipierung eines Klärschlamm-lagers und der hierfür aufzustellenden Genehmigungsunterlagen unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem BImSchG, S. 3.

²⁴ Jarass, H. (2017): Bundes-Immissionsschutzgesetz – Kommentar, BImSchG § 5 Rn. 98.

sen. Die Pflicht aus § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG konzentriert sich vor allem auf eine möglichst effiziente Energieverwendung, die insbesondere auch die Nutzung der beim Anlagenbetrieb anfallenden Energie miteinschließt. Effizient bedeutet in diesem Zusammenhang eine wirtschaftliche, leistungsfähige und in angemessenem Verhältnis zum Ertrag stehende Energienutzung.²⁵ Ein Beispiel dafür ist etwa die Nutzung der anfallenden Abwärme, entweder auf der Anlage selbst oder durch die Einspeisung in Wärmenetze. Aufgrund der Unbestimmtheit der Norm wird jedoch vertreten, dass sich ohne diesbezüglich erlassene normkonkretisierende Verwaltungsvorschriften höchstens aus den verpflichtenden Vorgaben zum aktuellen Stand der Technik konkretere Verpflichtungen für Anlagenbetreiber aus ihr ableiten lassen.²⁶

Anlagen, die keiner Genehmigung nach § 4 BImSchG bedürfen, unterfallen nicht den in § 5 BImSchG aufgeführten Betreiberpflichten. Für sie gilt lediglich die allgemeinere Gefahrenabwehrpflicht aus § 22 BImSchG. Demnach müssen alle Anlagen so errichtet werden, dass schädliche Auswirkungen auf die Umwelt möglichst vermieden werden.

4.1.2 Effizienzverpflichtungen nach Abwasserverordnung

Der Gesetzgeber wurde durch §§ 57 Abs. 2 i. V. m. § 23 Abs. 1 Nr. 3 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)²⁷ ermächtigt, eine Abwasserverordnung (AbwV)²⁸ mit zu beachtenden Anforderungen bei der Einleitung von Abwasser in Gewässer zu erlassen.

§ 3 Abs. 2a AbwV gibt spezifisch für Abwasseranlagen vor, dass diese so zu errichten, betreiben und benutzen sind, dass eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Dabei sollen die bei der Abwasserbeseitigung entstehenden Energiepotenziale, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, genutzt werden. Mit der Norm sollen die Anforderungen nach dem Stand der Technik weiter konkretisiert werden. Zuvor fand sich die Vorgabe in Anlage 1 Teil B Absatz 2 der Verordnung und galt nur für kommunale Anlagen. Durch die Verschiebung in den vorderen Teil der Verordnung wurde die Pflicht für alle Abwasseranlagen verbindlich eingeführt. Deren Betreiber sollen damit angehalten werden, mögliche Einsparpotenziale zu nutzen, um ihren vergleichsweisen hohen Stromverbrauch so gering wie möglich zu halten. Dabei seien laut Verordnungsbegründung bedeutende Einsparungen möglich, ohne dass es negative Auswirkungen auf die Reinigungsleistung oder Betriebsstabilität habe.²⁹

Zur Bestimmung des Stands der Technik wird in Anlage 1 Nummer 9 WHG lediglich auf das Kriterium der Energieeffizienz Bezug genommen, ohne dass die Norm weitere konkretisierende Vorgaben enthält. Der Ordnungsgeber verweist bezüglich der Umsetzung der Anforderung lediglich auf ein Arbeitsblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA-A 216, Ausgabe Dezember 2015). Das Arbeitsblatt enthält eine einheitliche Methodik zur Einschätzung der Energieeffizienz von Anlagen zur Abwasserbehandlung und -ableitung. Allerdings kommt ihm allein durch den Verweis in einer Verordnungsbegründung keine Rechtsverbindlichkeit zu, sodass sich auch daraus keine verbindlichen Vorgaben ableiten lassen, die mithilfe ordnungsrechtlicher Instrumente durchgesetzt werden können. Das spiegelt sich auch

²⁵ Dietlein in: Beckmann, M.; Durner, W.; Mann, T.; Röckinghausen, M. (2019): Landmann/Rohmer Umweltrecht – Kommentar, BImSchG § 5 Rn. 200.

²⁶ Jarass, H. (2017): Bundes-Immissionsschutzgesetz – Kommentar, BImSchG § 5 Rn. 104.

²⁷ Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist.

²⁸ Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. August 2018 (BGBl. I S. 1327) geändert worden ist. Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist.

²⁹ BR-Drs. 199/18 vom 23.05.2018, S. 46.

darin wider, dass die Abwasserverordnung keine Rechtsfolgenregelung im Falle der Nichtbeachtung von § 3 Abs. 2a beinhaltet.³⁰ Die Anwendung des Arbeitsblattes ist daher lediglich ein freiwilliger Orientierungsmaßstab, soweit sich nicht aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften etwas anderes ergibt.³¹ Hinzukommt, dass es sich um ein Arbeitsblatt aus dem Jahr 2015 handelt, sodass nicht auszuschließen ist, dass sich der Stand der Technik seitdem, insbesondere auch im Bereich der Energieeffizienz, erheblich weiterentwickelt hat. Wenn diese unverbindlichen Vorgaben nicht kontinuierlich fortgeschrieben und auf einen aktuellen Stand gebracht werden, besteht die Gefahr, dass für Abwasseranlagen zumindest aus verwaltungsrechtlicher Sicht keine Anreize zur Verwendung moderner Anlagentechnik gesetzt werden. Im Ergebnis kann es auch dadurch zu erheblichen Verzögerungen bei der Entwicklung innovativer Technologien kommen. Es bedarf daher einer Prüfung im Einzelfall, ob eine Abwasseranlage den Vorschriften zum Stand der Technik genügt.

Im Ergebnis lässt sich folglich auch aus der Effizienzverpflichtung der AbwV allenfalls eine grundsätzliche Verpflichtung für Kläranlagenbetreiber ableiten. Aufgrund der Unbestimmtheit der Norm mangels rechtsverbindlicher Vorgaben zu ihrer Konkretisierung lassen sich aus ihr, wie auch schon aus der immissionsschutzrechtlichen Verpflichtung, nur schwer konkrete Rechtsfolgen ableiten.

4.1.3 Auswirkungen der Effizienzverpflichtungen auf staatliche Förderungsmöglichkeiten

Aufgrund der bestehenden, wenn auch eher unbestimmten, gesetzlichen Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen stellt sich die Frage, ob sowohl innovative Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz oder Maßnahmen zur Erreichung der bereits bestehenden Benchmarks, trotzdem aus dem Bundeshaushalt förderfähige Projekte darstellen können.

§ 14 Haushaltsgrundsatzgesetz (HGrG)³² schreibt als einen Grundsatz fest, dass Zuwendungen nur zulässig sind, wenn der Bund an der Erfüllung eines bestimmten Zweckes ein besonderes Interesse hat, das sonst nicht oder nicht im notwendigen Umfang befriedigt werden kann (vgl. auch § 23 Bundeshaushaltsordnung (BHO)³³). Die Erfüllung einer gesetzlichen Pflicht kann demnach grundsätzlich nicht finanziell gefördert werden (Subsidiaritätsgrundsatz), weil über die Einhaltung des Gesetzes hinaus keine weiteren Anreize zu ihrer Erfüllung als erforderlich angesehen werden.³⁴ Der Rechtsanwender soll grundsätzlich keine Belohnung dafür erhalten, dass er sich an das Recht hält.

Eine energierechtliche Konkretisierung des allgemeinen haushaltsrechtlichen Grundsatzes findet sich in § 15 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)³⁵. Demnach können Maßnahmen, die der Erfüllungen einer anteiligen Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien aus § 3 EEWärmeG dienen, grundsätzlich nicht gefördert werden. Allerdings gilt dieses Verbot ausdrücklich nicht für Vorhaben, die mit weiteren Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz verbunden werden und damit über die reine Pflichterfüllung hinausgehen, § 15 Abs. 2 Nr. 3 EEWärmeG. Die Ausgestaltung der Norm macht außerdem deutlich, dass innovative Technologien

³⁰ Vgl. auch § 7 AbwV, der einen Verstoß gegen § 3 Abs. 1 Satz 1 AbwV ausdrücklich als Ordnungswidrigkeit klassifiziert.

³¹ DWA (2015): DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 216, Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, S. 8.

³² Haushaltsgrundsatzgesetz vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1273), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 14. August 2017 (BGBl. I S. 3122) geändert worden ist.

³³ Bundeshaushaltsordnung vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1284), die zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 14. August 2017 (BGBl. I S. 3122) geändert worden ist.

³⁴ Wustlich in: Danner/Theobald, 101. EL Mai 2019, EEWärmeG § 15 Rn. 1.

³⁵ Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722) geändert worden ist.

solange einer Förderung zugänglich sein sollen, bis sie sich selbstständig am Markt bewähren können.³⁶ § 15 EEWärmeG sieht explizit Ausnahmen für Bereiche vor, die nach Ansicht des Gesetzgebers allein durch die Einführung einer Verpflichtung nicht ausreichend angereizt werden, um den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältemarkt voranzutreiben.³⁷ Im Ergebnis sollen damit Maßnahmen, die zu einer überobligatorischen Pflichterfüllung führen, angereizt werden, indem sie nach dem Willen des Gesetzgebers grundsätzlich einen Anspruch auf eine Förderung haben können. Dies steht auch nicht im Widerspruch zu der grundsätzlichen haushaltsrechtlichen Ausgestaltung, da man zur Übererfüllung einer gesetzlichen Verpflichtung bereits denklogisch nicht verpflichtet sein kann, sodass es einer Normierung von diesbezüglichen Ausnahmetatbeständen eigentlich nur aus Klarstellungsgesichtspunkten bedarf.³⁸ Die Gesetzesbegründung zu § 15 EEWärmeG stellt ausdrücklich darauf ab, dass eine Förderung innovativer Techniken im Wärmesektor bis zur Marktintegration möglich sein muss.

In Bezug auf die oben genannten Effizienzverpflichtungen für Kläranlagen lässt sich aus der Ausgestaltung des erläuterten Grundsatzes in § 15 EEWärmeG schließen, dass allein die Normierung einer entsprechenden Pflicht für Anlagenbetreiber nicht automatisch jeglichen Anspruch auf finanzielle Förderung ausschließt. Bezüglich der grundsätzlich bestehenden Energieeffizienzpflicht für Abwasseranlagen in § 3 Abs. 2a AbwV bedeutet dies jedoch, dass zumindest theoretisch für solche Maßnahmen keine Förderung verfügbar sein sollte, die lediglich den Stand der Technik abbilden. Insbesondere Maßnahmen, die über die reine Pflichterfüllung hinausgehen, können jedoch grundsätzlich als förderwürdig angesehen werden. Aufgrund der Unbestimmtheit der vorstehend untersuchten Verpflichtungen und der darauf beruhenden komplizierten Abgrenzung zwischen reiner Einhaltung der Verpflichtung und darüberhinausgehenden Engagements scheint es unbillig, jegliche Förderung von Effizienzmaßnahmen für Kläranlagen grundsätzlich auszuschließen. Soweit aus den gesetzlichen Normen nicht klar der Inhalt und Umfang einer Verpflichtung hervorgeht, kann dies nicht an anderer Stelle zulasten des Normanwenders ausgelegt werden. Dies gilt umso mehr für die Förderung innovativer Szenarien, wie sie auch innerhalb des vorstehenden Projekts untersucht werden.

Ob ein Projekt nach den bisherigen Ausführungen tatsächlich mit Mitteln aus dem Bundeshaushalt gefördert werden kann, ist somit eine Frage des Einzelfalls. Aufgrund der Unbestimmtheit sowohl des zugrundeliegenden haushaltsrechtlichen Grundsatzes als auch der fraglichen Effizienzverpflichtungen, lässt sich kein allgemeingültiges Ergebnis aus den bestehenden Normen ableiten.

4.2 Bestehende Maßnahmen und Förderprogramme

Einen guten Überblick über die bestehenden Maßnahmen und Förderprogramme des Bundes und der Länder bietet die Förderdatenbank (www.foerderdatenbank.de). Um sicher zu gehen, dass alle aktuellen Programme erfasst werden, erfolgte die Auswertung der Förderdatenbank mit verschiedenen differenzierenden Suchstrategien. Es wurden 45 unterschiedliche Programme und Maßnahmen gefunden, die auf der Ebene des Bundes oder einzelner Länder Möglichkeiten der Förderung im Bereich des Abwasser-Energie-Nexus bieten. Die Ergebnisse finden sich in Anhang A.

³⁶ BR-Drs. 9/08 vom 04.01.08 S. 64 f.

³⁷ Wustlich in: Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 101. EL, EEWärmeG § 15 Rn. 10.

³⁸ Wustlich in: Müller, T.; Oschmann, V.; Wustlich, G. (2010): EEWärmeG – Kommentar, § 15 Rn. 27.

4.3 Förderbedarfe

Nicht alle der innovativen Systemlösungen, die in Abschnitt 3.3 dargestellt werden, sind aktuell oder absehbar rentabel oder kostendeckend. Entsprechend ist eine Förderung notwendig, falls ein Ausbau dieser innovativen Systemlösungen angestrebt wird. Der bestehende Rahmen zur Forschungsförderung umfasst die Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energietechnologien. In dem „Energieforschungsprogramm - Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie werden so zum Beispiel die Systemintegration (Stromnetze, Stromspeicher sowie Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien) und die systemübergreifenden Forschungsthemen der Energiewende (Technologieorientierte Systemanalyse, Technologien für die CO₂-Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung der Energiewende, Ressourceneffizienz sowie technologiebegleitende Forschungsarbeiten zu gesellschaftlichen Fragestellungen der Energiewende) gefördert. Darüber hinaus gibt es auch Förderprogramme zur Markteinführung von Technologien.

Vor der konkreten Einführung von Förderinstrumenten ist zu hinterfragen, bei welchen Systemlösungen eine explizite Förderung tatsächlich sinnvoll ist. Dies lässt sich beispielhaft an der Frage diskutieren, inwieweit eine Flexibilisierung von Stromverbrauch und Stromerzeugung auf der Kläranlage gefördert werden sollte. Die Flexibilität des gesamten Stromsystems muss in Zukunft zunehmen, um die Integration steigender Anteile volatiler erneuerbarer Energien zu ermöglichen. Unklar ist allerdings, wie die Flexibilität erzeugt wird und inwieweit eher kleine Nachfrager (wie bspw. Kläranlagen) dabei integriert werden können. Aus Energiesystemsicht erscheint daher eine Flexibilisierung der Nachfrage über die Kopplung zum Wärmesektor sowie bei größeren Industriebetrieben sinnvoll. Aus kommunaler Sicht kann die Flexibilisierung des im Gesamtsystem zwar relativ kleinen, auf regionaler Ebene aber größten kommunalen Verbrauchers durchaus sinnvoll sein.

Wenn Kläranlagen zukünftig zur Flexibilität beitragen sollen oder müssen, ist nicht klar, ob bzw. an welcher Stelle eine explizite Förderung sinnvoll ist. Grundsätzlich wird Flexibilität durch Marktpreise (Stromgroßhandelspreise und Preise für Regenergie) angereizt. Aktuell gibt es dabei jedoch zwei Probleme: zum einen ist im Markt ausreichend Flexibilität vorhanden (bspw. aus konventionellen Kraftwerken), was zu geringen Marktpreisen und geringer Preisvolatilität führt, zum anderen sind Großhandelsstrompreise aufgrund der Struktur der Endverbraucherstrompreise für kleine Endverbraucher derzeit nicht erreichbar. Wenn die kleinen Verbraucher kurzfristig nicht flexibel werden, ist dies aufgrund der ohnehin bestehenden Flexibilität unproblematisch. Sollte mittel- bis langfristig zusätzliche Flexibilität auch von kleineren Verbrauchern notwendig werden, ist ggf. eine Reform der Endverbraucherstrompreise, um einen Wettbewerb zwischen verschiedenen kleinen Flexibilitätsanbietern zu ermöglichen, zur Maximierung der Flexibilität sinnvoller als eine explizite Förderung von einzelnen Flexibilitäten, bspw. durch Kläranlagen. Sobald die Bereitstellung von Flexibilität (bspw. durch Endverbraucherstrompreise, die Knappheit am Markt widerspiegeln) rentabel ist, werden Aggregatoren oder Pooling-Anbieter auch ohne Förderung bereit sein, die Flexibilität der kleinen Flexibilitätsanbieter zu sammeln und zu vermarkten.

Ähnlich verhält es sich mit einer flächendeckenden Förderung von Elektrolyseuren, Batterien oder Methanisierung. Im Hinblick auf die technologische Weiterentwicklung und die Nutzung des bei der Wasserstoffherzeugung anfallenden Sauerstoffs kann die Elektrolyse auf kommunalen Kläranlagen eine Alternative sein. Dies gilt auch für die Methanisierung von zusätzlichem und über den Eigenbedarf hinaus erzeugtem Klärgas unter Nutzung verfügbarer Faulraumkapazitäten zur Co-Fermentation. Für Kläranlagen, die bereits heute jahresbilanziell stromautark betrieben werden, temporär aber Stromüberschüsse erzeugen oder einen Netzstrombedarf aufweisen, kann die Batteriespeicherung zielführend sein.

Die Förderung innovativer Systemlösungen auf Kläranlagen kann daher in den folgenden Fällen sinnvoll sein:

- ▶ Eine Technologie trägt erheblich zur CO₂-Reduktion bei und ist zudem technisch ausgereift, insbesondere dann, wenn die Lücke zur Rentabilität relativ gering ist. Zu nennen ist hier beispielhaft die Aufbereitung des Klärgases zu Methan. Solche Technologien können durch spezifische Förderprogramme auch in der Breite gefördert werden.
- ▶ Bei einer Technologie ist noch erheblicher Entwicklungsbedarf vorhanden bzw. eine Technologie wirkt vielversprechend und wurde zumindest im Kontext der Abwasserwirtschaft noch nicht oder selten getestet. Beispiele sind hier unter anderem die PEM-Elektrolyse oder der flexible Betrieb von Aggregaten inkl. der dafür notwendigen Messtechnik. In diesen Fällen ist eine Förderung von Pilotanlagen im Rahmen der Forschungsförderung angebracht.

In beiden Fällen müssen weitere robuste Analysen der Förderbedarfe durchgeführt werden, um zur Weiterentwicklung und Einführung innovativer Systemlösungen beizutragen, ohne diese zu überfordern.

5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die vorstehenden Kapitel machen deutlich, dass Kläranlagen bereits jetzt weit mehr Aufgaben als die reine Abwasserentsorgung wahrnehmen. Sie treten zusätzlich auch als Energieverbraucher und -erzeuger auf den entsprechenden Märkten auf und verfolgen dementsprechend auch wirtschaftliche Interessen bei der Vermarktung ihrer Erzeugnisse.

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über den anwendbaren Rechtsrahmen. Dabei wird deutlich, dass das Energierecht nicht auf die Teilnahme kommunaler Akteure, wie Kläranlagen, zugeschnitten ist. Vielmehr muss der allgemeine Rechtsrahmen herangezogen und auf seine Vereinbarkeit mit der kläranlagenspezifischen Ausgangssituation untersucht werden.

Im Folgenden werden daher die relevanten Normen für Kläranlagen als Stromverbraucher und -erzeuger, sowie als Wärme- und Wasserstoffherzeuger und als Systemdienstleister analysiert. Dabei werden bestehende Hemmnisse aufgezeigt und Weiterentwicklungsmöglichkeiten des rechtlichen Rahmens vorgestellt.

5.1 Kläranlagen als Stromverbraucher

In diesem Abschnitt wird die Stellung der Kläranlage auf Stromverbraucherseite und der rechtliche Rahmen der Letztverbraucherabgaben bei der Beziehung von Strom durch die Kläranlage dargestellt. Die Kläranlage kann entweder mit Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung gespeist werden oder den aus Klärgas erzeugten Strom über eine Direktleitung zur Eigenversorgung der Kläranlage nutzen. Daneben kann das Gelände der Kläranlage unter Umständen auch als Standort für andere erneuerbare Energien-Anlagen, wie für Stromerzeugungsanlagen für Photovoltaik oder Wind dienen. Dabei kommen je nach Strombezugsoption verschiedene Ausnahmetatbestände und Privilegierungen in Betracht. Weitere Besonderheiten für die rechtlichen Einschätzungen des Stromverbrauchs können sich ergeben, wenn Kläranlagen außerdem als Kundenanlagen i. S. v. § 3 Nr. 24 EnWG³⁹ einzustufen sind. Des Weiteren werden an gegebener Stelle Flexibilisierungsoptionen und -anreize betrachtet und auf ihre Anwendbarkeit für Kläranlagenbetreiber untersucht.

5.1.1 Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung

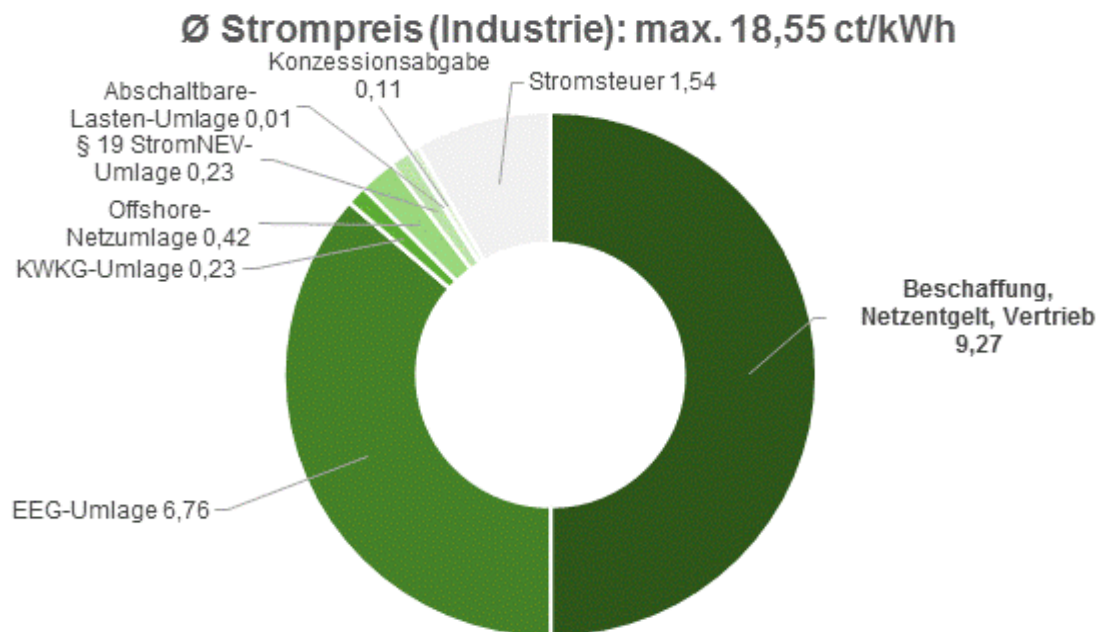
Für den Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung fallen Kostenbelastungen an, die sich grundsätzlich danach unterscheiden lassen, ob ihre Entstehung von dem Anschluss an ein Netz der allgemeinen Versorgung abhängig ist oder nicht (vgl. Abbildung 36).

Neben den eigentlichen Stromgestehungskosten zahlt ein Stromabnehmer zahlreiche Umlagen, Steuern und Abgaben, die entweder gegenüber dem Stromlieferanten oder dem Netzbetreiber zu entrichten sind. Nutzt er dazu das Netz der allgemeinen Versorgung, fallen neben Netzentgelten u. a. die KWK-Umlage, die § 19 Abs. 2 StromNEV-Umlage, die Offshore-Netzumlage sowie die Umlage nach der Verordnung über abschaltbare Lasten (AbLaV⁴⁰) an. Daneben gibt es noch die Konzessionsabgabe, die von den Gemeinden für die Einräumung des Rechts zur Benutzung öffentlicher Verkehrswege für die Verlegung und den Betrieb von Leitungen, die der unmittelbaren Versorgung von Letztverbrauchern im Gemeindegebiet mit Strom und Gas dienen, erhoben werden.

³⁹ Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

⁴⁰ Verordnung zu abschaltbaren Lasten vom 16. August 2016 (BGBl. I S. 1984), die zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 22. Dezember 2016 (BGBl. I S. 3106) geändert worden ist.

Abbildung 36: Stromnebenkosten für Letztverbraucher (Stand Januar 2020)



Quelle: Eigene Darstellung IKEM auf Basis von Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2020), BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020

Unabhängig von der Durchleitung durch bzw. dem Anschluss an ein Netz sind die Entstehung der Stromsteuer und der EEG-Umlage. Voraussetzung für ihre Entstehung ist grundsätzlich allein die Lieferung von Strom an einen Letztverbraucher bzw. der Eigenverbrauch. Ihre Höhe bestimmt sich unter anderem auch nach dem Vorliegen bestimmter Privilegierungen.

Letztverbraucher ist gemäß § 3 Nr. 33 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2017)⁴¹ jede natürliche oder juristische Person, die Strom verbraucht. Darunter fallen auch Speicher und PtX-Anlagen.⁴² Da dies zu wirtschaftlichen Problemen bei der Wettbewerbsfähigkeit mit konventionellen Energieprodukten führen kann, sind vereinzelt Privilegierungen diesbezüglich festgeschrieben.

5.1.1.1 EEG-Umlage und Umlagebegrenzungen

- **Entsteht bei Strombezug durch einen Letztverbraucher (§ 3 Nr. 33 EEG, 2017)**
- **Privilegierung**
 - für Strom zur Zwischenspeicherung in Speichern, wenn Rückverstromung stattfindet (§ 61l Abs. 1 EEG, 2017)
 - für Strom, der zur Erzeugung von Speichergas eingesetzt wird (§ 61l Abs. 2 EEG, 2017)
- **Privilegierung für besonders stromkostenintensive Unternehmen (besondere Ausgleichsregelung) gilt nicht für Kläranlagen (§ 64 EEG, 2017)**

⁴¹ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

⁴² IKEM (2018): Experimentierklauseln für verbesserte Rahmenbedingungen bei der Sektorenkopplung, Juristische Studie, S. 20; <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/03/Experimentierklausel-für-verbesserte-Rahmenbedingungen-bei-der-Sektorenkopplung.pdf> (09.12.2019).

5.1.1.1.1 Entstehung der EEG-Umlage

Auf Strom, der an einen Letztverbraucher geliefert wird, ist grundsätzlich die EEG-Umlage zu entrichten. Die EEG-Umlage dient als Ausgleich für Mehraufwendungen, die aufgrund der finanziellen Förderung von erneuerbaren Energien (insb. Einspeisevergütung bzw. Marktprämie) bestehen. So soll eine gleichmäßige Beteiligung aller Stromendverbraucher am Ausbau erneuerbarer Energien und der Energiewende gewährleistet werden.⁴³ Deshalb entsteht sie sowohl bei dem Bezug von Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung als auch bei der Eigenversorgung. Sie wird gemäß § 60 EEG 2017 von den vier großen Übertragungsnetzbetreibern erhoben und über die Elektrizitätsversorgungsunternehmen über die Stromkosten an die Letztverbraucher weitergeleitet. Die EEG-Umlage beträgt für das Jahr 2020 6,756 ct/kWh.⁴⁴

5.1.1.1.2 Reduzierungsmöglichkeiten

Insbesondere Kläranlagen, die neben klassischen Stromverbrauchseinrichtungen auch Speicher oder PtX-Anlagen nutzen, können bei Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung unter Umständen von Privilegierungen bei der EEG-Umlage profitieren.

5.1.1.1.2.1 Speicherprivileg

Wird Strom zur Zwischenspeicherung in einem elektrischen, chemischen, mechanischen oder physikalischen Stromspeicher eingespeichert, reduziert sich gemäß § 61 I Abs. 1 EEG 2017 der Anspruch auf die EEG-Umlage um den Betrag, der auf mit dem Zwischenspeicher erzeugten Strom gezahlt wird. Damit soll eine Doppelbelastung des Letztverbrauchers vermieden werden, da die EEG-Umlage sonst doppelt anfallen würde, sowohl für den Strom, der zum Betrieb des Speichers verbraucht wird, als auch bei der Entnahme des wiedereingespeisten Stroms aus dem Netz der allgemeinen Versorgung.

Laut § 61 I Abs. 2 EEG 2017 wird der für die Erzeugung von Speichergasen verbrauchte Strom ebenfalls von der EEG-Umlage befreit, in der Höhe und in dem Umfang, in der das Speichergas zur Stromerzeugung eingesetzt wird, auf den Strom die EEG-Umlage gezahlt wird und die Voraussetzungen der Massenbilanzierung in § 44b Abs. 5 EEG 2017 eingehalten werden (siehe auch Kapitel 5.2.3). Speichergase sind dabei alle Gase, die nicht als erneuerbare Energie i. S. d. EEG 2017 definiert sind, aber ausschließlich aus diesen erneuerbaren Energien zum Zweck der Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt werden, vgl. § 3 Nr. 42 EEG 2017.

5.1.1.1.2.2 Besondere Ausgleichsregelung

Grundsätzlich besteht für bestimmte stromkostenintensive Unternehmen die Möglichkeit einer Begrenzung der EEG-Umlage auf 15 – 20 % gemäß § 64 EEG 2017. Die Voraussetzungen dafür dürften für Kläranlagenbetreiber in der Regel jedoch nicht gegeben sein. Das antragsstellende Unternehmen müsste an einer Abnahmestelle einen Stromverbrauch von mehr als einer Gigawattstunde nachweisen und einer Branche in Liste 1 oder 2 der Anlage 4 zum EEG 2017 zugeordnet werden können. Allerdings fallen weder der Betrieb von Kläranlagen noch Energieerzeugung unter die in der Anlage privilegierten Branchen. In Betracht käme insoweit allenfalls die Branche Herstellung von Industriegasen, wenn der etwa mittels Elektrolyse hergestellter Wasserstoff sektorenübergreifend, beispielsweise in Brennstoffzellenfahrzeugen, verwendet werden sollte. Allerdings müsste die Herstellung des Gases dann eine Haupttätigkeit des Unternehmens

⁴³ BAFA (2019): Merkblatt für stromkostenintensive Unternehmen 2019; https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bar_merkblatt_unternehmen.html (17.04.2019).

⁴⁴ BNetzA (2019): EEG-Umlage 2020 beträgt 6,756 ct/kWh; https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191015_EEG.html (20.01.2020).

sein, um unter die entsprechende Klassifikation zu fallen. Das dürfte bei kommunal betriebenen Kläranlagen regelmäßig nicht der Fall sein.⁴⁵

5.1.1.2 Stromsteuer

- ▶ *Stromsteuer entsteht immer bei Entnahme von Strom durch einen Letztverbraucher aus dem Versorgungsnetz (§ 5 Abs. 1 StromStG).*
- ▶ *Befreiung für den zur Stromerzeugung aus dem Netz entnommenen Strom (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 StromStG).*
- ▶ *Befreiung für kleine Anlagen ≤ 2 MW, die Strom aus erneuerbaren Energien (z. B. Klär- gas) oder mit hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugen, der in räumlichen Zusammen- hang zu der Anlage entnommen wird, wenn der Strom an Letztverbraucher geleistet wird (§ 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. b StromStG)*
- ▶ *Privilegierungen nach § 9a StromStG oder § 9b StromStG keine Anwendung, weil Kläran- lagen keine Unternehmen des Produzierenden Gewerbes sind, wenn sie als Stromerzeu- ger auftreten.*

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Strompreises ist die Stromsteuer. Ihre Entstehung und mögliche Befreiungstatbestände sind im Stromsteuergesetz (StromStG)⁴⁶ geregelt. Grund- sätzlich fällt die Stromsteuer als Verbrauchssteuer bei jeder Entnahme von Strom aus dem Ver- sorgungsnetz an, § 1 Abs. 1 Satz 3, 5 Abs. 1 S. 1 Alt. 1 StromStG.

5.1.1.2.1 Entstehung

Gemäß § 5 Abs. 1 S. 1 Alt. 1 StromStG entsteht die Stromsteuer, wenn ein im Steuergebiet ansäs- siger Versorger Strom an einen Letztverbraucher leistet und der Strom durch den Letztverbrau- cher im Steuergebiet aus dem Versorgungsnetz entnommen wird. Steuerschuldner ist gemäß § 5 Abs. 2 StromStG zwar grundsätzlich der Versorger, d. h. nach § 2 Abs. 1 StromStG, derjenige, der Strom leistet. Allerdings wird die Steuer regelmäßig über die Stromrechnung an den Letztver- braucher weitergegeben.⁴⁷ Die Stromsteuer beträgt gemäß § 3 StromStG aktuell 20,50 Euro je Megawattstunde.

Die Stromsteuer entsteht gemäß § 5 Abs. 1 S. 1 Alt. 2 StromStG auch dann, wenn der Versorger Strom aus dem Versorgungsnetz zum Selbstverbrauch entnimmt. Ein Versorgungsnetz dient der Zuführung von Strom zu einer unbestimmten Anzahl von Verbrauchstellen. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Verbrauchstellen Dritten zuzurechnen sind.⁴⁸ Deshalb entsteht die Stromsteuer auch, wenn Eigenerzeuger Strom zum Selbstverbrauch im Steuergebiet entnehmen.

⁴⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen, S. 23; https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf;jsessionid=8CDB48BAAD8C63B4C90D92579EE017DB.internet711?_blob=publicationFile (09.12.2019).

⁴⁶ Stromsteuergesetz vom 24. März 1999 (BGBl. I S. 378; 2000 I S. 147), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Juni 2019 (BGBl. I S. 856, 908) geändert worden ist.

⁴⁷ Für das StromStG gilt der Letztverbraucherbegriff i. S. v. § 3 Nr. 25 EnWG: Natürliche oder juristische Personen, die Ener- gie für den eigenen Verbrauch kaufen; auch der Strombezug der Ladepunkte für Elektromobile steht dem Letztverbrauch im Sinne dieses Gesetzes und den auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Verordnungen gleich.

⁴⁸ Milewski in: Möhlenkamp, K.; Milewski, K. (2012): EnergieStG/StromStG-Kommentar, § 1 Rn. 6 ff.

5.1.1.2.2 Reduzierungsmöglichkeiten

5.1.1.2.2.1 § 9 Abs. 1 Nr. 2 StromStG

Strom, der zur Stromerzeugung aus dem Netz entnommen wird, ist nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 StromStG von der Stromsteuer befreit, um eine Doppelbesteuerung zu vermeiden. Darunter fällt nach Rechtsprechung des Bundesfinanzhofs⁴⁹ nur der Strom, dessen Verwendung in einem engen Zusammenhang mit der eigentlichen Stromerzeugung steht. Anlagenbetreiber, die ihr Klärgas erzeugen und verstromen, können unabhängig von der Größe ihrer Anlagen von dieser Privilegierung profitieren.

Daneben sind solche Neben- und Hilfseinrichtungen in die Begünstigung mitaufzunehmen, ohne die eine Stromerzeugungsanlage nicht betrieben werden kann. Darunter fallen gemäß § 12 Abs. 1 Nr. 2 StromStV⁵⁰ z. B. Anlagen zur Wasseraufbereitung, Dampferzeugerwasserspeisung, Frischluftversorgung, Brennstoffversorgung oder Rauchgasreinigung, wobei diese Auflistung nicht abschließend ist.⁵¹ Der Strom, der zur Herstellung anderer Energieerzeugnisse entnommen wird, die erst in einem weiteren Schritt zur Energieerzeugung eingesetzt werden, sei davon nicht umfasst. Darunter würde beispielsweise Strom zur Erzeugung von Klärgas fallen, welches zu Biomethan oder Wasserstoff veredelt werden soll. Auch die Klärschlammaufbereitung zum Zwecke der Brennstoffproduktion fällt nicht in den Tatbestand der Steuerbefreiung.⁵²

5.1.1.2.2.2 § 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. b StromStG

Für kleine Anlagen von bis zu 2 MW, welche Strom aus erneuerbaren Energien oder hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugen, der in räumlichen Zusammenhang zu der Anlage entnommen wird, kommt eine Stromsteuerbefreiung nach § 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. b StromStG in Betracht, wenn der Strom, von demjenigen, der die Anlage betreibt oder betreiben lässt, an Letztverbraucher geleistet wird.

5.1.1.2.2.3 § 9a StromStG/§ 9b StromStG

Stromsteuerbefreiungen nach § 9a StromStG für bestimmte Prozesse und Verfahren, einschließlich der Elektrolyse, oder § 9b StromStG für bestimmte Unternehmen kommen grundsätzlich nicht in Betracht, da beide Normen ein produzierendes Gewerbe als Antragssteller vorsehen i. S. d. § 2 Nr. 3 StromStG. Kläranlagen fallen als Abwasserbeseitigungsunternehmen jedoch in der Regel nicht darunter.

5.1.1.3 Netzentgelte

- *Für Zugang zu Übertragungs- oder Verteilungsnetzen, Berechnung bestimmt sich nach der StromNEV*
- *Privilegierungen für Anlagen, die Flexibilität anbieten und so zur Stabilisierung des Netzes beitragen können*
- *Befreiung für Speicher, die ab 2009 errichtet und ab 04. August 2011 in Betrieb genommen wurden, bei Rückverstromung (§ 118 Abs. 6 EnWG)*

⁴⁹ BFH, Urteil vom 09.09.2011, VII R 75/10.

⁵⁰ Stromsteuer-Durchführungsverordnung vom 31. Mai 2000 (BGBl. I S. 794), die zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juni 2019 (BGBl. I S. 856, 908) geändert worden ist.

⁵¹ Möhlenkamp in: Möhlenkamp, K.; Milewski, K. (2012): EnergieStG/StromStG-Kommentar, § 9 Rn. 9.

⁵² FG Düsseldorf vom 21. 9. 2005 4 K 2253/04, EFG 2006, 1290.

- *Befreiung für Anlagen, in denen mittels Wasserelektrolyse Wasserstoff erzeugt wird oder in denen Gas oder Biogas durch wasserelektrolytisch hergestellten Wasserstoff und anschließender Methanisierung hergestellt wird; keine Rückverstromung erforderlich (§ 118 Abs. 6 Satz 7 EnWG)*
- *Individuelles Netzentgelt bei atypischer Netznutzung durch einen Letztverbraucher (§ 19 Abs. 2 Satz 1 StromNEV)*
- *Individuelles Netzentgelt bei Rückverstromung eingespeicherten Stroms (§ 19 Abs. 4 StromNEV)*

Bei den Energieversorgungsnetzen besteht ein natürliches Monopol, weil sich der Bau paralleler Netzstrukturen volkswirtschaftlich nicht lohnen würde. Die Bedingungen für den Zugang zu den Netzen sowie die dafür anfallenden Netzentgelte sind daher detailliert reguliert. Netzentgelte sind grundsätzlich immer dann zu entrichten, wenn Strom aus einem Netz bezogen wird. Sie dienen den Netzbetreibern zur solidarischen Finanzierung des Betriebs, der Unterhaltung und den Ausbau des Stromnetzes. Im Folgenden werden die grundsätzliche Entstehung des Netzentgeltanspruchs und insbesondere die für Kläranlagen relevanten Privilegierungsmöglichkeiten dargestellt.

5.1.1.3.1 Entstehung

Netzentgelte entstehen, wenn ein Zugang zu einem Übertragungs- oder Verteilungsnetz besteht und aus diesem Netz Strom bezogen wird. Ihre Höhe berechnet sich auf Grundlage von § 17 Abs. 2 StromNEV⁵³. Sie bestimmt sich aus einem Jahresleistungspreis in Euro pro Kilowatt und einem Arbeitspreis in Cent pro Kilowattstunde pro Entnahmestelle. Dadurch sollen die Kosten einer Netz- oder Umspannebene grundsätzlich möglichst verursachungsgerecht auf die Nutzer der entsprechenden Ebenen verteilt werden, § 16 Abs. 1 StromNEV.

5.1.1.3.2 Netzentgeltbefreiungen und -privilegierungen

5.1.1.3.2.1 Netzentgeltbefreiungen für Speicher nach § 118 Abs. 6 EnWG

Befreiungen von Netzentgelten kommen aufgrund von § 118 Abs. 6 EnWG vor allem im Zusammenhang mit Speichern in Betracht. Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie, die nach dem 31. Dezember 2008 errichtet wurden und ab 04. August 2011 innerhalb von 15 Jahren in Betrieb genommen werden, sind für 20 Jahre hinsichtlich des Strombezugs von Netzentgelten befreit. Voraussetzung ist, dass die entnommene Energie zeitlich versetzt wieder in das Netz eingespeist wird, § 118 Abs. 6 Satz 1,3 EnWG. Damit wird sichergestellt, dass für jede Strommenge nur einmal Netzentgelte entrichtet werden müssen.

Darüber hinaus sind gemäß § 118 Abs. 6 Satz 7 EnWG Anlagen, in denen mittels Wasserelektrolyse Wasserstoff erzeugt wird oder in denen Gas oder Biogas durch wasserelektrolytisch hergestellten Wasserstoff und anschließender Methanisierung hergestellt wird, unabhängig von einer späteren Rückverstromung von Netzentgelten befreit. Dasselbe gilt für die Einspeiseentgelte des Gasnetzes, an das sie angeschlossen sind, § 118 Abs. 6 Satz 8 EnWG.

⁵³ Stromnetzentgeltverordnung vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2225), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

5.1.1.3.2.2 *Reduziertes Netzentgelt für steuerbare Verbrauchseinrichtungen nach § 14a EnWG*

§ 14a EnWG gibt Lieferanten und Letztverbrauchern im Bereich von Niederspannungsnetzen gegenüber Elektrizitätsverteilernetzbetreibern einen Anspruch auf Berechnung eines reduzierten Netzentgelts, wenn mit ihnen im Gegenzug die netzdienliche Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, die über einen separaten Zählpunkt verfügen, vereinbart wird.

Damit soll das Netz entlastet werden, indem dem Verteilnetzbetreiber die Möglichkeit gegeben wird, die Anlage bei Überschussstrom anzusteuern und so einen Netzengpass zu verhindern.

Auch wenn die Voraussetzungen dieser Privilegierung für Betreiber von Kläranlagen nach der derzeitigen Fassung in der Regel noch nicht gegeben sind, birgt die Norm zukünftig großes Potenzial, auch kleinere Akteure an der Flexibilisierung des Stromnetzes zu beteiligen. Bei einer Ausweitung der Norm bspw. auf die Mittelspannungsebene könnte sich der Anwendungsbereich auch für Kläranlagenbetreiber eröffnen.

5.1.1.3.2.3 *Netzentgeltreduzierung aufgrund atypischer Netznutzung nach § 19 Abs. 2 Satz 1 StromNEV*

Zur Förderung flexiblen Verhaltens ist der Elektrizitätsversorgungsnetzbetreiber verpflichtet, einem Letztverbraucher ein individuelles Netzentgelt anzubieten, wenn auf Grundlage vorliegender oder prognostizierter Verbrauchsdaten oder auf Grund technischer oder vertraglicher Gegebenheiten offensichtlich ist, dass der Höchstlastbeitrag eines Letztverbrauchers vorhersehbar erheblich von der zeitgleichen Jahreshöchstlast aller Entnahmen aus dieser Netz- oder Umspannebene abweicht (atypische Netznutzung). Eine solche Form der Netznutzung trägt zur Stabilisierung des Netzes und damit zu dessen Entlastung bei.⁵⁴ Die Vereinbarung bedarf aufgrund von § 19 Abs. 2 Satz 5 StromNEV der Genehmigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) als zuständiger Regulierungsbehörde. Das Netzentgelt kann auf maximal 20 Prozent des veröffentlichten Netzentgelts beschränkt werden, § 19 Abs. 2 Satz 2 a. E. StromNEV.

5.1.1.3.2.4 *Netzentgeltreduzierung bei konstanter intensiver Netznutzung nach § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV*

Der Netzbetreiber muss auch dann ein individuelles Netzentgelt anbieten, wenn die Stromabnahme aus dem Netz der allgemeinen Versorgung für den eigenen Verbrauch an einer Abnahmestelle pro Kalenderjahr die Benutzungsstundenzahl von mindestens 7.000 Stunden im Jahr erreicht und der Stromverbrauch an dieser Abnahmestelle pro Kalenderjahr zehn Gigawattstunden übersteigt. Die Höhe des individuellen Netzentgelts beträgt zwischen 10 und 20 Prozent des veröffentlichten Netzentgelts und richtet sich nach der jeweiligen Benutzungsstundenzahl, § 19 Abs. 2 Satz 3 StromNEV.

5.1.1.3.2.5 *Individuelles Netzentgelt für Speicher nach § 19 Abs. 4 StromNEV*

Betreiber von Stromspeichern, die den entnommenen Strom ausschließlich zur Speicherung in einem Stromspeicher verwenden und den zurückgewonnenen Strom wieder in das Netz einspeisen, können von den Betreibern von Elektrizitätsversorgungsnetzen ebenfalls ein individuelles Netzentgelt verlangen.

5.1.1.4 **Netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen**

► **Netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen entstehen nur bei Netzstrombezug.**

⁵⁴ BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 252.

- *Privilegierungen bei der KWK-Umlage orientieren sich an Privilegierungstatbeständen der EEG-Umlage (§§ 27 ff. KWKG), insbesondere Umlagebefreiung für Strom in Zwischenspeichern.*
- *Kläranlagen in der Regel Sondervertragskunden, sodass die Konzessionsabgabe nicht höher 0,11 ct/kWh ausfallen darf.*
- *Weitere netzentgeltgekoppelte Umlage: § 19 StromNEV-Umlage und Offshore-Netzumlage, bei denen unter Umständen ebenfalls Privilegierungen vorliegen können.*

Eine Befreiung von den Netzzugangsentgelten führt nicht automatisch zu einer Befreiung von daneben bestehenden, netzentgeltgekoppelten gesetzlichen Umlagen und Abgaben.⁵⁵ Ob sich bei diesen weitere Privilegierungen ergeben können, richtet sich nach den jeweils geltenden Regelungen, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

5.1.1.4.1 KWK-Umlage

Die KWK-Umlage dient der Finanzierung der Fördertatbestände des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG)⁵⁶, § 26 Abs. 1 Satz 1 KWKG.

Die §§ 27 ff. KWKG enthalten Begrenzungen und Reduzierungen der KWK-Umlage. Die Normen orientieren sich diesbezüglich an den Privilegierungstatbeständen bezüglich der EEG-Umlage.

Daher ist für die KWK-Umlage für Strom zur Zwischenspeicherung in einem elektrischen, chemischen, mechanischen oder physikalischen Stromspeicher gemäß § 27 b KWKG i. V. m. § 61 I EEG 2017 die Möglichkeit einer Reduzierung vorgesehen.

In Entsprechung findet dazu die Privilegierung für stromkostenintensive Unternehmen aus § 27 Abs. 1 Satz 2 KWKG i. V. m. § 64 EEG 2017 keine Anwendung, weil Kläranlagen nicht in den Anwendungsbereich der Norm fallen.⁵⁷

5.1.1.4.2 Konzessionsabgabe

Die Konzessionsabgabe dient laut § 1 Abs. 2 KAV⁵⁸ der Finanzierung der Wegerechte, die Energieversorgungsunternehmen von den Gemeinden für die Stromleitungen eingeräumt bekommen haben.

Die zulässigen Höchstbeträge für die Konzessionsabgabe richtet sich bei Tarifikunden nach § 2 Abs. 2 KAV und für Sondervertragskunden nach § 2 Abs. 3 KAV. Kläranlagen werden in der Regel Sondervertragskunden sein, sodass die Konzessionsabgabe auf maximal 0,11 ct/kWh gedeckelt ist.⁵⁹ Sondervertragskunden, deren Durchschnittstrompreis den Durchschnittserlös aus der Lieferung von Strom an alle Sondervertragskunden unterschreitet, können von der Konzessionsabgabe gemäß § 2 Abs. 4 KAV befreit werden. Dieser sog. Grenzwert wird durch das Statistische

⁵⁵ BGH, Beschluss vom 20.06.2017 – EnVR 24/16–, EnWZ 2017, 454.

⁵⁶ Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

⁵⁷ Siehe Kapitel 5.1.1.2.2.

⁵⁸ Konzessionsabgabenverordnung vom 9. Januar 1992 (BGBl. I S. 12, 407), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 1. November 2006 (BGBl. I S. 2477) geändert worden ist.

⁵⁹ BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 256.

Bundesamt bestimmt und veröffentlicht und betrug im Jahr 12,50 Cent je Kilowattstunde (eine Steigerung um 0,2 Prozent im Vergleich zum Vorjahr).⁶⁰

5.1.1.4.3 § 19 StromNEV-Umlage

Um die Privilegierungen für atypische oder stromintensive Netznutzung aus § 19 StromNEV zu finanzieren, wurde in § 19 Abs. 2 Satz 15 StromNEV ebenfalls die Erhebung einer entsprechenden Umlage vorgesehen.

5.1.1.4.4 Offshore-Netzumlage

Die Offshore-Netzumlage (bis Ende 2018 Offshore-Haftungsumlage) ist in § 17f Abs. 1 Satz 1 EnWG geregelt und dient der Finanzierung von Entschädigungen für Störungen oder Verzögerungen der Netzanbindung von Offshore-Anlagen aus § 17e EnWG sowie seit 2019 auch der Finanzierung der Offshore-Netzanbindung.⁶¹

5.1.1.4.5 Umsatzsteuer

Die Umsatzsteuer beträgt gemäß § 12 Abs. 1 UstG 19 Prozent des steuerpflichtigen Umsatzes und macht damit einen wesentlichen Bestandteil des Gesamtstrompreises aus. Sie wird auf Grundlage des vertraglich vereinbarten Strompreises zuzüglich der gesetzlichen Strompreisbestandteile nach § 1 Abs. 1 Nr. 1 UStG erhoben.

5.1.2 Eigenversorgungskonstellationen

Wenn Kläranlagen den Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung durch den aus Strom aus eigener Erzeugung (siehe auch Kapitel 5.2) ersetzen, können sich daraus unter Umständen reduzierte Stromkosten ergeben, wenn die Voraussetzungen von Eigenversorgung erfüllt sind.

5.1.2.1 Netzentgelte

Die Eigenversorgung hat den Vorteil, dass für den Strom aus eigener Erzeugung keine Netzentgelte und auch keine netzentgeltgekoppelten Abgaben und Umlagen entrichtet werden müssen, weil das Netz in diesem Umfang nicht genutzt wird.

5.1.2.2 EEG-Umlage

- ▶ *Eigenversorgung i. S. d. § 3 Nr. 2 EEG 2017 EEG 2017 setzt Personenidentität zwischen Betreiber und Verbraucher und einen unmittelbaren räumlichen Zusammenhang voraus.*
- ▶ *Bei Eigenversorgung grundsätzlich Reduktion auf 40 % des vollen Umlagesatzes (§ 61b EEG 2017).*
- ▶ *U. U. Befreiung bei Eigenversorgung möglich (§ 61a EEG 2017) für:*
 - *Kraftwerkseigenverbrauch,*
 - *Inselanlagen,*
 - *Stromautarkie,*

⁶⁰ Statistisches Bundesamt (2018): Durchschnittserlös bei Strom 2017 um 1,3 % gegenüber Vorjahr gestiegen; https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/11/PD18_446_433.html (28.08.2019).

⁶¹ BT-Drs. 18/12999, S. 13, 18.

- **Kleinanlagen mit höchstens 10 kW Nennleistung.**
- **Daneben Reduzierung der EEG-Umlage auf 40 % für hocheffiziente KWK-Anlagen möglich (§ 61c/§ 61d EEG 2017).**

5.1.2.2.1 Entstehung

Eigenversorgung ist nach § 3 Nr. 19 EEG 2017 der Verbrauch von Strom, den eine natürliche oder juristische Person im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit der Stromerzeugungsanlage selbst verbraucht, wenn der Strom nicht durch ein Netz durchgeleitet wird und diese Person die Stromerzeugungsanlage selbst betreibt. Die wesentlichen Voraussetzungen der Eigenversorgung sind demnach die Personenidentität zwischen Betreiber und Verbraucher und der unmittelbare räumliche Zusammenhang.

Betreiber einer Anlage ist laut § 3 Nr. 2 EEG 2017, wer unabhängig von der Eigentümerstellung die Anlage für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien oder Grubengas nutzt. Dabei liegt eine Anlage vor, bei jeder Errichtung zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien oder Grubengas sowie bei Einrichtungen, die zwischengespeicherte Energie, die ausschließlich aus erneuerbaren Energien oder Grubengas stammt, aufnehmen und in elektrische Energie umwandeln kann, § 3 Nr. 1 EEG 2017.

Für das Merkmal des unmittelbaren räumlichen Zusammenhangs sieht das EEG 2017 keine Legaldefinition vor. Nach dem Leitfaden zur Eigenversorgung der BNetzA ist ein solcher gegeben, wenn eine geringe räumliche Entfernung oder unmittelbare Umgebung zwischen der Stromerzeugungsanlage und der Verbrauchsstelle besteht. Eine solche kann bejaht werden, wenn sich beide in demselben Gebäude oder zumindest auf demselben Grundstück befinden und der räumliche Zusammenhang nicht durch große Entfernungen oder physische Hindernisse, wie etwa öffentliche Straßen oder andere Gebäude unterbrochen wird. Das Vorliegen eines unmittelbaren räumlichen Zusammenhangs hängt deshalb aufgrund seiner unbestimmten Voraussetzungen vom Einzelfall ab. Eine genaue Entfernungsangabe zwischen Stromerzeuger und -verbraucher wurde bisher nicht definiert.⁶²

Gemäß § 61 Abs. 1 EEG 2017 muss die EEG-Umlage grundsätzlich auch bei Eigenversorgung bzw. wenn Strom verbraucht wird, der nicht von einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen geliefert wird, entrichtet werden. Für die Erhebung der EEG-Umlage besteht dann eine Zuständigkeit bei den Verteilnetzbetreibern an deren Netz die Anlage unmittelbar oder mittelbar angeschlossen ist, § 61 j EEG 2017. Allerdings reduziert sich die Höhe der EEG-Umlage gemäß § 61b EEG 2017 auf 40 Prozent des vollen Umlagesatzes.

5.1.2.2.2 Reduzierungsmöglichkeiten

Bei der Inanspruchnahme von Privilegierungen der EEG-Umlage bei der Eigenversorgung ist das sog. *Gleichzeitigkeitserfordernis* zu beachten. Gemäß § 62b Abs. 5 EEG, 2017 muss bei der Berechnung der selbst erzeugten und verbrauchten Strommengen Strom nur bis zu der Höhe des aggregierten Eigenverbrauchs, bezogen auf jedes 15-Minuten-Intervall (Zeitgleichheit), berücksichtigt werden. Dem Eigenerzeuger obliegt die Verpflichtung, die Einhaltung dieses sog. ¼-h-

⁶² BNetzA (2016): Leitfaden zur Eigenversorgung, S. 36; https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Eigenversorgung/Finaler_Leitfaden.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (10.12.2019).

Maßstabes im Einzelfall nachzuweisen. Soweit auf der Kläranlage viertelstundenscharfe Messungen (RLM) erfolgen und neben dem Kläranlagenbetreiber/Eigenerzeuger kein weiterer Strom-letzterverbraucher vorhanden ist, ergeben sich daraus keine Schwierigkeiten.⁶³

Besteht ein Anspruch auf eine Privilegierung, kann diese jedoch gemäß § 61i EEG 2017 teilweise oder vollständig entfallen, wenn der Letztverbraucher oder Eigenversorger seinen Mitteilungspflichten aus § 74a EEG 2017 nicht nachkommt.

Die folgende Darstellung bezieht sich maßgeblich auf die Möglichkeiten der Reduzierung der EEG-Umlage bei neueren Anlagen. Der Anspruch auf Zahlung der EEG-Umlage kann außerdem vollständig entfallen, wenn die Stromerzeugungsanlage eine Bestandsanlage im Sinne von § 61e – 61g EEG 2017 darstellt.

5.1.2.2.2.1 § 61a (Nr. 1-4) EEG, 2017

Gemäß § 61a EEG 2017 entfällt die EEG-Umlage vollständig, soweit der Strom zur Stromerzeugung verbraucht wird (Kraftwerkseigenverbrauch, Nr. 1), wenn die Stromerzeugungsanlage des Eigenversorgers weder unmittelbar noch mittelbar an ein Netz angeschlossen ist (Inselanlagen, Nr. 2), wenn sich der Eigenversorger vollständig mit Strom aus erneuerbaren Energien oder Grubengas versorgt und für den Strom, den er nicht selbst verbraucht, keine Förderung nach Teil 3 des EEG in Anspruch nimmt (Stromautarkie, Nr. 3) oder für höchstens 10 Megawattstunden selbst verbrauchten Strom pro Kalenderjahr, befristet auf 20 Jahre ab Inbetriebnahme, wenn Strom aus Stromerzeugungsanlagen mit einer installierten Leistung von höchstens 10 Kilowatt erzeugt wird (Kleinanlagen, Nr. 4).

5.1.2.2.2.2 § 61c EEG 2017/§61d EEG, 2017

Liegen die o. g. Voraussetzungen nicht vor, kann sich die EEG-Umlage gemäß § 61c oder § 61d EEG 2017 ebenfalls auf 40 Prozent reduzieren, soweit es sich um eine hocheffiziente KWK-Anlage i. S. v. § 53a Abs. 6 Satz 5 des Energiesteuergesetzes (EnergieStG)⁶⁴ handelt. § 61c Abs. 1 EEG 2017 ist direkt nur auf Anlagen mit einer installierten Leistung bis einschließlich 1 MW oder mehr als 10 MW anwendbar. Letzteres dürfte für die Stromerzeugung auf Kläranlagen regelmäßig keine Relevanz haben. Die Stromerzeugung muss gemäß § 61c Abs. 1 S. 1 Nr. 1 EEG 2017 auf Grundlage gasförmiger Brennstoffe erfolgen, wozu sowohl Klärgas als auch Biomethan gehören würden. Die Anlage muss zudem einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % aufweisen für das Jahr in dem die Umlagenbegrenzung erfolgen soll bzw. einen Monatsnutzungsgrad von 70 %, wenn die Begrenzung nur in einem Kalendermonat in Anspruch genommen werden soll, § 61c Abs. 1 S. 1 Nr. 3 EEG 2017. Ausweislich § 61c Abs. 2 EEG 2017 wird Abs. 1 der Norm entsprechend auf hocheffiziente KWK-Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 1 Megawatt und bis einschließlich 10 Megawatt angewandt. Keine Anwendung findet die Privilegierung auf KWK-Anlagen, die erstmals nach dem 31. Juli 2014, aber vor dem 1. Januar 2018 zur Eigenversorgung genutzt wurden (sog. Bestandsanlagen).

Auch für die Anwendung von § 61d EEG 2017 kommt es entscheidend darauf an, wann die Anlage in Betrieb genommen wurde. Effektiv verbleibt für die Norm ein zeitlicher Anwendungsbereich für das Jahr 2018, sodass mangels einer allgemeinen Bedeutung der Norm von der Erläuterung ihrer weiteren Voraussetzungen abgesehen wird. Alle hocheffizienten KWK-Anlagen, die ab dem 01.01.2019 zur Eigenversorgung genutzt werden, unterfallen wiederum dem Anwendungsbereich von § 61c EEG 2017, soweit dessen weiteren Voraussetzungen ebenfalls erfüllt sind.

⁶³ BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 252.

⁶⁴ Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Juni 2019 (BGBl. I S. 856, 908) geändert worden ist.

5.1.2.3 Stromsteuer

Um die europarechtlichen Beihilfebestimmungen zu erfüllen, sind insbesondere die Voraussetzungen für Privilegierungen bei der Stromsteuer bei Selbstverbrauch im Sommer 2019 reformiert worden. Dabei sollte ein klarer Anwendungsbereich definiert werden, um den Rechtsanwender ein größeres Maß an Rechtssicherheit zu gewähren. Das reformierte Gesetz ist schließlich am 01. Juli 2019 in Kraft getreten.⁶⁵

- ▶ ***Stromsteuer entsteht gemäß § 5 Abs. 1 S. 2 StromStG grundsätzlich auch bei Selbstverbrauch.***
- ▶ ***Befreiung für aus erneuerbaren Energien, z. B. Klärgas, erzeugten Strom in Anlagen > 2 MW, der zum Selbstverbrauch bezogen wird (§ 9 Abs. 1 Nr. 1 StromStG)***
- ▶ ***Befreiung für kleine Anlagen ≤ 2 MW an, die Strom aus erneuerbaren Energien oder mit hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugen, der vom Anlagenbetreiber als Eigenerzeuger im räumlichen Zusammenhang zum Selbstverbrauch entnommen wird (§ 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. a StromStG)***

5.1.2.3.1 Entstehung

Die Stromsteuer entsteht gemäß § 5 Abs. 1 S. 2 StromStG auch in den Fällen, in denen der Eigenerzeuger Strom zum Selbstverbrauch entnimmt. Steuerschuldner ist dann gemäß § 5 Abs. 2 StromStG der Stromerzeuger und Anlagenbetreiber.

5.1.2.3.2 Reduzierungsmöglichkeiten

5.1.2.3.2.1 § 9 Abs. 1 Nr. 1 StromStG

Von der Stromsteuer befreit ist laut § 9 Abs. 1 Nr. 1 StromStG Strom, der in Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung von mehr als zwei Megawatt aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt und vom Betreiber der Anlage am Ort der Erzeugung zum Selbstverbrauch entnommen wird. Voraussetzung ist demnach Personenidentität zwischen Stromerzeugungsanlagenbetreiber und Verbraucher. Anders als unter der vorherigen Gesetzgebung ist keine Direktleitung zwischen der erneuerbaren-Energien-Anlage und dem Stromverbraucher mehr notwendig, um die Voraussetzungen für Steuerbefreiung zu erfüllen. Unter Strom aus erneuerbaren Energieträgern fällt laut § 2 Nr. 7 StromStG auch ausschließlich aus Klärgas erzeugter Strom.

5.1.2.3.2.2 § 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. a StromStG

Eine weitere Ausnahme von § 5 Abs. 1 S. 2 StromStG findet sich in § 9 Abs. 1 Nr. 3 lit. a StromStG. Wenn die Voraussetzungen erfüllt sind, muss bei Eigenerzeugung in kleinen Anlagen ebenfalls keine Stromsteuer gezahlt werden.

Eine Stromsteuerbefreiung nach § 9 Abs. 1 Nr. 3a StromStG kommt für kleine Anlagen (bis 2 MW Nennleistung), die Strom aus erneuerbaren Energieträgern oder hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugen, der in räumlichen Zusammenhang entnommen und vom Anlagenbetreiber als Eigenerzeuger zum Selbstverbrauch entnommen wird, in Betracht. Der Befreiungstatbestand setzt die 2 MW-Grenze, Strom aus erneuerbaren Energieträgern oder hocheffizienten KWK-Anlagen und einen räumlichen Zusammenhang zwischen Erzeugungsanlage und Entnahmestelle voraus. Der

⁶⁵ BR-Drs. 05/19 vom 04.01.19, S. 1, 19, 36.

räumliche Zusammenhang wird in § 12b Abs. 5 StromStV legal definiert. Demnach ist ein räumlicher Zusammenhang bei Entnahmestellen im Radius von 4,5 km um die jeweilige Stromerzeugungsanlage gegeben.

5.1.3 Kundenanlagen

- ▶ *Soweit es sich bei Kläranlagen um Kundenanlagen im Sinne von § 3 Nr. 24 EnWG handelt, müssen sie nicht die Pflichten von Energieversorgungsnetzbetreibern erfüllen.*
- ▶ *Voraussetzung dafür ist, dass die Energieanlagen zur Abgabe von Energie auf der Kläranlage*
 - *mit dem Netz oder einer Energieerzeugungsanlage verbunden sind,*
 - *sich auf einem räumlich zusammengehörenden Gebiet befinden,*
 - *wettbewerblich unbedeutend sind oder fast ausschließlich dem betriebsnotwendigen Transport von Energie im eigenen Unternehmen dienen,*
 - *jedermann zum Zweck der Belieferung von angeschlossenen Letztverbrauchern für die Durchleitung von Energie diskriminierungsfrei und unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden.*
- ▶ *Liegen die Voraussetzungen vor, müssen für den dezentral erzeugten und auf der Anlage verbrauchten Strom weder Netzentgelte noch netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen gezahlt werden*

Erzeugen Kläranlagen Strom und liefern ihn an verschiedene Letztverbraucher, stellt sich die Frage, ob und wenn ja, ab welchem Umfang für den Anlagenbetreiber Pflichten, die mit dem Betrieb eines Energieversorgungsnetzes einhergehen, entstehen.

Energieversorgungsnetze sind gemäß § 3 Nr. 16 EnWG Elektrizitäts- und Gasversorgungsnetze über eine oder mehrere Spannungsebenen oder Druckstufen, es sei denn, es handelt sich um Kundenanlagen i. S. d. § 3 Nr. 24 EnWG. Kundenanlagen sind in § 3 Nr. 24a bzw. Nr. 24b EnWG definiert, um eine Abgrenzung zu den Energieversorgungsnetzen zu ermöglichen. Dadurch kann der Punkt bestimmt werden, an dem das regulierte (Energieversorgungs-)Netz beginnt und die unregulierte Kundenanlage endet.⁶⁶ Soweit eine Kundenanlage besteht, ist diese der Netzregulierung weitgehend entzogen. Das hat zur Folge, dass der Anlagenbetreiber zwar nicht die Pflichten eines Netzbetreibers erfüllen muss, jedoch auch die damit korrespondierenden Rechte, wie die Erhebung von Netzentgelten, nicht in Anspruch nehmen kann.

Kundenanlagen werden in § 3 Nr. 24 lit. a EnWG wie folgt definiert:

“Energieanlagen zur Abgabe von Energie,

- a) die sich auf einem räumlich zusammengehörenden Gebiet befinden,
- b) mit einem Energieversorgungsnetz oder mit einer Erzeugungsanlage verbunden sind,
- c) für die Sicherstellung eines wirksamen und unverfälschten Wettbewerbs bei der Versorgung mit Elektrizität und Gas unbedeutend sind und

⁶⁶ BT-Drucks. 17/6072, S. 51; BGH, Beschluss vom 18.10.2011 Rn. 11.

- d) jedermann zum Zweck der Belieferung der angeschlossenen Letztverbraucher im Wege der Durchleitung unabhängig von der Wahl des Energielieferanten diskriminierungsfrei und unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden“.

Die Anlage muss der Versorgung eines räumlich zusammenhängenden Gebietes (Lit. a) dienen. Dies erfordert physische Verbundenheit zwischen den vorhandenen Netzstrukturen, die unter der Herrschaftsbefugnis der Anlagenbetreiber stehen.⁶⁷ Das Merkmal wird von der Rechtsprechung eng ausgelegt und bedarf einer konkreten Prüfung des Einzelfalls, insbesondere dann, wenn das fragliche Gebiet von Straßen, Gleisen, Brücken und Ähnlichem gequert wird, die nicht hauptsächlich der Erschließung des Gebietes dienen.⁶⁸

Die Anlage muss zudem mit einem Energieversorgungsnetz oder mit einer Erzeugungsanlage verbunden sein (Lit. b).

Eine weitere Voraussetzung ist die wirtschaftliche Unbedeutendheit der Kundenanlage (Lit. c). Damit soll ein wirksamer und unverfälschter Wettbewerb zwischen den Energie- und Gasversorgungsunternehmen sichergestellt werden. Als Indizien können die Anzahl der angeschlossenen Letztverbraucher, die geografische Ausdehnung und die Menge der durchgeleiteten Energie herangezogen werden.⁶⁹ Diese stellen jedoch keinen abgeschlossenen Kriterienkatalog dar. Die Einordnung erfolgt vielmehr unter Berücksichtigung aller relevanten Umstände im Einzelfall. Ausnahmsweise können dafür auch die zwischen Letztverbrauchern und der Kläranlage geschlossenen Verträge in die Gesamtbetrachtung mit einbezogen werden. Übernimmt der Anlagenbetreiber gegenüber dem Letztverbraucher vertraglich zumindest teilweise die Pflichten eines Netzbetreibers, ist das Vorliegen einer Kundenanlage im Zweifel zu verneinen.⁷⁰

Darüber hinaus ist der Kläranlagenbetreiber verpflichtet, jedem an die Kläranlage angeschlossenen Letztverbraucher die freie Wahl seines Energielieferanten zu gestatten und die bezogene Energie durch die Anlage hindurchleiten, ohne hierfür einen verbrauchsabhängigen Betrag im Sinne eines Netznutzungsentgelts zu erheben.⁷¹

Liegt eine der Voraussetzungen des § 3 Nr. 24 lit. a EnWG nicht vor, könnte es sich noch um eine betriebliche Kundenanlage nach § 3 Nr. 24 lit. b EnWG handeln. Diese werden abweichend von § 3 Nr. 24 lit. a EnWG in § 3 Nr. 24 lit. b EnWG „Kundenanlagen zur betrieblichen Eigenversorgung“ wie folgt legal definiert:

"Energieanlagen zur Abgabe von Energie,

- a) die sich auf einem räumlich zusammengehörenden Betriebsgebiet befinden,
- b) mit einem Energieversorgungsnetz oder mit einer Erzeugungsanlage verbunden sind,
- c) fast ausschließlich dem betriebsnotwendigen Transport von Energie innerhalb des eigenen Unternehmens oder zu verbundenen Unternehmen oder fast ausschließlich dem der Bestimmung des Betriebs geschuldeten Abtransport in ein Energieversorgungsnetz dienen und

⁶⁷ Theobald in: Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EnWG § 3 Rn. 205c.

⁶⁸ Vgl. z. B. OLG Düsseldorf, 13.06.2018 - 3 Kart 48/17, Rn. 15.

⁶⁹ BT-Drs. 17/6072, S. 51.

⁷⁰ Theobald in: Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EnWG § 3 Rn. 205e.

⁷¹ BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 251.

- d) jedermann zum Zwecke der Belieferung der an sie angeschlossenen Letztverbraucher im Wege der Durchleitung unabhängig von der Wahl des Energielieferanten diskriminierungsfrei und unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden."

Im Unterschied zu § 3 Nr. 24 lit. a EnWG muss die Energieanlage „fast ausschließlich dem betriebsnotwendigen Transport von Energie innerhalb des eigenen Unternehmens“ dienen. Zu dem Merkmal des „fast“ ausschließlichen Energietransports gibt es in der Gesetzesbegründung keine weiteren klarstellenden Ausführungen. Es kann jedoch davon auszugehen sein, dass die Voraussetzung bejaht werden kann, wenn um die 90 % des über die Kundenanlage verteilten Stroms vom Unternehmen selbst genutzt werden.⁷²

Erfüllt eine Kläranlage, die auf ihrem Betriebsgelände eine Stromerzeugungsanlage betreibt, die Voraussetzungen von § 3 Nr. 24 lit. a bzw. lit. b EnWG, werden für den dezentral Erzeugten und auf der Anlage verbrauchten Strom weder Netzentgelte noch netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen fällig. Den Kläranlagenbetreiber treffen zudem keine Pflichten, die Versorgungsbetreibern auferlegt werden.

5.1.4 Anreize für flexibles Verbrauchsverhalten

Der Gesetzgeber hat verschiedene Anreize geschaffen, um Verbraucher zu flexiblem Netznutzungsverhalten zu motivieren. Flexible Stromanwendungen sollen zu einer effizienten Netzauslastung beitragen (vgl. auch Kapitel 3.3.1).

Solche Anreize liegen beispielsweise im reduzierten Netzentgelt für steuerbare Verbrauchseinrichtungen gemäß § 14a EnWG oder in dem Angebot eines individuellen Netzentgelts nach § 19 Abs. 2 S. 1 StromNEV aufgrund atypischer Höchstlasten.

Die Regelungen sollen dazu beitragen, den Verbraucher durch freiwillige Verhaltensanpassungen bei seiner Netznutzung zur Stabilisierung des Stromnetzes und zu dessen Entlastung zu motivieren, indem er bspw. bei der Netzentgeltspflicht privilegiert wird.⁷³ Die obigen Ausführungen zeigen jedoch, dass Anreize für flexibles netz- und systemdienliches Nutzerverhalten sich noch nicht in ausreichenden Ausmaß in der energierechtlichen Ausgestaltung wiederfinden.

Soweit diesbezügliche Hemmnisse abgebaut werden sollen, bietet sich eine grundlegende Reform der Strompreisbestandteile, ausgerichtet an den Kriterien der Netz- und Systemdienlichkeit an. Damit könnte ein kohärentes System geschaffen werden, das netz- und systemdienliches Verbrauchsverhalten durch eine Privilegierung bei einzelnen ausgewählten Strompreisbestandteilen (wie der EEG-Umlage oder der Stromsteuer) belohnt. Davon kann insbesondere die weitere Integration von Speicher- und Power-to-X-Technologien profitieren, die einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten können.

5.2 Kläranlagen als Stromerzeuger

Im Rahmen des nächsten Abschnitts wird der energiewirtschaftliche Rechtsrahmen für Kläranlagen als Stromerzeuger dargestellt. Die wesentlichen Stromerzeuger im Zusammenhang mit Kläranlagen sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) und Netzersatzanlagen (NEA). Insbesondere die Verstromung von Klärgas in Blockheizkraftwerken (BHKW) und die anschließende Einspeisung des Stroms in das Netz der allgemeinen Versorgung zählt zu den klassi-

⁷² Theobald in: Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EnWG § 3 Rn. 205k.

⁷³ BR-Drs. 245/05, S. 40; consentec/Fraunhofer ISI (2018): Optionen zur Weiterentwicklung der Netzentgeltsystematik für eine sichere, umweltgerechte und kosteneffiziente Energiewende, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), S. VI.

schen Möglichkeiten der Verbindung zwischen Kläranlagen und der Energiewirtschaft. Dabei beinhalten das EEG 2017 und das KWKG die vorrangig anzuwendenden Rechtsnormen. Während das KWKG die Verbesserung der Effizienz von Strom- und Wärmeerzeugung bezweckt, geht es im EEG 2017 um die Förderung von erneuerbaren Energien im Lichte des Klima- und Umweltschutzes. Beide Gesetze unterliegen stetigen Anpassungen und Weiterentwicklungen. Deshalb kommt dem Datum der Inbetriebnahme einer Stromerzeugungsanlage eine wichtige Bedeutung zu. Die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme gesetzlich festgelegte Förderung kann grundsätzlich über den gesamten Förderzeitraum beansprucht werden. In Betracht kommt dabei eine Förderung entweder nach dem EEG oder nach dem KWKG. Die gleichzeitige Inanspruchnahme beider Förderinstrumente ist durch den Gesetzgeber nicht vorgesehen, § 1 Abs. 3 KWKG (Ausschlusslichkeitsprinzip).

Die Massenbilanzierung des Klärgases, die die Möglichkeiten nach dem EEG 2017 und KWKG grundsätzlich erweitert, wird ebenso vorgestellt, wie Anreize und Verpflichtungen zu einem flexiblen Verhalten für die BHKW-Stromerzeugung auf Kläranlagen.

Den folgenden Ausführungen liegt der zum Stand der Bearbeitung (Januar 2020) aktuell geltende Rechtsrahmen zugrunde. Aufgrund der Vielzahl denkbarer Fördermöglichkeiten für Bestandsanlagen konzentriert sich die Betrachtung auf Neuanlagen.

5.2.1 Klärgasverstromung und EEG-Vergütung

- ▶ *Ziel: Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energien*
- ▶ *Klärgas und Biomethan = erneuerbare Energien i. S. d. EEG (§ 3 Nr. 21 lit. e EEG, 2017)*
- ▶ *EE-Stromerzeugungsanlagen haben Anspruch auf vorrangigen Netzanschluss (§ 8 EEG, 2017) und auf die vorrangige Abnahme, Übertragung und Verteilung des erzeugten Stroms (§ 11 EEG 2017)*
- ▶ *§ 19 EEG, 2017: unter bestimmten Voraussetzungen Anspruch auf Vergütung des erzeugten Stroms*
- ▶ *kleinere Anlagen < 100 kW ggf. feste Einspeisevergütung*
- ▶ *für Klärgas sonst Zahlung einer Marktprämie, deren Höhe gesetzlich und nicht über Ausschreibungen bestimmt wird (zwischen 5,66 und 6,49 ct/kWh; §§ 22 Abs. 6 Satz 2 EEG, 2017, 41 Abs. 2 EEG, 2017)*
- ▶ *alternativ Möglichkeit der sonstigen Direktvermarktung ohne Vergütungsanspruch (§ 21a EEG, 2017)*
- ▶ *Förderung nach dem EEG neben Förderung aus dem KWKG ausgeschlossen*

Die Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie wird durch das EEG 2017 gefördert. Ziel des EEG ist es, unter Berücksichtigung des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und die volkswirtschaftlichen Kosten gering zu halten. Zu diesem Zweck sollen die fossilen Ressourcen geschont und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien gefördert werden, § 1 Abs. 1 EEG 2017. Unter den Begriff „erneuerbare Energie“ im Sinne des EEG fällt gemäß § 3 Nr. 21 lit. e EEG 2017 auch Energie aus Biomasse, einschließlich Klärgas.

Die genauen Abgrenzungen von Klärgas zu anderen Biogasen sind im EEG 2017 nicht legal definiert. Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist Klärgas das Ergebnis des mikrobiellen Abbauprozesses von organischem Material (Klärschlamm) in Kläranlagen, der unter Luftabschluss in Faultürmen vergoren wird.⁷⁴

Es ist zwar nicht als Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung (BiomasseV)⁷⁵ förderfähig, die Netzbetreiber sind jedoch nach dem EEG 2017 verpflichtet, eine Zahlung für den aus Klärgas beispielsweise mittels eines BHKW erzeugten Strom zu leisten, § 19 EEG 2017, vorausgesetzt, der Strom wird in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist. Daneben führt die Einordnung von Klärgas als erneuerbare Energie dazu, dass Anlagen zur Stromerzeugung aus Klärgas nicht nur gemäß § 8 EEG 2017 vorrangig gegenüber konventionellen Stromerzeugern an das nächste technisch geeignete Netz anzuschließen sind. Darüber hinaus besteht auch ein Anspruch auf die vorrangige Abnahme, Übertragung und Verteilung des erzeugten Stroms nach § 11 EEG 2017.

Für Kläranlagen besteht grundsätzlich die Möglichkeit, im Rahmen der Direktvermarktung gemäß §§ 19 Abs. 1 Nr. 1, 20 EEG 2017 eine Marktprämie zu erhalten. Die Höhe der Marktprämie ist für Klärgas in § 22 Abs. 6 Satz 2 EEG 2017 gesetzlich bestimmt, weil die Wettbewerbssituation in einer 2015 durchgeführten Marktanalyse des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) noch als zu gering eingeschätzt wurde.⁷⁶ In § 41 Abs. 2 EEG 2017 werden für Anlagen bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 500 Kilowatt 6,49 ct./kWh und darüber hinaus bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 5 Megawatt 5,66 ct./kWh festgelegt. Für die nach dem 1. Januar 2018 in Betrieb genommenen Anlagen verringert sich aufgrund einer gesetzlich festgelegten Degression der anzulegende Wert jährlich um 1,5 % gegenüber dem Vorjahreswert, § 41 Abs. 4 EEG 2017.

Alternativ haben Anlagenbetreiber gemäß § 21a EEG 2017 die Möglichkeiten, den erzeugten Strom direkt zu vermarkten (sog. sonstige Direktvermarktung). Die früher übliche Variante der Einspeisevergütung ist gemäß § 21 Abs. 1 Nr. 1 EEG 2017 nur noch möglich, wenn die installierte Leistung nicht mehr als 100 kW beträgt. Deshalb ist die Direktvermarktung des erzeugten Stroms – jedenfalls aus juristischer Perspektive – die Regel.⁷⁷ Die Höhe der Einspeisevergütung richtet sich nach den gesetzlichen anzulegenden Werten abzüglich 0,2 ct./kWh, § 53 Satz 1 Nr. 1 EEG 2017. Der Abzug bei der Höhe der Vergütung wurde durch den Gesetzgeber mit dem Wegfall der Direktvermarktungsmehrkosten bei Inanspruchnahme einer Einspeisevergütung begründet, die in dem Fall mit 0,2 ct./kWh beziffert werden.⁷⁸ Für Strom aus Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 100 kW kann eine Einspeisevergütung gemäß § 21 Abs. 1 Nr. 2 EEG 2017 nur noch für maximal drei aufeinanderfolgende Kalendermonate, sowie für insgesamt nicht mehr als sechs Monate in einem Kalenderjahr als sog. Ausfallvergütung in Anspruch genommen werden. Durch die zeitliche Limitierung des Anspruchs soll der grundsätzliche Vorrang der Direktvermarktung gewährleistet bleiben.⁷⁹ Bei der Höhe der Vergütung gelten die Einschränkungen der § 53 Satz 2 und § 52 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 EEG 2017.

⁷⁴ Oschmann in: Danner, W./Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EEG 2014 § 42 Rn. 14.

⁷⁵ Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2258) geändert worden ist.

⁷⁶ BT-Drs. 18/8860, S. 2.

⁷⁷ Wustlich, G. (2014): Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014, Grundlegend neu – aber auch grundlegend anders? NVwZ 2014, 1113, 1117.

⁷⁸ BT-Drs. 18/1304, S. 138, 141 bez. der entsprechenden §§ 37 Abs. 3, 39–41 EEG 2014.

⁷⁹ Schlacke/Kröger in: Danner, W./Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EEG 2017 § 21 Rn. 5.

Darüber hinaus kann für die anderen in § 3 Nr. 21 EEG 2017 aufgezählten erneuerbaren Energiequellen, einschließlich Wind- und solarer Strahlungsenergie, bei Vorliegen der für sie spezifischen Voraussetzungen eine Form der EEG-Vergütung in Anspruch genommen werden. Die entsprechenden Anlagen können unter Beachtung der standortabhängigen Planungs- und Genehmigungsvorschriften im konkreten Einzelfall ebenfalls auf dem Gelände einer Kläranlage errichtet und für die Erzeugung erneuerbaren Stroms genutzt werden.

Die gesetzliche Förderung des EEG 2017 kann grundsätzlich für die Dauer von 20 Jahren in Anspruch genommen werden, § 25 EEG 2017. Auch ein Wechsel zwischen den Veräußerungsformen ist bei Einhaltung einiger formaler Anforderungen laut § 21b EEG 2017 grundsätzlich jeweils zum ersten Kalendertag eines Monats möglich. Allerdings kann wegen des Doppelbegünstigungsverbots des § 1 Abs. 3 KWKG neben einer EEG-Vergütung die Förderung nach dem KWKG nicht gleichzeitig in Anspruch genommen werden.

5.2.2 Klärgasverstromung und KWKG-Förderung

- ▶ *Förderung von Effizienz durch Stromerzeugung aus neuen, modernisierten oder nachgerüsteten KWK-Anlagen (§ 5 i. V. m. §§ 6 ff. KWKG)*
- ▶ *Stromerzeugung auf Grundlage von Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen*
- ▶ *Höhe der Vergütung richtet sich nach dem KWK-Anlagen-Typ und beträgt bei Einspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung je nach Leistungsanteil zwischen 3,1 und 8 ct/kWh*
- ▶ *Kleinere Anlagen < 100 kW oder KWK-Anlagen, die Strom an Letztverbraucher in einer Kundenanlage oder in einem geschlossenen Verteilernetz liefern und dafür die volle EEG-Umlage entrichten, erhalten ebenfalls eine Förderung (50 % des Anspruchs bei Einspeisung in das allgemeine Stromnetz; § 6 Abs. 3 KWKG)*
- ▶ *Förderung nach dem KWKG neben Förderung aus dem EEG ausgeschlossen*

Für eine Förderung nach dem KWKG kommt es nicht auf den Einsatz erneuerbarer Energien an. Durch das Gesetz soll der Anteil der Stromerzeugung aus KWK und deren Effizienz gesteigert werden. Dabei ist vor allem die Förderungen neuer, modernisierter oder nachgerüsteter KWK-Anlagen vorgesehen, § 5 i. V. m. §§ 6 ff. KWKG. Demnach besteht bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen ein Anspruch auf eine Zuschlagszahlung für KWK-Strom.

Der Anspruch auf die Förderung besteht gemäß § 6 Abs. 1 KWKG für hocheffiziente Anlagen,⁸⁰ wenn die Anlage vor dem 31. Dezember 2025 in Dauerbetrieb genommen wird und die in ihr erzeugte Wärme keine bestehende Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen verdrängt. Der Strom muss auf Grundlage von Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen erzeugt werden. Außerdem wird für sie eine Zulassung des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) benötigt. Anlagen mit einer Leistung von mehr als 100 kW benötigen zusätzlich eine Einrichtung nach § 9 Abs. 1 EEG 2017, mit deren Hilfe der Netzbetreiber die Einspeiseleistung bei Netzüberlastung ferngesteuert reduzieren und die Ist-Einspeisung abrufen kann.

⁸⁰

I. S. v. § 2 Nr. 8a KWKG.

Tabelle 9: Zuschläge für in ein Netz der öffentlichen Versorgung eingespeisten Strom aus neuen und modernisierten KWK-Anlagen

§ KWKG	Kategorie	Zuschlag (ct/kWh)
	Neue und modernisierte KWK-Anlagen⁸¹	
§ 5 Abs. 1 Nr. 1, 7 Abs. 1	Leistungsanteil ≤ 50 kW	8,0
	Leistungsanteil > 50 kW und ≤ 100 kW	6,0
	Leistungsanteil > 100 kW und ≤ 250 kW	5,0
	Leistungsanteil > 250 kW und ≤ 1 MW	4,4
§ 5 Abs. 1 Nr. 2 i. V. m. §§ 8a, 33a	Leistungsanteil > 1 MW und ≤ 50 MW	per Ausschreibung ermittelt ⁸²
§ 5 Abs. 1 Nr. 1, 7 Abs. 1	Leistungsanteil > 50 MW	3,1

Quelle: Eigene Darstellung IKEM

Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von weniger als 100 kW oder KWK-Anlagen, die Strom an Letztverbraucher in einer Kundenanlage oder in einem geschlossenen Verteilernetz liefern, soweit für diesen KWK-Strom die volle EEG-Umlage entrichtet wird, erhalten gemäß § 6 Abs. 3 KWKG auch dann eine Förderung, wenn der Strom nicht in das allgemeine Netz eingespeist wird. Die weiteren Sonderfälle, in denen die KWK-Förderung auch ohne Einspeisung beansprucht werden kann, sind grundsätzlich nicht auf Kläranlagen anwendbar. Die Höhe der Förderung entspricht der Hälfte des im Falle der Einspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung bestehenden Anspruchs, § 7 Abs. 3 KWKG.

Werden in einer KWK-Anlage ausschließlich erneuerbare Energien zur Stromerzeugung eingesetzt und bestünde deshalb zugleich ein Anspruch auf Förderung aus § 19 EEG 2017 kann der Anlagenbetreiber die Art der Förderung frei wählen. Allerdings kann wegen des Doppelbegünstigungsverbots des § 1 Abs. 3 KWKG daneben die Förderung nach dem KWKG nicht mehr in Anspruch genommen werden.

5.2.3 Möglichkeiten der Massenbilanzierung, § 44b Abs. 5 EEG 2017

- *Durch Massenbilanzsysteme bilanziell lückenlose Verfolgung von Klärgas und Biomethan bei der Einspeisung ins Erdgasnetz gewährleistet*

⁸¹ Für nachgerüstete KWK-Anlagen gelten, die in § 7 Abs. 1 KWKG festgelegten Zuschlagshöhen abhängig vom Leistungsanteil ohne die Verpflichtung zur Ausschreibung.

⁸² Für modernisierte Anlagen nur, wenn die Kosten der Modernisierung mindestens 50 Prozent der Kosten betragen, welche die Neuerrichtung einer KWK-Anlage mit gleicher Leistung nach aktuellem Stand der Technik gekostet hätte und die Modernisierung frühestens zehn Jahre nach der erstmaligen Aufnahme des Dauerbetriebs der KWK-Anlage oder nach der Wiederaufnahme des Dauerbetriebs einer bereits modernisierten KWK-Anlage erfolgt, § 5 Abs. 1 Nr. 2 lit b KWKG, ansonsten 3,1 ct/kWh.

- *Möglichkeit, Klärgas in Netz einzuspeisen und trotzdem als erneuerbare Energie zu vermarkten*
- *Klärgas muss nicht zwangsläufig am Ort der Erzeugung zu Strom und Wärme umgewandelt werden, um seine positiven Vermarktungseigenschaften als erneuerbare Energie zu erhalten*

Aufgrund der Möglichkeit der Massenbilanzierung von Gasen gemäß § 44b Abs. 5 EEG 2017 müssen Klärgas und aus Klärgas weiterverarbeitetes Biomethan nicht zwangsläufig am Ort der Erzeugung, z. B. im KWK-Prozess, zu Strom und/oder Wärme umgewandelt werden, um seine positiven Vermarktungseigenschaften als erneuerbare Energie zu erhalten. Die Norm sieht vor, dass aus einem Erdgasnetz entnommenes Gas, u. a. als Klärgas oder Biomethan gelten, wenn die Menge des entnommenen Gases am Ende eines Kalenderjahres der Menge Klärgas oder Biomethan im Wärmeäquivalent entspricht, die an anderer Stelle im Bundesgebiet in das Erdgasnetz eingespeist worden ist und wenn für das Gas von seiner Gewinnung, über seiner Einspeisung bis zu seiner Entnahme aus dem Erdgasnetz Massenbilanzsysteme verwendet worden sind (Gas-äquivalenzregelung). Der KWK-Prozess kann deshalb auch am Ort des Wärmebedarfs durchgeführt werden.⁸³

Damit bietet sich die Massenbilanzierung vor allem für Kläranlagen an, in denen zwar viel Klärgas bzw. Biomethan entstehen, denen aber nur ein kleines BHKW zur Verstromung des Gases zur Verfügung steht. Aufgrund von § 44b Abs. 5 EEG 2017 kann der KWK-Prozess auch erst am Ort des Wärmebedarfs durchgeführt werden.⁸⁴ Auch bei mehreren BHKW an unterschiedlichen Standorten können so mithilfe der Massenbilanzierung die erneuerbare Energien-Eigenschaften von Klärgas und Biomethan bei der Verstromung genutzt werden.

Ist die Kläranlage an das Erdgasnetz angeschlossen, besteht einerseits die Möglichkeit, die erneuerbare Energien-Eigenschaft des eingespeisten Gases über die Einbuchung in ein Biogasregister zu vermarkten, wenn das Gasaufkommen zu hoch für die Verstromung in der Stromerzeugungsanlage ist. Dann kann der Verbraucher gemischtes Gas aus dem Erdgasnetz beziehen und für dessen Verstromung die EEG-Vergütung erlangen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, zusätzliche Einbuchungen aus dem Biogasregister zuzukaufen, um Erdgas aus dem Erdgasnetz zu verstromen und hierfür eine Vergütung nach dem EEG zu erlangen. Durch das Massenbilanzsystem kann das in der Kläranlage entstandene Klärgas bzw. Biomethan zuverlässig und lückenlos ab seiner Entstehung bis zur Entnahme aus dem Erdgasnetz zurückverfolgt werden.⁸⁵

5.2.4 Anreize und Verpflichtungen für flexibles Erzeugungsverhalten

Betreiben Kläranlagen Anlagen zur Stromerzeugung, die an das Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossen sind, können sie einen Beitrag zur Bereitstellung von Flexibilität leisten und so zur Stabilisierung des von volatilen erneuerbaren Energien geprägten Netzes beitragen (vgl. auch Kapitel 3.3.1).

Ergeben sich im allgemeinen Versorgungsnetz Stromüberschüsse aus der Wind- und PV-Stromproduktion, kann die Eigenstromproduktion durch die BHKW der Kläranlage zurückgefahren oder ganz eingestellt und dadurch negative Flexibilität bereitgestellt werden.

⁸³ BT-Drs. 18/1304, 143/144.

⁸⁴ BT-Drs. 18/1304, 143/144.

⁸⁵ BT-Drs. 18/1304, 143/144.

Das von der Kläranlage produzierte Klärgas oder Biomethan kann in dieser Zeit gespeichert und der überschüssige Strom kann dadurch in der Kläranlage genutzt werden. Das führt zu einer Entlastung des Verteilnetzes.

Der Gesetzgeber hat eine Reihe von Instrumenten geschaffen, um Betreiber von Stromerzeugungsanlagen zu motivieren, ihre Stromerzeugung netzdienlich auszugestalten. Darunter fallen die Schaffung eines Flexibilitätszuschlags und die Möglichkeit von Innovationsausschreibungen sowohl nach dem KWKG und dem EEG.

- ▶ *Für Stromerzeugung aus Klärgas keine Pflicht zur Leistungsreduktion (§ 44b Abs. 1 EEG 2017), daher kein Flexibilitätszuschlag (§§ 50, 50a EEG, 2017).*
- ▶ *Besonders effiziente KWK-Anlagen über gesondertes Ausschreibungssystem für innovative KWK-Systeme ab 1.000 kW gefördert (§§ 5 Abs. 2, 8b KWKG i. V. m. § 33b KWKG).*
- ▶ *Voraussetzung unter anderem, dass es sich um eine neue oder modernisierte KWK-Anlage handelt und die Systeme technisch in der Lage sind, die ausgekoppelte Wärme zu mindestens 30 % mit einem mit der Anlage verbundenen elektrischen Wärmeerzeuger zu erzeugen, in Kombination mit einem Wärmeerzeuger, der auf Basis erneuerbarer Energien oder Umweltwärme arbeitet und eine Jahresarbeitszahl von mind. 1,25 erreicht.*
- ▶ *Durch Einsatz der PtH-Technologie kann eine innovative KWK-Anlage netz- und marktdienlich eingesetzt werden, indem sie aus Überschussstrom Wärme erzeugt und so gleichzeitig das Netz entlastet.*
- ▶ *§ 39j EEG 2017 sieht ebenfalls die Möglichkeit technologieoffener Innovationsausschreibungen explizit für erneuerbare Energien vor, um netz- oder systemdienliche Lösungen zu fördern und Flexibilitätsoptionen zu schaffen; eine entsprechende Verordnung zur Regelung der Einzelheiten des Anspruchs ist am 30.01.2020 in Kraft getreten.*
- ▶ *Einführung und Weiterentwicklung technologieoffener Innovationsausschreibungen bieten Potenzial, Flexibilitätsmöglichkeiten bei der Stromerzeugung zu fördern, wovon Kläranlagen als Flexibilitätsanbieter profitieren könnten.*

5.2.4.1 Flexibilitätszuschlag und Flexibilitätsbonus

Um eine flexible Fahrweise von Stromerzeugungsanlagen für Biogas zu gewährleisten und sicherzustellen, dass diese in der Lage sind, in Zeiten hoher Stromnachfrage, Energie zu liefern, sieht das EEG 2017 für diese Anlagen die Vorhaltung einer sog. Leistungsreserve vor.⁸⁶ § 44b Abs. 1 EEG 2017 bestimmt deshalb, dass Biogasstromerzeugungsanlagen mit über 100 kW installierter Leistung innerhalb eines Kalenderjahres die EEG-Vergütung nur für den erzeugten Strom, der einer Bemessungsleistung der Anlage von 50 % des Werts der installierten Leistung entspricht, erhalten. Diese Anlagen, die ab dem 31.12.2016 in Betrieb genommen worden sind, haben deshalb nur noch für einen Teil ihres eingespeisten Stroms einen (vollen) Zahlungsanspruch.

§ 50a Abs. 1 Nr. 1 EEG 2017 bietet neuen Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 100 kW, die aus Biogas Strom erzeugen und deren anzulegender Wert gesetzlich bestimmt wird

⁸⁶

BT-Drs. 18/1304, 142.

daher die Möglichkeit, einen **Flexibilitätszuschlag** für die Bereitstellung flexibel installierter Leistung in Anspruch zu nehmen. Dessen Höhe orientiert sich an den durch die erzwungene Leistungsreduktion entstehenden Mehrkosten für die Bereitstellung flexibler Stromerzeugungskapazität, um einen kostendeckenden Betrieb der Biogasanlagen überhaupt zu ermöglichen.⁸⁷

Allerdings ist fraglich, ob bei der Verstromung von Klärgas der Anwendungsbereich dieser Normen eröffnet ist. Das wäre nur der Fall, wenn es sich bei Klärgas um Biogas im Sinne des EEG 2017 handeln würde. Biogas ist laut § 3 Nr. 11 EEG 2017 jedes Gas, das durch anaerobe Vergärung von Biomasse gewonnen wird. Unter diese Definition würde grundsätzlich auch Klärgas fallen. Allerdings ist Klärgas unter dem Überbegriff Biomasse in § 3 Nr. 21 lit. e EEG 2017 auch eigenständig neben Biogas als erneuerbarer Energie aufgeführt, woraus man schließen kann, dass beide Kategorien nebeneinander bestehen können und Klärgas gerade kein Biogas im Sinne des EEG 2017 sein soll.

Für die Anwendung von § 50a EEG 2017 ist die Einordnung von Klärgas als Biogas jedoch auch irrelevant, da § 50a Abs. 2 EEG 2017 über den Verweis auf die §§ 39, 42 und 43 EEG 2017 klarstellt, dass der Anspruch auf den Flexibilitätszuschlag u. a. nur dann besteht, wenn der erzeugte Strom aus Biomasseanlagen, Biomasse oder der Vergärung von Bioabfällen stammt. Klärgas wird dabei nicht genannt. Ein Anspruch auf den Flexibilitätszuschlag besteht demnach ausdrücklich nicht.

Eine analoge Anwendung von § 50a EEG 2017 kommt auch nicht in Betracht, weil es bereits an einer planwidrigen Regelungslücke fehlt, die jedoch Voraussetzung dafür wäre. Planwidrigkeit setzt voraus, dass der Gesetzgeber diese Lücke nicht gesehen hat oder durch spätere Änderungen nicht sehen konnte.⁸⁸ Aus der Systematik des EEG 2017 geht jedoch hervor, dass der Gesetzgeber die grundsätzliche Bedeutung von Klärgas erkannt und an verschiedenen Stellen in das Gesetz eingearbeitet hat. Wie bereits erläutert, gibt es für Klärgas eine eigene Vergütungsoption in § 41 Abs. 2 EEG 2017 und es wird im Rahmen der Massenbilanzierung unter dem Oberbegriff „Gemeinsame Bestimmungen für Strom aus Gasen“ als eigenständige Kategorie neben anderen Gasen genannt. Es erscheint daher unwahrscheinlich, dass es bei der Ausgestaltung des Flexibilitätszuschlags durch den Gesetzgeber schlicht übersehen wurde. Vielmehr lässt dieses Vorgehen auf eine bewusste gesetzgeberische Entscheidung schließen, die nicht durch eine analoge Anwendung der Norm umgangen werden kann.

Bejaht man jedoch die Einordnung von Klärgas als Biogas, würde das zu der widersprüchlichen Situation führen, dass Klärgasstromerzeugungsanlagen zwar zur Leistungsreduktion nach § 44b EEG 2017 verpflichtet sind, weil dort ausschließlich nur auf Biogas Bezug genommen wird, aber gleichzeitig dafür keinen Flexibilitätszuschlag zur Kompensation ihrer daraus entstehenden Mehraufwendungen in Anspruch nehmen können. Es ist daher davon auszugehen, dass auch die Leistungsreduktionspflicht des § 44b Abs. 1 EEG 2017 nicht für Klärgas gelten soll.⁸⁹

In jedem Fall ist der Gesetzeswortlaut und die darauf beruhende Systematik uneinheitlich ausgestaltet, sodass es diesbezüglich dringenden Klarstellungsbedarf seitens des Gesetzgebers gibt.

⁸⁷ BT-Drs. 18/1304, 148.

⁸⁸ BGH, Urteile vom 17. November 2009 - XI ZR 36/09, BGHZ 183, 169 Rn. 23 und vom 21. Januar 2010 - IX ZR 65/09, BGHZ 184, 101 Rn. 32, jeweils mwN.

⁸⁹ Vgl. Sängers/Martel in Säcker, F. J. (2017/2018): Berliner Kommentar zum Energierecht, Band 6 § 44b EEG Rn. 9, der ebenfalls zu diesem Ergebnis kommt.

5.2.4.2 Ausschreibung innovative KWK-Systeme

Besonders effiziente KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von mehr als 1.000 kW⁹⁰ können zudem über ein separates Ausschreibungsverfahren für innovative KWK-Systeme gefördert werden, §§ 5 Abs. 2, 8b KWKG i. V. m. § 33b KWKG. Die Förderung kann dabei gemäß § 5 KWKAusV mit maximal 12 ct/kWh höher ausfallen als die Zuschlagszahlungen nach den §§ 6-8 und 8a KWKG.

Innovative KWK-Systeme sind gemäß § 2 Nr. 9a KWKG besonders energieeffiziente und treibhausgasarme Systeme, in denen KWK-Anlagen in Verbindung mit hohen Anteilen von Wärme aus erneuerbaren Energien KWK-Strom und Wärme bedarfsgerecht erzeugen oder umwandeln. Sie zeichnen sich im Gegensatz zu klassischen KWK-Anlagen, bei denen primär auf effiziente Brennstoffausnutzung zur Produktion von Strom und Wärme fokussiert wird, durch einen besonders hohen Anteil erneuerbarer Wärme oder Umweltwärme und einem systemischen Ansatz aus.⁹¹ Innovative KWK-Systeme müssen u. a. technisch dazu in der Lage sein, die Wärmeleistung, die aus dem KWK-Prozess maximal ausgekoppelt werden kann, zu mindestens 30 % mit einem mit der Anlage verbundenen elektrischen Wärmeerzeuger (PtH) oder elektrische Wärmepumpe⁹² zu erzeugen, um gemäß § 24 Abs. 1 Nr. 5 KWK-Ausschreibungsverordnung (KWKAusV)⁹³ an den Ausschreibungen teilnehmen zu können. Sie bedürfen der Zulassung durch das BAFA und bestehen grundsätzlich aus folgenden Teilen, die wärmeseitig verbunden und gemeinsam steuerbar sein müssen: einer neuen oder modernisierten KWK-Anlage, einem fabrikneuen erneuerbaren Wärmeerzeuger und einem elektrischen Wärmeerzeuger. Der im Januar 2020 von der Bundesregierung beschlossene Entwurf des Kohleausstiegsgesetzes sieht vor, dass zukünftig auch Wärme aus dem gereinigten Wasser von Kläranlagen Teil eines innovativen KWK-Systems i. S. v. § 2 Nr. 9a KWKG sein kann.⁹⁴ Anders als bei anderen Abwärmequellen bestehe bei Abwasserwärme aus Kläranlagen aufgrund des hohen Anteils an natürlicher Umweltwärme und der potenziell bereits enthaltenen Wärme des eingeleiteten Wassers nicht das Risiko, dass Effizienzmaßnahmen gezielt unterlassen werden, um die wirtschaftlichen Potenziale von Abwärme gewinnbringend nutzen zu können.⁹⁵

Der erneuerbare Wärmeerzeuger muss Wärme aus erneuerbaren Energien oder Umweltwärme erzeugen und eine Jahresarbeitszahl von mindestens 1,25 erreichen. Damit werden bestimmte Wärmeerzeuger wie Brennwärtekessel, aber auch die Verfeuerung von Biomethan oder Biogas ausgeschlossen, weil dabei die geforderte Jahresarbeitszahl nicht erreicht werden kann.⁹⁶

Die Bundesnetzagentur ermittelt die Höhe der finanziellen Förderung nach Maßgabe einer zusätzlich zu erlassenden Rechtsverordnung, der KWKAusV. Demnach beträgt der Höchstpreis 12 ct/kWh (§ 5 Nr. 2 KWKAusV). Die Förderung kann somit sowohl höher als der KWK-Zuschlag nach §§ 6 bis 8 und 8a KWKG, als auch die EEG-Vergütung nach §§ 19 ff. EEG 2017 ausfallen. Das Ausschreibungsvolumen beträgt gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 lit. b KWKAusV 50 MW und Gebote sind auf eine installierte elektrische KWK-Leistung von 10 MW begrenzt, § 8 Abs. 3 Satz 1 Nr. 2 KWKAusV. Den Geboten müssen laut § 8 Abs. 1 Nr. 13 KWKAusV ein Wärmetransformationsplan

⁹⁰ Vgl. Anforderungen an Gebote in § 8 Abs. 3 KWKAusV.

⁹¹ BR-Drs. 619/16, S. 85 zum KWKG 2017.

⁹² Assmann in: Assmann, L.; Peiffer, M. (2018): Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – Kommentar, KWKAusV § 24 Rn. 10.

⁹³ KWK-Ausschreibungsverordnung vom 10. August 2017 (BGBl. I S. 3167), die zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

⁹⁴ Artikel 6 Nr. 2 Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz) vom 29.01.2020.

⁹⁵ Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz) vom 29.02.2020, S. 184.

⁹⁶ Peiffer in: Assmann, L.; Peiffer, M. (2018): Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – Kommentar, § 2 Rn. 63.

beigefügt werden, in dem nachvollziehbar ausgeführt wird, mit welchen Maßnahmen der Betreiber das innovative KWK-System in das Wärmenetz integrieren und die Dekarbonisierung des mit dem innovativen KWK-System verbundenen Wärmenetzes in den ersten zehn Jahren ab Aufnahme des Dauerbetriebs im Sinn des Klimaschutzes und einer sicheren Wärmeversorgung voranbringen will. Wird das innovative KWK-System nicht an ein Wärmenetz angeschlossen, muss aus dem Wärmetransformationsplan hervorgehen, mit welchen Maßnahmen der Betreiber das innovative KWK-System in die Wärmeversorgung der Wärmesenke integrieren soll und diese Wärmeversorgung in den ersten zehn Jahren ab Aufnahme des Dauerbetriebs weiter dekarbonisieren will. Nach Zuschlagserteilung muss das innovative KWK-System innerhalb von 54 Monaten realisiert werden, siehe § 18 KWKAusV.

Durch den Einsatz der PtH-Technologie besteht die Möglichkeit, innovative KWK-Anlagen als Flexibilisierungsoption zu nutzen. In Zeiten von Netzengpässen kann mithilfe des elektrischen Wärmeerzeugers aus dem Überschussstrom Wärme erzeugt und gleichzeitig das Netz entlastet werden. Dadurch kann das innovative KWK-System netz- und marktdienlich eingesetzt werden.⁹⁷

Aufgrund der komplexen Anforderungen des Ausschreibungsverfahrens müssen potenzielle Betreiber innovativer KWK-Anlagen eine sorgfältige Abwägung zwischen potenziell hohen Anfangsinvestitionen und der in Folge höheren möglichen Förderung treffen. Um die Teilnahme an innovativen KWK-Ausschreibungen weiter anzureizen, wäre eine Option, etwa die Mindestgröße von 1.000 kW herunterzusetzen und so den Kreis möglicher Teilnehmer an den Ausschreibungen, u. U. auch auf die Betreiber geeigneter Kläranlagen zu erweitern.

5.2.4.3 Innovationsausschreibung EEG 2017

Mit der Novellierung des EEG 2017 durch das Mieterstromgesetz⁹⁸ wurde mit der Einführung von § 39j EEG 2017 zudem die Möglichkeit technologieoffener Innovationsausschreibungen auch explizit für erneuerbare Energien geschaffen. Dadurch sollen netz- oder systemdienliche Lösungen besonders gefördert und Flexibilitätsoptionen geschaffen werden.⁹⁹ Zu diesem Zweck ermächtigt § 88d EEG 2017 u. a. zur Verabschiedung einer entsprechenden Rechtsverordnung, in der die Festlegung abweichender Zahlungsansprüche für erneuerbare Energien bei der Teilnahme an Innovationsausschreibungen normiert werden soll. Die Verordnung soll aufgrund der Vorgaben des EEG 2017 befristet von 2019 bis 2021 gelten und im Anschluss an die letzte Ausschreibung wieder außer Kraft treten.

Mit erheblicher Verzögerung ist die Innovationsausschreibungsverordnung (InnAusV)¹⁰⁰ schließlich am 30.01.2020 in Kraft getreten. Neben Anreizen für echte technische Innovationen sollen mit der Verordnung alternative Vergütungsmodelle wie eine fixe Marktprämie oder der Wegfall der Vergütung bei negativen Strompreisen getestet werden. Daneben können sich innovative Anlagenformen, wie Kombinationen aus fluktuierenden Solar- und Windanlagen und nicht fluktuierenden Anlagen (Biomasse, Wasserkraft) oder auch Speichern erstmals um eine finanzielle Förderung bewerben. Eine Teilnahme von Kläranlagen an den Innovationsausschreibungen kommt insbesondere nach § 4 Nr. 3 InnAusV im Jahr 2021 als Teil einer Anlagenkombination in Betracht.

⁹⁷ BT-Drs. 18/12375, S. 97.

⁹⁸ Gesetz zur Förderung von Mieterstrom und zur Änderung weiterer Vorschriften des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (MietStrFG) vom 17.07.2017 (BGBl. I, 2532).

⁹⁹ Doderer, H.; Metz, J. (2018): Rechtlicher Überblick: Was hat sich 2017 für die nachhaltige Stromerzeugung geändert? in EnWZ 5/2018, S. 161 (164).

¹⁰⁰ Innovationsausschreibungsverordnung vom 20. Januar 2020 (BGBl. I S. 106).

Voraussetzung dafür ist unter anderen, dass sie grundsätzlich geeignet sind, systemdienliche Flexibilität bereitzustellen und mindestens 25 % ihrer installierten Leistung als positive Sekundärregelleistung erbringen können. Außerdem müssen sie über einen gemeinsamen Netzverknüpfungspunkt angebunden sein. Damit ist die Möglichkeit virtuellen Anlagenpoolings nicht vom Anwendungsbereich der Verordnung erfasst. Die Höhe der Vergütung in Form einer fixen Marktprämie für solche Kombinationsanlagen soll 7,5 ct/kWh und damit deutlich mehr als die üblichen in der Verordnung angesetzten 3 ct/kWh betragen (vgl. § 10 InnAusV).

Die erste Ausschreibungsrunde sieht ein Ausschreibungsvolumen von 250 MW vor, insgesamt soll es 1150 MW betragen, und sollte noch 2019 stattfinden.¹⁰¹ Bis diese in der Praxis erprobt worden ist, kann eine abschließende Einschätzung über flexibilitätsfördernde Auswirkungen der Innovationsausschreibungen nach dem EEG 2017 noch nicht getroffen werden.

5.3 Abwasserwirtschaft als Wärmeerzeuger

Sowohl die Kanalisation als auch die in Kläranlagen stattfindenden Prozesse und eine gegebenenfalls stattfindende Verstromung von Klärgas im KWK-Prozess haben zur Folge, dass die Abwasserwirtschaft neben der Stromerzeugung auch als Wärmeerzeuger auf dem Markt auftreten könnte. In diesem Abschnitt wird daher der energiewirtschaftliche Rechtsrahmen für die Abwasserwirtschaft als Wärmeerzeuger dargestellt. Die wesentlichen Wärmequellen aus Kläranlagen sind Klärgas, das mittels KWK-Anlagen zu Wärme (und Strom) umgewandelt werden kann, Klärschlamm, der verbrannt wird,¹⁰² sodass die Verbrennungswärme genutzt werden kann und schließlich die Abwärme des Klärwassers, der Motoren der Kläranlage oder aus verdichteter Luft. Daneben könnten auch Power-to-Heat- und Wärmepumpentechnologien durch die bedarfsgerechte Nutzung von Überschussstrom aus dem Netz sowohl Wärme erzeugen als auch gleichzeitig durch eine flexible Fahrweise zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen.

Die Wärme wird entweder in der Kläranlage selbst genutzt (z. B. bei der Beheizung der Faulbehälter oder der Betriebsgebäude) oder kann an Dritte verkauft und zu diesem Zweck ins vorhandene Fernwärmenetz eingeleitet oder über eine separate Nahwärmeleitung direkt an Nachbarn zugeleitet werden. Dabei können die „grünen“ Eigenschaften des Klärgases bei der ordnungsrechtlichen Erfüllung von Nutzungspflichten für erneuerbare Energien Chancen bieten. Aus dieser Überlegung heraus können sich für Kläranlagenbetreiber neue Geschäftsmodelle für die Nutzung der auf dem Gelände der Kläranlage erzeugten Wärme entwickeln. Das folgende Kapitel befasst sich daher zum einen mit der Wärmeversorgung der zu der Kläranlage gehörenden Betriebsgebäude, vordergründig jedoch mit den Vermarktungsmöglichkeiten von in Kläranlagen erzeugter Wärme im Rahmen des geltenden Rechtsrahmens. Hintergrund der Betrachtung ist die ordnungsrechtliche Verpflichtung bestimmter Gebäude, ihren Wärmeenergiebedarf anteilig aus Erneuerbaren Energien zu decken und bestimmten Anforderungen an den Primärenergieverbrauch zu genügen.

¹⁰¹ BNetzA (2019): Ausschreibungen für EE- und KWK-Anlagen; https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Ausschreibungen_node.html (15.07.2019).

¹⁰² Statistisches Bundesamt (2018): 70 % des kommunalen Klärschlammes wurden 2017 verbrannt, Pressemitteilung Nr. 484 vom 12. Dezember 2018; https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/12/PD18_484_32214.html;jsessionid=A244B7748C5612488823E09F3643E866.internet731 (10.12.2018).

Das EEWärmeG, die Energieeinsparverordnung (EnEV)¹⁰³ und das geplante Gebäudeenergiegesetz (GEG-E)¹⁰⁴ enthalten die vorrangig anzuwendenden Rechtsnormen. Da alle drei Regelwerke fortlaufenden Änderungen unterliegen, kommen der Inbetriebnahme der Anlage und dem Baujahr der Gebäude auch in diesem Zusammenhang große Bedeutung zu, da zu diesem Zeitpunkt geltende Regelungen ggf. fortgelten können.

Der folgenden Betrachtung liegt der im Januar 2020 geltende Rechtsrahmen zugrunde.

5.3.1 EEWärmeG

- ▶ *Bei Errichtung von Neubauten und grundlegender Sanierung öffentlicher Gebäude (inkl. Kläranlagen) grundsätzlich Pflicht zumindest anteiliger Nutzung erneuerbarer Energien bei der Wärme- und Kälteversorgung, § 3 EEWärmeG (bei Einsatz von Klärgas Anteil von 30 % bzw. 25 %).*
- ▶ *Klärgas und Klärschlamm = erneuerbare Energien im Sinne von § 2 Abs. 1 Nr. 4 lit. d, e EEWärmeG.*
- ▶ *Bezug von in KWK-Anlage erzeugter Wärme, Fernwärme aus Fernwärmenetz oder Abwärme geeignete Ersatzmaßnahmen für anteilige Nutzungsverpflichtung nach § 7 EEWärmeG.*

Zweck des EEWärmeG ist es, gemäß § 1 Abs. 1 im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energien zu fördern.

Um diesen Zweck unter Wahrung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit zu erreichen, verfolgt das Gesetz das Ziel, dazu beizutragen, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14 % zu erhöhen, § 1 Abs. 2 EEWärmeG.

Deshalb werden Gebäudeeigentümer gemäß § 3 Abs. 1, 4 EEWärmeG bei der Errichtung von Neubauten oder bei grundlegender Sanierung öffentlicher Gebäude, § 3 Abs. 2 EEWärmeG, verpflichtet, für alle Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 50 Quadratmetern, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden, mit Ausnahme von Gebäuden, bei denen eine Nutzungspflicht wirtschaftlich nicht zumutbar wäre gemäß § 4 EEWärmeG, zumindest anteilig erneuerbare Energien bei der Wärme- oder Kälteversorgung zu nutzen.¹⁰⁵

Zunächst stellt sich die Frage, ob und wenn ja es sich bei einer Kläranlage um ein Gebäude im Sinne des Gesetzes handelt. Dabei ist grundsätzlich zwischen den verschiedenen Anlagen der Kläranlage selbst und den auf dem Gelände der Kläranlage befindlichen und ihren zugehörigen Verwaltungsgebäuden, einschließlich Labor-, Aufenthalts- und Sanitärräumen zu unterscheiden. Ein Gebäude kann als selbstständig benutzbare, überdachte bauliche Anlage, die von Menschen betreten werden kann und geeignet oder bestimmt ist, dem Schutz von Menschen, Tieren oder

¹⁰³ Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789) geändert worden ist.

¹⁰⁴ BReg (2019): Gesetzentwurf der Bundesregierung – Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude; https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebäude.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (10.12.2019).

¹⁰⁵ Wustlich in: Danner, W., Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, § 4 EEWärmeG Rn 2.

Sachen zu dienen, definiert werden.¹⁰⁶ Je nach Anlagentyp ist sodann im Einzelfall zu entscheiden, ob die Voraussetzungen erfüllt sind.

Wird die in der Kläranlage erzeugte Wärme für die Beheizung der üblicherweise angrenzenden Verwaltungsgebäude, einschließlich Labor-, Aufenthalts- und Sanitärräume verwendet oder in ein Wärmenetz eingespeist, sind für die zu beheizenden Gebäude, die im nachfolgenden dargestellten Anforderungen des EEWärmeG jedoch grundsätzlich anwendbar.

Dabei differenziert das EEWärmeG bezüglich der anteiligen Nutzungspflicht des § 4 EEWärmeG nicht grundsätzlich zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Öffentlichen Gebäuden hingegen kommt gemäß § 1a EEWärmeG eine Vorbildfunktion zu, weswegen die Anforderungen an sie höher sind. Öffentliche Gebäude sind Nichtwohngebäude, die sich im Eigentum oder Besitz der öffentlichen Hand befinden und u. a. als öffentliche Einrichtung genutzt werden. Eine Ausnahme gilt für Gebäude von öffentlichen Unternehmen, wenn sie Dienstleistungen im freien Wettbewerb mit privaten Unternehmen erbringen, § 2 Abs. 2 Nr. 5 EEWärmeG. Öffentliche Einrichtungen müssen für die Nutzung im Sinne eines festgelegten öffentlichen Zwecks tatsächlich ausgestattet und für die Allgemeinheit gewidmet sein. Die Nutzung der Einrichtung muss dem von der Widmung umfassten Personenkreis nach allgemeinen und gleichen Regeln möglich sein. Darauf, ob die Nutzung freiwillig oder anhand eines Nutzungszwangs erfolgt, kommt es nicht an.¹⁰⁷ Die zu Kläranlagen gehörenden Gebäude sind anhand dieser Definition grundsätzlich als öffentliche Gebäude zu qualifizieren, da sie einem öffentlichen Zweck dienen und in der Regel nicht am freien Wettbewerb teilnehmen. Für die eigene Wärmeversorgung müssten sie daher nach einer grundlegenden Sanierung oder bei einem Neubau die höheren Anforderungen an öffentliche Gebäude erfüllen.

Alternativ eröffnet das EEWärmeG Gebäudeeigentümern nach § 7 EEWärmeG die Möglichkeit, ihre Verpflichtung zum Einsatz erneuerbarer Energien durch geeignete Ersatzmaßnahmen zu erfüllen, z. B. durch den Bezug von Fernwärme aus einem mit erneuerbaren Energien gespeisten Wärmenetz, in das in Kläranlagen erzeugte Wärme eingespeist werden kann. Bei den Ersatzmaßnahmen liegt der Schwerpunkt auf einer möglichst effizienten Wärmeversorgung. Dabei kann der Einsatz von KWK-Anlagen, Abwärme und Fernwärme zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs unter bestimmten Voraussetzungen neben Maßnahmen zur Energieeinsparung angerechnet werden.

Im Folgenden werden verschiedene kläranlagenspezifische Wärmequellen auf ihre Bedeutung im Rahmen des EEWärmeG hin untersucht. Dabei wird deutlich, dass die in der Kläranlage erzeugte Wärme einerseits dazu eingesetzt werden kann, die Verpflichtungen aus dem EEWärmeG zur Nutzung erneuerbarer Energien in den zu Kläranlagen gehörenden Gebäude zu erfüllen. Darüber hinaus kann sie über eine Einspeisung in Direktleitungen oder Wärmenetze auch für die Quotenerfüllung von Dritten eine bedeutende Rolle spielen. Insofern können sich für Betreiber von Kläranlagen aus dem EEWärmeG zusätzliche Vermarktungsmöglichkeiten ergeben, weil der aus Kläranlagen stammenden Fernwärme gegenüber konventionell gespeisten Wärmenetzen ein gesteigerter Wert beigemessen werden kann.

¹⁰⁶ Vgl. § 2 Abs. 2 Musterbauordnung – MBO – Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012.

¹⁰⁷ Wustlich in: Danner, W., Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 100. EL, EEWärmeG § 2 Rn. 87.

5.3.1.1 Klärgas

Aus Klärgas erzeugte Wärme ist gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 4 lit. d EEWärmeG Wärme aus gasförmiger Biomasse und somit erneuerbare Energie im Sinne des Gesetzes, sodass die anteilige Nutzungspflicht nach § 3 EEWärmeG damit gedeckt werden kann.

Alternativ kann auch der Bezug von Fernwärme, die zumindest teilweise aus Klärgas stammt, als Ersatzmaßnahme zu Erfüllung dieser Verpflichtung herangezogen werden, § 7 Abs. 1 Nr. 3 EEWärmeG.

Der erforderliche Anteil erneuerbarer Energien wird für gasförmige Biomasse in § 5 Abs. 1 EEWärmeG i. V. m. II Nr. 1 a der Anlage bzw. § 5a EEWärmeG i. V. m. II Nr. 1 b Alt 2 der Anlage geregelt: bei Neubauten liegt er bei 30 %, wenn die Wärme aus einer KWK-Anlage stammt, bei grundlegend renovierten öffentlichen Bestandsgebäuden bei 25 %, wenn das Klärgas in einer KWK-Anlage zu Wärme umgewandelt wird oder die Nutzung in einem Heizkessel, der der besten verfügbaren Technik entspricht, erfolgt. Die eingesetzten KWK Anlagen müssen gemäß VI Nr. 1 der Anlage hocheffizient im Sinne der Richtlinie 2004/8/EG¹⁰⁸ sein.

5.3.1.2 Klärschlamm

Aus Klärschlamm erzeugte Wärme ist gemäß § 2 Abs 1 Nr. 4 lit. e EEWärmeG eine erneuerbare Energie i. S. d. Gesetzes, sodass die anteilige Nutzungspflicht nach § 3 EEWärmeG auch damit gedeckt werden kann. Allerdings muss es sich dafür um Klärschlamm i. S. d. § 2 Abs. 2 der Klärschlammverordnung (AbfKlärV)¹⁰⁹ handeln, also um Klärschlamm, der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen einschließlich zugehöriger Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung anfällt, und auch entwässert, getrocknet oder in sonstiger Form behandelt wird.

5.3.1.3 Power-to-Heat-Technologien und Wärmepumpen

Auch die Umweltwärme kann mithilfe elektrischer Wärmepumpen zur Erfüllung der anteiligen Nutzungspflicht aus § 3 EEWärmeG genutzt werden. Als Umweltwärme wird die „der Luft oder dem Wasser entnommene und technisch nutzbar gemachte Wärme mit Ausnahme von Abwärme“ in § 2 Abs. 1 Nr. 5 EEWärmeG legal definiert und gilt als erneuerbare Energie im Rahmen des EEWärmeG. Dabei müssen gewisse in der Anlage zum EEWärmeG festgelegte Effizienzverpflichtungen erfüllt werden.

Problematisch ist dabei, dass es für die Einordnung als erneuerbare Energie nicht auf die Qualität des in der Wärmepumpe eingesetzten Stroms ankommt. Sie gilt unabhängig davon, ob oder zu welchem Anteil es sich bei dem zum Betrieb der Wärmepumpe eingesetzten Strom um Strom aus erneuerbaren Energien oder um sog. „grauen“ Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung handelt. Damit wird einerseits kein Anreiz geschaffen, Strom aus erneuerbaren Energien in Wärmepumpen einzusetzen. Auf der anderen Seite ist es durchaus vorteilhaft, wenn der Einbau elektrisch betriebener Wärmepumpen gefördert wird. Dadurch wird eine Infrastruktur geschaffen, welche langfristig von der Energiewende profitiert. Für gasbetriebene Wärmeversorgungssysteme, wie erdgasbasierte Wärmepumpen, besteht die Möglichkeit ebenfalls eine Infrastruktur aufzubauen, die in Zukunft auf Gas aus erneuerbar erzeugtem (Überschuss-)Strom (Power-to-Gas) oder Biogas zurückgreifen kann.

¹⁰⁸ RICHTLINIE 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/94/EWG.

¹⁰⁹ Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

Auch der Anteil an erneuerbaren Energien am Strommix des allgemeinen Versorgungsnetzes wird kontinuierlich steigen, sodass zumindest indirekt die mit dem EEWärmeG bezweckte Förderung erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung vorangetrieben wird.¹¹⁰

Kläranlagen können in zweierlei Hinsicht von der Ausgestaltung dieser Regelung profitieren. Sie können Wärmepumpen für ihre Wärmeversorgung nutzen, um ihre Pflichten aus dem EEWärmeG zu erfüllen. Als Erzeuger von Klärgas und Biomethan können sie jedoch auch einen wichtigen Beitrag bei der Umstellung zum Einsatz von erneuerbaren Energien bei der Nutzung von Wärmepumpen insgesamt leisten.

5.3.1.4 Abwärme

Abwärme gilt gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 2 EEWärmeG nicht als erneuerbare Energie im Sinne des EEWärmeG, ihre Nutzung kann gemäß § 7 Abs. 1 Nr. 1 lit. a EEWärmeG aber als Ersatzmaßnahme geltend gemacht werden. Danach gilt die Nutzungspflicht als erfüllt, wenn der Verpflichtete den Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 50 % aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme deckt. Abwärme wird in § 2 Abs. 2 Nr. 1 EEWärmeG legal definiert als Wärme, die aus technischen Prozessen und baulichen Anlagen stammenden Abluft- oder Abwasserströmen entnommen wird. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Abgrenzung zu Umweltwärme, also die „der Luft oder dem Wasser entnommene und technisch nutzbar gemachte Wärme“, die anders als Abwärme als erneuerbare Energie i. S. d. EEWärmeG anerkannt ist (§ 2 Abs. 1 Nr. 2) und damit zur Erfüllung der anteiligen Nutzungspflicht direkt herangezogen werden kann. Das entscheidende Abgrenzungsmerkmal ist der Ursprung der der Luft oder dem Wasser entnommenen Wärme, der sich für die Abwärme nicht in natürlichen Quellen, sondern menschlich beeinflussten technischen Prozessen oder in baulichen Anlagen findet. Danach handelt es sich beispielsweise bei Abwasserwärme, die den aus Kläranlagen stammenden (gereinigten oder nicht gereinigten) Abwässern mittels im Abwasserkanal entzogenen Wärmetauschern entzogen und anschließend direkt in der Kläranlage genutzt oder in ein Wärmenetz eingespeist wird, um Abwärme und folglich nicht um eine erneuerbare Energie im Rahmen dieses Gesetzes.

Jede Abwärme produzierende Anlage, die die technischen Anforderungen (V Nr. 4 der Anlage) erfüllt, ist geeignet, Abwärme für eine Ersatzmaßnahme nach § 7 Abs. 1 Nr. 1 lit. a EEWärmeG zu produzieren - durch welche Primärenergie die Abwärme entstanden ist, ist irrelevant.¹¹¹ Ob das fehlende Unmittelbarkeitskriterium im Gesetzgebungsprozess vergessen oder bewusst weggelassen wurde, ist unklar.¹¹² Für letzteres spricht jedenfalls der Wille des Gesetzgebers, die Abwärmenutzung zu fördern, indem sie möglichst in allen auftretenden Varianten genutzt werden kann, um die nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu unterstützen.

5.3.2 EnEV

- *Vorschriften des EEWärmeG und der EnEV gelten nicht direkt für Kläranlagen, jedoch für angrenzende, zu beheizende Gebäude.*
- *Bei Errichtung von Neubauten darf gemäß §§ 3, 4 EnEV ein gewisser Jahres-Primärenergiebedarf, der mithilfe des Primärenergiefaktors (PEF) bestimmt wird, insbesondere für Warmwasser und Heizung, nicht überschritten werden.*

¹¹⁰ IKEM (2018): Ein Rechtsrahmen für den Wärmesektor Studie zur rechtlichen Weiterentwicklung des Wärmesektors unter besonderer Berücksichtigung von Power to Heat; https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/03/Waermapier_20180808.pdf (10.12.2019), S. 8 f.

¹¹¹ Wustlich in: Müller, T.; Oschmann, V.; Wustlich, G. (2010): EEWärmeG – Kommentar, § 7 Rn 51.

¹¹² Wustlich in: Müller, T.; Oschmann, V.; Wustlich, G. (2010): EEWärmeG – Kommentar, § 7 Rn 55.

- *Höhe des PEF für Klärgas und Klärschlamm hängt davon ab, ob die daraus erzeugte Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder einem Heizwerk stammt und ob dafür erneuerbare Energien eingesetzt wurden.*
- *Klärgas und Klärschlamm unter Rückgriff auf das EEWärmeG auch im Rahmen von § 2 Nr. 6 EnEV erneuerbare Energien.*

Zweck der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV) ist die Einsparung von Energie in Gebäuden, § 1 Abs. 1 S. 1 EnEV. In diesem Rahmen und unter Beachtung des gesetzlichen Grundsatzes der wirtschaftlichen Vertretbarkeit soll die Verordnung dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050, erreicht werden, § 1 Abs.1 S. 2 EnEV.

Auch in diesem Zusammenhang ist fraglich, ob der Anwendungsbereich nach § 1 Abs. 2 EnEV für die Nutzung von Wärme für den Betrieb der Kläranlagen eröffnet ist. Demnach gilt die Verordnung u. a. nicht für den Energieeinsatz für Produktionsprozesse in Gebäuden.

Nach der Rechtsprechung sind Anlagen der „Schmutzwasserbeseitigung“ kein Regelungsgegenstand der Energiesparverordnung.¹¹³ Zum einen spricht für diese Einordnung die bereits aufgeführte Gebäudedefinition (s. Kapitel 5.3.1). Zum anderen ist die Abwasseraufbereitung als Produktionsprozess einzustufen und der dazu erforderliche Energieeinsatz dient in Kläranlagen gerade nicht der üblichen Beheizung von Gebäuden und fällt deshalb auch aus diesem Grund explizit aus dem Anwendungsbereich der Verordnung heraus. Bei der Errichtung oder Änderung der Kläranlage selbst sind die Vorschriften der EnEV daher nicht zu berücksichtigen.

Wird die in der Kläranlage erzeugte Wärme für die Beheizung der üblicherweise angrenzenden Verwaltungsgebäude, einschließlich Labor-, Aufenthalts- und Sanitärräume verwendet oder in ein Wärmenetz eingespeist, sind für die zu beheizenden Gebäude die Regelungen der EnEV jedoch wiederum grundsätzlich anwendbar.

Demnach müssen gemäß §§ 3, 4 EnEV Neubauten so errichtet werden, dass der Jahres-Primärenergiebedarf insbesondere für Warmwasser und Heizung den Wert des Jahres-Primärenergiebedarfs eines normierten Referenzgebäudes gleicher Geometrie entspricht. Der Primärenergiebedarf wird mithilfe des Primärenergiefaktors (PEF) bestimmt. Dabei handelt es sich um den Quotienten aus Primärenergie und Endenergie. Er ist ein maßgeblicher Indikator dafür, wie effizient Wärme aus Primärenergie gewonnen wird. Je kleiner der PEF ist, desto umweltschonender und effizienter ist der eingesetzte Energieträger.¹¹⁴

Die Höhe des PEF für Klärgas und Klärschlamm ist davon abhängig, ob die daraus erzeugte Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder einem Heizwerk stammt und ob dafür erneuerbare Energien eingesetzt wurden. Die Verordnung definiert in § 2 Nr. 6 EnEV, was in ihrem Rahmen als erneuerbare Energie eingeordnet werden kann. Davon ist unter anderem aus fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse erzeugte Energie aus Biomasse umfasst. Explizit spielen weder Klärgas noch Klärschlamm in der EnEV eine Rolle. Allerdings kann aufgrund der fehlenden Präzisie-

¹¹³ VG Cottbus Urt. v. 8.2.2019 – 6 K 172/15, BeckRS 2019, 1895, beck-online.

¹¹⁴ IKEM (2018): Ein Rechtsrahmen für den Wärmesektor Studie zur rechtlichen Weiterentwicklung des Wärmesektors unter besonderer Berücksichtigung von Power to Heat; https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/03/Wärmepapier_20180808.pdf (10.12.2019), S. 11.

rung innerhalb der EnEV auf die Begriffsbestimmungen des EEWärmeG zurückgegriffen werden¹¹⁵, die ausdrücklich sowohl Klärgas als auch Klärschlamm als erneuerbare Energie anerkennen (vgl. § 2 Abs 1 Nr. 4 lit. d, e EEWärmeG).

Für Nah- und Fernwärme aus KWK-Anlage unter Einsatz erneuerbarer Brennstoffe wird je nach Größe des erneuerbaren Anteils ein PEF von 0-0,7 festgelegt. Für Nah- und Fernwärme aus Heizwerken, in denen erneuerbare Brennstoffe eingesetzt werden gilt ein PEF von 0,1 bis 1. Wird Abwärme aus Prozessen für die Wärmeversorgung eines Gebäudes verwendet, beträgt der PEF 0.

5.3.3 GEG-E

- *Ziel des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) ist erstmals ein einheitlicher Rechtsrahmen für den Gebäudesektor durch Zusammenfassung von EnEG, EnEV und EEWärmeG (aktueller Referentenentwurf vom 23.10.2019).*
- *Klärgas und Klärschlamm weiterhin erneuerbare Energien, § 3 Abs. 2 Nr. 5 GEG, allerdings wird Klärschlamm nicht mehr als feste Biomasse anerkannt und kann daher nach § 38 GEG-E nicht mehr zur Erfüllung der weiterhin geltenden anteiligen Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien eingesetzt werden.*
- *Erstmalig kann Verpflichtung auch mit im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu dem Gebäude erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien erfüllt werden, §§ 36, 23 Abs. 1 Nr. 1 GEG-E.*

Nachdem die Bundesregierung es sich nach mehreren gescheiterten Anläufen im Koalitionsvertrags der 19. Legislaturperiode zum Ziel gesetzt hat, ein Gebäudeenergiegesetz zu verabschieden¹¹⁶, in dem ein einheitlicher Rechtsrahmen für den Gebäudesektor geschaffen und EnEG, EnEV und EEWärmeG gebündelt werden sollen, liegt dafür nunmehr seit 23.10.2019 der vierte Referentenentwurf vor¹¹⁷.

Gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 5 GEG-E¹¹⁸ werden Klärgas und Klärschlamm, die zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, als erneuerbare Energien bewertet, da sie gemäß § 3 Abs. 3 Nr. 4, 5 GEG-E als Biomasse im Sinne des Gesetzes anerkannt sind.

Infolgedessen muss (wie im EEWärmeG) gemäß § 10 Abs. 2 Nr. 3 GEG-E der Wärmebedarf von Neubauten anteilig durch die Nutzung erneuerbare Energien, d. h. auch durch Wärme aus Klärgas und Klärschlamm (nach Maßgabe der §§ 34-45 GEG-E) gedeckt werden. Eine Ausnahme gilt gemäß § 10 Abs. 4, 5 GEG-E für neu zu errichtende Nichtwohngebäude mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse oder Strahlungsheizungen beheizt werden.

¹¹⁵ Stock in: Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Kommentar, 101. EL, EnEV § 2 Rn. 40b.

¹¹⁶ CDU/CSU/SPD, Ein neuer Aufbruch für Europa – Eine neue Dynamik für Deutschland – Ein neuer Zusammenhalt für unser Land – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode; <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> (10.12.2019), S. 114.

¹¹⁷ BReg (2019): Gesetzentwurf der Bundesregierung – Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude; https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (10.12.2019).

¹¹⁸ „Erneuerbare Energien im Sinne dieses Gesetzes sind [...] 5. die aus fester, flüssiger oder gasförmiger **Biomasse** erzeugte Wärme; die Abgrenzung erfolgt nach dem Aggregatzustand zum Zeitpunkt des Eintritts der Biomasse in den Wärmeerzeuger. [...] **Biomasse** im Sinne von Absatz 2 Nummer 5 sind [...] 4. Klärgas, 5. Klärschlamm im Sinne der Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist in der jeweils geltenden Fassung“.

Erstmalig soll die Verpflichtung zur Nutzung erneuerbarer Energien auch mit Strom aus erneuerbaren Energien erfüllt werden können, vorausgesetzt, der Strom wird im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu dem Gebäude erzeugt, vorrangig in dem Gebäude genutzt und dient nicht dem Einsatz in Stromdirektheizungen, §§ 36, 23 Abs. 1 Nr. 1 GEG-E. Der Wärme- und Kältebedarf muss dann zu 15 % aus entsprechend qualifiziertem Strom gedeckt werden.

Bei der Nutzung von Klärgas in hocheffizienten KWK-Anlagen (im Sinne des § 2 Nr. 8 KWKG) muss der Wärmebedarf in Neubauten zu 30 % gedeckt werden, § 40 GEG-E.

Die Verbrennung von Klärschlamm kann nach der derzeitigen Fassung des GEG-E zukünftig nicht mehr für die Erfüllung der anteiligen Nutzungsverpflichtung herangezogen werden, weil § 38 GEG-E, der die Nutzung von fester Biomasse (worunter nach dem ersten Verständnis des Wortlauts eigentlich Klärschlamm fallen würde) regelt, hier jedoch nicht anwendbar ist, da Klärschlamm nicht von der Verordnung über kleine und mittlere Feueranlagen (1. BImSchV¹¹⁹) erfasst ist (sondern nur z. B. Holzprodukte, Stroh), wie es durch die Norm vorausgesetzt wird.

Bei der Nutzung von Abwärme aus Abwasser (die ansonsten auch im GEG-E nicht als erneuerbare Energie definiert ist) gemäß § 37 GEG-E oder der Nutzung von Abwärme, die aus technischen Prozesse und aus baulichen Anlagen stammenden Abluft-/Abwasserströmen entnommen wird, die mittels elektrisch oder mit fossilen Brennstoffen angetriebener Wärmepumpen technisch nutzbar gemacht wird gemäß § 42 GEG-E, muss deren Anteil mindestens 50 % betragen.

Bei öffentlichen Bestandsgebäuden, bei denen eine grundlegende Renovierung stattfindet, wird ebenfalls eine Nutzungspflicht festgeschrieben, § 52 GEG-E. Allerdings sind die Quoten nicht so hoch wie bei Neubauten: bei Klärgasnutzung in einer KWK-Anlage in den Nebengebäuden der Kläranlage läge sie nur bei 25 %. Klärschlamm fällt wiederum nicht in den Anwendungsbereich, da § 52 Abs. 4 Nr. 2 GEG-E auf § 38 Abs. 2 GEG-E verweist. Die Nutzung von Abwärme ist als Ersatzmaßnahme im Sinne des § 53 Abs. 1 Nr. 1 lit. a GEG-E anerkannt, allerdings läge dann der Nutzungsanteil trotzdem bei 50 %. Ausnahmen von der Nutzungspflicht regelt § 55 GEG-E.

Durch das GEG würde nach dem jetzigen Stand des Entwurfs die bestehende Rechtsordnung dahingehend verändert, dass der Klärschlamm aus dem Portfolio der für die Wärmeproduktion verwendbaren Kläranlagenprodukte hinausfallen würde. Klärschlamm ist im Gegensatz zu Klärgas und Abwärme zwar als erneuerbare Energie anerkannt, aber nicht mehr von Maßgaben der neuen Rechtslage, anhand derer die erneuerbaren Energien die konventionellen Energien ersetzen sollen, erfasst.

5.4 Kläranlagen als Biomethanerzeuger

Kläranlagen bieten als Erzeuger erneuerbarer Energien theoretisches Potenzial für die Kopplung verschiedener Sektoren (Strom/Wärme; Strom/Mobilität), insbesondere durch den Einsatz von Power-to-Gas-Technologien. Das ohnehin in den Kläranlagen anfallende Klärgas kann bspw. so aufbereitet werden, dass es Erdgasqualität erreicht und entweder direkt im BHKW einer Kläranlage verstromt werden oder (was aufgrund der direkten möglichen Verstromung des Klärgases wahrscheinlicher ist) in das Erdgasnetz eingespeist und aufgrund der Möglichkeit der Massenbilanzierung von Gasen in § 44b Abs. 5 EEG 2017 unter Inanspruchnahme der EEG-Vergütung an anderer Stelle zur Stromerzeugung genutzt werden (s. auch Kapitel 5.2.3). Auch eine Nutzung als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge ist möglich.

¹¹⁹ Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Juni 2019 (BGBl. I S. 804) geändert worden ist.

Im Folgenden wird der Rechtsrahmen für die Verwendung des Biomethans aus Klärgas im Strom- und Wärmesektor analysiert und anschließend ein Überblick über die wesentlichen Bestimmungen im Mobilitätssektor für den Einsatz von Biomethan aus Klärgas als Kraftstoff gegeben.

5.4.1 Biomethan im Strom- und Wärmesektor

- ▶ *Aus Klärgas erzeugtes Biomethan ist Biogas nach § 3 Nr. 10 lit. c EnWG.*
- ▶ *Daraus ergeben sich Privilegierungen bezüglich des Gasnetzanschlusses und der damit verbundenen Kostenverteilung; außerdem gibt es eine auf 10 Jahre befristete pauschale Einspeisevergütung (§ 20 lit. a GasNEV).*
- ▶ *Aus Klärgas erzeugtes Biomethan erneuerbare Energie im Sinne des EEG 2017.*
- ▶ *Keine eigene Vergütungsnorm für Strom aus Biomethan aus Klärgas, Höhe des Vergütungsanspruchs orientiert sich an Klärgasverstromung.*
- ▶ *Kann unter bestimmten Voraussetzungen zur Erfüllung der anteiligen Nutzungspflichten von erneuerbaren Energien bei der Wärme- und Kälteversorgung aus § 3 EEWärmeG herangezogen werden.*

Das EnWG regelt die leitungsgebundene Versorgung mit Elektrizität und Gas. Als Biogas nach § 3 Nr. 10 lit. c EnWG wird Biomethan bei der Einspeisung in das Erdgasnetz privilegiert.¹²⁰ Biomethan i. S. d. EnWG ist ein auf Grundlage verschiedener Biogase, einschließlich Klärgas, aufbereitetes Biogas, das zu Erdgasqualität aufbereitet wurde.¹²¹

Die wesentlichen Regelungen zu Einspeisebedingungen für das Erdgasnetz finden sich in der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV)¹²² und der Gasnetzentgeltverordnung (GasNEV)¹²³. Gemäß § 33 Abs. 1 GasNZV ist eine Anlage zur Aufbereitung von Biogas – worunter auch Klärgas fällt - auf Erdgasqualität vorrangig an das Gasversorgungsnetz anzuschließen. Der Netzbetreiber trägt 75 % der Netzanschlusskosten, der Anlagenbetreiber/Anschlussnehmer maximal 25 %. Transportkunden von Biogas sind gemäß § 34 Abs. 1 GasNZV vom Netzbetreiber vorrangig beim Abschluss von Einspeise- und Ausspeiseverträgen zu behandeln. Außerdem muss das Biogas auch vorrangig transportiert werden, soweit es mit dem Netz kompatibel ist. Es wird gemäß § 35 Abs. 1, Abs. 3 S. 1 GasNZV aufgrund des erweiterten Bilanzausgleichs nur alle zwölf Monate bilanziert und der Einspeiser erhält gemäß § 20a GasNEV pauschal ein vermiedenes Netznutzungsentgelt von 0,7 ct/kWh für 10 Jahre ab Inbetriebnahme.

Biomethan ist ebenso wie Klärgas als Biomasse i. S. d. § 3 Nr. 21 lit. e EEG 2017 als erneuerbare Energie anerkannt. Entscheidend dabei ist, dass es sich nur um Biomethan i. S. d. EEG 2017 handelt, wenn aufbereitetes Biogas oder gasförmige Biomasse auch tatsächlich in das Erdgasnetz eingespeist worden sind. Das hat zur Folge, dass nur für den aus Biomethan erzeugten, in das

¹²⁰ Privilegierungen im Detail: Altrock/Helbach, in: Loibl, H.; Maslaton, M.; von Bredow; Walter, H. (2013): Biogasanlagen im EEG, § 36.

¹²¹ Theobald in: Danner, W.; Theobald, C. (2019): Energierecht – Kommentar, 102. EL, EnWG § 3 Rn. 66.

¹²² Gasnetzzugangsverordnung vom 3. September 2010 (BGBl. I S. 1261), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juni 2019 (BGBl. I S. 786) geändert worden ist.

¹²³ Gasnetzentgeltverordnung vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2197), die zuletzt durch Artikel 118 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist.

Erdgasnetz und anschließend in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeisten Strom eine EEG-Vergütung in Anspruch genommen werden kann. Deren Höhe lässt sich nicht eindeutig aus dem EEG entnehmen. Zwar gibt es Vorschriften über die Vergütung von Strom aus Biomethan in § 44b Abs. 2 EEG 2017. Die Norm richtet sich jedoch ausschließlich an die Verstromung von Biomethan aus Biomasse i. S. d. der BiomasseV und sieht einen Vergütungsanspruch nur für Biomethanstrom aus KWK vor. Die Höhe des Anspruchs richtet sich dann nach dem Anspruch für Strom aus Biomasse bzw. Vergärung von Bioabfällen in §§ 42, 43 EEG 2017 in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausgangsstoff. Klärgas ist jedoch ausdrücklich aus dem Anwendungsbereich der BiomasseV ausgenommen¹²⁴, sodass die Normen auf Biomethan aus Klärgas nicht anzuwenden sind. Für Biomethan aus Klärgas finden sich keine eigenen Vorschriften. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich der Vergütungsanspruch ebenfalls an der Herkunft des Biomethans orientiert, sodass sich die Höhe des Vergütungsanspruchs an dem anzulegenden Wert aus § 41 Abs. 2 EEG 2017 orientiert.

Speicher und PtG-Anlagen gelten zudem als Letztverbraucher im Sinne des EEG 2017 und EnWG, mit der Folge, dass sie grundsätzlich alle Letztverbraucherabgaben zu zahlen haben, was erhebliche Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen haben kann.

Im Wärmesektor kann aus Klärgas erzeugtes Biomethan zur Erfüllung der anteiligen Nutzungspflichten von erneuerbaren Energien bei der Wärme- und Kälteversorgung aus § 3 EEWärmeG herangezogen werden. Voraussetzung dafür ist, dass bei der Aufbereitung und Einspeisung des Biomethans die Voraussetzungen nach Nummer 1 Buchstabe a bis c der Anlage 1 zum EEG 2014¹²⁵ in der am 31. Juli 2014 geltenden Fassung sowie der Massenbilanzierung von Biomethan eingehalten worden sind, vgl. Nr. II.1 lit. c Anlage zum EEWärmeG. Demnach dürfen die Methanemissionen in die Atmosphäre bei der Aufbereitung höchstens 0,2 Prozent und der Stromverbrauch für die Aufbereitung höchstens 0,5 kWh pro Normkubikmeter Rohgas betragen und die Prozesswärme für die Aufbereitung und die Erzeugung des Biomethans muss aus erneuerbaren Energien, Grubengas oder aus der Abwärme der Gasaufbereitungs- oder Einspeiseanlage ohne den Einsatz zusätzlicher fossiler Energie bereitgestellt werden.

Für die Bestimmung des PEF im Rahmen der EnEV wird für Biomethan aus Klärgas ein Wert von 0,5 angesetzt, wenn es im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt wird. Dementsprechend kann dieser Wert auch nur für die Wärmeversorgung der zur Kläranlage gehörenden Gebäude und nicht bei der Einspeisung in ein angrenzendes Wärmenetz angesetzt werden. Darüber hinaus gelten die allgemeinen Bestimmungen zur Bestimmung des PEF (siehe auch Kap. 5.3.2).

5.4.2 Biomethan im Mobilitätssektor

- *Aus Klärgas erzeugtes Biomethan kann gemäß § 37b Abs.1 BImSchG ein Biokraftstoff sein, wenn es die Anforderungen an Erdgas aus § 8 der 10. BImSchV erfüllt.*
- *Aus Klärgas erzeugtes Biomethan kein fortschrittlicher Biokraftstoff, aber erneuerbarer Kraftstoff nicht biogenen Ursprungs nach der RED II -> Umsetzungsbedarf durch nationalen Gesetzgeber.*

¹²⁴ Vgl. § 3 Nr. 11 BiomasseV.

¹²⁵ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S.2074), zuletzt geändert durch Artikel 5 des dritten Gesetzes zur Neuordnung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S.2730).

► *Anrechnung auf europäische und nationale erneuerbare-Energien-Quoten mit Einschränkungen möglich.*

Der Verkehrssektor kann eine bedeutende Rolle bei der Erreichung europäischer und nationaler Treibhausgasminderungsziele spielen. Um diese Ziele zu erreichen, werden u. a. Quoten für den Mindestanteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch vorgegeben, die zu einem bestimmten Zeitpunkt spätestens erreicht werden sollen (20 % in 2020 nach der RED I¹²⁶ und 32 % in 2030 nach der RED II¹²⁷ auf EU-Ebene¹²⁸). Zur Erreichung dieser übergreifenden Ziele wurde auch eine eigene Quote für den Verkehrssektor (EE-Quote) festgelegt. Demnach soll der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor auf europäischer Ebene bis 2020 mindestens 10 % nach Art. 3 Abs. 4 UAbs. 1 RED I und bis 2030 mindestens 14 % betragen, Art. 25 Abs. 1 UAbs. 1 RED II. Entscheidend für die Einhaltung dieser Quoten sind u. a. Regelungen darüber, welche Kraftstoffe auf diese Quote anrechenbar sind. Dafür können erneuerbare und nachhaltige Kraftstoffe entweder konventionellen, fossilen Kraftstoffen beigemischt werden oder diese sogar vollständig ersetzen.

Auf nationaler Ebene hat Deutschland in § 37a Abs. 4 BImSchG festgelegt, dass die Inverkehrbringer von Otto- oder Dieselmotorkraftstoffen die Treibhausgasemissionen dieser Kraftstoffe bis 2020 um 6 % gegenüber einem in der Norm festgelegten Referenzwert zu mindern haben. Die Ermittlung des Referenzwerts hängt u. a. von der von den Verpflichteten in Verkehr gebrachten energetischen Menge an Biokraftstoffen ab. Aus Klärgas erzeugtes Biomethan kann gemäß § 37b Abs. 1 BImSchG ein Biokraftstoff sein, wenn es die Anforderungen an Erdgas aus § 8 der 10. BImSchV¹²⁹ erfüllt. § 8 der 10. BImSchV enthält eine Verweisung auf die DIN EN 16723-2, Ausgabe Oktober 2017, deren Voraussetzungen erfüllt sein müssen, wenn das Biomethan als Kraftstoff gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen gegenüber dem Letztverbraucher in den Verkehr gebracht werden soll. Liegen die Voraussetzungen der DIN-Norm vor, kann das aus Klärgas hergestellte Biomethan auch auf die Erfüllung der Erneuerbare-Energien-Quote der RED I auf EU-Ebene angerechnet werden.

In der bis 30. Juni 2021 in nationales Recht umzusetzenden RED II ist fortan der Einsatz sog. „fortschrittlicher“ Biokraftstoffe vorgesehen, die mit einem Mindestanteil in der EE-Quote für den Verkehrssektor vertreten sein müssen, vgl. Art. 25 Abs. 1 U Abs. 4 RED II (3,5 % bis 2030). Dabei sind Biokraftstoffe Kraftstoffe, die aus besonders qualifizierten Rohstoffen hergestellt sind, Art. 2 Nr. 34 i. V. m. Anhang IX Teil A RED II. Auf nationaler Ebene sieht die 38. Bundes-Immissionsschutzverordnung ebenfalls eine Mindestquote für fortschrittliche (Bio-) Kraftstoffe vor (0,05 % ab 2020). Klärgas ist jedoch in keiner der beiden Normen als entsprechend qualifizierter Rohstoff erfasst, sodass daraus erzeugtes Biomethan auch nicht als fortschrittlicher Biokraftstoff auf die entsprechenden Mindestquoten angerechnet werden kann. Diesbezüglich scheint daher Aufklärungsbedarf für den Gesetzgeber bezüglich der Verwendung von Biomethan aus Klärgas im Mobilitätssektor zu bestehen, sodass dieser in Zukunft alle Einsatzmöglichkeiten aktiv in die Gestaltung gesetzlicher Vorgaben einbeziehen kann. Allerdings sieht die RED II Ausnahmen von der Kraftstoffquote für Anbieter vor, die ausschließlich erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs oder Elektrizität anbieten, Art. 25 Abs. 1 UAbs. 6 RED II. Erneuerbare

¹²⁶ RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

¹²⁷ RICHTLINIE (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

¹²⁸ Vgl. Art. 3 Abs. 1 RL 2009/28/EG (RED I); Art. 3 Abs. 1 RL 2018/2001/EU (RED II).

¹²⁹ Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1849), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2739) geändert worden ist.

Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs sind danach flüssige oder gasförmige im Verkehrssektor eingesetzte Kraftstoffe mit Ausnahme von Biokraftstoffen und Biogas, deren Energiegehalt aus erneuerbaren Energiequellen mit Ausnahme von Biomasse stammt, Art. 2 Nr. 36 RED II. Da es sich bei Klärgas nicht um Biomasse i. S. d. der RED II, sondern ausdrücklich gemäß Art. 2 Nr. 1 um eine erneuerbare Energie handelt, ist aus Klärgas erzeugtes Biomethan von dieser Definition umfasst. Zwar gibt es in der RED II keine Mindestquote für erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs; sie können jedoch auf die Erneuerbare-Energien-Quote des Verkehrssektors (14 % bis 2030) angerechnet werden. Voraussetzung für eine Anrechnung ist, dass die Treibhausgaseinsparungen durch diese Kraftstoffe ab 2021 mindestens 70 % betragen, Art. 25 Abs. 2 UAbs. 1 RED II.

Auf nationaler Ebene finden sich erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs in der 38. Bundes-Immissionsschutzverordnung in § 2 Abs. 6 Nr. 2 als eine Unterkategorie fortschrittlicher Kraftstoffe. Solche Kraftstoffe können daher auf die Mindestquote für fortschrittliche Kraftstoffe aus § 14 Abs. 1 38. BImSchV¹³⁰ angerechnet werden. Die Norm verweist auf die Anlage 1 Buchstaben a und b der 37. BImSchV¹³¹, die synthetisches Methan aber nur dann erfasst, wenn es durch den Sabatier-Prozess mit Wasserstoff aus der durch nicht-biogene erneuerbare Energien gespeisten Elektrolyse erzeugt worden ist. Aus Klärgas erzeugtes Biomethan kann demnach kein erneuerbarer Kraftstoff nicht biogenen Ursprungs i. S. d. der 38. BImSchG sein und somit auch nicht auf die Mindestquote für fortschrittliche Kraftstoffe angerechnet werden. An dieser Stelle besteht daher noch Anpassungsbedarf seitens des Bundesgesetzgebers, um die nationalen Regelungen in Einklang mit den Vorgaben der Richtlinie zu bringen.

Die RED II wird mit ihrer baldigen Umsetzung in nationales Recht (spätestens im Juli 2021) in Zukunft die entscheidende europäische Rechtsnorm sein, die Zielstellungen auf EU-Ebene vorgibt. Die Umsetzungen auf nationaler Ebene werden sehr wahrscheinlich auch weiterhin im BImSchG und den entsprechenden zugehörigen Verordnungen erfolgen. Allerdings besteht Hoffnung, dass sich mit der Verringerung der anwendbaren Rechtsquellen, die Übersichtlichkeit über den anwendbaren Rechtsrahmen verbessern wird. Sollte ein verstärkter Einsatz von aus Klärgas erzeugtem Biomethan im Verkehrssektor in Zukunft als potenzielles Geschäftsfeld für Kläranlagen zur Verfügung stehen, machen die obigen Ausführungen deutlich, dass diesbezüglich noch Anpassungsbedarf besteht, möchte man das volle Potenzial dieses regenerativen Kraftstoffs nutzen.

5.4.3 Zusammenfassung

Die vorstehenden Ausführungen zeigen einen komplexen und unübersichtlichen Rechtsrahmen in Bezug auf aus Klärgas erzeugtem Biomethan. Sollte die Nutzung von Biomethan aus Kläranlagen in Zukunft verstärkt gefördert werden, bietet sich eine Überarbeitung der anwendbaren Normen im Hinblick auf ihre leichtere Anwendbarkeit an. Insbesondere einheitliche Begriffsdefinitionen über alle anwendbaren Gesetze hinweg und technologieoffene Ausgestaltungsvarianten können sich dabei positiv auf den anwendbaren Rechtsrahmen auswirken. Ein entscheidender Faktor für die zukünftige Nutzung des Biomethans kann auch die jüngst im Brennstoffemissionshandelsgesetz¹³² beschlossene CO₂-Bepreisung für die Wärme- und Verkehrssektoren werden. Aufgrund der geringeren unmittelbaren CO₂-Emissionen bei der Verstromung des Biomethans

¹³⁰ Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminimierung bei Kraftstoffen vom 8. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3892), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Mai 2019 (BGBl. I S. 742) geändert worden ist.

¹³¹ Siebenunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Anrechnung von strombasierten Kraftstoffen und mitverarbeiteten biogenen Ölen auf die Treibhausgasquote) vom 15. Mai 2017 (BGBl. I S. 1195).

¹³² Brennstoffemissionshandelsgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2728).

im Vergleich zu Klärgas kann sich hieraus ein entscheidender Wettbewerbsvorteil ergeben. Die genauen Auswirkungen diesbezüglich lassen sich, auch aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bezüglich der genauen Entwicklung des CO₂-Preises und insbesondere auch der Verfassungsmäßigkeit des Ende 2019 in Kraft getretenen Gesetzes¹³³, jedoch noch nicht ausreichend abschätzen, sodass für die Entwicklung des Rechtsrahmens keine gesicherten Vorhersagen getroffen werden können.

5.5 Kläranlagen als Wasserstofferzeuger

Wasserstoff aus Elektrolyse mit erneuerbarem Strom („grüner“ Wasserstoff) kann als Speichergas einen wichtigen Beitrag zur Sektorenkopplung und somit zur Energiewende leisten. Kläranlagen bieten sich als Standort für dezentrale Wasserelektrolyseanlagen an, weil sie über Verwertungsmöglichkeiten für die entstehenden Nebenprodukte der Elektrolyse verfügen. Der entstehende Sauerstoff kann für die Ozonherstellung für Abwasserreinigungsprozesse genutzt werden. Die erzeugte Wärme kann als Prozesswärme gegebenenfalls in anaeroben Faulungsanlagen zur Optimierung der Betriebstemperatur zur Erzeugung von Klärgas genutzt werden. Wasserelektrolyseanlagen können zudem durch die Nutzung von Überschussstrom netzdienlich betrieben werden und so einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen.

Daneben kann der erzeugte Wasserstoff nicht nur als Speichergas dezentral für eine Rückverstromung vorgehalten werden, er kann in gewissen Mengen auch ins Erdgasnetz eingespeist¹³⁴ oder zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Nutzung im Verkehrs-, Wärme- oder Industriesektor eingesetzt werden. Neben den Sektoren Energiewirtschaft und Abwasserreinigung könnten daher auch der Wärme- und der Mobilitätssektor und Industrie von einer gezielten Wasserstofferzeugung durch Kläranlagen profitieren.¹³⁵

In Zusammenhang mit Kläranlagen kann Wasserstoff auf zwei verschiedenen Wegen erzeugt werden: mittels eines Dampfreformers aus Biomethan oder mittels Elektrolyse idealerweise unter Einsatz erneuerbaren Stroms. Aus dem in Kapitel 3.3.2.2 vorgestellten Szenario geht jedoch auch hervor, dass sich die Wasserstofferzeugung für Kläranlagenbetreiber in näherer Zukunft noch nicht wirtschaftlich betreiben lassen wird. Der folgende Abschnitt wird daher den aktuellen, noch recht fragmentierten, Rechtsrahmen für Kläranlagen als Wasserstofferzeuger in der aufgrund der bestehenden wirtschaftlichen Risiken gebotenen Kürze nur überblicksartig darstellen und dabei insbesondere auf bestehende rechtliche Hemmnisse für die Weiterentwicklung von entsprechenden Geschäftsmodellen im Wärme- und Mobilitätssektor und der Industrie hinweisen.

5.5.1 Wasserstoff im Strom- und Wärmesektor

- *Wasserelektrolytisch hergestellter Wasserstoff, der nachweislich weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen stammt, gilt als Biogas (§ 3 Nr. 10 lit. c EnWG).*

¹³³ Siehe auch: IKEM und Prof. Dr. Michael Rodi (2019): Verfassungsmäßigkeit des Entwurfs zum Brennstoffemissionshandlungsgesetzes (BEHG-E) - Rechtswissenschaftliches Kurzgutachten und Stellungnahme.

¹³⁴ Laut Arbeitsblatt G 262 DGfV ist momentan unter Verweis auf DIN 51624 2 % als Grenzwert vorgesehen, siehe auch IKEM (2019): Rechtsrahmen für ein H₂ – Teilnetz, Nukleus einer bundesweiten, öffentlichen Wasserstoffinfrastruktur, Rechtswissenschaftliche Studie; <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/10/Rechtsrahmen-für-ein-H2-Teilnetz.pdf> (10.12.2019), S. 24.

¹³⁵ Vgl. im Detail: Buchmüller, C.; Wilms, S.; Kalis, M. (2019): Der Rechtsrahmen für die Vermarktung von grünem Wasserstoff, ZNER 2019, 194, 195.

- *Daraus ergeben sich Privilegierungen bezüglich des Gasnetzanschlusses und der damit verbundenen Kostenverteilung, außerdem gibt es eine auf 10 Jahre befristete pauschale Einspeisevergütung (§ 20 lit. a GasNEV).*
- *„Grüner“ Wasserstoff keine erneuerbare Energie im Sinne des EEG, 2017.*
- *Privilegierung bei EEG-Umlage für den bei Erzeugung von Wasserstoff als Speichergas (§ 3 Nr. 42 EEG, 2017) verbrauchten Strom (§ 61 I Abs. 2 EEG, 2017).*
- *Grüner Wasserstoff auch im Wärmesektor nicht als erneuerbare Energie anerkannt.*
- *Für die Vermarktung von „grünem“ Wasserstoff gegenüber Letztverbrauchern noch keine spezifischen regulierungsrechtlichen Vorgaben, mit Umsetzung der RED II erstmals Möglichkeit der Ausgabe von Herkunftsnachweisen für grünem Wasserstoff.*

Wasserstoff wird im EnWG gemäß § 3 Nr. 10 lit. c EnWG ebenso wie Biomethan als Biogas eingruppiert. Allerdings nur soweit er durch Wasserelektrolyse erzeugt worden ist und der eingesetzte Strom nachweislich weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen stammt („grüner“ Wasserstoff).

Für grünen Wasserstoff gelten daher bei der Einspeisung in das Erdgasnetz dieselben Privilegien wie für andere Biogase.¹³⁶ Gemäß § 33 Abs. 1 GasNZV gibt es für die Anlage zur Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität an das Gasversorgungsnetz einen vorrangigen Anschlussanspruch, wobei der Netzbetreiber 75 % der Netzanschlusskosten und der Anlagenbetreiber/Anschlussnehmer maximal 25 % der Kosten trägt. Transportkunden von Biogas sind gemäß § 34 Abs. 1 GasNZV vom Netzbetreiber ebenfalls vorrangig beim Abschluss von Einspeise- und Ausspeiseverträgen zu behandeln. Das Biogas muss auch vorrangig transportiert werden, soweit es mit dem Netz kompatibel ist. Es wird gemäß § 35 Abs. 1, Abs. 3 S. 1 GasNZV aufgrund des erweiterten Bilanzausgleichs nur alle zwölf Monate bilanziert. Der Einspeiser erhält gemäß § 20a GasNEV pauschal ein vermiedenes Netznutzungsentgelt von 0,7 ct/kWh für 10 Jahre ab Inbetriebnahme. Gemäß § 118 Abs. 6 S. 8 EnWG ist das eingespeiste Biogas zudem von den Einspeiseentgelten befreit.

Allerdings handelt es sich bei Wasserstoff nicht um eine erneuerbare Energie im Sinne der derzeit geltenden Regelungen des Energiewirtschaftsrechts. Dies geht aus der Verweisung des § 3 Nr. 18 lit. b EnWG auf die Legaldefinition des § 3 Nr. 21 EEG 2017 hervor, in der Wasserstoff nicht enthalten ist. Speicher und PtG-Anlagen gelten zudem als Letztverbraucher im Sinne des EEG 2017 und EnWG, mit der Folge, dass sie grundsätzlich alle Letztverbraucherabgaben zu zahlen haben, was erhebliche Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen haben kann. Allerdings kann Wasserstoff ein Speichergas i. S. v. § 3 Nr. 42 EEG 2017 sein, wenn es sich um ein Gas handelt, das zwar keine erneuerbare Energie ist, aber zum Zweck der Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien ausschließlich unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Der für die Erzeugung von Speichergasen erzeugte Strom ist laut § 61 I Abs. 2 EEG 2017 von der EEG-Umlage befreit, soweit das Speichergas zur Stromerzeugung eingesetzt wird, auf den Strom die EEG-Umlage gezahlt wird und die Voraussetzungen der Massenbilanzierung in § 44b Abs. 5 EEG 2017 eingehalten werden (s. auch Kapitel 5.2.3). Daneben sind Anlagen, in denen mittels Wasserelektrolyse Wasserstoff erzeugt wird oder in denen

¹³⁶ Privilegierungen im Detail: Altrock/Helbach, in: Loibl, H.; Maslaton, M.; von Bredow; Walter, H. (2013): Biogasanlagen im EEG, § 36.

Gas oder Biogas durch wasserelektrolytisch hergestellten Wasserstoff und anschließender Methanisierung hergestellt wird, § 118 Abs. 6 Satz 7 EnWG, unabhängig von einer späteren Rückverstromung von Netzentgelten befreit. Dasselbe gilt für die Einspeiseentgelte des Gasnetzes, an das sie angeschlossen sind, § 118 Abs. 6 Satz 8 EnWG.

Die Stromsteuerprivilegierung nach § 9a StromStG, bei der die Steuer für nachweislich versteuerten Strom erlassen, erstattet oder vergütet wird, den ein Unternehmen des Produzierenden Gewerbes für die Elektrolyse entnommen hat, findet wie bereits beschrieben (s. Kapitel 5.1.1.2.2.3) dagegen keine Anwendung, weil es sich bei Kläranlagen in der Regel nicht um Unternehmen des Produzierenden Gewerbes handelt.

Auch im Wärmesektor wird Wasserstoff bisher nicht als erneuerbare Energie in den jeweils anwendbaren Gesetzen anerkannt. Sollte bei der aktuellen Entwurfsversion des GEG bleiben, wird mit der endgültigen Verabschiedung des GEG im kommenden Jahr eine gute Gelegenheit ungenutzt gelassen, im Gebäudesektor Anreize für die Nutzung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom zu setzen. Wasserstoff kann deshalb auch nicht zur Erfüllung der Quote des EEWärmeG (s. Kap. 5.3.1) herangezogen werden.

Darüber hinaus bestehen bisher insbesondere für die Vermarktung von „grünem“ Wasserstoff gegenüber Letztverbrauchern keine regulierungsrechtlichen Vorgaben.¹³⁷ Allerdings werden die Mitgliedsstaaten künftig aufgrund von Art. 19 Abs. 2 UAbs.1 S. 1 RED II verpflichtet sein, auf Anfrage eines Produzenten von erneuerbarer Energie grundsätzlich einen entsprechenden Herkunftsnachweis auszustellen. Gemäß Art 19 Abs. 7 S. 1 b) ii) RED II können solche Herkunftsnachweise ausdrücklich auch für Wasserstoff ausgestellt werden. Die Wasserstoffkennzeichnung könnte dann entsprechend der Stromkennzeichnung ausgestaltet werden.¹³⁸

5.5.2 Wasserstoff im Mobilitätssektor

- *Aus Klärgas hergestellter Wasserstoff ist nicht auf die in der 37. BImSchV verankerte gesetzliche Verpflichtung zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehr anrechenbar.*
- *Mögliche Änderungen mit der erforderlichen Umsetzung der RED II durch neue Definition für „nicht-biogene erneuerbare Energien“.*

Strombasierte Kraftstoffe können unter bestimmten Voraussetzungen gemäß § 37a Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)¹³⁹ auf die gesetzliche Verpflichtung zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehr angerechnet werden. Nach § 3 der 37. BImSchV sind nur Kraftstoffe in Anlage 1 anrechnungsfähig. In Anlage 1 lit. b ist komprimierter Wasserstoff in einer Brennstoffzelle als Kraftstoff zwar aufgeführt, jedoch muss er vollständig durch eine von nicht-biogenen erneuerbaren Energien (z. B. Wind oder PV) gespeisten Elektrolyse erzeugt worden sein. Darunter fällt jedoch gemäß § 2 Abs. 2 S. 2 37 BImSchV ausdrücklich keine Energie aus Klärgas. Das heißt, dass weder zu Wasserstoff aufbereitetes Faulgas noch mit Strom aus Klärgas

¹³⁷ Buchmüller, C.; Wilms, S.; Kalis, M. (2019): Der Rechtsrahmen für die Vermarktung von grünem Wasserstoff, ZNER 2019, 194, 198.

¹³⁸ Vgl. im Detail: Buchmüller, C.; Wilms, S.; Kalis, M. (2019): Der Rechtsrahmen für die Vermarktung von grünem Wasserstoff, ZNER 2019, 194, 199.

¹³⁹ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist.

erzeugter Wasserstoff zur Treibhausgasminderung angerechnet werden kann. Soweit Wasserstoff, insbesondere auch aus Klärgas erzeugter Wasserstoff, in Zukunft eine bedeutendere Rolle für die Mobilitätswende zukommen soll, bietet es sich an, Klärgas in die „nicht-biogene erneuerbare Energien“ – Definition mitaufzunehmen und ggf. an eine technologieoffene Herstellung des erneuerbaren Wasserstoffs anzuknüpfen.

5.5.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Rechtsrahmen für Wasserstoff aus erneuerbaren Energieträgern bisher lückenhaft ausgestaltet ist. Dabei besteht großes Potenzial und die Möglichkeit der Erschließung neuer Geschäftsfelder, sollte Wasserstoff in der Zukunft in den relevanten Normen als erneuerbare Energie eingeordnet und entsprechende Vermarktungsmöglichkeiten für „grünen“ Wasserstoff geschaffen werden.

Dass Wasserstoff inzwischen als ein bedeutender Bestandteil der Energiewende mit großem Potenzial gilt, wird auch an der Ende Januar 2020 in die Ressortabstimmung gegebenen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung deutlich. Damit könnte die Bedeutung von Wasserstoff zunehmen, sodass schließlich auch Kläranlagenbetreiber neue Geschäftsfelder erschließen und davon profitieren könnten.

5.6 Kläranlagen als Systemdienstleister

5.6.1 Regelenenergiebereitstellung

- ▶ *Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärregelenergie und Minutenreserve, je nach Intensität der Netzfrequenzschwankung.*
- ▶ *Bei Sekundärregelenergie und Minutenreserve Ausschreibungen jeweils einen Kalendertag im Voraus, kurzfristige Entscheidungen für Kläranlagenbetreiber möglich.*
- ▶ *Voraussetzung für die Teilnahme am Regelenenergiemarkt Präqualifikation der jeweiligen Anlage.*
- ▶ *Kleinere Anlagen Zusammenschluss über Aggregatoren (Pooling), um Mindestgebotsgröße zu erreichen (= grds. 5 MW, für die Sekundärregelenergie und Minutenreserve u. U. 1 MW möglich).*

Kläranlagen bzw. die zu der Anlage gehörenden Stromverbraucher und Stromerzeuger wie Gebläse/Verdichter von Belüftungsanlagen, Pumpen und BHKW sind in der Lage, sowohl negative als auch positive Flexibilität bereitzustellen, da sie Möglichkeiten zur flexiblen Stromerzeugung und Lastmanagement haben.¹⁴⁰ Damit können sie als Systemdienstleister zur Stabilisierung und Aufrechterhaltung der Stromversorgung beitragen.

Die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind dafür verantwortlich, dass Stromerzeugung und Stromverbrauch sich innerhalb des Stromnetzes stets die Waage halten, sodass die Frequenz des

¹⁴⁰ BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. XX.

Netzes konstant 50 Hertz beträgt (Nennfrequenz).¹⁴¹ Schon Abweichungen von 0,01 Hertz innerhalb des europäischen Verbundnetzes erfordern ein Tätigwerden der ÜNB.¹⁴² Um diese Frequenz daher beibehalten zu können, wird Regelenenergie benötigt, die auch von Kläranlagen zur Verfügung gestellt werden könnte.

Momentanreserve ist die Eigenschaft durch Aufnahme und Abgabe von Bewegungsenergie (kinetischer Energie), kurzfristigen Frequenzänderungen entgegenzutreten zu können.¹⁴³ Konventionelle Stromerzeugungsanlagen verfügen über große rotierende Stromgeneratoren, durch deren Trägheit kürzere Frequenzschwankungen von wenigen Sekunden ohne merkliche Verzögerungen abgepuffert werden können. Durch den gesteigerten Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere volatiler Energien wie Wind- und Solarkraft oder wenn große Erzeuger oder Verbraucher unvorhergesehen vom Netz gehen, kann es zu Frequenzschwankungen kommen, die allein durch die Momentanreserve nicht mehr ausgeglichen werden können. Bei längeren unvorhersehbaren Frequenzabweichungen wird daher Regelenenergie benötigt. Während Momentanreserve (zumindest bisher) systeminhärent vorhanden war, muss Regelenenergie am Markt über Ausschreibungen organisiert werden.¹⁴⁴ Regelenenergie ist die physikalische Bereitstellung von elektrischer Leistung und Arbeit.

Es wird zwischen Primär- und Sekundärregelleistung und Minutenreserveleistung unterschieden. Primärregelenergie kommt bei verhältnismäßig kurzen Frequenzschwankungen zum Einsatz und muss innerhalb von 30 Sekunden zur Verfügung stehen. Sekundärregelleistung wird für größere Schwankungen innerhalb von 5 Minuten benötigt und schließlich die Minutenreserve innerhalb von 15 Minuten.¹⁴⁵

Für jede der drei in zeitlicher Abfolge nacheinander eintretenden Arten von Regelenenergie müssen gemeinsame, regelzonenübergreifende anonymisierte Ausschreibungen über eine Internetplattform organisiert werden, um Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, § 6 Abs. 1 StromNZV. Sie erfolgen seit den Beschlüssen zu den Festlegungsverfahren BK6-15-158 und BK6-15-159 durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) für die Sekundärregelung und die Minutenreserve nicht mehr wöchentlich, sondern jeweils 1 Kalendertag im Voraus.¹⁴⁶ Damit sind potenzielle Anbieter von Regelenenergie flexibler und sollen so zur kurzfristigen Bereitstellung von Regelenenergie motiviert werden.¹⁴⁷ Für die Bereitstellung von Primärregelleistung ist der wöchentliche Zyklus aufrechterhalten worden.¹⁴⁸

¹⁴¹ DENA (2017): dena-Innovationsreport – Systemdienstleistungen – Aktueller Handlungsbedarf und Roadmap für einen stabilen Betrieb des Stromsystems bis 2030, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9239_Innovations-report_Systemdienstleistungen.pdf (10.12.2019), S. 8.

¹⁴² BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. XXIV.

¹⁴³ <https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/stromnetze/systemdienstleistungen/innovationsbarometer-systemdienstleistungen/> (Stand: 23.09.2019).

¹⁴⁴ DENA (2017): dena-Innovationsreport – Systemdienstleistungen – Aktueller Handlungsbedarf und Roadmap für einen stabilen Betrieb des Stromsystems bis 2030, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9239_Innovations-report_Systemdienstleistungen.pdf (10.12.2019), S. 8.

¹⁴⁵ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Regelenenergie/regelenenergie-node.html (Stand: 23.09.2019).

¹⁴⁶ BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-158; BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-159.

¹⁴⁷ BNetzA (2015), Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung und Minutenreserve - Konsultation von Eckpunkten, S. 3.

¹⁴⁸ BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-158.

Dabei wird jeweils zwischen positiver und negativer Regelenenergie unterschieden. Positive Regelenenergie wird benötigt, wenn ein Strommangel im Stromnetz vorliegt und deshalb ein Absinken der Nennfrequenz droht. Die Bereitstellung von Regelenenergie kann dann sowohl durch das Zuschalten von Stromerzeugern als auch dem Abschalten von Stromverbrauchern, wie Belüftungs- oder Pumpenanlagen, realisiert werden. Negative Regelenenergie wird bei einem Stromüberschuss im Netz benötigt, um das Ansteigen der Nennfrequenz zu verhindern. Um den Anstieg zu vermeiden, können Stromerzeuger abgeschaltet und geeignete Stromverbraucher gezielt hinzugeschaltet werden.¹⁴⁹

Um sicherzustellen, dass die angebotenen Anlagen die technischen Anforderungen erfüllen und die Netzstabilität nicht gefährden, müssen bestimmte Präqualifikationsbedingungen eingehalten werden, die seit dem 18.12.2019 ausschließlich in den sog. „PQ-Bedingungen“ (Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter (FCR, aFRR, mFRR) in Deutschland, Stand: 23.05.2019)¹⁵⁰ niedergelegt sind. Der entsprechende Nachweis darüber obliegt den potenziellen Regelenenergieanbietern. Darin werden auch Mindestgebotsgrößen festgelegt, um dem Koordinierungsaufwand einer Vielzahl kleiner Gebote entgegenzuwirken. Durch die BNetzA-Festlegungen BK6-15-158 und BK6-15-159 wurde die Mindestgebotsgröße zwar grundsätzlich bei 5 MW belassen. Darunterliegende Angebote in Höhe von 1 MW, 2 MW, 3 MW oder 4 MW sind in den Bereichen der Sekundärregelleistung und Minutenreserve jedoch ausnahmsweise möglich, wenn nur ein einziges Angebot je Produktzeitscheibe (von je 4 Stunden) in positiver bzw. negativer Regelrichtung in der betreffenden Regelzone gestellt wird. Damit soll die Teilnahme am Regelenenergiemarkt weiter gefördert werden.¹⁵¹ Für mittlere und kleine Anlagen besteht in den Bereichen Sekundärregelung und Minutenreserve die Möglichkeit, sich über Aggregatoren beispielsweise zu einem virtuellen Kraftwerk zusammenzuschließen (Pooling), um so die Mindestgebotsgröße zu erreichen und gemeinsam Regelenenergie bereit zu stellen.¹⁵² Wird ein entsprechender Zuschlag schließlich erteilt, richtet sich die Beschaffung, Erbringung und Abrechnung der Regelenenergie nach den Anforderungen der §§ 6 ff. StromNZV.

5.7 Zugang zur Wärmeinfrastruktur

Im folgenden Abschnitt werden die Möglichkeiten des Zugangs zu Wärmeinfrastrukturen analysiert. Dabei ist für Kläranlagenbetreiber insbesondere die Möglichkeit der Vermarktung und des Verkaufs der während des Anlagenbetriebs erzeugten Wärme an Dritte mittels der Einspeisung in Wärmenetze relevant.

Im Folgenden werden daher zunächst aktuelle europarechtliche Entwicklungen bezüglich des Drittzugangs zu Wärmenetzen für dezentrale Wärmeerzeuger, wie Kläranlagen, betrachtet, bevor auf die Möglichkeiten kommunaler Einflussnahme auf die Auswahl der Wärmeversorgung für den Verbraucher eingegangen wird.

¹⁴⁹ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Regelenenergie/regelenenergie-node.html (Stand: 23.09.2019); BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 24.

¹⁵⁰ Verband der Netzbetreiber - VDN – e. V. beim VDEW (2007): Transmission Code 2007. Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Version 1.1, August 2007; <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiZg9C2va3mAh-Wqv6YKHR11CDgQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.regelleistung.net%2Ftext%2Fdownload%2Ftransmission2007&usg=AOvVaw3eF95SL04eo-cbvdJldc6H> (11.12.2019).

¹⁵¹ BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-158; BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-159.

¹⁵² BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-158; BNetzA, Beschluss vom 13.06.2017, BK6-15-159.

- ▶ *Fehlender Netzzugangsanspruch für Wärmeerzeuger führt zu Schwierigkeiten bei der Einspeisung von dezentral erzeugter Wärme durch Dritte aufgrund monopolistischer Strukturen.*
- ▶ *RED II sieht die Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Fernwärmeversorgung vor, dies kann auch durch die Schaffung eines Anspruchs auf Drittzugang zu den Wärmenetzen erfolgen.*
- ▶ *Kommunen können mit der Begründung des Klima- und Ressourcenschutzes grundsätzlich einen Anschluss- und Benutzungszwang für Fernwärme anordnen.*
- ▶ *Im Rahmen der Bauleitplanung können Kommunen außerdem die Verwendung bestimmter Materialien und Techniken, insbesondere bestimmte Heizstoffe verbieten und so faktisch ebenfalls einen Anschluss- und Benutzungszwang an alternative Wärmeversorgungskonzepte anordnen.*

5.7.1 Zugang zu Wärmenetzen auf Erzeugerseite

Im Gegensatz zum Stromsektor fand im Wärmesektor noch keine Liberalisierung des Marktes statt. Mangels Netzzugangsanspruchs ist der Wärmenetzbetreiber deshalb in der Regel zugleich der Wärmelieferant. Einen gesetzlichen Anspruch auf Zugang zu den Wärmenetzen gibt es für Wärmeerzeuger bisher nicht. Sie können Zugang zum Netz nur mittels individueller Vereinbarungen mit den Netzbetreibern erhalten. Aufgrund der daraus entstehenden monopolistischen Strukturen ergibt sich ein Risiko für einseitig diktierte und überhöhte Preise. Der Marktzugang für Erzeugungsanlagen wird durch das Erfordernis der Individualvereinbarungen erheblich erschwert und der Anschluss ans Fernwärmenetz ist aufgrund der Marktmacht des Netzbetreibers gegebenenfalls unwirtschaftlich.

Aufgrund der im Rahmen des Clean Energy Packages der EU neugefassten Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED II)¹⁵³ sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, Bestimmungen für den Ausbau erneuerbarer Energien in der Fernwärme zu treffen. Dazu können sie Maßnahmen für eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien und Abwärme und -kälte in Wärmenetzen in den Integrierten Nationalen Energie- und Klimaschutzplänen (NECPs) festlegen, Art. 24 Abs. 4 lit. a RED II. Die in dem Entwurf des deutschen NECP zu diesem Aspekt enthaltenen Maßnahmen sind bisher wenig konkret und können ohne weiteres legislatives Tätigwerden allein nicht zu einem Anspruch auf Drittzugang zu Wärmenetzen führen.¹⁵⁴

Alternativ können die Mitgliedsstaaten Regelungen schaffen, durch die Anbietern von Energie aus erneuerbaren Quellen und von Abwärme und -kälte auf Grundlage nichtdiskriminierender Kriterien Zugang zum Netz gewährt wird, Art. 24 Abs. 4 lit. a RED II. Dabei sind insbesondere die komplexen technischen Gegebenheiten (Druck, Temperaturniveau, Wärmeerzeugungskapazitäten, etc.), aber auch die Gewährleistung einer angemessenen Preisstruktur der betroffenen Wärmenetze zu beachten, die in der Regel durch den Wärmenetzbetreiber vorgegeben sind.

¹⁵³ RICHTLINIE (EU) 2018/2001 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung).

¹⁵⁴ BMWi (2019): Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplan; https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-des-integrierten-nationalen-energie-und-klimaplan.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (10.12.2019).

Eine Umsetzung der Richtlinie durch die Mitgliedsstaaten muss bis zum 30.06.2021 erfolgen. Dabei sollte eine grundlegende politische Entscheidung zügig getroffen werden, um Investitions- und Planungssicherheit gewährleisten zu können.

5.7.2 Zugang zu Wärmenetzen auf Verbraucherseite

Gebäudeeigentümer können ihre Wärmeversorgung in der Regel frei wählen. Die Kommunen können jedoch unter Umständen mithilfe bauplanerischer Instrumente direkt oder indirekt Einfluss auf diese Wahl nehmen. So können Gemeinden zum Beispiel Satzungen aufstellen, die einen Anschluss- und Benutzungszwang anordnen. Damit können Gebäudeeigentümer verpflichtet werden, ihre Grundstücke an ein Wärmenetz anzuschließen und ausschließlich dieses zur Wärmeversorgung zu nutzen. Gemäß § 16 EEWärmeG können Klima- und Ressourcenschutz als rechtmäßige Begründung einer solchen Regelung genügen, vorausgesetzt, dass sich die Maßnahme auch insgesamt als verhältnismäßig darstellt. Sie kann unverhältnismäßig sein, wenn die genutzte Wärmeversorgung bereits höhere Klima- und Umweltschutzstandards erfüllt als die Fernwärmeversorgung. Deshalb kommt es für das Ergebnis einer Rechtmäßigkeitsprüfung stets auf eine Abwägung im Einzelfall an.

Darüber hinaus können Gemeinden innerhalb ihrer Bauleitplanung zum Beispiel Gebiete festsetzen, in denen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG)¹⁵⁵ bestimmte Luft verunreinigende Stoffe nicht oder nur beschränkt verwendet werden dürfen oder in denen bei der Errichtung von Gebäuden bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen für die Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder KWK getroffen werden müssen, § 9 Abs. 1 Nr. 23 BauGB¹⁵⁶. Damit kann die Verwendung bestimmter Heizstoffe, wie Kohle oder Öl untersagt werden, und dadurch faktisch der Anschluss an alternative Wärmeversorgungskonzepte, wie zum Beispiel Fernwärme erzwungen werden.

5.8 Verpflichtungen nach dem TEHG für Kläranlagen

- ▶ *Klärschlamm nach Neufassung der Abfallrahmenrichtlinie kein Siedlungsabfall mehr, Verbrennung daher nicht mehr pauschal von der Teilnahme am Europäischen Emissionshandel ausgenommen.*
- ▶ *Wohl Versehen bei Legaldefinition des Siedlungsabfallbegriffs auf europäischer Ebene, politisch ungewollt, deshalb Hoffnung auf eine Lösung durch den Gesetzgeber.*
- ▶ *Möglichkeit, Klärschlammverbrennung als Feuerungsanlagen, die ausschließlich Biomasse einsetzen, einzustufen, da diese gemäß § 2 Abs. 5 Nr. 2 TEHG ebenfalls nicht von dem Anwendungsbereich des europäischen Emissionshandelssystems erfasst.*

Bisher sind Anlagen oder Verbrennungseinheiten zur Verbrennung von Siedlungsabfällen aufgrund von § 2 Abs. 5 Nr. 3 Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG)¹⁵⁷ nicht verpflichtet, am europäischen Emissionshandel teilzunehmen. Dies könnte sich für Anlagen zur thermischen

¹⁵⁵ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist.

¹⁵⁶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634).

¹⁵⁷ Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz vom 21. Juli 2011 (BGBl. I S. 1475), das zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Januar 2019 (BGBl. I S. 37) geändert worden ist.

Behandlung von Klärschlamm mit der Umsetzung der im Juli 2018 in Kraft getretenen Abfallrahmenrichtlinie¹⁵⁸ ändern. Nach aktueller Rechtslage fällt Klärschlamm unter die Definition von „Siedlungsabfällen“. Nach der Umsetzung der Richtlinie sollen Abfälle aus Kläranlagen, einschließlich Klärschlämmen, explizit nicht mehr von der Definition des „Siedlungsabfalls“ umfasst sein.¹⁵⁹ Das hätte zur Folge, dass Anlagen zur thermischen Behandlung von Klärschlamm ab einer Gesamtwärmeferuleungsleistung von mehr als 20 MW emissionshandelspflichtig werden würden, § 1 i. V. m. Anhang 8.1 TEHG. Sie müssten also Emissionshandelszertifikate für die Menge des von ihnen ausgestoßenen CO₂ erwerben, was einen erheblichen Einfluss auf die Preisgestaltung der kommunalen Abwasserentsorger hätte und letztendlich zu einer Gebührenerhöhung führen würde. Die Mitgliedstaaten sind zur Umsetzung der Richtlinie bis Juli 2020 verpflichtet. Bis dahin versuchen Verbände wie der Bundesverband der deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) zusammen mit dem Gesetzgeber eine Lösung für die möglicherweise nicht bedachte Nebenfolge bei der Ausgestaltung der Abfallrahmenrichtlinie zu finden. So schlägt der Verband vor, Anlagen zur Klärschlammverbrennung als Feuerungsanlagen, die ausschließlich Biomasse einsetzen, einzustufen, da diese gemäß § 2 Abs. 5 Nr. 2 TEHG ebenfalls nicht von dem Anwendungsbereich des europäischen Emissionshandelssystems erfasst sind. Dafür benötige es einer Klarstellung, dass es sich bei Klärschlamm um Biomasse im Sinne des TEHG handle, unabhängig von einer abweichenden Einordnung innerhalb der BiomasseV.¹⁶⁰ Dies wäre aus unionsrechtlicher Sicht unproblematisch möglich, da bei der Anwendung der den Emissionshandel zugrundeliegenden Richtlinie¹⁶¹ ausweislich ihrer Monitoring-Leitlinien von einem weiteren Biomassebegriff ausgegangen wird, der Klärschlamm bereits umfasst¹⁶². Es ist davon auszugehen, dass diese juristischen Folgen bei der Konkretisierung des Siedlungsabfallbegriffs auf politischer Ebene übersehen und ungewollt waren, sodass bis zum Ablauf der Umsetzungsfrist mit einer Lösung der Problematik gerechnet werden kann.¹⁶³

5.9 Ausblick auf die perspektivische Entwicklung des Energierechts

Die vorstehenden Kapitel zeichnen ein komplexes Bild des auf Kläranlagen anwendbaren energierechtlichen Rahmens. Das Energierecht selbst beinhaltet keine spezifischen auf Abwasseranlagen begrenzte Regelungen, sodass die allgemeinen Normen auf die jeweilige spezifische Akteursrolle als Energieverbraucher, -erzeuger-, -speicher oder -vermarkter angewandt und ausgelegt werden müssen. Die Anzahl der anwendbaren Paragraphen nimmt seit Jahren stetig zu, was auch an der wachsenden Bedeutung der Sektorenkopplung zur Erreichung deutscher und internationaler Klimaschutzziele liegt. Dabei wird die Komplexität der anzuwenden Normen in Zukunft perspektivisch weiter steigen, anstatt sich zu vereinfachen. Die historisch gewachsenen

¹⁵⁸ RICHTLINIE (EU) 2018/851 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle.

¹⁵⁹ Vgl. Art. 3 Nr. 2 lit. b Abfallrahmenrichtlinie; § Art. 1 Abs. 5a Referentenentwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union (Stand: 5. August 2019).

¹⁶⁰ BDEW (2018): Novelle der Abfallrahmenrichtlinie: Klärschlamm unterfällt künftig nicht der Definition Siedlungsabfall; <https://www.bdew.de/wasser-abwasser/novelle-abfallrahmenrichtlinie-klärschlamm-unterfaellt-nicht-definition-siedlungsabfall/> (24.09.2019).

¹⁶¹ RICHTLINIE 2003/87/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates.

¹⁶² ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 18. Juli 2007 zur Festlegung von Leitlinien für die Überwachung und Berichterstattung betreffend Treibhausgasemissionen im Sinne der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Monitoring-Leitlinien), S. 34 f.

¹⁶³ EUWID Recycling und Entsorgung (2018): Klärschlammverbrennung droht Teilnahme am Emissionshandel; <https://www.euwid-recycling.de/news/politik/einzelansicht/Artikel/klärschlammverbrennung-droht-teilnahme-am-emissionshandel.html> (11.10.2019).

Fördersysteme des EEG 2017 und des KWKG bedürfen regelmäßiger Anpassungen, um eine angemessene Förderung derjenigen erneuerbaren Energiequellen zu gewährleisten, die sich noch nicht selbstständig auf dem freien Markt behaupten können. Dabei gilt es, ein Gleichgewicht zwischen angemessener Förderung und einer Überförderung zu vermeiden. Das gilt insbesondere, sobald die gesetzlichen Regelungen ihren Zweck erfüllt haben. Gleichzeitig ist es eine Hauptaufgabe des Gesetzgebers, Investitionen anzureizen, indem Rechts- und Planungssicherheit gewährleistet werden.

Im EEG 2017 finden sich die gesetzlichen Wertungen, dass Klärgas einerseits als erneuerbare Energie einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung leisten kann und muss. Zum anderen macht die Festlegung einer gesetzlichen Marktprämie deutlich, dass sich Stromerzeugung aus Klärgas aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten (noch) nicht gegen andere erneuerbare Energiequellen durchsetzen kann. Auch diese Wertung erfordert eine regelmäßige Überprüfung, die zu Veränderungen der Förderungen für Kläranlagen führen können. Daneben gibt es eine Reihe komplizierter Regelungen zum Bestandsschutz, die die Anwendbarkeit der energierechtlichen Vorschriften ebenfalls erschweren.

Dazu kommt, dass in dem bestehenden System Anreize fehlen, die die Betreiber von Kläranlagen motivieren, die in der Kläranlage gewonnen Energieerzeugnisse zu vermarkten. Das gilt nicht nur für die derzeit bestehenden Einspeisebedingungen für erneuerbaren Strom, sondern auch für den bislang noch lückenhaften und teilweise widersprüchlichen Rechtsrahmen bei der Wasserstoffherzeugung oder dem Zugang zu Wärmeinfrastruktur, der entsprechend angepasst und erweitert werden muss, soweit die Vermarktung von Energieerzeugnissen aus Kläranlagen weiter vorangetrieben werden soll. Soweit Kläranlagen in Zukunft verstärkt Flexibilität bereitstellen sollen, bietet sich an, die technologiespezifischen und teilweise unternehmensbezogenen Privilegierungen bezüglich der Letztverbraucherabgaben als Teil des Strompreises durch solche Privilegierungstatbestände zu ersetzen, die ein „Dienstlichkeitskriterium“ für das Netz, den Markt oder das System zum Gegenstand haben. Erste derartige Bestrebungen gibt es in der SINTEG-Verordnung¹⁶⁴. Auch die im Brennstoffemissionshandelsgesetz 2019 beschlossene CO₂-Bepreisung wird sich auf die staatlich induzierten Strompreisbestandteile auswirken, etwa durch die angedachte Reduzierung der EEG-Umlage. Dabei ist noch nicht absehbar, wie sich diese Änderungen genau auf den Strompreis und das Gesamtsystem auswirken werden.

Daneben wird der Einfluss des europäischen Gesetzgebers zukünftig weiter zunehmen. Dabei besteht insbesondere bezüglich der Umsetzung des ihm Dezember 2018 verabschiedeten „Clean Energy for all Europeans Package“ der EU dringender Anpassungsbedarf im nationalen Recht, um das volle Energiepotenzial von Kläranlagen auszuschöpfen und dadurch einen sinnvollen Beitrag zur Energiewende leisten zu können.

¹⁶⁴ Verordnung zur Schaffung eines rechtlichen Rahmens zur Sammlung von Erfahrungen im Förderprogramm „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG-Verordnung) vom 14. Juni 2017 (BGBl. I S. 1653), die durch Artikel 16 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.

6 Risikomanagement

6.1 Technik und Prozesse

Grundsätzlich können die Risiken für die Betreiber von Abwassersystemen die eingesetzten Techniken und Prozesse an sich betreffen oder wirtschaftliche Unwägbarkeiten mit sich bringen. In keinem Fall darf die Kernaufgabe der Abwasserreinigung beeinträchtigt werden.

- ▶ Flexibilisierung von Stromnachfrage und -angebot, kann je nach Randbedingungen im kommunalen Netz sinnvoll und sogar rentabel sein. Die Kernaufgabe "Abwasserreinigung" darf nicht beeinträchtigt werden.
- ▶ Power to Gas: Pt CH₄ - hohe Kosten, unklare Kostenentwicklung.
- ▶ Power to Gas: Pt H₂ - hohe Kosten, unklare Kostenentwicklung, Wettbewerb (Maßstabsnachteil).
- ▶ Klärgas zu Biomethan (Methanisierung): hohe Kosten, CO₂-Verwendung muss geklärt sein, Unsicherheiten bzgl. der Gasnetze.
- ▶ Wasserstoff aus Klärschlamm technisch nicht ausgereift (Förderbedarf).
- ▶ Abwärmenutzung im Kanal --> kein Risiko, bei gewisser Durchdringung müsste ggf. die Zulauftemperatur Kläranlage beobachtet werden.; Ungeklärte Frage: Wer ist Eigentümer der Wärme?
- ▶ Wärmerückgewinnung aus Grauwasser; keine Risiken; ist i. d. R. nicht KA-betreiberrelevant.
- ▶ Kanalisation als Wärmetransportleitung: möglicherweise Geruchsprobleme im Kanal - kurze Strecken zu bevorzugen; Ausfallrisiko (bspw. Ausfall des Wärmeeinleiters) überschaubar.
- ▶ Wärmetransport über PCM: kein Risiko - technisch noch nicht ausgereift, unklare CO₂-Bilanz

6.2 Zulässigkeit wirtschaftlicher Betätigung durch kommunale Kläranlagen

Die Teilnahme von kommunalen Abwasserentsorgern auf „aufgabenfremden“ Märkten, wie beispielsweise dem Wärme- oder Regelenergiemarkt ist grundsätzlich zu betrachten. Dabei gilt es, die rechtlichen Grenzen einer solchen Betätigung zu berücksichtigen, die sich aus drei verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Schutzrichtungen ergeben: dem kommunalen Wirtschaftsrecht, dem satzungsrechtlichen Gebührenrecht und dem Abwasserrecht.

6.2.1 Zulässigkeit im Rahmen des kommunalen Wirtschaftsrechts

- ▶ *Zulässiger Umfang wirtschaftlicher Betätigung von Kommunen von Regelungen des jeweiligen Bundeslands und dem genauen Handlungsfeld abhängig:*
 - *Klassische Abwasserbeseitigung: juristisch regelmäßig unproblematisch.*
 - *Bereitstellung von Energie (Elektrizität, Fernwärme, Gas): vergleichsweise geringe juristische Hürden, aber stark abhängig vom Einzelfall und dem Bundesland.*

- **Betätigung außerhalb dieser Bereiche (bspw. Regelenergie, Wasserstoffvermarktung): hohe juristische Hürden.**

Im Rahmen der KlimAW-Projektarbeit haben sich für Kläranlagen grundsätzlich **drei Arten** möglicher **wirtschaftlicher Betätigung** herauskristallisiert, die für die juristische Prüfung von Relevanz und einer groben Einsortierung zugänglich sind:

- ▶ das Gebiet der klassischen Abwasserbeseitigung/-aufbereitung;
- ▶ die Bereitstellung von Energie für den Letztverbrauch (bspw. Fernwärme, Gas oder Strom);
- ▶ die wirtschaftliche Betätigung außerhalb dieser Bereiche, und damit deutliche Flankierung der Privatwirtschaft (bspw. Vermarktung von Wasserstoff für industrielle Prozesse, Bereitstellung von Erdgas/Wasserstoff/Strom als Treibstoff, Regelenergie).

Die wirtschaftliche Betätigung von Kommunen bzw. Unternehmen in öffentlicher Hand wird durch das **Gemeindewirtschaftsrecht**, sprich die Gemeindeordnungen bzw. Kommunalverfassungsgesetze der Länder geregelt.¹⁶⁵

Die klassische Abwasserbeseitigung/-aufbereitung („1. Art“) ist kommunalrechtlich unproblematisch zulässig, da es sich gem. § 56 WHG¹⁶⁶ um Pflichtaufgaben handelt, die von den Gemeinden übernommen werden müssen.

Die Zulässigkeit kommunaler wirtschaftlicher Tätigkeit durch zusätzliche Bereitstellung von Energie für den Letztverbrauch („2. Art“) ist geprägt durch eine **Schrankentrias**, die aus dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit und der Selbstverwaltungsgarantie aus Art. 28 Abs. 2 GG folgt.¹⁶⁷ Ein kommunales Unternehmen muss grundsätzlich einem öffentlichen Zweck dienen, in einem angemessenen Verhältnis zu Leistungsfähigkeit und Bedarf der Kommune stehen und subsidiär zur Privatwirtschaft, das heißt gleich gut oder besser, geeignet sein. Dabei haben einzelne Bundesländer verschiedene Sonderregelungen erlassen, wie das Subsidiaritätserfordernis ausgestaltet ist, ob es überhaupt Anwendung findet, und auch die Schrankentrias an sich findet in manchen Bundesländern nicht immer Anwendung.¹⁶⁸ Die Frage der Zulässigkeit solcher wirtschaftlicher Betätigungen hängt demnach vom jeweiligen Bundesland ab und ist grundsätzlich vom Einzelfall abhängig. Einige Gemeindeordnungen bzw. Kommunalverfassungen privilegieren die Betätigung auf dem Feld der Energieversorgung, indem bspw. das Subsidiaritätsprinzip weniger streng ausgestaltet ist¹⁶⁹ oder eine wirtschaftliche Betätigung bei der Versorgung mit Elektrizität, Gas und Fernwärme auch über die örtliche Gemeinschaft hinaus als zulässig erachtet wird.¹⁷⁰ Grundsätzlich sind daher bei einer kommunalen wirtschaftlichen Betätigung, die auf dem Bereich der Energieversorgung liegen, weniger rechtliche Hürden gegeben. Die konkrete Zulässigkeit ist jedoch anhand des Einzelfalls auf Grundlage der jeweiligen landesspezifischen Gesetze zu bestimmen.

¹⁶⁵ § 102ff. GemOBW; Art 87ff BayGO; § 65 LHO-Berlin; § 91 ff BbgKVerf; § 65 LHO-Bremen; § 65 LHO-HH; § 121ff HGO; § 68 ff KV M-V; § 136 ff NKomVG; § 107ff GONRW; § 85ff. GemORP; § 108ff KSVG; §94a ff SächsGemO; § 128 KVG LSA; § 101 ff GO-SH; § 71ff ThürKO.

¹⁶⁶ Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254).

¹⁶⁷ Wolters, S.; Frey, M.: Stadtwerke und ihre Dienstleistungen hinter dem Stromzähler: kommunalrechtliche Rahmenbedingungen und Grenzen, KommJur 2018, 205, 206.

¹⁶⁸ Für Details siehe Anhang C zu 6.1.1.

¹⁶⁹ § 107 Abs. 1 Nr. 3 GONRW.

¹⁷⁰ § 91 Abs 4 Nr. 2 BbgKVerf.

Darüberhinausgehende Tätigkeiten, die nicht mehr unter die Daseinsvorsorge im weitesten Sinne gefasst werden können („3. Art“), sind sowohl unter dem Gesichtspunkt des finanziellen Schutzes der Gemeinde, also auch des Wettbewerbsschutzes nur unter engen Voraussetzungen, insbesondere unter Beachtung der Schrankentrias, zulässig. Sie können als bundeslandspezifisch geregelter Annex zur Abwasserbeseitigung zulässig sein, soweit es sich dabei um die „Verwertung von Nebenprodukten“ handelt, die im Rahmen der energetischen Optimierung der Abwasserbeseitigung sowieso anfallen und dies eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle einnimmt.¹⁷¹ Hierzu kann im Einzelfall auch die Bereitstellung von Regelenergie oder der Verkauf von Wasserstoff zählen.¹⁷²

Die Wahl und Ausgestaltung der Rechtsform ist bundeslandspezifisch, grundsätzlich sehr weit geregelt, da die Kommune nach dem Grundsatz „keine Flucht ins Privatrecht“ selbst bei privatrechtlicher Ausgestaltung an die Grundrechte gebunden bleibt.

6.2.2 Zulässigkeit durch satzungsrechtliche Gebührenerhebung

- ▶ *Ermächtigungsnormen zur Gebührenerhebung für die Abwasserbeseitigung nur für Kosten, die betriebsbedingt und kausal im Rahmen der Abwasserbeseitigung/-reinigung stehen.*
- ▶ *Ausdehnung der Gebühren durch Satzungserweiterung bzw. Neuschaffung einer Gebührensatzung nur in engen Grenzen zulässig, insbesondere Gebührensatzung für Fernwärme denkbar.*
- ▶ *(Freie) Preisbildung von Gas und Strom unterliegt hingegen dem Markt.*
- ▶ *Vereinbarung von Entgelten für bspw. die Lieferung von Strom oder Gas aber grundsätzlich zulässig.*

Nach der Prüfung, inwiefern die wirtschaftliche Betätigung der Kläranlage kommunalwirtschaftsrechtlich zulässig ist, ist die Frage zu klären, inwieweit sie für diese zusätzlichen Tätigkeiten vergütet werden können. Neben einer klassischen vertraglichen Ausgestaltung kommt dabei insbesondere die (hoheitliche) Gebührenerhebung aufgrund einer Satzung in Betracht. Da Kläranlagen bzw. Kommunen regelmäßig bereits über Abwassersatzungen bzw. Abwassergebührensatzungen verfügen, wäre ein Anknüpfen an dieses rechtliche Konstrukt naheliegend. Der rechtlichen Einordnung einer solchen Anknüpfung widmet sich der nachfolgende Abschnitt.

Gebühren werden allen Einwohnern des Satzungsgebiets einseitig auferlegt, im Gegenzug für die tatsächliche Inanspruchnahme öffentlicher Leistungen oder Benutzung öffentlicher Einrichtungen.

Da Gebühren in der Regel mittels einer Satzung erhoben werden, ist deren genauer Inhalt ausschlaggebend. Unterstellt man, dass zum jetzigen Zeitpunkt von den Gebührensatzungen zur Abwasserbeseitigung regelmäßig nur die Abwasserbeseitigung/-reinigung umfasst sein dürfte, ist fraglich, welche Kosten noch davon erfasst sein können, ohne die Satzung ändern zu müssen. Dies richtet sich nach den jeweiligen Kommunalabgabengesetzen der Länder. Grundprämisse

¹⁷¹ BDI (2014): Wettbewerbsbarometer: Gemeindefirtschaftsrecht: Eine vergleichende Analyse der Gemeindeordnungen, https://bdi.eu/media/presse/publikationen/konjunktur-standort-und-wettbewerb/Wettbewerbsbarometer_Gemeindefirtschaftsrecht.pdf (10.12.2019), S. 15; Lange, K. (2014), Öffentlicher Zweck, öffentliches Interesse und Daseinsvorsorge als Schlüsselbegriffe des kommunalen Wirtschaftsrechts, NVwZ 2014, 616, 617.

¹⁷² BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 269.

ist, dass die Gebühr, die mit der öffentlichen Leistung verbundenen Verwaltungskosten aller an der Leistung Beteiligten decken soll. Dabei sind Verwaltungskosten die nach betriebswirtschaftlichen Grundsätzen ansatzfähigen Kosten.¹⁷³ Es muss sich folglich um betriebsbedingte bzw. im Sachzusammenhang mit der Abwasserbeseitigung/-reinigung stehende Kosten handeln. Erforderlich ist folglich eine gewisse Kausalität zur Erbringung der Leistung der Abwasserbeseitigung/-reinigung.

Entsprechend sind beispielsweise Kosten, die in Eigenversorgungskonstellationen entstehen (Nutzung der aus Klärschlamm und Klärgas mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Energie für den Eigenbedarf), inkl. Investitionsmaßnahmen, grundsätzlich im Rahmen der Abwassergebühren ansatzfähig, da die Maßnahmen dann der Abwasserbeseitigung dienen bzw. ein Sachzielzusammenhang (Kausalität) besteht und es sich damit um betriebsbedingte Kosten im Sinne betriebswirtschaftlicher Grundsätze handelt.¹⁷⁴ Gleiches gilt, wenn bspw. produzierte Wärme, Gas oder Wasserstoff auf der Kläranlage genutzt werden. Der Grundsatz der Betriebswirtschaftlichkeit gebietet darüber hinaus, dass die Kosten erforderlich sind und nicht außer Verhältnis zum Zweck stehen. Hierzu können jedoch aufgrund von notwendiger Einzelfallbetrachtung keine pauschalen Aussagen getroffen werden.

Regelmäßig um keine betriebsbedingten Kosten handelt es sich bei den Kosten bspw. für die Einspeisung von Strom, Wärme oder Gas in die leitungsgebundene Infrastruktur mit der Intention des Verkaufs der Energie. Entsprechend können solche Kosten, die nicht im Zusammenhang mit der Leistung der Abwasserbeseitigung/-entsorgung stehen, nicht über (bestehende) Abwassergebührensatzungen in Ansatz gebracht werden.

Entsprechend stellt sich die Frage, ob solche Kosten über eine Änderung der Gebührensatzung oder die Schaffung einer neuen Gebührensatzung geltend gemacht werden können.

Gemeinden genießen aufgrund der ihnen in Art. 28 Abs. 2 GG im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltungsgarantie verliehenen Satzungsautonomie eine satzungsrechtliche Gestaltungsfreiheit. Das bedeutet, dass sie Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft nach selbstgesetzten (politischen) Ziel- und Zweckvorstellungen formen und den Erfordernissen der jeweiligen Lebensverhältnisse anpassen dürfen.¹⁷⁵ Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft sind solche Aufgaben, die in der örtlichen Gemeinschaft wurzeln oder auf die örtliche Gemeinschaft einen spezifischen Bezug haben.¹⁷⁶ Als solche ist auch die leitungsgebundene Energieversorgung zu sehen.¹⁷⁷ Auch der Energievertrieb gehört traditionell zum Aufgabenspektrum der Gemeinden, weswegen es auch heutzutage nicht mehr bestritten wird, dass es sich bei dem Vertrieb von Strom um eine Angelegenheit der örtlichen Gemeinschaft handelt.¹⁷⁸ Ferner gehört zum Vertrieb

¹⁷³ Vgl. beispielhaft § 11 Abs. 2 KAG BW.

¹⁷⁴ VGH BW, Urteil vom 27.1.2000 - 2 S 1621/97, NVwZ-RR 2000, 710711; BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee, S. 270.

¹⁷⁵ Gern, A./Brüning, C. (2019): Deutsches Kommunalrecht, Rn. 828.

¹⁷⁶ BVerfGE 79, 127, 151.

¹⁷⁷ BVerfG, NJW 1990, 1783; Albrecht, M. (2006): Der verfassungsrechtlich geschützte Wirkungskreis der Gemeinden in der Energieversorgung. In: Held, C.; Theobald, C. (Hrsg.) Kommunale Wirtschaft im 21. Jahrhundert – Rahmenbedingungen, Strategien und Umsetzungen – Festschrift für Dr. Peter Becker zum 65. Geburtstag, 57, 63.

¹⁷⁸ Albrecht, M. (2006): Der verfassungsrechtlich geschützte Wirkungskreis der Gemeinden in der Energieversorgung. In: Held, C.; Theobald, C. (Hrsg.) Kommunale Wirtschaft im 21. Jahrhundert – Rahmenbedingungen, Strategien und Umsetzungen – Festschrift für Dr. Peter Becker zum 65. Geburtstag, 57, 73.

auch die Beschaffung von Energie.¹⁷⁹ Der Umstand, dass private, kommunale und gemischtwirtschaftliche Unternehmensformen auf dem Gebiet der Strom- und Wärmeversorgung nebeneinander bestehen, beseitigt nicht die Zuordnung zu den Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft,¹⁸⁰ weswegen sowohl die Energieerzeugung als auch der Vertrieb als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft anzusehen sind.

Jedoch besteht nach den jeweiligen Kommunalabgabengesetzen (KAG) der Länder¹⁸¹ eine Grenze der satzungsrechtlichen Gestaltungsfreiheit in dem Begriff der öffentlichen Einrichtung. Nur für deren Benutzung können Gebühren erhoben und dafür Satzungen erlassen und auch geändert werden.

Eine öffentliche Einrichtung liegt nach der Rechtsprechung vor, wenn die Gemeinde persönliche und/oder sächliche Mittel im öffentlichen Interesse durch Widmung für eine unmittelbare und gleiche Nutzung der Einwohner zur Verfügung stellt.¹⁸²

Im öffentlichen Interesse sind Einrichtungen, wenn sie der Daseinsfürsorge, also letztendlich dem Gemeinwohl dienen. Dazu gehört auch die Energieversorgung¹⁸³, jedoch ist hier zu differenzieren. Im öffentlichen Interesse dürften insbesondere die leitungsgebundenen Energieträger Strom, Fernwärme und Erdgas liegen. Wasserstoff für industrielle Zwecke oder die Vermarktung von Regelenergie auf den entsprechenden Märkten dürfte (noch) kein öffentliches Interesse zu kommen.

Bei den drei leitungsgebundenen Energieträgern Strom, Gas und Fernwärme sind für die Frage der Zulässigkeit der Gebührenerhebung gesetzgeberische Wertungen relevant. So ist zu berücksichtigen, dass durch das Energiewirtschaftsgesetz die Regulierung der Strom- und Gasnetze u. a. der Sicherstellung von Wettbewerb dient, § 1 Abs. 2 EnWG, und ein Grundsatz des Strommarktes darin besteht, dass sich der Preis für Elektrizität nach wettbewerblichen Grundsätzen frei am Markt zu bilden hat, § 1a Abs. 1 EnWG. Entsprechend haben die leitungsgebundenen Energieträger Gas und Strom am wettbewerbsorientierten Markt zu verbleiben und sind keiner Festlegung durch Gebührensatzung zugänglich.

Anders gestaltet sich die Frage der Zulässigkeit der Gebührenerhebung beim im Wesentlichen unregulierten Fernwärmebereich. Hier dürften Wärmenetze in öffentlicher Hand regelmäßig als öffentliche Einrichtungen zu qualifizieren sein und auch dementsprechend von der landesspezifischen Ermächtigungsnorm für die Gebührenerhebung umfasst sein.

Nachdem die Fernwärmeversorgung als öffentliche Einrichtung qualifiziert wurde, setzt die Anspruchsgrundlage, die die Benutzungsgebührenpflicht auslöst, voraus, dass die öffentliche Einrichtung tatsächlich¹⁸⁴ in Anspruch genommen wurde. Gebühren sind also von einer konkreten Gegenleistung abhängig.¹⁸⁵ Die konkrete Gegenleistung ist die Belieferung mit Fernwärme. Problematisch kann jedoch sein, dass diese ins Fernwärmenetz eingespeist wird und sich dort ggf.

¹⁷⁹ Albrecht, M. (2006): Der verfassungsrechtlich geschützte Wirkungskreis der Gemeinden in der Energieversorgung. In: Held, C.; Theobald, C. (Hrsg.) Kommunale Wirtschaft im 21. Jahrhundert – Rahmenbedingungen, Strategien und Umsetzungen – Festschrift für Dr. Peter Becker zum 65. Geburtstag, 57, 74.

¹⁸⁰ Gern, A.; Brüning, C. (2019): Deutsches Kommunalrecht, Rn. 1097.

¹⁸¹ Vgl. Art. 8 Abs. 1 S. 1 Bay. KAG; § 13 Abs. 1 S. 1 KAG BW; § 6 Abs. 1 S. 2 Bbg. KAG; § 10 Abs. 1 S. 1 Nds. KAG; § 6 Abs. 1 S. 2 KAG NRW; § 7 Abs. 1 S. 1 KAG RP; § 6 Abs. 1 S. 1 Saarl. KAG; § 9 Abs. 1 Sächs. KAG; § 6 Abs. 4 KAG SH; § 12 Abs. 1 S. 1 Thür. KAG.

¹⁸² BayVGH BayVBl. 1989, 148; BGH BW VBIBW 1981, 157; VGH BW VBIBW 1984, 25.

¹⁸³ Wachsmuth in: Schulz, N.; Wachsmuth, H.; Zwick, W (2019): Kommunalverfassungsrecht Bayern Art. 21 S. 3.

¹⁸⁴ Gern/Brüning, Deutsches Kommunalrecht, Rn. 1355; Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, Urteil vom 24. Februar 1983 - 2 S 697/8; Katz/Dols (1978) Kommunalabgabengesetz für Baden-Württemberg, S. 107

¹⁸⁵ Im Unterschied dazu können zur Abgeltung eines abstrakten Vorteils durch eine nur mögliche Inanspruchnahme Beiträge erhoben werden. Diese dienen aber zur Deckung des Investitionsbedarfs und nicht der betriebswirtschaftlichen Kosten.

mit Fernwärme von anderen Erzeugern „vermischt“, weswegen der Endnutzer gar keine direkte Leistung erhält.

Beim Tatbestandsmerkmal der „Tatsächlichkeit“ ist jedoch ausnahmsweise¹⁸⁶ eine Fiktion des Benutzerverhältnisses bei nur mittelbarem Leistungsbezug möglich, wenn die Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Leistungsbezugs hoch genug ist und die Lebenserfahrung dafürspricht.¹⁸⁷ Da Fernwärmenetze meistens nur eine beschränkte Größe haben, da ansonsten der Wärmeverlust zu groß würde, ist eine solche Wahrscheinlichkeit hoch und damit eine Fiktion möglich.

Für kommunal betriebene Fernwärmenetze sind die Voraussetzung einer satzungsrechtlichen Gebührenerhebung (tatsächliche Inanspruchnahme öffentlicher Leistungen oder Benutzung öffentlicher Einrichtungen) somit in der Regel erfüllt, sodass der Erlass einer Benutzungsgebührensatzung für die Fernwärmeversorgung grundsätzlich zulässig ist. Die landesspezifischen Besonderheiten der Zulässigkeit kommunaler wirtschaftlicher Betätigung sind jedoch zu berücksichtigen. (vgl. Kapitel 6.2.1).

Soweit die Grenzen der zulässigen kommunalen wirtschaftlichen Betätigung eingehalten werden (s. Kapitel 6.2.2), besteht alternativ die Möglichkeit, Entgelte bzw. eine finanzielle Gegenleistung für erbrachte Leistungen (bspw. Strom- oder Gaslieferung) auf Basis privatrechtlicher Verträge zu vereinbaren. Dabei sind insbesondere spezifische Vorschriften des Wettbewerbs- und Energierechts zu berücksichtigen, insbesondere die des EnWG.

6.2.3 Grenzen des wirtschaftlichen Handelns durch abwasserrechtliche Vorschriften

Die wirtschaftliche Betätigung von Kläranlagen auf dem freien Markt stößt jedoch dort an ihre Grenzen, wo sie sich nicht mehr mit den für sie geltenden ordnungsrechtlichen Vorgaben (Umweltschutz, Schadstoffarmut, in AbwV festgelegte Grenzwerte etc.) vereinbaren lässt.

Exemplarisch zeigt sich dies wiederum an dem bereits erläuterten § 3 Abs. 2a AbwV (s. Kapitel 4.1.2), wonach Abwasseranlagen energieeffizient zu betreiben und bestehende Energiepotenziale zu nutzen sind. Energiepotenziale können bspw. durch Regelenergiebereitstellung genutzt werden, ggf. muss dann aber eine Betriebsweise gewählt werden, die weniger effizient ist, als wenn die Anlage „strich“ fährt. Fraglich ist in diesem Zusammenhang, ob unter dem Begriff der Abwasseranlage (§ 3 Abs. 2a AbwV) nur die reinen Abwasseranlagen zu verstehen sind oder auch bspw. ein BHKW, sodass auch bei dessen Betrieb der Zielkonflikt besteht.

In der Gesetzesbegründung¹⁸⁸ wird dazu aufgeführt, dass der Anwendungsbereich von kommunalen Kläranlagen auf „alle“ Abwasserbeseitigungsanlagen ausgedehnt werden soll. Das schließt vom Sinn und Zweck der Norm BHKW nicht mit ein. Auch der Wortlaut spricht dagegen, da BHKW begriffslogisch nichts mit Abwasserbeseitigung zu tun haben. Auch systematisch passt es nicht, BHKW in den Anwendungsbereich der Norm aufzunehmen, da der Paragraph im Zusammenhang mit abwasser- und nicht mit energierechtlichen Normen steht. BHKW sind also nicht unter den Begriff der Abwasseranlagen zu subsumieren, weswegen in diesem Beispiel kein Zielkonflikt besteht.

Das Beispiel verdeutlicht jedoch, dass die Möglichkeiten wirtschaftlicher Betätigung für Kläranlagen mit bereits bestehenden/überarbeiteten Regelungen zur Energieeffizienz in Konflikt stehen können. Aufgrund der vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten für Kläranlagen, insbeson-

¹⁸⁶ Benedens in Becker et al. (2017) Kommunalabgabengesetz für das Land Brandenburg (KAG) Kommentar, in Kommunal praxis kompakt Brandenburg Band 5, § 4 KAG Rn 101.

¹⁸⁷ Kluge in Becker et al. (2017) Kommunalabgabengesetz für das Land Brandenburg (KAG) Kommentar, in Kommunal praxis kompakt Brandenburg Band 5, § 6 KAG Rn 161a.

¹⁸⁸ BT-Drs. 199/18, S. 46.

dere auch im Bereich der Energieversorgung und des Energievertriebs, kann es daher zu (wahrscheinlich in der Regel nicht bedachten) Wertungswidersprüchen seitens des Gesetzgebers kommen, die einer Auflösung und ggf. einer gesetzlichen Anpassung im Einzelfall bedürfen.

7 Schlussfolgerungen und Diskussion

Eine gute Datenlage zu Energieverbräuchen auf Kläranlagen als Stromverbrauchswerte oder in Energieanalysen ist die Voraussetzung für eine sinnvolle Bewertung von Status Quo und den prinzipiell erreichbaren Benchmarks. In diesem Sinne wäre eine zentrale Sammlung in den Bundesländern und eine anonymisierte Auswertung eine empfehlenswerte Maßnahme für eine fundierte und kontinuierliche Evaluierung der Effizienz von Kläranlagen.

Die Basis hierfür wäre kontinuierlicher Prozess der Aufbereitung relevanter Daten beim Betreiber, der darauf aufbauend auch Erfolgskontrollen und Optimierungsmaßnahmen durchführen könnte. Maßnahmen, die aufgrund eines ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses zunächst zurückgestellt werden, können in dem Rahmen in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre wirtschaftliche Umsetzung geprüft werden. Steigende Strompreise ermöglichen kürzere Amortisationszeiten und aktuelle Entwicklungen im Energiemarkt oder in der Technikentwicklung ermöglichen ggf. Umsetzungen zu einem späteren Zeitpunkt.

Das Energiesystem befindet sich derzeit in einem tiefgreifenden Wandel. Die Nachfrage nach erneuerbarem Strom wird in Zukunft voraussichtlich ansteigen, um über die Sektorenkopplung, also die Elektrifizierung anderer Sektoren, wie z. B. des Wärme- und Transportsektors, auch diese Sektoren zu dekarbonisieren. Unklar ist dabei aktuell die langfristige Rolle von Wasserstoff, sowie anderer synthetischer Gase und Kraftstoffe.

Die tatsächliche Entstehung von „Überschussstrom“, der u. a. als Voraussetzung für Überlegungen wie PtX gilt, hängt stark vom Aufbau des Gesamtstromsystems ab. Zum einen kann ein sinnvoller Mix von Technologien (PV, Wind an Land und auf See) sowie ein guter Netzausbau, sowohl regional als auch grenzüberschreitend, die Stromerzeugung stark glätten. Zum anderen gibt es sehr unterschiedliche Flexibilitätsoptionen, insbesondere auch durch die Elektrifizierung von Strom- und Wärmesektor, die ihren Stromverbrauch in Zukunft flexibel regeln können.

Kläranlagen sollten als wichtige kommunale Verbraucher einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten. Ihre Lage nahe der Siedlungsgebiete und die Verfügbarkeit von Flächen auf der Kläranlage kann sie auch zu wichtigen Knotenpunkten machen. Im Vergleich zum Gesamtenergieverbrauch Deutschlands ist der Verbrauch der Kläranlagen jedoch gering. So kann auch ihr Beitrag zur Flexibilisierung des Stromsystems hauptsächlich auf lokaler Ebene wirken.

Kläranlagen sind dabei technisch in der Lage, sowohl ihre Stromerzeugung (BHKW) als auch ihren Stromverbrauch (relevante Aggregate) zu flexibilisieren. Eine Flexibilisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch auf Kläranlagen macht dennoch aus verschiedenen Gründen - bspw. lange Amortisationszeiten, geringe Einnahmemöglichkeiten aufgrund aktuell ausreichend Flexibilität im Gesamtsystem und der relativ kleine Maßstab von Kläranlagen im Gesamt-Energiesystem - nur in begrenztem Rahmen Sinn:

Zunächst kann die Flexibilisierung für eine **Maximierung der Eigenversorgung** genutzt werden. Zudem kann die Kläranlage ggf. zur **lokalen Netzstabilität** beitragen. Mögliche Beiträge und Nutzen sind sehr lokalspezifisch. Entsprechend sollten sich Kläranlagen dazu beim lokalen Netzbetreiber informieren. Zur **Teilnahme am Spotmarkt** oder Regelmarkt wäre darüber hinaus eine Zusammenarbeit mit einem **Aggregator** (Zwischenhändler oder Direktvermarkter) möglich.

Eine spezifische finanzielle Förderung der Flexibilisierung von Kläranlagen für den Energiemarkt wird daher hier zunächst nicht empfohlen, zumal in den Diskussionen zur Energiepolitik

meist argumentiert wird, dass Flexibilität über entsprechende Marktpreise angereizt werden solle und die Preise aktuell keine Knappheit dahingehend signalisieren.

Kläranlagenbetreiber sollten jedoch die Entwicklung der Marktpreise und insbesondere der Ausgestaltung der staatlich induzierten Strompreisbestandteile beobachten. Sollte hier eine Änderung erfolgen (bspw. eine Umstellung auf kapazitätsbasierte Netzentgelte oder eine Anpassung der Energie- und Stromsteuer) kann ein flexibler Betrieb die Rentabilität erhöhen. Zudem ist ein flexibler Betrieb ggf. zur Unterstützung des lokalen Netzmanagements sinnvoll. Dies kann lokal unterschiedlich sein und erfordert die Abstimmung mit dem lokalen Netzbetreiber. Grundsätzlich wird der Bedarf diesbezüglich in Zukunft ansteigen.

Innovative Maßnahmen, die in dem Zusammenhang diskutiert werden, sind im Wesentlichen Power-to-X-Konzepte, mit deren Hilfe Strom zu speicherbaren Energieträgern wie Gas oder Kraftstoff umformuliert wird.

Eine Aufbereitung von Klärgas zu Biomethan mittels Membranverfahren kann unter der Annahme von CCSU ökologisch sinnvoll sein und auch in den Bereich der Rentabilität gelangen. In dem Fall würde das Biomethan anstelle des Klärgases im eigenen BHKW verstromt, da der Strom aus Biomethan kostengünstiger ist, als der Strom aus Netz. Sofern die CO₂-Bepreisung (ab 2021) auch die Kläranlagen betrifft, würden die Stromgestehungskosten aus Biomethan sogar niedriger als aus Klärgas.

Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse dagegen ist nach derzeitigem Stand auch in naher Zukunft für Kläranlagenbetreiber nicht rentabel. Kostengünstige Wasserstofferzeugungsverfahren sowie Klärschlammfermentation müssten daher mit Mitteln der Forschungsförderung unterstützt werden.

Weitergehend kann im Rahmen der Methanisierung der Wasserstoff aus der Elektrolyse mit CO₂ (z. B. aus dem Klärgas) zu CH₄ weiterverarbeitet werden. Die Methanisierung benötigt eine kontinuierliche Stromversorgung und kann daher nicht nur mit Überschussstrom betrieben werden. Wenn die Methanisierung mit konventionellem Strom betrieben wird, konterkarieren die indirekten CO₂-Emissionen das Ziel des Klimaschutzes. Deshalb (und aufgrund der hohen Kosten der Elektrolyse) ist die Methanisierung zunächst für Kläranlage nicht zu empfehlen. Mit sich ändernder Stromzusammensetzung ist diese Aussage allerdings zu überprüfen.

Die Vermarktung von Biomethan als Kraftstoff hat das größte wirtschaftliche Potenzial. Die Rentabilität von Wasserstoff als Kraftstoff ist noch unklar und abhängig von den Wasserstoffgestehungskosten.

Wärmeversorgung ist im Rahmen der Energiewende eine noch nicht gelöste Herausforderung. Angeregt werden konsequente Abwärmenutzung und Nachwärmenetze. In diesem Kontext kann die Abwasserwirtschaft eine relevante Rolle einnehmen. Für die Wärmenutzung in der Kanalisation ergeben sich aussichtsreiche Möglichkeiten. Die Nutzung der Wärme im Kanal und im Grauwasser sind etablierte Technologien, welche auch unter Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind.

Grundsätzlich stellen einige der betrachteten Konzepte kurz- bis mittelfristig sinnvolle Optionen für Kläranlagen dar, andere sollten ggf. zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht gezogen werden. Dies liegt zum einen an je nach Technologie hohen Kosten und geringen erwarteten Einnahmen, zum anderen an den Unsicherheiten, die bzgl. der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems bestehen (bspw. hinsichtlich der Rolle von Gas und Wasserstoff oder des Flexibilitätsbedarfs).

Aus kommunaler Sicht kann sich die Bewertung anders darstellen. Der Kläranlage als dem größten kommunalen Energieverbraucher kann im kommunalen Energiesystem daher eine größere

Bedeutung zukommen. Ein langsamer Einstieg in einige Technologien, bei denen noch Entwicklungsbedarf besteht (wie z. B. der Erhöhung der Nachfrageflexibilität, der PEM-Elektrolyse, der Abwärmenutzung über die Kanalisation oder der Methanisierung) kann daher auch auf Kläranlagen sinnvoll sein und zu deren Weiterentwicklung beitragen.

Die Förderung innovativer Systemlösungen auf Kläranlagen kann in den folgenden Fällen sinnvoll sein:

- Eine Technologie trägt erheblich zur CO₂-Reduktion bei und ist zudem technisch ausgereift, insbesondere dann, wenn die Lücke zur Rentabilität relativ gering ist. Zu nennen ist hier beispielsweise die Aufbereitung des Klärgases zu Methan. Solche Technologien können durch spezifische Förderprogramme auch in der Breite gefördert werden.
- Bei einer Technologie ist noch erheblicher Entwicklungsbedarf vorhanden bzw. eine Technologie wirkt vielversprechend und wurde zumindest im Kontext der Abwasserwirtschaft noch nicht oder selten getestet. Beispiele sind hier unter anderem die PEM-Elektrolyse oder der flexible Betrieb von Aggregaten inkl. der dafür notwendigen Messtechnik. In diesen Fällen ist eine Förderung von Pilotanlagen im Rahmen der Forschungsförderung angebracht.

In beiden Fällen müssen weitere robuste Analysen der Förderbedarfe durchgeführt werden, um zur Weiterentwicklung und Einführung innovativer Systemlösungen beizutragen, ohne diese zu überfordern.

Aus rechtlicher Sicht empfiehlt sich insbesondere eine zügige Umsetzung angedachter klimaschutzrechtlicher Reformen und europarechtlicher Vorgaben, um Planungs- und Investitionssicherheit für mögliche Investitionen gewährleisten zu können. So könnte bspw. eine gesetzliche Regelung über den Zugang zu Wärmenetzen einen wichtigen Beitrag zur effizienten Nutzung von Überschusswärme auf Kläranlagen leisten. Sollte in Zukunft eine gezieltere Vermarktung von Energieerzeugnissen aus Kläranlagen gewünscht sein, bietet es sich an, derzeit bestehende Lücken im Rechtsrahmen zu füllen und etwaige Unklarheiten zeitnah zu beseitigen. Das gilt etwa für die Förderung von Flexibilität für den Energiemarkt oder den Einsatz von aus Klärgas hergestellten Gasen als Kraftstoff im Mobilitätssektor.

8 Quellenverzeichnis

AGEB (2018): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2017.

Agis, H. (2011): Energieoptimierung von Kläranlagen, Pilotprojekt, Detailuntersuchung von 121 Anlagen, Endbericht Teil A, im Auftrag von und für Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Kommunalkredit Austria AG, Wien.

AGFW | Effizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2017): Fernwärme - Preisübersicht (Stichtag: 01.10.2017).

Aydemir, A.; Hilgenfeldt, V.; Hillenbrand, T.; Hohmann, C.; Menger-Krug, E.; Niederste-Hollenberg, J. et al. (2019): Innovative Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation "InnoA2". Teil 1/2.

badenova 2007: Hagspiel, B. (2007): Wärme aus Abwasser - Evaluation von Technik, Betrieb und Randbedingungen, Potenzial der Kanalwärmenutzung in Freiburg im Breisgau. Freiburg im Breisgau.

Bafa (2019): Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0); from https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html; Last Excess: 27.01.2020.

Bayerisches Landesamt für Umwelt - LfU [Hrsg.] (2013): Ergebnisse des Sonderprogramms Energieanalysen auf Kläranlagen, Bearbeitung: Referat 67, S. Bleisteiner, Augsburg.

BMWi (2019): Wärme aus Erneuerbaren: das Marktanreizprogramm (MAP) für Privatpersonen, Unternehmen und Kommunen; from <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Foerderung/Marktanreizprogramm/marktanreizprogramm.html>; Last Excess: 27.01.2020.

DIN EN ISO 9001 (2015): Qualitätsmanagementsystem-Anforderungen, Frankfurt/Main.

DWA [Hrsg.] (2008): Leitfaden, Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, Systematisches Vorgehen zur Steigerung der Energieeffizienz durch Nutzung des Einsparpotenzials, Stuttgart.

FFE (2017): Einflüsse der Temperaturspreizung in Nahwärmenetzen. (2017), Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. Retrieved July 17, 2018 from <https://www.ffe.de/die-themen/speicher-und-netze/184-einfluesse-der-temperaturspreizung-in->; Last Access: 17.09.2019.

Fritz, M.; Aydemir, A. (2019): Don't waste the water, use wastewater - excess heat distribution for private households through sewer networks; European Council for an Energy-Efficient Economy -ECEEE-, Stockholm: eceee Summer Study 2019.

Fujita, Y.; Shikata, I.; Kawai, A.; Kamano, H. (2006): Latent heat storage and transportation system "TransHeat Container". IEA/ECES Annex 18. In: 1st workshop and Expert Meeting, 13th–15th November, Tokyo, Japan; 2006.

Gasse, J. et al. (2017): Energieverbrauch von Teilprozessen auf kommunalen Kläranlagen, Korrespondenz Abwasser, Jg. 64, Heft 9, S. 802-808.

Görres, J. (2015): Abwasserwärmenutzung. Präsentation Energiewendebauen, Online available via: https://projektinfos.energiwendebauen.de/fileadmin/user_upload/Neuigkeiten/2015/20150520_Mee-tingAachen/08_Goerres_Abwasserwaermenutzung_Stuttgart.pdf; Last Access: 17.09.2019.

Haberkern, B. (2018): Energetische Optimierung von Belüftungssystemen- Erfahrungen mit dem DWA-Arbeitsblatt A 216; Vortrag 6. Infotag IWAR Abwassertechnik, 20.9.2018, Darmstadt.

KfW (2019): IKK Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (201) - [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-\(201\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-(201)/).

- Kolisch, G. et al. (2014): Auswertung der vom Land NRW geförderten Energieanalysen kommunaler Kläranlagen, Zusatzbericht zum Forschungsvorhaben Energie und Klimaschutz, Projekt Nr. 2; Verbesserung der Klärgasnutzung, Steigerung der Energieausbeute auf kommunalen Kläranlagen AZ IV-7-042 600 003B, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz.
- Kolisch, G., Schirmer, G. (2008): Energetische Konzepte für Kläranlagen- Klärgasaufbereitung als Alternative zu einer herkömmlichen Gasnutzung auf Kläranlagen, Vortrag, Nürnberger Wasserwirtschaftstag, 26.6.2008, DWA Landesverband Bayern.
- Ma, Q.; Luo, L.; Wang, R. Z.; Sauce, G. (2009): A review on transportation of heat energy over long distance: Exploratory development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1532-1540.
- Menger-Krug, E.; Tettenborn, F.; Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2010): Ökonomische und ökologische Analyse einer Grauwasser-Recycling-Anlage mit integrierter Wärmerückgewinnung (PONTOS Oikos).
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg [Hrsg.] (2015): Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen, Stuttgart.
- Müller, E. A.; Thommen, R.; Stähli, P. (1994): Handbuch Energie in ARA, Energiesparmaßnahmen in Abwasserreinigungsanlagen, Bern.
- Müller, E.; Schmid, F.; Kobel, B. (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser: Ratgeber für Bauträger und Kommunen; Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Müller, P. (2019): Innovative Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation "InnoA2". Teilvorhaben: TEK- Technik, Effizienz, Koordinierung. Teil 2/2.
- Pinnekamp, J.; Mousel, D.; Krebber, K.; Palmowski, L.; Bolle, F.-W.; Gredigk-Hoffmann, S.; Genzowsky, K.; Krüger, M.; Eckers, S.; Simsheuer, C.; Lyko, S.; Thöle, D. (2015): Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Phase II. Abschlussbericht des Forschungsprojekts, gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Naturschutz und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Pinnekamp, J.; Schröder, M.; Bolle, F.-W.; Gramlich, E.; Gredigk-Hoffmann, S.; Koenen, S.; Loderhose, M.; Miethig, S.; Ooms, K.; Riße, H.; Seibert-Erling, G.; Schmitz, M.; Wöffen, B. (2017): Energie- und Abwasser-Handbuch NRW; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf.
- Pyro, P.; Kolisch, G. (2019): Unterstützung des Energiemanagements, Themenfeld DIN ISO 50003, Aufnahme der energetischen Ausgangsbasis, interner Bericht, Auftraggeber: Ruhrverband, Wuppertal.
- SBZ (2016): Wärmerückgewinnung aus Grauwasser; online abrufbar unter: <https://www.sbz-online.de/wasserwirtschaft/waermerueckgewinnung-aus-grauwasser>; zuletzt abgerufen: 20.02.2020.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) [Hrsg.] (2018): Umwelt – Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung - Öffentliche Abwasserbehandlung und-entsorgung 2016, Fachserie 19 Reihe 2.1.2, Artikelnummer: 2190212169004.
- Umweltbundesamt [Hrsg.] (2006): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Texte 11/08, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Umweltbundesamt [Hrsg.] (2019): Hintergrund, Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen, Berlin.
- Umweltbundesamt [Hrsg.] (2020): Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinnovationsprogramm.
- Wagner, M. (2018): Sachgerechte Planung und betriebliche Optimierung von Belüftungssystemen - eine Übersicht; Vortrag 6. Infotag IWAR Abwassertechnik, 20.9.2018, Darmstadt.

Winkler, M.; Trapp, J. H.; Libbe, J.; Schramm, E. (2017): Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten - Technische Varianten, räumliche Potenziale, institutionelle Spielräume. p. 124 ff. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, Berlin.

Yoshioka, M. (2018): A site specific green ILC Design in Kitakami. Asian linear collider Workshop 2018. May 28 - June 1, 2018, Fukuoka.

Monografien:

Adolf, J.; Fishedick, M.; Balzer, C. H.; Louis, J.; Schabla, U.; Arnold, K.; Pastowski, A.; Schüwer, D. (2017): Shell Wasserstoff-Studie - Energie Der Zukunft? - Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂, Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg.

Assmann, L.; Peiffer, M. (2018): Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz mit KWK-Ausschreibungsverordnung – Kommentar, C.H. Beck, München.

Beckmann, M.; Durner, W.; Mann, T.; Röckinghausen, M. (2019): Landmann/Rohmer Umweltrecht – Band 1 – Kommentar, 89. EL, C.H. Beck, München.

BMBF-ERWAS Verbundvorhaben (2017): Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit Erneuerbarer Energieerzeugung – arrivee.

consentec/Fraunhofer ISI (2018): Optionen zur Weiterentwicklung der Netzentgeltsystematik für eine sichere, umweltgerechte und kosteneffiziente Energiewende, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Energiewirtschaftsgesetz mit Verordnungen, EU-Richtlinien, Gesetzesmaterialien, Gesetze und Verordnungen zu Energieeinsparung und Umweltschutz sowie andere energiewirtschaftlich relevante Rechtsregelungen – Band 1 – Kommentar, 100. EL, C.H. Beck, München.

Danner, W.; Theobald, C. (2018): Energierecht – Energiewirtschaftsgesetz mit Verordnungen, EU-Richtlinien, Gesetzesmaterialien, Gesetze und Verordnungen zu Energieeinsparung und Umweltschutz sowie andere energiewirtschaftlich relevante Rechtsregelungen – Band 1 – Kommentar, 101. EL, C.H. Beck, München.

Domínguez, A.; Menéndez, J. A.; Pis, J. J. (2006a): Hydrogen rich fuel gas production from the pyrolysis of wet sewage sludge at high temperature, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 77, S. 127-132.

Domínguez, A.; Menéndez, J. A.; Inguanzo, M.; Pis, J. J. (2006b): Production of bio-fuels by high temperature pyrolysis of sewage sludge using conventional and microwave heating, Bioresource Technology 97, S. 1185-1193.

Gern, A.; Brüning, C. (2019): Deutsches Kommunalrecht, 4. Auflage, Nomos, Baden-Baden.

Glenk, G.; Reichelstein, S. (2019): Economics of converting renewable power to hydrogen, Nature Energy, Vol 4, March 2019, S. 216-222.

Haberkern et al. (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen; UBA-Texte 11/08.

Hoffstede, U.; Stelzer, M.; Hahn, H.; Beil, M.; Krautkremer, B.; Kasten J.; Beyrich W. (2018): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz - Teilvorhaben II a: Biomasse – Zwischenbericht, Fraunhofer IEE, Kassel.

Jarass, H. (2017): Bundes-Immissionsschutzgesetz – Kommentar – unter Berücksichtigung der Bundesimmissionsschutzverordnungen, der TA Luft sowie der TA Lärm, 12. Aufl., C. H. Beck, München.

Kost, C.; Shammugam, S.; Julich, V.; Nguyen, H.; Schlegl, T. (2018): Levelized Cost of Electricity - Renewable Energy Technologies, Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems ISE, Freiburg.

Liu, Y.; Lin, R.; Man, Y.; Ren, J. (2019): Recent developments of hydrogen production from sewage sludge by biological and thermochemical process, *International Journal of Hydrogen Energy* 44, S. 19676 – 19697.

Loibl, H.; Maslaton, M.; von Bredow; Walter, H. (2013): *Biogasanlagen im EEG*, 3. Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Möhlenkamp, K.; Milewski, K. (2012): *EnergieStG/StromStG-Kommentar*, C. H. Beck, München.

Müller, T.; Oschmann, V.; Wustlich, G. (2010): *EEWärmeG – Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – Kommentar*, C.H. Beck, München.

Schulz, N.; Wachsmuth, H.; Zwick, W. (2019): *Kommunalverfassungsrecht Bayern*, 22. Aktualisierung, Kommunal- und Schul-Verlag, Wiesbaden.

Wietschel, M. et al. (2019): *Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw*, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.

Sammelbände

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2018): *Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018 – Restbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas*, FNR, Gülzow-Prüzen.

Rechtenbach, D. (2009): *Fermentative Erzeugung von Biowasserstoff aus biogenen Roh- und Reststoffen*, TU Hamburg-Harburg, *Hamburger Berichte* 34, Abfallwirtschaft, Verlag Abfall.

Wietschel, M. [Hrsg.] (2010): *Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung*. ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale Technologienbericht, 1050 S., Fraunhofer Verlag.

Beiträge aus Sammelbänden

Albrecht, M. (2006): *Der verfassungsrechtlich geschützte Wirkungskreis der Gemeinden in der Energieversorgung*. In: Held, C.; Theobald, C. (Hrsg.) *Kommunale Wirtschaft im 21. Jahrhundert – Rahmenbedingungen, Strategien und Umsetzungen – Festschrift für Dr. Peter Becker zum 65. Geburtstag*, VWEW Energieverlag, Frankfurt am Main, S. 63.

Collect, P.; Flottes, E.; Favre, A.; Raynal, L.; Pierre, H.; Capela, S.; Peregrina, C. (2017): *Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology*, *Applied Energy* 192, France, S. 282-295.

Zhou, K.; Chaemchuen, S.; Verpoort, F. (2017): *Alternative materials in technologies for Biogas upgrading via CO₂ capture*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, S. 1414-1441.

Zeitschriftenaufsatz

Buchmüller, C.; Wilms, S.; Kalis, M. (2019): *Der Rechtsrahmen für die Vermarktung von grünem Wasserstoff*, *ZNER* 2019, 194.

Doderer, H.; Metz, J. (2018): *Rechtlicher Überblick: Was hat sich 2017 für die nachhaltige Stromerzeugung geändert?* in *EnWZ* 5/2018, 161.

Lange, K. (2014): *Öffentlicher Zweck, öffentliches Interesse und Daseinsvorsorge als Schlüsselbegriffe des kommunalen Wirtschaftsrechts*, *NVwZ* 2014, 616.

Wolters, S.; Frey, M. (2018): *Stadtwerke und ihre Dienstleistungen hinter dem Stromzähler: kommunalrechtliche Rahmenbedingungen und Grenzen*, *KommJur* 2018, 205.

Wustlich, G. (2014): *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014, Grundlegend neu – aber auch grundlegend anders?* *NVwZ* 2014, 1113.

Menger-Krug, E.; Niederste-Hollenberg, J.; Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2012): Overview of Material and Energy Flows in German Wastewater Infrastructures. gwf - Wasser|Abwasser, Ausgabe 13/2012, S. 96 – 104.

Gasse, J., Reinhardt, T., Meyer, C., Kolisch, G., Taudien, Y., Steinmetz, H., Morck, T., Baumann, P., Poppe, B., Maier, W.: Energieverbrauch von Teilprozessen auf kommunalen Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser, 64 (2017), H. 9, S. 802-808.

Tagungsbeiträge

Wehrspohn, R. B.; Härle, D. (2019): Fraunhofer H2-Netzwerk – Arbeitsgruppe Technologievergleich, Fraunhofer IMWS, 08.07.2019.

Internetadresse

BAFA (2019): Merkblatt für stromkostenintensive Unternehmen 2019. https://www.bafa.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Energie/bar_merkblatt_unternehmen.html (17.04.2019).

BDEW (2018): Novelle der Abfallrahmenrichtlinie: Klärschlamm unterfällt künftig nicht der Definition Siedlungsabfall. <https://www.bdew.de/wasser-abwasser/novelle-abfallrahmenrichtlinie-klarschlamm-unterfaellt-nicht-definition-siedlungsabfall/> (24.09.2019).

BDEW (2019): Erdgastankstellen – Erdgastankstellen in Deutschland. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/erdgastankstellen/> (07.02.2020).

BDEW (2020): Strompreis für Haushaltskunden zum Jahresanfang 2020 gestiegen, Gaspreise sind gesunken. <https://www.bdew.de/energie/strom-und-gaspreisanalysen/> (07.02.2020).

BDI (2014): Wettbewerbsbarometer: Gemeindegewirtschaftsrecht Eine vergleichende Analyse der Gemeindeordnungen. https://bdi.eu/media/presse/publikationen/konjunktur-standort-und-wettbewerb/Wettbewerbsbarometer_Gemeindegewirtschaftsrecht.pdf (10.12.2019).

BMWi (2019): Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplan. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-des-integrierten-nationalen-energie-und-klimaplan.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (10.12.2019).

BNetzA (2019): Ausschreibungen für EE- und KWK-Anlagen. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Ausschreibungen_node.html (15.07.2019).

BNetzA (2018): EEG-Umlage sinkt im Jahr 2019 auf 6,405 ct/kWh. https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Pressemitteilungen/DE/2018/20181015_EEGUmlage.html (15.04.2019).

BNetzA (2015): Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung und Minutenreserve - Konsultation von Eckpunkten. https://rsw.beck.de/docs/librariesprovider69/default-document-library/2016/becklink-375364/02_2016_bnetza_23-11-2015_bk6_15_159.pdf?sfvrsn=67c2f05c_2 (10.12.2019).

BNetzA (2016): Leitfaden zur Eigenversorgung. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Eigenversorgung/Finaler_Leitfaden.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (10.12.2019).

BNetzA (2019): Regelleistung. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Regelleistung/regelleistung-node.html (23.09.2019).

BReg (2019): Gesetzentwurf der Bundesregierung – Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (10.12.2019).

BReg (2019): Verordnung zu den Innovationsausschreibungen und zur Änderung weiterer energiewirtschaftlicher Verordnungen (Entwurf). https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/V/verordnung-innovationsausschreibungen-und-zur-aenderung-weiterer-energiewirtschaftlicher-verordnungen.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (01.11.2019).

CDU/CSU/SPD (2019): Ein neuer Aufbruch für Europa – Eine neue Dynamik für Deutschland – Ein neuer Zusammenhalt für unser Land – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> (10.12.2019).

DENA (2018): Systemdienstleistungen entwickeln sich weiter. <https://www.dena.de/themen-projekte/energie-systeme/stromnetze/systemdienstleistungen/innovationsbarometer-systemdienstleistungen/> (23.09.2019).

DENA (2017): dena-Innovationsreport – Systemdienstleistungen – Aktueller Handlungsbedarf und Roadmap für einen stabilen Betrieb des Stromsystems bis 2030. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9239_Innovationsreport_Systemdienstleistungen.pdf (10.12.2019).

Eigenbetriebe und kommunale Unternehmen Rheinland-Pfalz/ DWA Landesverband Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland (2018): Handreichung für die Konzipierung eines Klärschlammlagers und der hierfür aufzustellenden Genehmigungsunterlagen unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem BImSchG. http://www.klaerschlammkooperation-rlp.de/klaerschlammkooperation_rlp/Materialien%20und%20Arbeitshilfen/Allgemeine%20Informationen/Handreichung%20BImSchG%20Lagerplätze%202018-02-08.pdf (10.12.2019).

EUWID Recycling und Entsorgung (2018): Klärschlammverbrennung droht Teilnahme am Emissionshandel. <https://www.euwid-recycling.de/news/politik/einzelansicht/Artikel/klaerschlammverbrennung-droht-teilnahme-am-emissionshandel.html> (11.10.2019).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e. V. (FNR) (2011): Vielfältige Nutzung von Biogas. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/vielfaltige-nutzung-von-biogas.html> (07.02.2019).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e. V. (FNR) (2015): Vermarktung von Biomethan. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/vermarktung-von-biomethan.html> (07.02.2020).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e. V. (FNR) (2018): Verfahren zur Biogasaufbereitung. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/verfahren-zur-biogasaufbereitung.html> (07.02.2020).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e. V. (FNR) (2019): Biomethanabsatz als Kraftstoff. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/biomethanabsatz-als-kraftstoff.html> (07.02.2019).

Fokus Online (2019): Großes Potenzial, aber kaum Nachfrage: Warum scheitert das Wasserstoffauto? https://www.focus.de/auto/news/nur-386-wasserstofffahrzeuge-in-deutschland-registriert-grosses-potenzial-aber-kaum-nachfrage-warum-scheitert-das-wasserstoffauto_id_10840386.html (07.02.2020).

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2019): Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power- to-X. <https://www.ffe.de/publikationen/pressemitteilungen/892-elektrolyse-die-schlüsseltechnologie-fuer-power-to-x> (07.02.2019).

IKEM (2018): Ein Rechtsrahmen für den Wärmesektor Studie zur rechtlichen Weiterentwicklung des Wärmesektors unter besonderer Berücksichtigung von Power to Heat. https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/03/Wärmepapier_20180808.pdf (10.12.2019).

IKEM (2018): Experimentierklauseln für verbesserte Rahmenbedingungen bei der Sektorenkopplung, Juristische Studie. <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/03/Experimentierklausel-für-verbesserte-Rahmenbedingungen-bei-der-Sektorenkopplung.pdf> (09.12.2019).

IKEM (2019): Rechtsrahmen für ein H₂ – Teilnetz, Nukleus einer bundesweiten, öffentlichen Wasserstoffinfrastruktur, Rechtswissenschaftliche Studie. <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/10/Rechtsrahmen-für-ein-H2-Teilnetz.pdf> (10.12.2019).

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2019): CO₂-Bepreisung. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008> (07.02.2020).

Statistisches Bundesamt (2018): 70 % des kommunalen Klärschlammes wurden 2017 verbrannt, Pressemitteilung Nr. 484 vom 12. Dezember 2018. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/12/PD18_484_32214.html;jsessionid=A244B7748C5612488823E09F3643E866.internet731 (10.12.2018).

Statistisches Bundesamt (2018): Durchschnittserlös bei Strom 2017 um 1,3 % gegenüber Vorjahr gestiegen. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/11/PD18_446_433.html (28.08.2019).

Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf;jsessionid=8CDB48BAAD8C63B4C90D92579EE017DB.internet711?blob=publicationFile> (09.12.2019).

Verband der Netzbetreiber - VDN – e. V. beim VDEW (2007): Transmission Code 2007. Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Version 1.1, August 2007. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiZg9C2va3mAh-Wqy6YKHR11CDgQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.regelleistung.net%2Fext%2Fdownload%2Ftransmission2007&usg=AOvVaw3eE95SLO4eo-cbvdJldc6H> (11.12.2019).

UBA (2009): Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3855.pdf> (14.08.2018).

Öko-Institut (2017): EEG-Rechner. Berechnungs- und Szenarienmodell zur Ermittlung der EEG-Umlage. Erstellt im Auftrag von Agora Energiewende. Modellversion 3.4.12, Berlin, 12.12.2017. <https://www.agora-energie-wende.de/veroeffentlichungen/eeg-rechner-fuer-excel/> (07.02.2020).

A Anhang: Aktuelle Förderprogramme des Bundes und der Länder

A.1 Förderprogramme Bund

Bund	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Bund	Energieforschungsprogramm - Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung	Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energietechnologien	Öffentliche Einrichtung; Kommune; Hochschule; Forschungseinrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/nichtnukleare-forschungsfoerderung-energie-wende.html
Bund	Förderung von Zuwendungen im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung	Forschung und Entwicklung innovativer Energietechnologien im Grundlagenbereich, angepasst an den Bedarfen der Energiewende	Existenzgründer/in; Verband/Vereinigung; Öffentliche Einrichtung; Kommune; Hochschule; Forschungseinrichtung; Bildungseinrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMBF/innovationen-fuer-die-energie-wende.html
Bund	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GAK)	U. a. Nahwärmeleitungen; Neubau und Erweiterung von Abwasserbehandlungsanlagen (bis 5.000 EW);	Existenzgründer/in; Verband/Vereinigung; Privatperson; Öffentliche Einrichtung; Kommune; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMEL/agrarstruktur-kuestenschutz-bund.html
Bund	IKU - Energetische Stadtsanierung - Quartiersversorgung	Wärme-/Kälteversorgung und Energieeffiziente Wasserver-/Abwasserentsorgung im Quartier	Unternehmen; Öffentliche Einrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/KfW/stadtsanierung-quartiersversorgung-iku.html
Bund	Klimaschutzinitiative - Innovative marktreife Klimaschutzprodukte (Kleinserien-Richtlinie)	Kleinstwasserkraftanlagen; Sauerstoffproduktion; Wärmehückgewinnung aus Abwasser in Gebäuden; Bohrgeräte für Erdwärmespeichersonden; Schwerlastfahrräder	Existenzgründer/in; Privatperson; Öffentliche Einrichtung; Kommune; Hochschule; Forschungseinrichtung; Bildungseinrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMU/kleinserien-richtlinie-klimaschutz-initiative.html

Bund	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Bund	Klimaschutzinitiative - Innovative markt- reife Klimaschutz- produkte (Kleinse- rien-Richtlinie)	Kleinstwasserkraft- anlagen; Sauerstoff- produktion; Wärme- rückgewinnung aus Abwasser in Gebäu- den; Bohrgeräte für Erdwärmespeicher- sonden; Schwerlast- fahrräder	Existenzgründer/in; Privatperson; Öff- fentliche Einrich- tung; Kommune; Hochschule; For- schungseinrichtung; Bildungseinrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMU/kleinserien-richtlinie-klimaschutz-initiative.html
Bund	Klimaschutzinitiative - Klimaschutzpro- jekte im kommunalen Umfeld (Kommunalrichtlinie)	Fokusberatung Kli- maschutz; Ener- giemanagementsys- teme; Umweltmana- gementsysteme; Energiesparmodelle; Kommunale Netz- werke; Potenzialstu- dien; Klimaschutz- konzepte und Klima- schutzmanagement; Außen-/Straßenbe- leuchtung und Licht- signalanlagen; In- nen-/Hallenbeleuch- tung; Raumluftech- nische Anlagen; Nachhaltige Mobili- tät; Abfallentsor- gung; Kläranlagen; Trinkwasserversor- gung; Rechenzen- tren; Weitere Maß- nahmen für den Kli- maschutz	Unternehmen; Hochschule; Kom- mune; Öffentliche Einrichtung; Ver- band/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMU/richtlinie-zur-foerderung-von-klimaschutzprojekte.html
Bund	Klimaschutzinitiative - Kommunale Klima- schutz-Modellpro- jekte	Abfallentsorgung; Abwasserbeseiti- gung; Energie- und Ressourceneffizienz; Wirtschaftsverkehr (Stärkung Umwelt- verbund, Grüne City- Logistik, Treibhaus- gas-Reduktion); Smart-City	Hochschule; Kom- mune; Öffentliche Einrichtung; Ver- band/Vereinigung; Forschungseinrich- tung; Bildungsein- richtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMU/foerderauf-ruf-kommunale-klima-schutz-modellpro-jekte.html
Bund	KMU-Innovativ: Res- sourceneffizienz und Klimaschutz	U. a. Energieeffizienz und Klimaschutz; Nachhaltiges Was- sermanagement	Verband/Vereini- gung; Privatperson; Öffentliche Einrich- tung; Hochschule;	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/

Bund	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
			Forschungseinrichtung; Bildungseinrichtung; Unternehmen	Bund/BMBF/kmu-innovativ-ressourcen-klimaschutz-bund.html
Bund	Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm)	Erneuerbare Energien zur Wärme-/Kälteerzeugung (Solkollektoranlage, Biomasseanlage, Wärmepumpe)	Verband/Vereinigung; Privatperson; Öffentliche Einrichtung; Kommune; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BAFA/marktanreizprogramm-waerme.html
Bund	Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0	Vorbereitende Machbarkeitsstudien; Realisierung eines Wärmenetzsystems 4.0 durch Neubau oder Transformation	Unternehmen; Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/modellvorhaben-waermenetzsysteme.html
Bund	Räumliche Strukturmaßnahmen - Gemeinden bis 50.000 EW	Kommunale Infrastrukturmaßnahmen (Wasser-/Abwasserversorgung, Straßenbau, Verwaltungsgebäude, Bildungseinrichtungen, Breitbandversorgung)	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/LR/raeumliche-strukturmassnahmen.html

A.2 Förderprogramme Länder

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Baden-Württemberg	Agrar- und Ernährungswirtschaft - Umwelt- und Verbraucherschutz	Senkung des Energieverbrauchs (u. a. Kälte-/Wärmetechnologie, Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung); Minderung der Emissionen (z. B. Wassersparende Technologien/Abwasseraufbereitungsanlagen,...); Nicht: Erneuerbare Energien, die nach	Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/agrar-und-ernaehrungswirtschaft-umwelt-verbraucher.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
		EEG 2014 gefördert werden		
Baden-Württemberg	Förderung einer zukunftsfähigen Regionalentwicklung durch Innovation und Nachhaltigkeit (VwV EFRE-RegioWIN 2014-2020)	U.A. Nachhaltige Mobilität; Umwelttechnologie, erneuerbare Energien und Ressourceneffizienz	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/regio-win-efre-2014-2020.html
Baden-Württemberg	Investitionskredit Kommune direkt	Abwasserentsorgung; Baulanderschließung; Kindergärten, Schulen & Sporteinrichtungen; Krankenhäuser; Maßnahmen Energieeinsparung; Stadt-/Dorfentwicklung & Tourismus; Verkehrsinfrastruktur; Verwaltungsgebäude; Wasserversorgung	Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/investitionskredit-kommune-direkt.html
Baden-Württemberg	Klimaschutz-Plus	Energetische Sanierung; Erneuerung Heizungsanlagen; baulicher Wärmeschutz; Sanierung Beleuchtungsanlagen; Sanierung Lüftungsanlagen; regenerative Wärmeerzeugung; Holzpellettheizung; Holzhaackschnitzelheizung;	Unternehmen; Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/klimaschutz-plus.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
		Wärmepumpen; Solarthermische Anlagen		
Baden-Württemberg	Ressourceneffizienzfinanzierung	Energieeffiziente Produktion (u. a. Wärme/Kälte); Materialeffizienz und Umwelttechnik (u. a. Abwasservermeidung/-behandlung und Frischwassereinsparung); Energieeffiziente Betriebsgebäude	Existenzgründer/in; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/ressourceneffizienzfinanzierung.html
Baden-Württemberg	Umweltfreundlicher emissionsarmer ÖPNV - Linienbusse und Bürgerbusse zur Ergänzung des öffentlichen Personennahverkehrs (Richtlinie Busförderung 2020)	Linienbusförderung (Verbesserte Luftreinhaltung, größeres/verbessertes ÖPNV Angebot, emissionsarme Mobilität)	Kommune; Unternehmen; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/busforderung-2020.html
Bayern	Infrakredit Energie	Allgemeine Energieeinsparung (mind. 20 %) und Umstellung auf erneuerbare Energieträger	Kommune; Öffentliche Einrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Bayern/merkblatt-infrakredit-energie.html
Bayern	Merkblatt "Infrakredit Kommunal"	Verkehrsinfrastruktur; Ver- und Entsorgung (Wasser/Abwasser); Erschließung Gewerbe- und Industrieflächen; Energieeinsparung und Um-	Öffentliche Einrichtung; Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Bayern/infrakredit-kommunal.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
		stellung auf umweltfreundliche Energieträger; touristische Infrastruktur; Wissenschaft, Technik, Kulturpflege		
Berlin	Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE)	Energieeffizienz und erneuerbare Energien in Unternehmen; Energieeffizienz und erneuerbare Energien in öffentlichen Infrastrukturen und Gebäuden; Umwelt- und Energiemanagementsysteme; nachhaltige Mobilität; anwendungsorientierte Forschung, Innovation und kohlenstoffarme Technologien; Verbesserung Natur und Umwelt sowie Reduzierung der Umweltbelastungen in sozial benachteiligten Quartieren	Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Berlin/berliner-programm-bene.html
Berlin	Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) - Förderschwerpunkt 2: Steigerung der Energieeffizienz sowie der Nutzung erneuerbarer Energien in öffentlichen Infrastrukturen einschließlich öffentlicher Gebäude	Energieeffiziente Lösungen (Gebäudetechnik, Querschnittstechnologien, Wärmeerzeugung, Klimatechnologie, Abwasser- und Abluftwärme, Stoffstrom-/Ressourceneffizienz, Kraft-Wärme-Koppelung); Erneuerbare Energien (z. B. Geothermie, Biogas, Solarthermie)	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Berlin/benefoerderschwerpunkt-2.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Hamburg	Energiewende in Unternehmen - Intelligente Einbindung in die Energieversorgung	Energiemanagementsysteme; Energiecontrollingsysteme (Geräte und Systeme); Anlagen, die Energie verbrauchen, transportieren, speichern oder erzeugen mit flexiblem Betrieb (auch Wärmenetze)	Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Hamburg/energiewende-in-unternehmen.html
Hamburg	Erneuerbare Wärme	Solarthermie und Heizungsmodernisierung, Bioenergie-Anlagen, Wärmepumpen-Anlagen, Geothermie sowie Wärme aus Abwasser, Wärmeverteilnetze, Wärmespeicher	Unternehmen; Privatperson; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Hamburg/erneuerbare-waerme.html
Hamburg	Rahmenprogramm Integrierte Stadtteilentwicklung (RISE)	U. a. Errichtung und Erweiterung von Anlagen/Einrichtungen zur (de-)zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung	Verband/Vereinigung; Öffentliche Einrichtung; Kommune; Privatperson	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Hamburg/rahmenprogramm-integrierte-stadtteilentwicklung.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Mec- klen- burg- Vor- pom- mern	Klimaschutzförder- richtlinie Kommu- nen	Energieeinsparung/- effizienz (Abwärme- nutzung, direkte Einsparung z. B. Lichtlenksysteme o- der Beleuchtung); regenerative Wärme (Sonnen- energie, Biomasse, Geothermie); Infra- struktur erneuer- bare Energien (Spei- cherlösungen, Nah- wärmenetze, Was- serstoff-Infrastruk- tur); alternative Kraftstoffe (Brenn- stoffzelle, Elektro- mobilität); Innova- tive Projekte zu Energieeffizienz und erneuerbaren Ener- gien; Vorplanungs- studien für Maß- nahmen; Planungs- leistungen für Maß- nahmen	Kommune; Öffentli- che Einrichtung; Verband/Vereini- gung; Bildungsein- richtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/klimaschutzfoerderrichtlinie-kommunen.html
Mec- klen- burg- Vor- pom- mern	Regenerative Ener- gieversorgung für Kommunen im länd- lichen Raum - Ge- meinden bis 10.000 EW	Wärme- und Käl- teerzeugung (Bio- massennutzung, So- larthermie, oberflä- chennahe Geother- mie, Wärmepum- pen); kleine Infra- strukturmaßnah- men bis 500.000 € (Nahwärmenetze, Speicher); Vorpla- nungsstudien oder Machbarkeitsstu- dien lokaler regene- rativer Energiever- sorgungsstrukturen sowie Energiema- nagement-untersu- chungen	Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/regenerative-energieversorgungsfoerderrichtlinie.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Niedersachsen	Energieeinsparung und Energieeffizienz bei öffentlichen Trägern sowie Kultur-einrichtungen	Gefördert werden: Öffentliche Nicht-wohngebäude und Gewinnung von Wärme inklusive Wärmenetze; öffentliche Abwasseranlagen	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung; Hochschule; Forschungseinrichtung; Bildungseinrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/energieeinsparung-effizienz-oeffentliche-traeger.html
Niedersachsen	Verbesserung der Versorgung mit alternativen Treibstoffen	Tankinfrastruktur für alternative Treibstoffe (LNG, Strom, Gas); Modellprojekte Bahnverkehr; städtische elektromobile Maßnahmen	Unternehmen; Kommune; Öffentliche Einrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/versorgung-mit-alternativen-treibstoffen.html
Niedersachsen	Verbesserung der Versorgung mit alternativen Treibstoffen und Energie in Seehäfen	Entwicklung, Planung, Errichtung und Erweiterung von Einrichtungen zur Verbesserung der Versorgung von See- und Binnenschiffen mit alternativen Treibstoffen und Energie (z. B. Flüssigerdgas und Landstrom)	Öffentliche Einrichtung; Kommune; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/alternative-treibstoffe-energie-seehaefen.html
Nordrhein - Westfalen	EFRE NRW - EFRE-Rahmenrichtlinie	"ergibt sich aus dem OP EFRE NRW."; Großprojekte (ab 50 Mio. EUR) nur mit Genehmigung der EFRE-Verwaltungsbehörde	Unternehmen; Forschungseinrichtung; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung; Bildungseinrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/efre-rahmenrichtlinie.html
Nordrhein - Westfalen	NRW.BANK Ergänzungsprogramm Abwasser	Ergänzungsdarlehen zu "Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II"	Kommune; Öffentliche Einrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/nrw-bank-ergaenzungsprogramm-abwasser.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Nordrhein - Westfalen	NRW.BANK Infrastrukturfinanzierungen	Gebietskörperschaften, Wasser-/Abwasserverbände; Finanzierung von Projekten und Unternehmen u. A. in den Bereichen Umweltschutz, Energie, Verkehr und Versorgung	Öffentliche Einrichtung; Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/nrw-bank-infrastrukturfinanzierungen.html
Nordrhein - Westfalen	NRW.BANK Kommunal Invest/Kommunal Invest Plus	U. a. Wasserversorgung und Abwasserentsorgung; Energieeinsparung und Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger	Öffentliche Einrichtung; Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/nrw-bank-kommunal-invest-und-plus.html
Nordrhein - Westfalen	NRW.BANK/EU Wärmeinfrastruktur	Energieeffiziente Fernwärme-/ Fernkältenetze (Verbund- und Einzelprojekte)	Öffentliche Einrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/nrw-bank-eu-waermeinfrastruktur.html
Nordrhein - Westfalen	Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II	Förderung von Projekten: zur Vermeidung und Verringerung (mind. 40 %) des Abwasseranfalls; zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen; zur Hygienisierung des Abwassers	Unternehmen; Kommune; Öffentliche Einrichtung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/ressourceneffiziente-abwasserbeseitigung.html
Rheinland-Pfalz	Betriebsberatung zur Erhöhung der Ressourceneffizienz	u.A Beratung zu Energieeffizienz und der Minderung von Abwasser	Öffentliche Einrichtungen; Privatperson; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Rheinland-Pfalz/betriebsberatungen-erhoehung-ressourceneffizienz.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Rheinland-Pfalz	Wärmewende im Quartier - Zuweisungen für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement	Erarbeitung von energetischen Quartierssanierungskonzepten und ihre Umsetzung durch Sanierungsmanagement	Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Rheinland-Pfalz/quartierskonzepte-sanierungsmanagement-rp.html
Rheinland-Pfalz	Zukunftsfähige Energieinfrastruktur (ZEIS)	Ausbau von Wärmenetzen; Errichtung von Biomassefeuerungsanlagen; Errichtung von thermischen Solaranlagen und effizienten Wärmepumpenanlagen; Errichtung von Anlagen zur Verwertung von Abwärme; Einführung/Ausstattung von Messtechnik	Unternehmen; Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Rheinland-Pfalz/zukunftsfaeehige-energieinfrastruktur-rp.html
Rheinland-Pfalz	Zuwendungen für wasserwirtschaftliche Maßnahmen	Wasserversorgung; Abwasserbeseitigung; Analysen, Gutachten und Konzeptionen; Kooperationen Wasserversorgung-Landwirtschaft; Gewässer- und Flussgebietsentwicklung; Beseitigung Hochwasser- und Unwetterschäden; Stauanlagen, Wasserspeicher; Hochwasserrisikomanagement; Landwirtschaftlicher Wasserbau; Modellvorhaben, Pilotprojekte	Kommune; Verband/Vereinigung; Öffentliche Einrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Rheinland-Pfalz/foerderrichtlinien-wasserwirtschaftsverwaltung.html

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
Sachsen	Förderrichtlinie Klimaschutz (RL Klima/2014)	Öffentliche Gebäude (Sanierung); Konzepte und Instrumente (CO ₂ -Minderung, Energieeffizienz, Energiemanagementsysteme); Komplexvorhaben (CO ₂ -Einsparungen); Anlagen und Infrastrukturen (Energieeffizienz Wasserversorgung/-entsorgung, Heizungsanlagen, Wärme-/Kälteerzeugung und -versorgung, Energiecontrolling, Straßenbeleuchtung, Innenbeleuchtung,...); Modellprojekte (Innovationen, besonderes Landesinteresse, Vorbildwirkung)	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/foerderrichtlinie-klimaschutz.html
Sachsen	Förderrichtlinie Siedlungswasserwirtschaft (RL SWW/2016)	Ertüchtigung und Ersatzneubau öffentlicher Kläranlagen, vollbiologischer Kleinkläranlagen, bestehender Abwasserkanäle; Neubau Überleitungssammler, Sonderbauwerke (Regenrückhaltebecken,...); Gefahrenabwehr an Wasserversorgungs-/Abwasseranlagen	Kommune; Öffentliche Einrichtung; Privatperson	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Sachsen/siedlungswasserwirtschaft.html
Schleswig-Holstein	Landesprogramm Wirtschaft - Energieinfrastrukturmaßnahmen	Übernahme, Speicherung, Dekomprimierung von Flüssigerdgas und komprimiertem Erdgas;	Unternehmen; Kommune; Verband/Vereinigung	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Schleswig-Holstein/landesprogramm-wirtschaft-

Länder	Förderprogramm	Inhalt	Förderberechtigte	Link
		innovative Stromspeicheranlagen		energieinfrastrukturm.html
Thüringen	E-Mobil Invest	Ladeinfrastruktur (Errichtung und Modernisierung); Beschaffung elektrisch betriebener Fahrzeuge; Umrüstung von Nutzfahrzeugen in Fuhrparks auf elektrischen Antrieb	Verband/Vereinigung; Öffentliche Einrichtung; Unternehmen	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Thueringen/e-mobil-invest.html
Thüringen	Förderung städtebaulicher Maßnahmen (Thüringer Städtebauförderungsrichtlinien - ThStBauFR)	U. a. Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen; Steigerung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien	Kommune	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Thueringen/staedtebauliche-massnahmen-thueringen.html

B Anhang

B.1 Anhang zu 6.1.1

Die Subsidiaritätsklausel ist **unterschiedlich ausgestaltet**: Manche Länder haben eine strenge Subsidiaritätsklausel verankert, d. h. es kommt darauf an, ob der Zweck *nicht ebenso gut und wirtschaftlich* durch Private erfolgen kann¹⁸⁹, andere fordern nur eine „einfache“ Subsidiarität, was bedeutet, dass der Zweck *nicht besser und wirtschaftlicher* von Privaten erreicht werden kann.¹⁹⁰ Die strenge Subsidiaritätsklausel begründet einen absoluten Vorrang der Privatwirtschaft und legt die Beweislast der Gemeinde auf, wohin gegen die einfache Subsidiaritätsklausel die kommunale Wirtschaftstätigkeit auch dann erlaubt, wenn beide Akteure die Leistung gleich gut erbringen können.¹⁹¹

In folgenden Ländern bestehen **Sonderausnahmen vom Subsidiaritätserfordernis** bezüglich der Energieerzeugung:

In Hessen dürfen Gemeinden sich gemäß § 121 Abs. 1a S. 1 HGO ausschließlich auf dem Gebiet der Erzeugung, Speicherung und Einspeisung und des Vertriebs von Strom, Wärme und Gas aus erneuerbaren Energien sowie der Verteilung von elektrischer und thermischer Energie bis zum Hausanschluss wirtschaftlich betätigen, wenn die Betätigung innerhalb des Gemeindegebietes oder im regionalen Umfeld in den Formen interkommunaler Zusammenarbeit erfolgt. Das Örtlichkeitsgebot gilt dann zwar wieder, aber hessische Gemeinden sind unabhängig von privaten Unternehmen, die die Aufgabe unter Umständen besser erledigen können.

In Niedersachsen gilt gemäß § 136 Abs. 1 S. 3 NKomVG das Subsidiaritätserfordernis nicht für die wirtschaftliche Betätigung zum Zweck der Energieversorgung.

In Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt gilt das Subsidiaritätserfordernis gemäß § 107a Abs. 1 GO NRW bzw. § 85 Abs. 1 Nr. 3 GemORP bzw. §128 Abs. 2 KVG LSA nicht in den Bereichen der Strom-, Gas- und Wärmeversorgung.

In Schleswig-Holstein gilt das Subsidiaritätserfordernis gemäß § 101a Abs. 1 GO-SH nicht für die wirtschaftliche Betätigung zur Erzeugung oder zur Gewinnung, zum Vertrieb oder zur Verteilung von Energie zur Strom-, Gas-, Wärme- oder Kälteversorgung.

In Thüringen gilt das Subsidiaritätserfordernis gemäß § 71 Abs. 2 Nr. 4 S. 2 ThürKO insbesondere im Bereich der Strom-, Gas- und Wärmeversorgung einschließlich einer Betätigung auf dem Gebiet der Erzeugung, Speicherung und Einspeisung erneuerbarer Energien sowie der Verteilung von hieraus gewonnener thermischer Energie nicht.

Die Kommunen in diesen Bundesländern können daher dann in den genannten Bereichen wirtschaftlich tätig werden, unabhängig davon, ob private Unternehmen die Aufgabe gleich oder besser erfüllen könnten, solange die übrigen Schrankentriaserfordernisse gegeben sind.

¹⁸⁹ Müller in Dietlein/Pautsch, BeckOK Kommunalrecht Baden-Württemberg, 6. Auflage 1.5.19, § 102 GemO BW Rn 13.

¹⁹⁰ Streng: Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz (mit Ausnahmen), Saarland, Thüringen (mit Ausnahmen).
Einfach: Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Niedersachsen (mit Ausnahmen), Nordrhein-Westfalen (mit Ausnahmen), Sachsen, Sachsen-Anhalt (mit Ausnahmen), Schleswig-Holstein (mit Ausnahmen).

¹⁹¹ BDI (2014) Wettbewerbsbarometer: Gemeindefortschrittsrecht - Eine vergleichende Analyse der Gemeindeordnungen - Die Vorschriften der 16 Bundesländer auf dem Prüfstand: Fairer Wettbewerb zwischen Staat und Privatwirtschaft?, https://bdi.eu/media/presse/publikationen/konjunktur-standort-und-wettbewerb/Wettbewerbsbarometer_Gemeindefortschrittsrecht.pdf, S. 14.

Die Schrankentrias findet bei **sog. Nichtwirtschaftlichen Unternehmen keine** Anwendung.¹⁹² In manchen Bundesländern werden Abwasserbeseitigung¹⁹³ oder Energieerzeugung¹⁹⁴ ausdrücklich als Nichtwirtschaftliches Unternehmen aufgezählt.

In folgenden Bundesländern sind **Projekte zur Erzeugung von erneuerbarer Energie** anderweitig besonders privilegiert.

In Niedersachsen sind gemäß § 136 Abs. 1 S. 7 NKomVG wirtschaftliche Betätigungen der Kommune zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu dem in § 1 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes genannten Zweck auch zulässig, wenn sie nur in einem angemessenen Verhältnis zur Leistungsfähigkeit der Kommune stehen, unabhängig vom Bedarf.

In Schleswig-Holstein ist gemäß § 101a Abs. 2 GO-SH eine wirtschaftliche Betätigung ausschließlich zur Erzeugung oder Gewinnung von Energie im Bereich erneuerbarer Energien (§ 5 Nr. 14 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes) unter geringeren Anforderungen als für sonstige wirtschaftliche Betätigungen zulässig.

In Thüringen sind gemäß § 71 Abs. 2 Nr. 4 S. 2 HS 2 ThürKO Dienstleistungen insbesondere im Bereich der Strom-, Gas- und Wärmeversorgung einschließlich einer Betätigung auf dem Gebiet der Erzeugung, Speicherung und Einspeisung erneuerbarer Energien sowie der Verteilung von hieraus gewonnener thermischer Energie zulässig, wenn ihnen im Vergleich zum Hauptzweck eine untergeordnete Bedeutung zukommt.

¹⁹² § 102 Abs. 4 GemOBW; § 121 Abs. 2 HGO; § 136 Abs. 3 NKomVG; § 107 II NRWGO; § 85 Abs. 4 GemORP; § 108 Abs. 2 KSVG; § 94a Abs. 3 SächsGemO; § 101 Abs. 4 GO-SH (Bayern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und die Stadtstaaten unterscheiden nicht zwischen wirtschaftlichen und nichtwirtschaftlichen Unternehmen). Ausnahme Mecklenburg-Vorpommern: gemäß § 68 Abs. 1 S. 2, Abs. 3 Nr. 1 KV M-V sind Einrichtungen, die aufgrund gesetzlicher Verpflichtung betrieben werden, nicht nicht-wirtschaftlich.

¹⁹³ § 121 Abs. 2 S. 1 Nr. 2 HGO; § 107 Abs. 2 Nr. 4 GO NRW; § 108 Abs. 2 Nr. 1 KSVG; § 101 Abs. 4 Nr. 2 GO-SH.

¹⁹⁴ § 68 Abs. 3 Nr. 4 KV M-V.

C Anhang: Eingangsgrößen

C.1 Anhang: Eingangsgrößen für die großen PV-Dachanlagen

Tabelle 10: Eingangsgrößen von großen PV-Dachanlagen

Anlagegröße	100 kW – 750 kW
CAPEX [€/kW]	800 – 1.000
Lebensdauer [a]	25
Betriebskosten fix [€/kW]	2,5 % von CAPEX
Betriebskosten var [€/kWh]	0
Jährliche Reduktion des Wirkungsgrads	0,0025

Quelle: Kost et al., 2018

Tabelle 11: Jahreserträgen an typischen Standorten von PV

Standort	Globalstrahlung [kWh/(m²a)]	Einstrahlung auf PV-Module bei optimalem Neigungswinkel [kWh/(m²a)]	Stromerzeugung pro 1 kWp bei optimalem Neigungswinkel [kWh/a]
Norddeutschland (N)	950	1.100	935
Mittel und Ostdeutschland (M+O)	1.120	1.300	1.105
Süddeutschland (S)	1.300	1.510	1.280

Quelle: Kost et al., 2018

C.2 Anhang: Eingangsgrößen für die Biomethanaufbereitungsverfahren

Tabelle 12: Kennwerte von zwei Klärgasaufbereitungsverfahren (Aminwäsche und Membranverfahren)

	Chemische Absorption (Aminwäsche)	Membranverfahren
Strombedarf [kWh/Nm³]	0,06 – 0,15	0,18 – 0,29
Wärmebedarf [kWh/Nm³]	110 – 140	-
Methanverlust [%]	0,10	0,50 – 1,00
CAPEX [€/(m³/h)]	5.000	3.200
Kapazität [m³/h]	250	250
Betriebskosten (exkl. Stromkosten) [€/h]	0,80	1,70

Quelle: Collet et al., 2017; FNR, 2018

C.3 Anhang: Eingangsgrößen für die AEL-Elektrolyseur

Tabelle 13: Kennwerte von AEL-Elektrolyseur (1 MW)

	heute	2030
Modulgröße [kg/h]	350	3.500
CAPEX [€/((kg/h))]	800 – 1.500 €/kW	580 €/kW
Lebensdauer [a]	25	25
Betriebskosten fix (exkl. Stromkosten) [€/((kg/h)a)]	2 – 3 % von CAPEX	1,2 – 2 % von CAPEX
Strombedarf [kWh/kg]	53	50
Wärmebedarf [kWh/kg]	0	0
Wirkungsgrad System* [%]	74	79

*Wirkungsgrad System = HHV/(elektrisch + thermisch); HHV = 39,41 kWh/kg

Quelle: Wehrspohn und Härle (Fraunhofer IMWS), 2019

D Anhang: Berechnung

D.1 Anhang: Berechnung der Biomethangestehungskosten

D.1.1 Anhang: Formel für die Berechnungen der Biomethangestehungskosten

$$BMGK = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{BM_t}{(1+i)^t}}$$

BMGK	Biomethangestehungskosten in [€/m ³]
I ₀	Investitionskosten in [€]
n	Lebensdauer des Systems in Jahren [a]
t	Jahr der Lebensdauer (1, 2, 3, ... n)
A _t	Gesamte Kosten in [€] in Jahr t
i	Kalkulatorischer Zinssatz in [%] ¹⁹⁵
BM _t	Biomethanerzeugung in [m ³] in Jahr t

D.1.2 Anhang: Ergebnisse der Berechnung von den Biomethangestehungskosten

Tabelle 14: Gestehungskosten für Biomethan

Biomethan aus Klärgasauflbereitung mit Aminwäsche oder Membranverfahren

Volllaststunden (h/a)	Aminwäsche mit Überschussstrom		Aminwäsche mit Überschussstrom + PV		Membran mit Überschussstrom		Membran mit Überschussstrom + PV	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	9,69	10,73	9,63	10,65	7,18	8,32	7,00	8,16
2.000	5,78	6,82	5,72	6,74	4,67	5,79	4,49	5,64
3.000	4,48	5,52	4,42	5,45	3,84	4,95	3,65	4,80
4.000	3,83	4,87	3,77	4,82	3,42	4,53	3,22	4,38
5.000	3,44	4,48	3,38	4,44	3,17	4,28	2,96	4,12
6.000	3,18	4,22	3,12	4,19	3,00	4,11	2,78	3,96
7.000	2,99	4,03	2,93	4,01	2,88	3,99	2,66	3,84

¹⁹⁵ Als kalkulatorischer Zinssatz ist 2,1 % für alle Berechnungen angenommen.

D.1.3 Anhang: Ergebnisse der Berechnung von den Biomethangestehungskosten ab 2021

Tabelle 15: Gestehungskosten für Biomethan ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO₂-Emission)

Biomethan aus Klärgasaufbereitung mit Aminwäsche oder Membranverfahren; Einheit: [ct₂₀₁₈/kWh_{th}]

Volllaststunden (h/a)	Aminwäsche mit Überschussstrom		Aminwäsche mit Überschussstrom + PV		Membran mit Überschussstrom		Membran mit Überschussstrom + PV	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	9,38	10,42	9,32	10,34	6,88	8,25	6,70	8,09
2.000	5,47	6,51	5,41	6,43	4,37	5,73	4,19	5,57
3.000	4,17	5,21	4,11	5,15	3,53	4,89	3,35	4,73
4.000	3,52	4,56	3,46	4,51	3,12	4,47	2,91	4,31
5.000	3,13	4,17	3,07	4,13	2,86	4,22	2,65	4,06
6.000	2,87	3,91	2,81	3,88	2,70	4,05	2,48	3,89
7.000	2,69	3,73	2,62	3,70	2,58	3,93	2,36	3,77

D.2 Anhang: Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten

D.2.1 Anhang: Formel für die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten

nach (Smolinka et al., 2018):

$$WGK = \frac{LHV}{\eta_{ges}} \left(\left(\frac{(1 + i/100)^n - 1}{i \cdot (1 + i/100)^n} + M/O \right) \frac{CAPEX}{VLS} + P_E \right)$$

WGK Wasserstoffgestehungskosten in [€/kg]

VLS Jährliche Volllaststunden in [h/a]

LHV Heizwert von Wasserstoff in [kWh/kg]

η_{ges} Nomineller Systemwirkungsgrad in [%] (bezogen auf den LHV)

i Kalkulatorischer Zinssatz in [%]

n Abschreibungsperiode – Lebensdauer des Systems in Jahren [a]

M/O Betriebs- und Instandhaltungskosten (inkl. Wartung und Wiederbeschaffung der Stacks, exkl. Stromkosten) in [%CAPEX/a]

CAPEX Spez. Investitionskosten des Elektrolyse-Systems in [€/kW]

P_E Kumulierter spez. Strompreis in [€/kWh]

D.2.2 Anhang: Ergebnisse der Berechnung von Wasserstoffgestehungskosten

Tabelle 16: Wasserstoffgestehungskosten

Wasserstoffherzeugung mittels Alkalie-Elektrolyse; Einheit: [Euro₂₀₁₈/kg]

Volllaststunden (h/a)	Strom nur aus PV* (N)		Strom nur aus PV* (M+O)		Strom nur aus PV* (S)		Strom aus PV* + Überschussstrom	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [Ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	16,39	25,72
2.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	11,63	16,30
3.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	10,05	13,16
4.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	9,26	11,59
5.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	8,78	10,65
6.000	14,28	15,42	12,20	13,17	10,63	11,47	8,47	10,02

*Optimal Stromerzeugung aus PV in Norddeutschland (N) 935 kWh/a/kWp, in Mittel und Ostdeutschland (M+O) 1105 kWh/a/kWp, und in Süddeutschland (S) 1280 kWh/a/kWp

D.2.3 Anhang: Ergebnisse der Berechnung von Wasserstoffgestehungskosten in 2030

Tabelle 17: Wasserstoffgestehungskosten in 2030

Wasserstoffherzeugung mittels Alkalie-Elektrolyse; Einheit: [Euro₂₀₁₈/kg]

Volllaststunden (h/a)	Strom nur aus PV* (N)		Strom nur aus PV* (M+O)		Strom nur aus PV* (S)		Strom aus PV* + Überschussstrom	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [Ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	12,58	13,01
2.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	9,51	9,73
3.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	8,49	8,63
4.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	7,98	8,09
5.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	7,67	7,76
6.000	8,52	9,58	7,27	8,49	6,49	7,67	7,47	7,54

*Optimal Stromerzeugung aus PV in Norddeutschland (N) 935 kWh/a/kWp, in Mittel und Ostdeutschland (M+O) 1105 kWh/a/kWp, und in Süddeutschland (S) 1280 kWh/a/kWp

D.3 Anhang: Berechnung der Stromgestehungskosten von Biomethan

D.3.1 Anhang: Formel für Berechnung von Stromgestehungskosten

nach (Kost et al., 2018):

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{t,el}}{(1+i)^t}}$$

LCOE	Stromgestehungskosten in [€/kWh]
I_0	Investitionskosten in [€]
n	Lebensdauer des Systems in Jahren [a]
t	Jahr der Lebensdauer (1, 2, 3, ... n)
A_t	Gesamte Kosten in [€] in Jahr t
i	Kalkulatorischer Zinssatz in [%]
$M_{t,el}$	Stromerzeugung in [kWh] in Jahr t

D.3.2 Anhang: Ergebnisse der Stromgestehungskosten von Biomethan

Tabelle 18: Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung)

Stromerzeugung von Biomethan aus Klärgasaufbereitung (mit Aminwäsche oder Membranverfahren); Einheit: [ct₂₀₁₈/kWh]

Volllaststunden (h/a)	Aminwäsche mit Überschussstrom		Aminwäsche mit Überschussstrom + PV		Membran mit Überschussstrom		Membran mit Überschussstrom + PV	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	26,32	29,15	26,16	28,93	19,52	22,60	19,02	22,17
2.000	15,71	18,54	15,55	18,32	12,70	15,75	12,21	15,32
3.000	12,18	15,00	12,01	14,82	10,43	13,46	9,92	13,03
4.000	10,41	13,24	10,24	13,10	9,29	12,32	8,74	11,89
5.000	9,35	12,18	9,18	12,07	8,61	11,63	8,04	11,21
6.000	8,64	11,47	8,48	11,38	8,16	11,18	7,56	10,75
7.000	8,14	10,96	7,97	10,88	7,83	10,85	7,23	10,42

D.3.3 Anhang: Ergebnisse der Stromgestehungskosten von Biomethan ab 2021

Tabelle 19: Stromgestehungskosten von Biomethan (aus Klärgasaufbereitung) ab 2021 (inkl. Einsparung durch Vermeidung der CO₂-Emission)

Stromerzeugung von Biomethan aus Klärgasaufbereitung (mit Aminwäsche oder Membranverfahren); Einheit: [ct₂₀₁₈/kWh_{th}]

Volllaststunden (h/a)	Aminwäsche - Überschussstrom		Aminwäsche - Überschussstrom + PV		Membran - Überschussstrom		Membran - Überschussstrom + PV	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit: [ct ₂₀₁₈ /kWh _{th}]								
1.000	25,48	28,31	25,32	28,09	18,69	22,42	18,20	21,99
2.000	14,88	17,70	14,71	17,48	11,88	15,57	11,38	15,14
3.000	11,34	14,17	11,17	13,98	9,60	13,29	9,10	12,86
4.000	9,57	12,40	9,41	12,26	8,47	12,14	7,92	11,72
5.000	8,51	11,34	8,35	11,23	7,78	11,46	7,21	11,03
6.000	7,80	10,63	7,64	10,54	7,33	11,00	6,74	10,57
7.000	7,30	10,12	7,13	10,05	7,01	10,67	6,40	10,25