

TEXTE

06/2020

# Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinnovations- programm



TEXTE 06/2020

Projektnummer 92848

FB000244

# **Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinnovationsprogramm**

von

Bernd Haberkern, Barbara Retamal Pucheu  
iat, Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

iat - Ingenieurberatung für Abwassertechnik, Bernd Haberkern  
Havelstraße 7a  
64295 Darmstadt

**Abschlussdatum:**

Juli 2019

**Redaktion:**

Fachgebiet III 2.5 Überwachungsverfahren, Abwasserentsorgung  
Andrea Roskosch

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2020

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

## Kurzbeschreibung

Es ist bekannt, dass Kläranlagen zu den größten kommunalen Stromverbrauchern zählen und ein großes Einsparpotenzial aufweisen. 2008 wurde dazu eine Studie des UBA veröffentlicht, die eine systematische Erhebung der Ist-Situation enthielt und Zielwerte für die Energieeffizienz in Abwasseranlagen vorschlug. Zur Umsetzung des identifizierten Optimierungspotenzials wurde daraufhin im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms der Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ initiiert. Ziel war innovative Projekte zur Stromeinsparung bzw. zur Steigerung der Stromproduktion aus Faulgas, sowie zur Nutzung von Abwärme aus dem Abwasserkanal zu fördern.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Förderschwerpunktes zusammengestellt und bewertet. Die geförderten Projekte haben gezeigt, dass Stromeinsparungen in der Größenordnung von 10 bis 20 % möglich sind und die Einwohner-spezifische Stromerzeugung aus Faulgas sogar im Mittel um 45 % gesteigert werden konnte, ohne dass es zu Verschlechterungen der Reinigungsleistung kam. Die Stromeinsparungen wurden vor allem im Bereich der Maschinenteknik und Prozess-Steuerung der biologischen Reinigungsstufe erzielt. Maßgeblich für die Effizienzsteigerung waren weniger der Einsatz völlig neuer Technologien als vielmehr die Optimierung und innovative Kombination bekannter und neuartiger Verfahren mit Blick auf Energieeffizienz und Ressourcenschutz.

Aufgrund des inzwischen gestiegenen Wissensstandes werden als Ergebnis der Auswertung verschiedene Anpassungen der Förderkriterien für künftige Projekte empfohlen. Insbesondere betrifft dies den Ersatz fixer Zielwerte zugunsten anlagenbezogener Idealwerte und die Durchführung von Energieanalysen vor und nach der Umsetzung der Projekte.

## Abstract

Wastewater treatment plants are among the greatest municipal electricity consumers but also have a considerable energy saving potential. In 2008 a study was published by the German Federal Environment Office (UBA), including values proposed for the energy efficiency of WWTP, which are based on empirical data and theoretical derivations. The UBA has thereupon tendered the funding priority “Energy Efficient Wastewater Treatment Plants” (EAA) within the Environmental Innovation Program (UIP), aiming to support energy saving projects as well as biogas utilization in CHP and heat recovery from sewer systems.

The results of the evaluation of this funding priority are presented in this report. In all funded projects electricity consumption could be reduced by 10 - 20 %, the specific electricity production (per inhabitant) via biogas utilization could be increased by about 45 % without reduction of the effluent quality. It can be shown that the Energy saving potential was high especially for measures focusing on the modernization of mechanical works and optimization of process technology during the biological treatment process. However, energy efficiency could be increased more strongly by optimization and adaptation of existing processes on local peculiarities and combining them with new process technologies, respectively, than by implementing new technologies.

In the meantime new approaches for the achievable state of the art regarding energy efficiency in wastewater treatment are being developed so that recommendations for further funding priorities can be suggested, e.g. a plant-related ideal value that is much more realistic and more accurate than a fixed target value as a measure of the actual savings potential of the individual WWTP.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	8
Abkürzungsverzeichnis .....	9
Begriffsdefinitionen .....	12
Zusammenfassung.....	14
Summary.....	24
1 Ausgangslage und Zielsetzung der Evaluierung.....	33
2 Methodik .....	35
2.1 Auswertung der Unterlagen .....	35
2.2 Fachgruppe und Expertenworkshop.....	35
3 Evaluierung der Projekte .....	37
3.1 Überblick der geförderten Projekte.....	37
3.2 Projekt „Energieautarke Kläranlage Jena“ .....	39
3.2.1 Kurzbeschreibung.....	39
3.2.2 Evaluierung.....	39
3.2.2.1 Kennwerte	39
3.2.2.2 Abweichungen und Modifikationen	40
3.2.3 Wirtschaftlichkeit .....	41
3.2.4 Zusammenfassung.....	41
3.3 Projekt „Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach“.....	41
3.3.1 Kurzbeschreibung.....	41
3.3.2 Evaluierung.....	42
3.3.2.1 Kennwerte	42
3.3.2.2 Abweichungen und Modifikationen	42
3.3.3 Wirtschaftlichkeit .....	43
3.3.4 Zusammenfassung.....	43
3.4 Projekt „Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal“ .....	43
3.4.1 Kurzbeschreibung.....	43
3.4.2 Evaluierung.....	43
3.4.2.1 Kennwerte	43
3.4.3 Wirtschaftlichkeit .....	44
3.4.4 Zusammenfassung.....	44
3.5 Projekt „Realisierung einer Abwärmenutzungsanlage im Wiesental Aachen“ .....	45

3.5.1	Kurzbeschreibung.....	45
3.5.2	Evaluierung.....	45
3.5.2.1	Kennwerte	45
3.5.2.2	Abweichungen und Modifikationen	45
3.5.3	Wirtschaftlichkeit.....	45
3.5.4	Zusammenfassung.....	45
3.6	Projekt „Energetische Optimierung der Membrankläranlage Nordkanal“ .....	46
3.6.1	Kurzbeschreibung.....	46
3.6.2	Evaluierung.....	46
3.6.2.1	Kennwerte	46
3.6.2.2	Abweichungen und Modifikationen	47
3.6.3	Wirtschaftlichkeit.....	47
3.6.4	Zusammenfassung.....	47
3.7	Projekt „Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa“ .....	47
3.7.1	Kurzbeschreibung.....	47
3.7.2	Evaluierung.....	47
3.7.2.1	Kennwerte	47
3.7.2.2	Abweichung und Modifikationen	48
3.7.3	Wirtschaftlichkeit.....	49
3.7.4	Zusammenfassung.....	49
3.8	Projekt „Energieautarke Kläranlage mit Deammonifikation“.....	50
3.8.1	Kurzbeschreibung.....	50
3.8.2	Evaluierung.....	50
3.8.2.1	Kennwerte	50
3.8.2.2	Abweichungen und Modifikationen	50
3.8.3	Wirtschaftlichkeit.....	51
3.8.4	Zusammenfassung.....	51
3.9	Projekt „Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen am Beispiel der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf“ .....	51
3.9.1	Kurzbeschreibung.....	51
3.9.2	Evaluierung.....	51
3.9.2.1	Kennwerte	51
3.9.3	Wirtschaftlichkeit.....	52
3.9.4	Zusammenfassung.....	52
3.10	Projekt „Plus-Energiekläranlage mit Phosphorrückgewinnung“ .....	53
3.10.1	Kurzbeschreibung.....	53

3.10.2	Evaluierung.....	53
3.10.2.1	Kennwerte	53
3.10.2.2	Abweichungen und Modifikationen	54
3.10.3	Wirtschaftlichkeit .....	54
3.10.4	Zusammenfassung.....	54
3.11	Projekt „Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg“.....	55
3.11.1	Kurzbeschreibung.....	55
3.11.2	Evaluierung.....	55
3.11.2.1	Abweichungen und Modifikationen	55
3.11.3	Wirtschaftlichkeit .....	56
3.11.4	Zusammenfassung.....	56
3.12	Nicht geförderte Projekte .....	56
4	Aggregation der Projektevaluierungen zur Gesamtschau.....	57
4.1	Inhaltliche Schwerpunkte und Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen innerhalb der Matrix.....	57
4.1.1	Inhaltliche Schwerpunktsetzung .....	57
4.1.1.1	Umstellung simultane aerobe Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung	57
4.1.1.2	Umstellung des biologischen Reinigungsverfahrens	58
4.1.1.3	Interkommunale Zusammenarbeit/Überwindung von Systemgrenzen	58
4.1.1.4	Austausch der Maschinenteknik	59
4.1.1.5	Optimierung Steuerung und Automation	59
4.1.1.6	Deammonifikation	60
4.1.1.7	Optimierung der Schlammfäulung	60
4.1.1.8	Phosphor-Rückgewinnung	60
4.1.2	Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen innerhalb der Matrix.....	60
4.2	Zusammenstellung der Kennwerte.....	61
4.2.1	Einwohnerwert als (problematische) Bezugsgröße .....	61
4.2.2	Änderung des Gesamtstromverbrauches .....	62
4.2.3	Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung gemäß DWA A 216 .....	63
4.2.4	Zielerreichung.....	68
4.2.5	Vergleich der Projektergebnisse mit den Förderkriterien .....	69
4.3	Hindernisse bei der Umsetzung der Maßnahmen und hilfreiche Einflussfaktoren .....	70
4.4	Realisierte Einsparungen in den Projekten.....	74
4.4.1	Auswahl der Parameter und Bezugsrahmen.....	74
4.4.2	Stromeinsparung.....	74

4.4.3	Stromerzeugung.....	75
4.4.4	Einsparung Wärmeenergie.....	76
4.4.5	CO <sub>2</sub> -Einsparungen .....	76
4.4.6	Ressourceneffizienz.....	77
4.5	Reinigungsleistung.....	78
4.6	Wirtschaftlichkeit.....	78
5	Evaluierung des Förderprogrammes .....	80
5.1	Kurzfassung der Förderziele .....	80
5.1.1	Beschreibung der übergeordneten Ziele des UIP .....	80
5.1.2	Spezifische Ziele des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“(EAA) .....	80
5.2	Bewertung der Förderziele aus heutiger Sicht .....	81
5.3	Bewertung der Zielerreichung durch die geförderten Projekte .....	83
5.4	Übertragbarkeit und Demonstrationscharakter der Projekte.....	86
5.4.1	Grundsätzliche Überlegungen.....	86
5.4.2	Umstellung simultane aerobe auf anaerobe Schlammstabilisierung .....	87
5.4.3	Deammonifikation.....	89
5.4.4	Verfahrenstechnische Umstellungen.....	90
5.4.5	Interkommunale Zusammenarbeit (IKZ) und Überwindung von Systemgrenzen .....	90
5.4.6	Hochrechnung der Einsparungen im Inland.....	91
5.4.7	Exportchancen deutscher Unternehmen.....	96
5.5	Multiplikatorwirkung .....	97
5.6	Administrative Abwicklung des Förderschwerpunktes .....	98
5.7	Abstimmung und Abgrenzung gegenüber anderen Förderprogrammen.....	99
5.8	Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für neue Förderschwerpunkte .....	100
5.8.1	Auswahl und Realitätsnähe der Förderkriterien.....	100
5.8.2	Projektergebnisse und Bewertung der Zielerreichung .....	100
5.8.3	Empfehlungen für künftige Förderschwerpunkte.....	102
5.8.4	Pilot- und Demonstrationscharakter der Projekte.....	102
5.8.5	Wirtschaftlichkeit.....	103
5.8.6	Schlussfazit .....	105
	Quellenverzeichnis .....	106

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: bewilligte Fördersummen .....	39
Abbildung 2: Darstellung interkommunale Zusammenarbeit und Überwindung von Systemgrenzen .....	59
Abbildung 3: Matrix Übersicht über die Maßnahmen aller Projekte .....	61
Abbildung 4: spezifischer Gesamtstromverbrauch im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216 .....	64
Abbildung 5: spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216 .....	64
Abbildung 6: spezifischer Gasanfall im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216 .....	65
Abbildung 7: spezifische Faulgasproduktion nach Größenklasse, gemäß DWA Leistungsvergleich 2017 .....	66
Abbildung 8: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie .....	67
Abbildung 9: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität .....	68
Abbildung 10: Gründe, warum die Ziele nicht erreicht wurden.....	72
Abbildung 11: einwohnerspezifische Gesamtstromverbräuche .....	74
Abbildung 12: Gesamtstromverbräuche .....	75
Abbildung 13: Stromerzeugung vor und nach Umsetzung der Maßnahmen.....	76
Abbildung 14: CO2-Einsparungen.....	77
Abbildung 15: COP-Werte in Abhängigkeit von Temperaturniveaus.....	86
Abbildung 16: Aufteilung EW-Frachten auf Größenklassen und Anlagen mit Faulung.....	88
Abbildung 17: Auswertung der vom Land NRW geförderten Energieanalysen .....	92
Abbildung 18: Entwicklung des Stromverbrauchs und der Zulauffrachten in Baden-Württemberg.....	93
Abbildung 19: Zeitreihe Faulgasgewinnung und –verwertung .....	95

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektnummer, Projekttitel und Kurztitel der abgeschlossenen Projekte.....	37
Tabelle 2: Zielerreichung Kläranlage Jena .....	40
Tabelle 3: Zielerreichung Kläranlage Weilerbach.....	42
Tabelle 4: Zielerreichung Kläranlage Blümelthal.....	44
Tabelle 5: Zielerreichung Wiesental.....	45
Tabelle 6: Zielerreichung Kläranlage Nordkanal.....	46
Tabelle 7: Zielerreichung Kläranlage Schwalmstadt-Treysa.....	48
Tabelle 8 Zielerreichung Kläranlage Eisenhüttenstadt.....	50
Tabelle 9: Zielerreichung Kläranlage Schlitz-Hutzdorf.....	52
Tabelle 10: Zielerreichung Kläranlage Lingen.....	53
Tabelle 11: Zielerreichung Kläranlage Isselburg.....	55
Tabelle 12: Änderung der Einwohnerwerte ( $EW_{CSB}$ ) der abgeschlossenen Projekte.....	62
Tabelle 13: Vorher-Nachher Vergleich Gesamtstromverbrauch (absolut und spezifisch).....	63
Tabelle 14: Zusammenfassung über das Erreichen der selbst gesetzten Ziele.....	69
Tabelle 15: Erreichte Förderkriterien .....	70
Tabelle 16: Vergleich der Förderkriterien mit Häufigkeitsverteilungen nach DWA A 216.....	82

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
a.a.O.	am angegebenen Ort
A-B-Verfahren	Adsorptions-Belebungsverfahren
ACWUA	Arab Countries Water Utilities Association
BaWü	Baden-Württemberg
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BVT	Beste verfügbare Technik
CDM	Clean Development Mechanism
CHP	Combined head and Power
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
E	Einheit für (an Kläranlagen angeschlossene) Einwohnerwerte und Einwohnergleichwerte
EAA	Energieeffiziente Abwasseranlagen
e <sub>Bel</sub>	Spezifischer Stromverbrauch Belüftung
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energie (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
e <sub>ges</sub>	Gesamter spezifischer Stromverbrauch
EMSR	Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik
ERWAS	Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft
ESITI	Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft Energiespeicher in der Interaktion mit technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch
EV <sub>elek</sub>	Eigenversorgungsgrad Strom
EV <sub>th</sub>	Eigenversorgungsgrad Wärme
EW	Einwohnerwert
EWG	Einwohnergleichwert
FSP	Förderschwerpunkt
FU	Frequenzumformern
GIZ	Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit

<b>GK</b>	Größenklasse
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>GWh/a</b>	Gigawattstunde pro Jahr
<b>HOWIS</b>	Hochwasserinformationssystem Erft
<b>IKZ</b>	interkommunale Zusammenarbeit
<b>JAZ</b>	Jahresarbeitszahl
<b>KEK</b>	Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm
<b>KfW</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau
<b>KNA</b>	Kosten-Nutzen-Analyse
<b>KW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Koppelung
<b>I/(E*d)</b>	Liter pro Einwohner und Tag
<b>LAWA</b>	Länder-Arbeitsgemeinschaft - Wasser
<b>LfU BaWü</b>	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
<b>MAP</b>	Magnesium-Ammonium-Phosphat
<b>Mio.</b>	Millionen
<b>MURL</b>	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>MW<sub>el</sub></b>	Megawatt elektrisch
<b>MWh/a</b>	Megawattstunde pro Jahr
<b>MwSt.</b>	Mehrwertsteuer
<b>N<sub>FG</sub></b>	Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität
<b>NKI</b>	Nationale Klimaschutz-Initiative
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>o.g.</b>	oben genannt
<b>ORC</b>	Organic Rankine Cycle
<b>oTR</b>	organischer Trockenrückstand
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>SBR</b>	Sequencing-Batch-Reactor
<b>STK</b>	Scheibentauchkörper
<b>TrinkwV</b>	Trinkwasserverordnung
<b>UASB</b>	Upflow anaerobic sludge blanket
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt

<b>UIP</b>	Umweltinnovationsprogramm
<b>WWTP</b>	Wastewater treatment plant
<b>yr.</b>	year
<b>ZW</b>	Zielwert des Förderschwerpunktes
$\eta_{\text{elek}}$	elektrischer Wirkungsgrad

## Begriffsdefinitionen

In diesem Bericht werden folgende nachstehende Begriffsdefinitionen, die sich sowohl auf Strom als auch auf Wärme beziehen, analog zur Definition der Begriffe des NRW-Handbuches Energie in Abwasseranlagen und der DWA-A 216 verwendet.

### Vollständige Energieautarkie

Vollständige Energieautarkie bedeutet, dass eine Abwasseranlage in der Lage ist, den Energieverbrauch jederzeit durch die lokal auf dem Kläranlagengelände verfügbaren Eigenenergiequellen zu decken.

### Vollständige abwasserinduzierte Energieautarkie

Vollständige abwasserinduzierte Energieautarkie liegt vor, wenn der Energieverbrauch jederzeit nur durch die abwasserinduzierten Eigenenergiequellen abgedeckt wird. Auf der Nutzung von lokaler Wind- und Solarenergie und Energie aus zugelieferten Primärenergieträgern kann verzichtet werden.

### Bilanzielle Energieautarkie = Energieneutrale Kläranlage = Null-Energie-Kläranlage

Im Unterschied zur vollständigen Energieautarkie wird hier der Energiebedarf nicht jederzeit durch Eigenenergiebereitstellung gedeckt, sondern bilanziell nur im Jahresmittel.

Die Null-Energie-Kläranlage, ein erklärtes Ziel des Klimaschutzplans NRW von 2015 (Maßnahme LR-KS1-M21), ist ebenso wie die „energieneutrale Kläranlage“ gleichbedeutend mit der bilanziellen Energieautarkie. Im weiteren Bericht wird dafür der Begriff „energieneutrale Kläranlage“ verwendet, soweit nicht in den Projekten explizit andere Begriffe benutzt wurden.

### Bilanzielle abwasserinduzierte Energieautarkie

Im Unterschied zur vollständigen abwasserinduzierten Energieautarkie wird hier der Energiebedarf nicht jederzeit durch abwasserinduzierte Eigenenergiebereitstellung gedeckt, sondern bilanziell nur im Jahresmittel.

### Inselbetrieb

Inselbetrieb bezeichnet eine netzunabhängige Energieversorgung, also eine Energiebereitstellung ohne Anbindung an ein übergeordnetes Netz. Ein Inselbetrieb kann auch nur auf das Stromnetz bezogen werden.

### Energieautonomie

Energieautonomie bezeichnet den Zustand, dass eine Abwasseranlage als unabhängig agierendes System in der Lage ist, den Energieverbrauch jederzeit **ohne Anbindung an die Energienetze** und ohne sonstige externe Energiequellen zu decken. Ein **Inselbetrieb** wäre dabei **möglich**, wenn die technischen Voraussetzungen geschaffen würden.

### **Energieintelligente Kläranlage**

Als energieintelligente Kläranlage werden Anlagen bezeichnet, die die Interaktion mit den umgebenden Energienetzen (Strom, Gas, Wärme) als wesentliche Zielgröße definiert haben. Dies sind zum Beispiel Anlagen, die Regelenergie bereitstellen oder sich an einem virtuellen Kraftwerk beteiligen. Es ist eine Verknüpfung mit den "smarten" Netzen der Zukunft auf Prozessleitebene notwendig.

### **Energieplus-Kläranlage**

Unter der Voraussetzung einer (bilanziellen) Energieautarkie oder Energieautonomie ergibt sich ein bilanzieller Eigenenergieüberschuss der Kläranlage im Jahresmittel.

### **Zugelieferte Primärenergieträger**

Hierunter werden zum Beispiel Co-Fermente und zugelieferte Klärschlämme anderer Kläranlagen verstanden, die vor Ort in Strom oder Wärme umgewandelt werden.

### **Rationelle Energieanwendung**

Definition der "Rationellen Energieanwendung" laut Institut der Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart [IER, o. J.]:

"Alle Maßnahmen, die im Sinne des ökonomischen Prinzips auf einen Energieeinsatz führen, der einem optimalen Faktoreinsatz der genutzten volkswirtschaftlichen Ressourcen entspricht. Synonym verwendeten Begriffe:

- ▶ rationale Energienutzung
- ▶ rationale Energieverwendung
- ▶ rationeller Energieeinsatz"

Es wird empfohlen, diese Begriffe wegen des zum Teil unscharfen Gebrauchs und der Fokussierung auf die reine Wirtschaftlichkeit nicht für Abwasseranlagen zu verwenden.

### **Energiemanagementsysteme nach DIN-EN-ISO 50.001**

Definition aus der DIN-EN-ISO 50001: "Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele sowie Prozesse und Verfahren zur Einrechnung der strategischen Ziele " [DIN, 2011c].

Ein Energiemanagementsystem nach DIN-EN-ISO 50001 soll insbesondere dabei helfen, die für die Verbesserung der energetischen Effizienz nötigen Organisations-, Kommunikation- und Dokumentationsstrukturen zu schaffen.

### **Faulgas**

Faulgas bezeichnet die Gaserzeugung aus der Faulung von Klärschlamm (Rohschlamm) und Co-Substraten auf der Kläranlage. In einigen Berichten und Studien wird der Begriff Klärgas verwendet. Die Begriffe Faulgas und Klärgas können synonym verwendet werden.

## Zusammenfassung

### Veranlassung und Aufgabenstellung

Seit dem Jahrhundertwechsel wurde in verschiedenen Publikationen [Roth, 1999; MURL NRW, 1999; DWA 2010] immer wieder auf Kläranlagen als größte kommunale Stromverbraucher, aber auch potenzielle Stromerzeuger hingewiesen und ein großes Energiesparpotenzial proklamiert. 2008 wurde die UBA-Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ veröffentlicht, in der auf Basis empirischer Daten und theoretischer Ableitungen Zielwerte für die Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung vorgeschlagen und ein Einsparpotenzial beim Stromverbrauch von rund 20 % abgeschätzt wurde. Allerdings wurde dieses Potenzial nur sehr zögerlich erschlossen, zumal damals durch die Liberalisierung der Strommärkte der Strompreis stark gefallen war und damit der wirtschaftliche Anreiz fehlte.

Das Umweltbundesamt hat daraufhin im Jahre 2010 im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms den Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ (EAA) ausgeschrieben, mit dem gezielt die Erhöhung der Energieeffizienz bzw. der Energieerzeugung von Abwasseranlagen unterstützt werden sollte. Grundlage für die Förderkriterien dieses Förderschwerpunktes war die oben erwähnte UBA-Studie.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie bestand in der Fachwelt noch eine große Unsicherheit über das tatsächlich erreichbare Niveau an Energieeffizienz in Kläranlagen und über die Auswahl geeigneter Kennwerte, da in einschlägigen Gremien der Fachverbände oder aus Forschungsprojekten noch kein abschließender Stand der Technik bzgl. Energieeffizienz festgelegt war und nur wenige Daten zu den aktuellen Energie-Kennwerten auf Kläranlagen vorlagen.

Die Energieeffizienz von Kläranlagen hängt dabei nicht nur vom Einsatz einer bestimmten Verfahrens- oder Maschinenteknik ab, sondern auch sehr stark von deren optimaler Kombination zu einem Gesamtprozess und einer energieeffizienten Betriebsweise ohne Einbuße bei der Reinigungsleistung. Daher sollte durch den Förderschwerpunkt EAA ein neuer Stand der Technik bzgl. der Energieeffizienz der Abwasserbehandlung insgesamt erreicht werden.

Der Förderschwerpunkt EAA sollte gezielt Kläranlagenbetreiber dazu anregen, die Einhaltung der theoretisch definierten Zielwerte durch eine ganzheitliche Optimierung von verfahrenstechnischer Konzeption und Aggregaten sowie von Mess- und Regelungstechnik bzw. Betriebsweise in der Praxis nachzuweisen. Die Zielwerte wurden in den Förderkriterien vorgegeben. Damit sollten zusätzliche Impulse für eine verstärkte Energieoptimierung gegeben werden. Gleichzeitig sollte in Verbindung mit dem Messprogramm die erreichte Energieeffizienz beurteilt und die Datenbasis für die Festlegung eines neuen Standes der Technik hinsichtlich Energieeffizienz verbreitert werden.

Der Förderschwerpunkt wurde in 2018 evaluiert und die Ergebnisse sind im Rahmen des vorliegenden Berichtes dargestellt. Weiterhin waren Vorschläge für eine Weiterentwicklung der Fördermaßnahmen zu unterbreiten, die die inzwischen fundierteren Erkenntnisse zum erreichbaren Stand der Technik hinsichtlich Energieeffizienz in der Abwassertechnik berücksichtigen. Dazu wurde zum einen geprüft, in welchem Umfang die geförderten Projekte die vorgegebenen Förderkriterien und eigene Projektziele einhalten konnten bzw. welche Hindernisse und Modifikationen dabei auftraten. Zum anderen wurde die Realitätsnähe der Förderziele untersucht und mit der aktuellen Definition des Standes der Technik bzgl. Energieeffizienz verglichen sowie der Demonstrationscharakter und das Multiplikationspotenzial der geförderten Maßnahmen innerhalb Deutschlands, aber auch für das Ausland abgeschätzt.

## **Übersicht der Projekte**

Im Förderschwerpunkt EAA wurden insgesamt zehn Projekte (neun Kläranlagenprojekte und ein Projekt zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser) umgesetzt:

1. **Energieautarke Kläranlage Jena:**  
Durch eine Vergrößerung des Faulraumvolumens wurde die Aufenthaltszeit des Klärschlammes in der Faulung und dadurch die Gasproduktion erhöht. Weiterhin wurde die Stromproduktion durch die Installation eines effizienten BHKWs erhöht.
2. **Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach:**  
Die Kläranlage Weilerbach wurde von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Stabilisierung in einer Hochlastfaulung umgestellt. Für die Faulgasverwertung wurde ein BHKW installiert, so dass ein Teil des Stromverbrauches selbst produziert und der Eigenversorgungsgrad für Strom entsprechend erhöht wurde.
3. **Energieoptimierung der Kläranlage Blümelatal:**  
Die biologische Reinigung der Kläranlage Blümelatal wurde von einer vorgeschalteten auf eine intermittierende Denitrifikation umgestellt. Im Zuge dieser Umstellung wurde zudem ein optimiertes Steuer- und Regelungskonzept der Belüftung realisiert, die Belüfter ausgetauscht und die Durchströmung der Belebungsbecken optimiert, indem verschiedene Trennwände in die Belebung eingebaut wurden.
4. **Realisierung einer Abwärme-Nutzungsanlage im Wiesental Aachen:**  
Die Wärme des Abwassers in einem Kanal wurde als Wärmequelle zur Beheizung der Wohnbebauung im Wiesental genutzt. Dazu wurde ein Wärmetauscher in den Kanal und Wärmepumpen in der Heizzentrale eingebaut.
5. **Energetische Optimierung der Membrankläranlage Nordkanal:**  
Durch die Umstellung der Belüftungsregelung auf eine Gleitdruckregelung und durch die Installation eines optimierten Steuer- und Regelungskonzeptes zur Schlammbewirtschaftung wurde der Stromverbrauch der Kläranlage stark reduziert. Ergänzt wurde die Maßnahme durch den Einsatz effizienterer Aggregate und die Nachrüstung von Drehzahlregelungen.
6. **Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa:**  
Durch die Mitbehandlung von Klärschlämmen externer Kläranlagen und Co-Substraten wurde die Gas- und somit die Stromproduktion erhöht. Weiterhin wurde die Systemgrenze Kläranlage überwunden, indem das Faulgas über eine eigene Leitung einem externen BHKW mit Nahwärmenetz zugeführt wurde. Die Abtrennung von Konzentraten bei Industrie- und Gewerbebetrieben im Einzugsgebiet und deren Mitbehandlung im Faulturm diente zum einen der Entlastung der Kläranlage und zum anderen der Erhöhung der Gasproduktion. Durch die Deammonifikation im Nebenstrom in einer Scheibentauchkörperanlage wurde die Belebung zusätzlich entlastet.
7. **Energieautarke Kläranlage Eisenhüttenstadt mit Deammonifikation:**  
In diesem Projekt sollte durch die Umstellung auf Deammonifikation im Haupt- und Nebenstrom ein energieeffizientes Reinigungsverfahren umgesetzt und so der Energieverbrauch reduziert werden. Die Deammonifikation im Nebenstrom konnte erfolgreich umgesetzt werden, die Deammonifikation im Hauptstrom hingegen nicht.
8. **Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen am Beispiel der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf:**  
Die Kläranlage Schlitz-Hutzdorf wurde von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung

sierung auf eine anaerobe Stabilisierung umgestellt. Zusätzlich zu dieser Verfahrensumstellung wurde eine interkommunale Zusammenarbeit in der Klärschlammbehandlung realisiert. Das bedeutet, dass die Kläranlage Schlitz-Hutzdorf Klärschlämme externer Kläranlagen annimmt und im Faulurm mit behandelt. Neben diesen Klärschlämmen wurden Co-Substrate angenommen und somit die Gasproduktion weiter erhöht. Das anfallende Faulgas wurde in einem BHKW verstromt, so dass ein größerer Teil des Strombedarfes selbst gedeckt werden kann.

9. Plus-Energiekläranlage Lingen mit Phosphorrückgewinnung:

Durch den Einsatz einer Thermodruckhydrolyse zur Desintegration des Überschussschlammes bzw. des Faulschlammes wurden die Abbaubarkeit des Schlammes und damit die Faulgasproduktion erhöht. Zudem wurde durch die bessere Abbaubarkeit die zu entsorgende Schlammmenge verringert. Ergänzend wurde eine MAP-Fällung zur Phosphorrückgewinnung realisiert.

10. Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg:

Die Kläranlage Isselburg wurde bei einer Erweiterung energetisch saniert. Dabei wurde die Belegung auf eine Kaskadendenitrifikation umgestellt und eine Sandfiltration nachgeschaltet.

Bei allen geförderten Projekten wurden von den Antragstellern schlüssige Konzepte eingereicht, mit denen eine signifikante Energieeinsparung bzw. eine signifikante Erhöhung der Eigenstromerzeugung zu erwarten war. Da im Förderschwerpunkt sehr unterschiedliche Projektansätze vertreten und häufig in einem Projekt mehrere Einzelmaßnahmen kombiniert waren, wurden diese in der Gesamtschau zu folgenden Themen gruppiert:

- ▶ **Optimierung der Schlammfäulung** (Kläranlagen Jena und Lingen) und Umstellung von simultaner aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung (Kläranlagen Weilerbach und Schlitz-Hutzdorf)  
Sowohl durch die Optimierung der Schlammfäulung als auch durch die Umstellung von aerober Schlammstabilisierung auf eine Fäulung konnte der Faulgasanfall deutlich erhöht bzw. erstmalig Faulgas produziert werden. Eine Reduzierung des spezifischen Gesamtstromverbrauches konnte bei diesen Projekten nicht realisiert werden, weil die zusätzlichen Stromverbraucher und die Rückbelastung durch Prozesswasser die Einsparungen bei der Belüftung überkompensierten. Der Eigenversorgungsgrad mit Strom wurde jedoch erheblich gesteigert, so dass sich der Strombezug deutlich verringerte.
- ▶ **Verfahrensoptimierung der Denitrifikation** (Kläranlagen Blümeltal und Isselburg)  
Bei beiden Kläranlagen konnte der spezifische Gesamtstromverbrauch deutlich reduziert werden, wobei ein Teil dieser Einsparung sicherlich auch auf weitere Maßnahmen, die parallel umgesetzt wurden (z. B. Austausch von Aggregaten), zurückzuführen ist.
- ▶ **Einsatz effizienter Maschinenteknik**  
Bei fast allen Projekten wurden im Zuge der Optimierungsmaßnahmen verschiedene Aggregate durch energieeffizientere Module ersetzt, die neben der verfahrenstechnischen Optimierung zu einem zusätzlichen Effizienzgewinn beitragen. Dies bezieht sich zum einen auf Stromverbraucher (z. B. Belüfter, Gebläse, Pumpen, etc.), zum anderen aber auch auf Stromerzeuger (BHKWs), so dass sowohl der Stromverbrauch zusätzlich reduziert, als auch die Stromerzeugung weiter erhöht wurde. Sofern Veränderungen im Bereich der Maschinenteknik ohne Änderung der Bauwerke umgesetzt werden können, ist dies normalerweise mit relativ geringem Aufwand möglich und umso wirtschaftlicher, je älter die vorhandenen Aggregate sind.

Grundsätzlich liegt hier ein hohes Potenzial, wobei die anfänglich hohen Einsparungen beim Einsatz neuer, energieeffizienter Anlagenteile nach einer bestimmten Nutzungsdauer durch den Verschleiß bzw. die Alterung möglicherweise wieder zurückgehen. Dieser verschleißbedingte Rückgang der Effizienz scheint bei manchen energiesparenden Belüfterelementen und Pumpenlaufrädern besonders stark ausgeprägt zu sein und ist möglicherweise eine der Ursachen, warum sich einmalige, hohe Einsparungen bei einzelnen Kläranlagen bei Betrachtung längerer Zeitreihen nicht zu einer entsprechend hohen Gesamteinsparung bei allen Kläranlagen addieren. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf, da der zeitliche Verlauf und das Ausmaß des Verlusts an Energieeffizienz nur in Einzelfällen beschrieben wurde, aber nicht statistisch abgesichert ist. Dagegen ist der Effizienzverlust durch Verschleiß bei BHKWs deutlich weniger ausgeprägt, so dass sich dort Effizienzgewinne nachhaltiger auswirken.

► **Optimierung der Steuerung**

Die Optimierung der Steuerung war in vielen Projekten eine Begleitmaßnahme im Zuge der Erneuerung der Maschinen- und Verfahrenstechnik. Für einen optimalen Effekt ist wichtig, dass die Kläranlage dabei in ihrer Gesamtheit betrachtet wird, da viele Rückkoppelungen zwischen den einzelnen Anlagenteilen bestehen. Wenn die allgemein anerkannten Regeln der Technik bereits vor den Optimierungsmaßnahmen umgesetzt waren, ist das zusätzliche Einsparpotenzial durch verstärkten Einsatz von Steuerungs- und Regelungstechnik eher gering. Allerdings können oft durch Anpassung veralteter Einstellungen an die aktuelle Betriebsweise Einsparungen erzielt werden.

► **Interkommunale Zusammenarbeit / Überwindung von Systemgrenzen** (Kläranlagen Treysa und Schlitz Hutzdorf)

Interkommunale Zusammenarbeit und die Überwindung der Grenzen des Systems Kläranlage bezieht sich häufig auf eine gemeinschaftliche Behandlung des Klärschlammes verschiedener Kläranlagen oder den Einsatz von Co-Substraten, z. B. von Konzentraten aus Industrie und Gewerbe, die ansonsten über die Kanalisation in die Kläranlage geleitet werden. Zudem kann aber auch überschüssiges Faulgas oder überschüssige Wärme außerhalb der Kläranlage genutzt werden. Die Überwindung von Gemeinde- und Systemgrenzen hat zwar in der Umsetzungsphase zahlreiche organisatorische, technische und rechtliche Fragen aufgeworfen, wird aber von den Fördernehmern im Nachhinein als sehr positiv beschrieben und führte zu einer Steigerung der Energieeffizienz der Anlagen. Hier wurde durch die geförderten Projekte zum Teil Pionierarbeit geleistet und Beispiele für gelungene Organisationsstrukturen geschaffen, auf die andere Kommunen und Industriepartner zurückgreifen können.

► **Deammonifikation** (Kläranlagen Eisenhüttenstadt und Treysa)

Von zwei Fördernehmern wurde die Deammonifikation im Nebenstrom, einmal als Demon+®-Verfahren und einmal als Deammonifikation im Scheibentauchkörper realisiert, wobei lediglich das Demon+® Verfahren erfolgreich betrieben werden konnte. Bei der Deammonifikation über Scheibentauchkörper gelang es trotz Zugabe von zusätzlichem Substrat nicht, einen ausreichend dicken Biofilm auf den Scheiben zu generieren, in dem eine Ansiedlung von Deammonifikanten möglich gewesen wäre.

Die Deammonifikation im Hauptstrom konnte nicht umgesetzt werden, weil trotz mehrfacher Zugabe von Impfschlamm aus einer Kläranlage aus den Niederlanden die Anreicherung der extrem langsam wachsenden Deammonifikanten im Belebtschlamm der Kläranlage nicht gelang. Im Abschlussbericht zum Förderprojekt und auch auf Nachfrage im Rahmen der Evaluierung wurde vom Antragsteller keine weitergehende Begründung genannt. Nach unserer Einschätzung könnte es daran liegen, dass sich die Zulaufbelastung erheblich verändert hat und sich das während der Antragstellung noch niedrige CSB/NH<sub>4</sub>-Verhältnis extrem erhöht hat (CSB/NH<sub>4</sub> von 9,9 auf 16,8 gestiegen) und damit Planktomyceten verdrängt werden.

Es besteht also noch hoher Forschungsbedarf über die Umsetzungschancen und die Auswirkungen dieses Verfahrens auf die Energieeffizienz von Kläranlagen, nicht zuletzt unter dem Aspekt möglicher zusätzlicher Emissionen von stark klimaschädlichem Lachgas in diesem Prozessschritt. Das Einsparpotenzial durch eine Deammonifikation im Nebenstrom ist schwer zu quantifizieren und dürfte vor allem für Kläranlagen interessant sein, die ein hohes N/CSB-Verhältnis im Zulauf aufweisen.

- ▶ **Wärmerückgewinnung aus der Kanalisation (Wiesental)**  
Der Gasverbrauch für die Heizung und die Warmwasserbereitstellung in einer Siedlung mit 163 Wohneinheiten konnte mittels einer Wärmerückgewinnung aus dem Abwasserkanal über strombetriebene Wärmepumpen komplett ersetzt werden.

### **Zusammenstellung der Ergebnisse**

In der Summe aller neun Projekte auf Kläranlagen konnte der Stromverbrauch deutlich um 3.655 MWh/a bzw. 21 % reduziert werden. Davon geht allerdings nur etwa die Hälfte auf das Konto einer optimierten Energieeffizienz, da der einwohnerspezifische Stromverbrauch im gewichteten Mittel nur um 10 % von 32,6 auf 29,3 kWh/(E\*a) sank. Die übrigen 10 % sind zumindest rechnerisch auf eine Verringerung der Belastung im Zulauf zurückzuführen.

Die Stromerzeugung in den geförderten Projekten stieg insgesamt von 6.102 auf 7.813 MWh/a bzw. um 28 %. Hier wirkt sich die verringerte Zulauffracht umgekehrt aus: Die einwohnerspezifische Stromerzeugung stieg um 45 %. Der mittlere Eigenversorgungsgrad aller geförderten Kläranlagen (mit und ohne Eigenstromerzeugung) konnte damit von 34 auf 56 % gesteigert werden. Wird die relativ große Kläranlage Nordkanal (80.000 EW) außenvorgelassen, wo als Besonderheit eine energieintensive Membranfiltration ohne Eigenstromerzeugung eingesetzt wird, dann wurde der mittlere Eigenversorgungsgrad durch alle Maßnahmen von 50 auf 72 % gesteigert.

Der Förderschwerpunkt EAA sah neben der Steigerung der Energieeffizienz vor, dass auch Anträge zur Ressourceneffizienz in der Klärschlammbehandlung und Klärschlammverwertung förderfähig sind. Es wurde lediglich bei einem Fördernehmer die Realisierung einer Phosphorrückgewinnung als Teilmaßnahme für Ressourcenschutz gefördert. Insgesamt war der Einfluss der geförderten Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz eher gering und meist auf die Schlammbehandlung begrenzt, wo sie sich positiv auf Betriebsmittelverbrauch und Schlammanfall auswirkten.

Häufig wird in Fachveranstaltungen zur Optimierung von Kläranlagen betont, dass Energieoptimierung Nachrang haben muss gegenüber einer sicheren Einhaltung der Ablauf-Grenzwerte von Kläranlagen und damit implizit ein Interessenskonflikt unterstellt. Tatsächlich hat sich im Messprogramm dieses Förderschwerpunktes herausgestellt, dass eine verfahrenstechnisch orientierte Energieoptimierung in der Regel geringfügige bis deutliche Verbesserungen der Reinigungsleistung bewirkt, besonders bei der Stickstoffelimination. Bei keinem Projekt wurde eine Verschlechterung der Reinigungsleistung festgestellt.

### **Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen**

Grundsätzlich ist bei der Beurteilung der erzielten Einsparungen und der Kosten bzw. der Wirtschaftlichkeit eine genaue Zuordnung zu einzelnen Maßnahmen meist nicht möglich, da in der Regel mehrere Maßnahmen kombiniert wurden und neben Energieeinsparungen auch Kapazitätserweiterungen erreicht oder ohnehin anstehende Sanierungen mit umgesetzt wurden. Außerdem wurden von den

Fördernehmern sehr unterschiedliche Berechnungsansätze zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit verwendet. Dennoch lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Um die Wirtschaftlichkeit von Energieoptimierungsmaßnahmen sicherzustellen, müssen angesichts begrenzter Einsparungen bei den Betriebskosten vor allem die erforderlichen Investitionen minimiert werden. Daher ist die Wirtschaftlichkeit besonders bei großen Baumaßnahmen und Investitionen, wie sie bei der Schlammfäulung und der Wärmerückgewinnung meist erforderlich sind, schwierig zu erreichen und in der Regel nur dann gegeben, wenn zusätzliche Effekte erzielt werden. Bei der Wärmerückgewinnung durch elektrische Wärmepumpen wird die Wirtschaftlichkeit in den letzten Jahren negativ beeinflusst durch die stark gestiegene Relation von Strompreis zu Wärmepreis.

Dagegen lässt sich die Wirtschaftlichkeit bei den Maßnahmen mit Schwerpunkt auf Modernisierung der Maschinen- und EMSR-Technik sowie Optimierung der Verfahrenstechnik deutlich besser darstellen.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Wirtschaftlichkeit der Projekte sollte künftig eine feste Methodik vorgegeben werden, z. B. Kosten-Nutzen-Analyse oder Berechnung der Amortisationszeit bei vorgegebenen Zinssätzen und Abschreibungszeiträumen.

### **Anmerkungen zur Abwicklung des Förderschwerpunktes**

Im Rahmen der Umsetzung kam es bei der Entwurfs- und Ausführungsplanung zu einigen Modifikationen und damit Änderungsanträgen, die meist darauf zurückzuführen waren, dass Umsetzungshindernisse in der Antragsphase nicht erkennbar waren. Tendenziell war festzustellen: Je weiter der Planungsstand zum Zeitpunkt der Abgabe des Projektantrages fortgeschritten war, umso weniger Änderungen gab es in der Umsetzung und desto genauer wurde der Zeitplan und die Kostenschätzung eingehalten.

Vier Projekte konnten vollständig im Projektzeitraum umgesetzt werden, während die Fördernehmer der restlichen sechs Projekte angaben, dass Teilaspekte ihres Projektes über den ursprünglichen Projektzeitraum bearbeitet wurden. Dies zeigt, dass die ursprüngliche Projektidee bzw. der ursprüngliche Zeitrahmen häufig in der konkreten Umsetzung angepasst werden musste, wobei die Bewilligung von Änderungsanträgen in der Regel zügig abgewickelt wurde.

Als hilfreich wurde von den Fördernehmern vor allem eine gute Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten beschrieben. Die Zeiträume für die Beschaffung der nötigen Haushaltsmittel und die langwierigen Vergabeverfahren im öffentlich-rechtlichen Raum haben dagegen dazu beigetragen, dass das selbst vorgegebene Projektende nicht von allen Fördernehmern eingehalten werden konnte und einige Projekte unter Zeitdruck bzw. mit einer Verlängerung der Umsetzungszeit beendet werden mussten. Weitere Hindernisse, vor allem bei der Überschreitung von Systemgrenzen, waren die Abhängigkeit von Dritten (z. B. bei der Zusammenarbeit mit anderen Kommunen oder Industriepartnern), aber auch Insolvenzen von Industriepartnern und langwierige rechtliche Klärungen im Bereich Energie-, Abfall- und Wasserrecht.

Sehr positiv wurde von den Fördernehmern die im Rahmen des Förderschwerpunktes durchgeführten Statustreffen bewertet, die einen offenen und konstruktiven Erfahrungsaustausch ermöglichten und damit nicht nur die Projekte selbst unterstützten, sondern auch zu einer größeren Multiplikatorwirkung beitrugen.

Sehr störend wirken sich die häufigen Änderungen im Energierecht auf die Übertragbarkeit und den Demonstrationscharakter der Projekte insbesondere im Bereich der Faulgasverstromung aus, da sie sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Organisationsstruktur der Projekte massiv beeinflussen oder zum Teil sogar deren Umsetzung verhindern. Dieses Problem lässt sich allerdings im Rahmen des UIP nicht lösen.

Die Erhebung von Energiekennwerten der Kläranlagen nach Abschluss der Maßnahmen im Rahmen des Messprogramms war sehr hilfreich für die Ermittlung der Fortschritte bei der Energieoptimierung, weil diese Werte und deren Datengrundlagen normalerweise nicht vom Betreiber erfasst werden und damit der Erfolg einer Maßnahme nicht nachgewiesen werden kann. Die Ergebnisse des Messprogramms haben die Datenbasis für die Einschätzung der technisch machbaren Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung deutlich verbessert.

Bei der Überprüfung der Zielerreichung müssen ausreichend lange Zeiträume betrachtet werden (in der Regel mindestens ein bis zwei Jahre), um saisonale Besonderheiten und Sondereinflüsse aus dem übrigen Anlagenbetrieb auszugleichen. Teilweise waren die Messergebnisse phasenweise wegen Störungen im Kläranlagenbetrieb nicht repräsentativ oder die Maßnahmen konnten vereinzelt vor Beginn des Messprogramms nicht in vollem Umfang umgesetzt werden (z. B. Lieferung von Konzentraten für die Co-Fermentation. Dies lässt sich aufgrund der häufig nicht beeinflussbaren Störeinflüssen im Abwasserbereich nicht vollständig vermeiden.

### **Bewertung der Ergebnisse und der Förderkriterien**

Bei der Bewertung der Ergebnisse trat zunächst eine methodische Schwierigkeit auf: Die mittlere Zulauffracht (ausgedrückt in Einwohnerwerten) schwankte bei einzelnen Kläranlagen während der Projektlaufzeit erheblich und korrelierte nicht mit den Schwankungen beim Energieverbrauch bzw. der Eigenerzeugung. Möglicherweise ist dies auf Fehler bei der Erfassung zurückzuführen. Dadurch wurden teilweise die Kennwerte für den spezifischen Energiebedarf bzw. die Eigenerzeugung verfälscht und die entsprechenden Schlussfolgerungen stehen unter Vorbehalt.

Für eine Einordnung der Projektergebnisse wurden vor allem die Energie-Kennwerte der EEA-Projekte mit den Häufigkeitsverteilungen der Energiekennwerte des Energiechecks nach dem DWA-Arbeitsblatt A 216 (Stand 2015) bzw. dem DWA-Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen von 2017 verglichen. Dabei zeigt sich, dass sich die geförderten Projekte vor Umsetzung der Maßnahmen fast repräsentativ auf die gesamte Streubreite der Kennwerte verteilten, wenn auch beim spezifischen Stromverbrauch mit einer leichten Häufung im Bereich der besten 10 bis 20 %. Nach Umsetzung der Maßnahmen verschiebt sich die Verteilung beim Stromverbrauch bis auf eine Ausnahme in den Bereich des Medianwertes oder besser. Bei der Faulgaserzeugung bleibt dagegen trotz einer deutlichen Verbesserung die Streubreite in großem Umfang erhalten, während sich beim Eigenversorgungsgrad fünf Projekte von sieben unter die besten 25 % schieben konnten. Dies liegt an relativ hohen elektrischen Wirkungsgraden und einer fast vollständigen Nutzung des Faulgases für die Verstromung.

Sehr deutlich wird im Vergleich mit den Häufigkeitsverteilungen, dass die Zielwerte des Förderschwerpunktes für den spezifischen Stromverbrauch ( $e_{\text{ges}} = 18 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$ ;  $e_{\text{Bel}} = 10 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$ ) und den elektrischen Eigenversorgungsgrad von 100 % einen sehr hohen Anspruch darstellen, der in der Regel nur von den 10 % der besten Anlagen und nur bei optimalen Randbedingungen sowie einer Optimierung sämtlicher Anlagenteile erreicht wird. Sie werden damit ihrer Definition in der UBA-Studie von 2006 gerecht: „Zielwerte bilden ein Optimum ab, das unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen nicht von allen Kläranlagen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreicht werden kann.“

Bei der einwohnerspezifischen Faulgaserzeugung zeigt sich nach aktuellen Häufigkeitsverteilungen, dass das Förderkriterium des Förderschwerpunktes mit  $30 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$  inzwischen von etwa 30 % der Kläranlagen mit Faulung erreicht oder übertroffen wird. Auch die Förderkriterien von 100 % Eigenversorgungsgrad bei Wärme und 100 % beim Grad der Faulgasnutzung werden heute von der Mehrzahl aller Kläranlagen mit Faulung erreicht und wirken nicht mehr selektiv bei der Auswahl besonders fortschrittlicher Anlagen.

In manchen Kläranlagen wird zur Vermeidung des Einsatzes von Erdgas oder Heizöl das Faulgas im Heizkessel genutzt. Die beiden Zielwerte für 100 % Faulgasnutzung und 100 % thermische Eigenversorgung werden dann zwar erreicht, aber zulasten der Eigenstromerzeugung. Beim Grad der Faulgasnutzung muss deshalb künftig differenziert werden zwischen rein thermischer Nutzung im Heizkessel und kombinierter Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen. Letzteres sollte dabei der bevorzugte Weg sein.

Daher wird auch im DWA-Arbeitsblatt A 216 der Grad der Umwandlung von Faulgas in Strom ( $N_{FG}$  in %), als Produkt der Faulgasnutzung in KWK-Anlagen und deren elektrischem Wirkungsgrad zur Beurteilung der Effizienz der Faulgasnutzung herangezogen. Dieser Kennwert ist für die Beurteilung der Energieeffizienz der Faulgasverwertung aussagekräftiger und sollte künftig bei der Bewertung von Förderanträgen genutzt werden.

Beim elektrischen Wirkungsgrad der BHKW wäre eine stärkere Abstufung nach Anlagengröße realistischer gewesen, da der Zielwert von 38 % für große Anlagen angemessen, für kleinere Anlagen (unter 200 kW<sub>el</sub>) dagegen mit der verfügbaren Motortechnik nicht erreichbar ist. Klarer definiert werden muss, ob beim Förderkriterium der Brutto- oder Netto-Wirkungsgrad (nach Abzug des BHKW-Eigenverbrauchs) gemeint ist. Letzterer wird in der Regel in der Praxis erfasst und ist niedriger als der in technischen Datenblättern angegebene Brutto-Wirkungsgrad.

Das Förderkriterium für Wärmepumpenanlagen (Jahresarbeitszahl von 4,5) ist beim derzeitigen Stand der Technik aus physikalischen Gründen nur bei relativ hohen Abwassertemperaturen (z. B. bei Industrieabwasser) und/oder sehr niedrigem Temperaturniveau der Nutzwärme erreichbar und insofern für den Normalfall bei Abwasseranlagen kaum erreichbar.

Entsprechend den o. g. Ausführungen zur Selektivität der Förderkriterien haben alle bzw. eine Mehrheit der Projekte bei der spezifischen Faulgaserzeugung, dem Grad der Faulgasnutzung und dem thermischen Eigenversorgungsgrad die Zielwerte des Förderschwerpunktes erreicht. Bei den anderen Förderkriterien wurden die Zielwerte von vielen Projekten zwar verfehlt, aber bei fast allen Kriterien gehören gemäß aktueller Häufigkeitsverteilungen mindestens drei der geförderten Projekte zu den besten 10 % aller Kläranlagen in Deutschland.

Die inzwischen vorliegenden Häufigkeitsverteilungen der Energiekennwerte zeigen einerseits, dass die Zielwerte des Förderschwerpunktes unter guten Randbedingungen erreichbar und damit nicht per se unrealistisch sind. Andererseits zeigen die Ergebnisse in den geförderten Projekten auch, dass selbst bei konsequenter Umsetzung eines fortschrittlichen Standes der Technik hinsichtlich Energieeffizienz die Zielwerte nicht immer erreicht werden. Dies gilt vor allem für solche (Teil-)Ziele und Summenparameter, die die Energieeffizienz der gesamten Kläranlage abbilden, weil in den meisten geförderten Projekten nicht der gesamte Anlagenbestand optimiert wurde. Deshalb können hervorragende Ergebnisse in einem Teilbereich kaschiert werden durch ineffiziente Prozesse in anderen Anlagenteilen.

Die Feststellung, dass die zusätzlich zu den Förderkriterien von den Antragstellern selbst formulierten Projektziele nur zur Hälfte erreicht wurden, ist ein weiterer Hinweis darauf, dass oft von idealen Randbedingungen einer Optimierung ausgegangen wurde, die in der Praxis aus unterschiedlichen Gründen nicht immer gegeben sind. Es ließ sich im Rahmen der Evaluierung nicht immer ergründen, ob dies an nicht änderbaren ungünstigen Randbedingungen oder sonstigen unbekanntem Einflussfaktoren lag.

Diese Ergebnisse decken sich aber mit den Erfahrungen bei zahlreichen Energieanalysen und Energieoptimierungen auf Kläranlagen, bei denen theoretisch abgeleitete Zielwerte in der praktischen Umsetzung nicht erreicht werden konnten und stellen die Vorgabe fixer Zielwerte insgesamt in Frage.

Dies hat sich inzwischen auch in der weiteren Entwicklung des technischen Regelwerks zur Energieeffizienz niedergeschlagen: Im DWA-Arbeitsblatt A 216 wurde 2015 mit dem anlagenbezogenen Idealwert ein neuer Ansatz eingeführt, um den erreichbaren Effizienz-Standard für eine einzelne Kläranlage bzw. deren Anlagenteile genauer bestimmen zu können. Diese Methodik prägt heute die Standard-Vorgehensweise und wird in aktuelleren Handbüchern empfohlen (z. B. „Energie in Abwasseranlagen“, NRW 2018). Ganz unabhängig von der absoluten Höhe der Zielwerte ist aufgrund der starken Streubreite der Energie-Kennwerte (wegen unterschiedlicher und teilweise nicht oder nur schwer beeinflussbarer Randbedingungen) der anlagenbezogene Idealwert als Maßstab für das tatsächliche Einsparpotenzial der einzelnen Kläranlage deutlich realistischer und genauer als ein fixer Zielwert. Das setzt aber das Vorliegen einer Energieanalyse nach DWA-Arbeitsblatt A 216 mit der Berechnung anlagenbezogener Idealwerte voraus. Dies sollte daher künftig eine Vorbedingung für eine Förderung sein und wird im aktuellen, abwasserbezogenen Förderschwerpunkt des UIP von 2018 auch so berücksichtigt.

### **Multiplikationspotenzial und Demonstrationscharakter**

Im Förderschwerpunkt wurden einige Projekte mit Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung gefördert. In Deutschland wird derzeit der Klärschlamm von rund 16 - 20 Millionen Einwohnerwerten aerob stabilisiert. Würden 50 % dieses Klärschlammes anaerob stabilisiert, ergäbe sich unter günstigen Annahmen eine zusätzliche Stromerzeugung von rund 150 bis 200 GWh/a. Hier gibt es nach Jahrzehnten der Stagnation in den letzten Jahren in Deutschland eine Zunahme der Anzahl an Kläranlagen mit Faulung von rund 1.150 in 2006 auf etwa 1.250 Anlagen in 2017 mit weiter steigender Tendenz.

Das Potenzial an zusätzlicher Faulgaserzeugung in Deutschland, das aus der Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung resultiert, ist dabei nur eines von mehreren, zum Teil noch größeren Potenzialen. Allein die vollständige Verstromung des derzeit produzierten Faulgases würde mit aktuellen, mittleren Wirkungsgraden der BHKWs eine zusätzliche Stromerzeugung von 375 GWh/a ermöglichen und das mit einem Bruchteil der Investitionen, die für eine Umstellung auf Faulung erforderlich sind. Hinzu kommen weitere Potenziale an zusätzlicher Stromproduktion aus Faulgas durch anaerobe (Vor-)Behandlung von Industrieabwasser und Co-Fermentation, sowie aus der Optimierung der Schlammfaulung mit zusammen über 1.000 GWh/a in Deutschland. Dies bestätigt den seit längerem erkennbaren Trend einer steigenden Stromproduktion aus Faulgas. In den letzten 30 Jahren hat sich die Faulgasproduktion in Deutschland verdoppelt, die Stromproduktion aus Faulgas verdoppelte sich sogar innerhalb der letzten 20 Jahre.

Die Ergebnisse der geförderten Projekte bestätigen damit die Aussagen aus Potenzialstudien, dass in der zusätzlichen Stromerzeugung aus Faulgas ein mindestens ebenso großes Potenzial wie in der Stromeinsparung liegt. Die Ergebnisse bestätigen auch den im Gesamtbestand deutlich zu erkennen Trend, dass die Eigenstromerzeugung stärker ansteigt als die erzielten Stromeinsparungen. Die Projekte zur Umstellung von aerober Schlammstabilisierung auf Faulung und zur Steigerung der Gasausbeute im Bestand haben dazu gute Anstöße geliefert, zum einen im Hinblick auf eine sparsame Bemessung der Faulturn-Volumina (Hochlastfaulung) und einer damit verbundenen kostengünstigen Bauweise, zum anderen mit Blick auf eine stärker zentralisierte Klärschlammbehandlung im ländlichen Raum. Letzteres dürfte sich gut ergänzen mit dem politischen Ziel einer verstärkten Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm bei zurückgehender landwirtschaftlicher Nutzung.

Die Einsparpotenziale bei der Stromeinsparung sind erheblich schwieriger zu quantifizieren, da zum einen deutlich weniger statistisch belastbare Daten vorliegen und zum anderen die Fülle unterschiedlicher Ansatzpunkte sowie der verfahrenstechnisch stark diversifizierte Anlagenbestand eine mathematisch gesicherte Hochrechnung der Projektergebnisse aus Einzelfällen unmöglich machen. Der bun-

desweite Stromverbrauch der Kläranlagen (in absoluten Zahlen aber auch einwohnerspezifisch) stagnierte in den letzten Jahren trotz zahlreich berichteter Beispiele von Energieoptimierungen auf Kläranlagen. Das hängt möglicherweise damit zusammen, dass einmalig erzielte Einsparungen aufgrund kontinuierlich ansteigender Effizienzverluste durch Verschleiß bei verbrauchsrelevanten Anlagenteilen (Pumpen, Belüftung) kompensiert werden.

Unter der Annahme, dass das Einwohner-spezifische Einsparpotenzial der geförderten Projekte repräsentativ ist, leitet sich ein bundesweites Einsparpotenzial von ca. 10 % ab, also eine Stromeinsparung von ca. 400 GWh/a. Da es sich bei den geförderten Kläranlagen eher um Anlagen handelt, die bereits davor überdurchschnittlich energieeffizient konzipiert und betrieben wurden und meist schon vor Projektbeginn überdurchschnittlich gute Kennwerte hatten, dürfte das Einsparpotenzial für den Gesamtbestand höher liegen. Dies gilt auch im Hinblick darauf, dass bei den geförderten Projekten in der Regel nicht die gesamte Kläranlage optimiert wurde.

Damit werden die in Potenzialstudien prognostizierten Einsparungen von ca. 20 bis 25 % nur bedingt bestätigt. Hier besteht noch ein hoher Forschungsbedarf.

## Summary

### **Project Background and Objectives**

Since the change of millennium a number of publications [...] have referred to wastewater treatment plants (WWTP) as the greatest municipal electricity consumers, but also as potential electricity producers, proclaiming their considerable energy saving potential. In 2006 the study “Improvement of the Energy Efficiency on Municipal Wastewater Treatment Plants” was published by the German Federal Environment Office (UBA), including target values proposed for the energy efficiency of WWTP, which are based on empirical data and theoretical derivations. In the study an electricity saving potential of approximately 20% was estimated for WWTP. However, this potential was exploited only reluctantly since then, particularly due to a sharp drop of the electricity price as a result of the liberation of the electricity market, thus lacking an economic incentive.

In 2010 the UBA has thereupon tendered the funding priority “Energy Efficient Wastewater Treatment Plants” (EAA) within the Environmental Innovation Programme (UIP), aiming to support the improvement of the energy efficiency and the electricity production in WWTP, respectively. The eligibility criteria for this funding priority were based on the mentioned UBA Study.

At the time of publication of the UBA study there was a great uncertainty among the experts concerning the actual achievable level of energy efficiency on WWTP and the selection of suitable target values, as the bodies of experts in the professional associations had not finally determined the state of art technology with respect to energy efficiency and as only few data on actual energy key performance indicators (KPI) on WWTP had been available.

Energy efficiency of WWTP does not only depend on the particular process or mechanical technology applied, but also to a large extent on their optimal combination to an overall process and also on energy efficient modes of operation without reduction of the treatment efficiency. Therefore, a new state of the art regarding energy efficiency of the overall wastewater treatment was to be achieved through the funding priority EAA.

The funding priority EAA was intended to specifically encourage WWTP operators to establish an optimized process conception with the applied aggregates as well as the applied instrumentation and control technology that should enable WWTP to be operable in compliance with the target values defined as eligibility criteria. By this additional impulses were to be provided for an enhanced energy optimization of WWTP. At the same time, in combination with a measuring programme, the achieved energy efficiency on plants was to be evaluated and the data basis for the determination of a new state of the art was to be extended.

The described funding priority EAA was evaluated in 2018. The results of the evaluation are presented hereby in this report. Furthermore, recommendations were to be made for the advancement of supporting measures that take into account the meanwhile founded knowledge on the achievable state of the art regarding energy efficiency in wastewater treatment. For this purpose it was firstly checked to what extent the funded projects were in compliance with the eligibility criteria and the project objectives, and which obstacles and modifications occurred during the project phases. Secondly, it was checked how realistic the funding objectives were. These were furthermore compared with the actual definition of the state of the art regarding energy efficiency. Finally, the demonstrating character and the multiplication potential of the funded projects within Germany, but also in foreign countries were assessed.

## **Overview over the Projects**

The following ten projects (nine WWTP and one Waste Heat Utilization Plant) were implemented within the frame of the funding priority EAA:

1. Energy self-sufficient WWTP Jena:  
Through extension of the digester volume the sludge retention time in the digester and the methane gas production were increased. Furthermore the electricity production was enhanced through installation of an efficient combined heat and power generator (CHP).
2. Energy self-sufficient WWTP Weilerbach:  
The Weilerbach WWTP was converted from an extended aeration system to an activated sludge system with anaerobic digestion in a highly loaded digester. A CHP was installed for methane gas utilization, allowing self-production of a part of the required electricity and corresponding increase of the degree of electrical self-sufficiency.
3. Energy Optimization of Blümeltal WWTP:  
The biological treatment stage of Blümeltal WWTP was modified from pre-denitrification to intermittent denitrification. Within the frame of this modification an optimized control system for the aeration of the activated sludge tanks was implemented. The aerators were hereby exchanged and the flow conditions in the activated sludge tanks optimized through installation of baffle walls in the tanks.
4. Implementation of a Waste Heat Utilization Plant in Wiesental, Aachen:  
The waste heat of the wastewater in a sewer was utilized for heating of residential buildings. For this purpose a heat exchanger was installed in the sewer and a heating pump integrated in the heating station.
5. Energy Optimization of Nordkanal WWTP with Membrane Bioreactors:  
The power consumption of the WWTP was strongly reduced through a modification of the aeration control system to sliding pressure control and through implementation of an optimized control system for sludge management. This measure was supplemented with the use of more efficient aggregates and with the retrofitting of electronic speed control systems.
6. Improvement of the Resources and Energy Efficiency of Treysa WWTP:  
The methane gas and with it the electricity production were increased through co-treatment of external sludges and co-substrates. Furthermore, the system boundary of WWTP was overcome by feeding methane gas of the WWTP through a new pipeline to an external CHP of a local heat network. The separation of concentrates at local industrial and commercial companies and their co-treatment in the digester firstly aimed at a reduction of the WWTP loading and secondly at the enhancement of the methane gas production. Through the implementation of the Anammox Process in a rotating biological contactor for the treatment of a side stream the activated sludge tanks were further relieved.
7. Energy self-sufficient WWTP Eisenhüttenstadt with Anammox Process:  
In this project the implementation of an energy efficient treatment process through the conversion of the conventional activated sludge system to the Anammox Process for the treatment of the main and side wastewater streams was intended, thus aiming at a reduction of the power consumption. The implementation of the Anammox process for the treatment of a side stream was successful, however, that for the treatment of the main stream was not.

8. Implementation of innovative Concepts for small and middle sized WWTP through the Example of Schlitz-Hutzdorf WWTP:  
The WWTP Schlitz-Hutzdorf was converted from an extended aeration plant to an activated sludge plant with anaerobic digestion. Additionally, an inter-municipal co-operation was implemented. As a consequence Schlitz-Hutzdorf WWTP accepts external sludges and co-treats them in the anaerobic digester. Apart from the external sludges, co-substrates were also accepted to further increase methane gas production. The produced methane gas was utilized in a CHP, resulting in an increased coverage of the own electricity demand.
9. Plus-Energy WWTP Lingen with Phosphorus Recycling:  
Through application of thermal pressure hydrolysis for disintegration of excess activated sludge and digested sludge, respectively, the volatile solids reduction in the digester was enhanced and through it the methane gas production. Moreover, the sludge mass for disposal could be reduced. Additionally, a precipitation of magnesium ammonia phosphate (MAP) was implemented as a phosphorus recycling process.
10. Energy Optimization of Isselburg WWTP:  
The WWTP of Isselburg was energetically rehabilitated as part of the WWTP extension. The activated sludge tanks were thereby converted to step-feed nitrification denitrification and a sand filtration was supplemented downstream.

In all funded projects the applicants submitted coherent concepts through which a significant energy saving and/or increase of own power generation was to be expected. As very differing project approaches were represented in the funding priority and very often a number of singular measures were combined in a project, the measures were grouped into the following topics:

- ▶ **Optimization of the anaerobic digestion** (Jena and Lingen WWTP) and conversion from extended aeration to an activated sludge system with anaerobic digestion (Weilerbach and Schlitz-Hutzdorf WWTP)  
Both, optimization of the anaerobic digestion and conversion from extended aeration to an activated sludge system with anaerobic digestion, resulted in a considerable increase of the methane gas production or a first-time methane gas production, respectively. A reduction of the specific electricity consumption could not be achieved in the respective projects, as the savings in the power consumption for aeration were over-compensated by the additional power consumers and the increased N-loading in the recycle flows. However, the degree of electrical self-sufficiency could be increased considerably, resulting in a significant reduction of the purchased electricity.
- ▶ **Process optimization of the denitrification** (Blümeltal and Isselburg WWTP)  
The specific total electricity consumption was reduced considerably in both mentioned WWTP, whereby a part of the savings is due to other measures which were implemented in parallel (i.e. exchange of aggregates).
- ▶ **Application of efficient mechanical works**  
In nearly all of the projects various aggregates were replaced with more energy efficient modules during the implementation of optimization measures, which contributed to an additional efficiency gain apart from a more optimized process. This refers to electric consumers on the one hand (i.e. diffusers, blowers, pumps etc.) and to electricity producers (CHP) on the other, resulting both in a further reduction of the electricity consumption and in an increase of the electricity production. Provided that modifications in the mechanical works could be implemented without changes in the civil works, the implementation of the measures usually required relatively little effort. This became more economical, the older the existing mechanical works were.

Fundamentally there is a major potential in this, whereby the initial high power savings through application of new and energy efficient aggregates will possibly be reduced after a certain operating time due to wear or aging. This reduction of energy efficiency through wear and aging seems to be particularly pronounced with diffusers and pump impellers and is possibly one of the reasons why one-time high energy savings at singular WWTP do not add to total energy savings in all WWTP over long periods. Further research is certainly needed here as the chronological sequence and the full extent of the loss of energy efficiency so far has only been described in individual cases and are not based on statistical evidence. In contrast, the loss of energy efficiency through wear is less pronounced with CHP's so that efficiency gains there are more sustainable.

► **Optimization of Control**

The optimization of control was a supporting measure in many projects in the wake of the replacement of mechanical works and process technology. To achieve optimum effects here, it is important that WWTP are regarded as a whole as feed backs exist between the singular plant components. The additional energy saving potential through increased use of control technique is rather small in cases where the generally accepted good engineering practice had been implemented before the optimization measures. However, it is possible to achieve energy savings nevertheless through adjustments of outdated control settings to modern operational techniques.

► **Inter-municipal co-operation / crossing of system boundaries (Treysa and Schlitz Hutzdorf WWTP)**

Inter-municipal co-operation and the crossing of the system boundary WWTP very often takes place with regard to co-treatment of sludge from different WWTP or the use of co-substrates for example from industrial or commercial companies which otherwise would have been conveyed to the WWTP via the sewage system. Moreover can excess methane gas produced in the digesters or excess heat be utilized outside of WWTP boundaries. The crossing of municipal and WWTP system boundaries has certainly raised numerous organizational, technical and legal issues, but has been considered very positive by the funding recipients in retrospect and led to an increase of the energy efficiency of the plants. Here, pioneering work has in parts been performed in the funded projects and positive examples for successful organizational structures have been created which are now available for other municipalities and industrial partners.

► **The Anammox Process (Eisenhüttenstadt and Treysa WWTP)**

Two funding recipients implemented the Anammox Process for the treatment of sludge water side streams, one as the Demon+® Process and one in a rotating biological contactor plant, of which only the Demon+® Process could be operated successfully. In the rotating biological contactor plant - despite dosing of an additional substrate - it was not possible to generate a biofilm with sufficient thickness where the settlement of Anammox organisms could have been possible.

The implementation of the Anammox Process in a main stream failed as the accumulation of the very slowly growing Anammox organisms in the activated sludge of the project WWTP could not be achieved despite repeated dosing of seed sludge from the Netherlands.

No further explanations were given by the applicant in his report or upon request during the evaluation. A possible explanation for the failure may be that the WWTP loading in the influent has changed considerably and the COD/NH<sub>4</sub> ratio, which had been very low at the time of the application, has later increased considerably (increase of the COD/NH<sub>4</sub> ratio from 9.9 to 16.8).

There is therefore considerable need for further research on the implementation chances and on the impact of this process on the energy efficiency of WWTP, not least with regard to possible emissions of strongly climate-damaging nitrous oxides in this process. The energy saving potential through the Anammox Process applied on the treatment of side streams is difficult to quantify. This variant should mainly be of interest for WWTP with a high N/COD ratio in the influent.

► **Heat recovery from the sewer system (Wiesental)**

The methane gas consumption for heating and hot water supply of a settlement with 163 residential units could completely be supplemented through the heat recovered from a sewer system via electricity powered heat pumps.

### **Summary of the Results**

In all nine projects on WWTP together the electricity consumption could be reduced by 3,655 MWh/yr in total or by 21%, respectively. Thereof only approx. 50% was due to the optimized energy efficiency, as the specific electricity consumption per inhabitant, measured as weighted average, declined by only 10% from 32.6 to 29.3 kWh/inhabitant/yr. The other approx. 10% could at least mathematically be attributed to a reduction of the influent WWTP loading.

The electricity produced in the frame of the funded projects increased from 6,102 to 7,813 MWh/yr or 28%, respectively. Here, the reduction of the WWTP influent loading affects the increase of electricity produced in the opposite way. The specific electricity produced increased even stronger by 45%. The average degree of electrical self-sufficiency of all funded WWTP (with or without own electricity production) rose from 34 to 56%. By not taking into account the relatively large WWTP of Nordkanal (80,000 PE), where, as a peculiarity, an energy intensive membrane filtration is installed and no own electricity is produced, the average degree of electrical self-sufficiency would even rise from 50 to 72%.

Apart from the increase of energy efficiency, the funding priority EAA considered also that applications focusing on resource efficiency in sludge treatment and sludge utilization are generally eligible. However, only one project that intended to implement phosphorus recycling as a sub-measure was funded. The impact of all funded measures on resource efficiency generally was only small and usually limited to the sludge treatment, where chemical consumption and sludge production were reduced.

At professional conferences on optimization of WWTP it is often pointed out that energy optimization must be subordinate to the secure compliance with effluent requirements of WWTP which in itself poses a conflict of interest. Actually, the measuring programme of this funding priority has shown that a process oriented energy optimization generally results in minor to substantial improvement of the treatment efficiency, particularly with regard to Nitrogen removal. None of the projects has shown a deterioration of the effluent quality.

### **Economic Efficiency of the Measures**

In principle, when assessing the savings achieved and the costs or economic efficiency, it is usually not possible to allocate them precisely to individual measures, as several measures were usually combined and, in addition to energy savings, capacity expansions were achieved or any pending renovations were also implemented. In addition, the funding recipients used very different calculation approaches to determine the economic efficiency. Nevertheless, the following conclusions can be drawn:

In order to ensure the economic efficiency of energy optimization measures, it is, in view of the limited savings in operating costs, above all necessary that investment costs are minimised. Therefore, the economic efficiency is difficult to achieve, especially for large construction projects and investments, such as those usually required for sludge digestion and heat recovery, and is usually only achieved if additional effects are achieved. In the case of heat recovery using electric heat pumps, profitability has been negatively influenced in recent years by the sharp rise in the ratio of electricity price to heat price.

On the other hand, the economic efficiency of the measures focusing on the modernization of mechanical works, instrumentation and control technology as well as the optimization of process technology can be shown much better.

In order to improve the comparability of the profitability of projects, a fixed methodology should be specified in future, e.g. cost-benefit analysis or calculation of the amortisation period at specified interest rates and depreciation periods.

### **Comments on Miscellaneous Aspects of the Implementation of the Funding Priority**

In the course of implementation, there were a number of modifications to the design and final design planning, and thus requests for amendments, which were mostly due to the fact that obstacles to implementation were not yet discernible in the application phase. There was a tendency: The more advanced the planning status was at the time the project application was submitted, the fewer changes there were in the implementation, the more precisely the time schedule and cost estimate were adhered to.

In total, four projects could be fully implemented during the project period, while the funding recipients of the remaining six projects indicate that some aspects of their project are still being worked on. This shows that the original project idea or timeframe often had to be adapted during the implementation, while the requests for amendments generally were approved swiftly.

The funding recipients described a good cooperation between the project participants as particularly helpful. On the other hand, the time periods for procuring the necessary budget funds and the lengthy award procedures in the public sector contributed to the fact that not all of the funding recipients were able to comply with the self-imposed deadline of the project so that a number of projects had to be completed under time pressure. Other obstacles - particularly when system boundaries had to be crossed - were the dependence on third parties (e.g. in cooperation with other municipalities or industrial partners), but also insolvencies of industrial partners and protracted legal clarifications in the area of energy, waste and water law.

The status meetings held within the framework of the funding priority were rated very positively by the funding recipients. They enabled an open and constructive exchange of experience and thus not only supported the projects themselves, but also contributed to a greater multiplier effect.

The frequent changes in energy law had a very disruptive effect on the transferability and demonstration character of the projects, particularly in the field of methane gas power generation, as they massively influenced both the economic efficiency and the organisational structure of the projects or in some cases even prevented their implementation. However, this problem cannot be solved within the framework of the UIP.

The collection of energy parameters of the WWTP after completion of the measures within the framework of the measurement programme was very helpful for determining the progress in energy optimization, as these values and their data bases are often not recorded by the WWTP operator and the success of a measure cannot otherwise be proven. The results of the measurement programme have therefore significantly improved the data basis for the assessment of the technically feasible energy efficiency in wastewater treatment.

When reviewing the achievement of objectives, sufficiently long periods should be considered (usually at least one to two years) in order to compensate for seasonal peculiarities and unusual influences from plant operation. In some cases, the measurement results were not representative in certain phases due to disruptions in WWTP operation or the measures could not be fully implemented in individual cases before the start of the measurement programme (e.g. supply of concentrates for co-

fermentation). However, this cannot be completely avoided due to the often not influenceable interferences in the field of wastewater treatment.

### **Evaluation of Results and Eligibility Criteria**

The evaluation of the results initially encountered methodological difficulties: The average influent load (expressed in population equivalents) for individual WWTP fluctuated considerably during the project period and did not correlate with fluctuations in energy consumption or own power generation. This may be due to measuring errors. Thereby, the specific energy demand or own power generation characteristics have been distorted and the conclusions are thus subject to reservation.

In order to classify the project results, the energy parameters of the EEA projects in particular were compared with the frequency distributions of the energy parameters of the Energy Check according to the DWA Worksheet A 216 (as of 2015) and the DWA Performance Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants of 2017. The results show that the funded projects were distributed almost representatively across the entire range of characteristic values before the implementation of the measures, although with a slight increase in specific electricity consumption in the range of the best 10 to 20 %. Once the measures have been implemented, the distribution of electricity consumption shifts, with one exception, to the median value or better. In the case of methane gas production, on the other hand, despite a significant improvement, the scatter remains large, while in the case of degree of electrical self-sufficiency 5 projects out of 7 were able to move under the best 25 %. This is due to relatively high electrical efficiencies and an almost complete use of the methane gas produced for power generation.

In comparison with the frequency distributions, it becomes very clear that the target values of the funding priority for the specific electricity consumption ( $e_{\text{total}} = 18 \text{ kWh}/(\text{PE} \times \text{yr})$ ;  $e_{\text{aeration}} = 10 \text{ kWh}/(\text{PE} \times \text{yr})$ ) and the degree of electrical self-sufficiency of 100 % represent a very high requirement, which is usually only achieved by the 10 % best plants and only under optimum conditions and optimization of all plant components. They thus live up to their definition in the 2006 UBA study: "Target values represent an optimum that cannot be achieved by all WWTP with economically justifiable effort taking into account the respective boundary conditions".

In contrast, according to current frequency distributions, the eligibility criterion of the funding priority of 30 l/(PE x d) for the specific methane gas production is now reached or exceeded by about 30 % of WWTP with digestion and therefore does not mark a high level of energy efficiency. The eligibility criteria of 100 % self-sufficiency in heat and 100 % in digester gas utilisation are also achieved by the majority of all WWTP with digestion and no longer have a selective effect in the determination of particularly advanced plants.

In some WWTP the methane gas from the digesters is used in boilers to avoid the use of natural gas or fuel oil. The two eligibility criteria for 100 % digester gas utilisation and 100 % thermal self-supply are then achieved, but at the expense of the own electricity generation. The degree of digester methane gas utilization should therefore be differentiated in future between purely thermal utilization in boilers and combined electricity and heat generation in CHP plants. The latter should be preferred.

Therefore, in the DWA worksheet A 216, the degree of conversion of the produced methane gas into electricity ( $N_{\text{FG}}$  in %), the product of methane gas use in CHP plants and their electrical efficiency are also used to assess the efficiency of digester methane gas utilization. This Key Performance Indicator (KPI) is more meaningful for the assessment of the energy efficiency of the digester gas utilization and should be used in the future for the evaluation of funding applications.

For the electrical efficiency of the CHP's, a stronger gradation according to plant size would have been more realistic, since the eligibility criterion of 38 % is appropriate for large plants, but not achievable

for smaller plants (below 200 kW<sub>el</sub>) with the available engine technology. It should be more clearly defined whether the eligibility criterion refers to gross or net efficiency (after deduction of the CHP own consumption). The latter is usually recorded in practice and is lower than the gross efficiency stated in technical data sheets.

For physical reasons, the eligibility criterion for heat pump systems (annual performance factor of 4.5) for the current state of the art can only be achieved at relatively high wastewater temperatures (e.g. for industrial wastewater) and/or very low useful heat temperature levels and is therefore generally hardly achievable for municipal wastewater systems.

In accordance with the above comments on the selectivity of the eligibility criteria, all or a majority of the projects achieved the target values of the funding priority in terms of specific methane gas production, the degree of methane gas utilization and the degree of thermal self-sufficiency. With the other eligibility criteria, the target values of many projects were missed, but with almost all criteria, according to current frequency distributions, at least three of the funded projects belong to the best 10 % of all WWTP in Germany.

The frequency distributions of the characteristic energy parameter now available show, on the one hand, that the target values of the funding priority can be achieved at least under good boundary conditions and are therefore not per se unrealistic. On the other hand, the results in the funded projects also show that the target values are not always achieved even with the consistent implementation of an actual state of the art with regard to energy efficiency. This applies above all to those (partial) targets and sum parameters that reflect the energy efficiency of the entire WWTP, because in most of the funded projects only parts of the WWTP were optimized. Therefore, excellent results in one area can be masked by inefficient processes in other parts of the plant.

The fact that only half of the project objectives formulated by the applicants themselves in addition to the eligibility criteria were achieved is also a further indication that ideal boundary conditions for optimization were often assumed, but not always met in practice for various reasons. During the evaluation it was not always possible to determine whether this was due to unchangeable unfavourable boundary conditions or to other unknown influencing factors.

However, these results coincide with the experience gained in numerous energy efficiency analyses and energy optimizations at WWTP, where theoretically derived target values could not be achieved in practical implementation, and question the specification of fixed target values in general.

In the meantime, this has also been reflected in the further development of the technical regulations on energy efficiency: In 2015, the DWA Worksheet A 216 introduced a new approach with the plant-related ideal value in order to be able to determine the achievable efficiency standard for an individual WWTP or its plant components more precisely. Today, this methodology shapes the standard procedure and is also recommended in more recent manuals (e.g. "Energie in Abwasseranlagen", North Rhine-Westphalia, 2018). Regardless of the absolute level of the target values, the plant-related ideal value is much more realistic and more accurate than a fixed target value as a measure of the actual savings potential of the individual WWTP due to the wide range of the energy parameters (due to different boundary conditions which cannot be influenced or only with difficulty). However, this presupposes the existence of an energy efficiency analysis according to DWA Worksheet A 216 with the determination of plant-related ideal values. This should therefore be a prerequisite for funding in the future and was already taken into account in the current wastewater-related funding priority of the UIP of 2018.

## **Multiplication Potential and Demonstration Character**

In the funding priority, several projects with conversion from extended aeration to activated sludge systems with anaerobic sludge digestion were funded. In Germany, the sewage sludge of around 16 - 20 million population equivalents is currently stabilised in extended aeration plants. If 50% of this sewage sludge were digested anaerobically, an additional electricity generation of around 150 to 200 GWh/yr would result under favourable assumptions. After decades of stagnation in recent years in Germany, there has been a clear increase in the number of WWTP with anaerobic digestion from approx. 1,150 in 2006 to approx. 1,250 in 2017 with a further upward trend.

The potential for additional methane gas production from digesters in Germany resulting from the conversion from extended aeration plants to activated sludge systems with anaerobic sludge digestion is only one of several, in some cases even greater potentials. The complete conversion of the currently produced methane gas into electricity alone would enable an additional electricity generation of 375 GWh/yr with current, average electrical efficiencies of the CHPs and this with a fraction of the investments required for a conversion to activated sludge systems with anaerobic digestion. In addition, there is further potential for additional electricity production from digester methane gas through anaerobic (pre-)treatment of industrial wastewater and co-fermentation, as well as from the optimization of sludge digestion with a total of over 1,000 GWh/yr in Germany. This confirms the long-standing trend of increasing electricity production from digester methane gas. In the last 30 years the digester methane gas production in Germany has doubled. The electricity production from digester methane gas even doubled within the last 20 years.

The results of the funded projects thus basically confirm the statements from potential studies that additional power generation from digester methane gas has at least as much potential as electricity savings. The results also confirm the clearly discernible trend that own generation of electricity is increasing more strongly than the electricity savings achieved. The projects with conversion from extended aeration to activated sludge systems with anaerobic sludge digestion and with the increase of the digester methane gas production in existing WWTP have provided good impetus for this: on the one hand with regard to a more economical dimensioning of the digester volumes (high-load digestion) as well as cost-effective construction methods, on the other hand with a view to more centralised sludge treatment in rural areas. The latter should be a good complementary to the political goal of increased Phosphorus recovery from sewage sludge with decreasing sludge utilization in agriculture.

The electricity savings potentials are considerably more difficult to quantify as, on the one hand, statistically less reliable data are available and, on the other hand, the vast number of different approaches and the highly diversified process technology of the existing WWTP make it practically impossible to extrapolate the project results from individual cases with mathematical certainty. The nationwide electricity consumption of WWTP (in absolute figures but also in relation to the population) has stagnated in recent years, despite numerous reported examples of energy optimizations at WWTP. This may be due to the fact that one-time achieved savings are compensated by wear or aging on consumption-relevant plant components (pumps, aeration; see above).

Assuming that the population-specific savings potential of the funded projects is representative, a nationwide savings potential of approx. 10 % is derived, i.e. an electricity saving of approx. 400 GWh/yr. However, since the funded WWTP are more likely to be plants that had already been designed and operated with above-average energy efficiency and usually had above-average characteristic values before the start of the projects, the savings potential for the entire portfolio is likely to be even higher. This is also true in view of the fact that the funded projects generally did not optimize the entire WWTP but only parts.

Thus, the savings of approx. 20 to 25 % predicted in potential studies are only partially confirmed. However, there is still a great need for research here.

## 1 Ausgangslage und Zielsetzung der Evaluierung

Das Umweltbundesamt (UBA) hat 2006 die Studie „Steigerung der Energieeffizienz bei kommunalen Kläranlagen“ beauftragt, die Ergebnisse wurden 2008 veröffentlicht. Anhand der damals vorliegenden Daten zur Energieeffizienz von Kläranlagen wurden in dieser Studie Zielwerte definiert, die durch die Umsetzung des Stands der Technik von den Kläranlagen erreicht werden können. Weiterhin wurde in dieser Studie ein Einsparpotenzial beim Stromverbrauch von rund 20 % abgeschätzt. Anschließende Untersuchungen und Vergleiche des Stromverbrauches von Kläranlagen haben gezeigt, dass dieses Einsparpotenzial nicht ausgeschöpft wurde. Daher hat das Umweltbundesamt im Jahre 2010 im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms (UIP), den Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ (EAA) ausgeschrieben, mit dem gezielt die Erhöhung der Energieeffizienz bzw. der Energieerzeugung von Abwasseranlagen unterstützt werden sollte. Im UIP werden großtechnische Umsetzungen in Deutschland gefördert, die erstmalig aufzeigen, in welcher Weise fortschrittliche Verfahren zur Vermeidung oder Verminderung von Umweltbelastungen genutzt und kombiniert werden können.

Der Förderschwerpunkt EAA (Ausschreibungstext: siehe Anhang) sollte die technischen Möglichkeiten zur Einhaltung dieser Zielwerte aufzeigen und damit zusätzliche Impulse für eine verstärkte Energieoptimierung geben. Zur Förderung vorgesehen wurden Projekte zur Verbesserung der Energieeffizienz aus den Bereichen:

- ▶ Abwassertransport in der öffentlichen Kanalisation
- ▶ Abwasserbehandlung
- ▶ Klärschlammbehandlung und -verwertung

Für die Teilnahme am Wettbewerb wurden folgende Förderkriterien vorgegeben:

- ▶ Abwasserwärmenutzung:
  - ▶ Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5
- ▶ Abwasserbehandlungsanlage der Größenklasse 3 - 5<sup>1</sup>:
  - ▶ Spezifischer Stromverbrauch  $e_{ges}$ :  $18^2 \text{ kWh}/(E \cdot a)$
  - ▶ Spezifischer Stromverbrauch Belüftung:  $e_{Bel}$ :  $10^3 \text{ kWh}/(E \cdot a)/12^4 \text{ kWh}/(E \cdot a)$
- ▶ Zielwerte für Abwasserbehandlungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung:
  - ▶ Faulgasproduktion:  $30 \text{ l}/(E \cdot d)$
  - ▶ Grad der gesamten Faulgasnutzung: 100%
  - ▶ Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung  $\eta_{elek}$ : 385%
  - ▶ Eigenversorgung Wärme: 100%

<sup>1</sup> Für Abwasserbehandlungsanlage der GK 1-2 wurden andere Förderkriterien vorgegeben, da im Rahmen des Förderschwerpunktes EAA lediglich Abwasserbehandlungsanlagen der GK 3-5 gefördert wurden, werden nur diese Förderkriterien aufgeführt

<sup>2</sup> Korrekturfaktoren für verschiedene Randbedingungen (hohe Förderhöhe Zulaufpumpwerk, schlechtes N/CSB-Verhältnis) vorhanden

<sup>3</sup> Bei anaerober Schlammstabilisierung

<sup>4</sup> Bei simultaner aerober Schlammstabilisierung

<sup>5</sup> bei Anlagen mit großer elektrischer Leistung (> 1 MW) ist der Zielwert  $\eta_{elek} = 40\%$ ; bei Einsatz von Mikrogasturbinen aufgrund schlechter Gasqualität ist der Zielwert  $\eta_{elek} = 28\%$

- ▶ Zielwerte für Abwasserbehandlungsanlagen mit Co-Vergärung
  - ▶ Eigenversorgungsgrad Strom: 100%

Aus den bis zum Stichtag 31.05.2011 eingereichten 20 Bewerbungen wurden 13 Projekte mit unterschiedlichsten Maßnahmen ausgewählt, von denen zehn erfolgreich abgeschlossen wurden. Der Förderschwerpunkt wurde 2018 nach den in den Projekten enthaltenen Messprogrammen zur Überprüfung der Ergebnisse der Maßnahmen abgeschlossen.

Um den Erfolg des Förderschwerpunkts zu überprüfen, erhielt iat-Ingenieurberatung für Abwassertechnik Ende 2017 den Auftrag, den Förderschwerpunkt zu evaluieren und ggf. Vorschläge für eine Fortführung weiterer Fördermaßnahmen zu unterbreiten.

Iat hat dazu in einem ersten Schritt eine Kurzbeschreibung der zehn Projekte erstellt und die wesentlichen Daten und Ergebnisse ausgewertet. Dabei wurde geprüft, ob bzw. in welchem Umfang diese Projekte die vorgegebenen Förderkriterien und eigene Projektziele einhalten konnten bzw. welche Hindernisse und Modifikationen dabei auftraten (s. Kapitel 3 und Anhang).

In einem nächsten Schritt wurden die Einzelergebnisse zu einer Gesamtschau aggregiert und daraus allgemeine Trends bzw. eine Gesamtbilanz der erzielten Ergebnisse im Hinblick auf eine Verbesserung der Energieeffizienz und des Klimaschutzes aber auch der Wirtschaftlichkeit abgeleitet (s. Kap. 4). Schließlich wurde diese Gesamtschau im Hinblick auf die Erreichung der Förderziele bewertet und daraus Empfehlungen für eine mögliche Fortführung der Förderung entwickelt (s. Kap. 5). Dabei wurde zum einen die Realitätsnähe bzw. Machbarkeit der Förderziele geprüft und mit der Entwicklung des Standes der Technik verglichen. Zum anderen wurden der Demonstrationscharakter und das Multiplikationspotenzial der geförderten Maßnahmen innerhalb Deutschlands aber auch für das Ausland abgeschätzt.

## 2 Methodik

### 2.1 Auswertung der Unterlagen

Als erster Schritt der Evaluierung wurden die Projektunterlagen gesichtet und ausgewertet. Für jedes abgeschlossene Projekt standen dafür die folgenden Unterlagen zur Verfügung:

- ▶ Projektantrag
- ▶ Fachvotum
- ▶ Förderbescheid
- ▶ Änderungsanträge
- ▶ Schlussbericht
- ▶ Kurzfassung
- ▶ Unterlagen des Abschlussworkshops des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ vom 3. und 4. November 2016 in Berlin

Für die abgebrochenen Projekte standen hauptsächlich die Antragsunterlagen, die Fachvoten und die Förderbescheide zur Verfügung. Lediglich für Projekt A (siehe Tabelle 1) wurde vom Antragsteller eine Kurzfassung nach Projektbeginn erstellt. Für die nicht geförderten Projekte lagen die Projektanträge, die Fachvoten und die Förderabsagen vor.

Neben der Auswertung dieser Unterlagen wurde ein allgemeiner Fragebogen entwickelt, der von allen Fördernehmern mit abgeschlossenen Projekten beantwortet wurde. Auch wurden für die einzelnen Projekte projektspezifische Fragen mit den jeweiligen Fördernehmern telefonisch und/oder schriftlich über einen projektspezifischen Fragebogen geklärt.

Die Ergebnisse, vor allem die spezifischen Kennwerte aus den Projektberichten, wurden so weit möglich überprüft und teilweise in Absprache mit den Fördernehmern im Vergleich zu den Schlussberichten angepasst.

Um die schwerpunktmäßige Verteilung der wichtigsten Projekt-Maßnahmen auf die verschiedenen Bereiche darstellen zu können, wurde diese in eine Übersichts-Matrix (s. Abbildung 3) eingeordnet, in der auf der X-Achse die Verfahrensschritte (Abwasserableitung, Vorbehandlung, biologische Stufe, etc.) und auf der y-Achse die Ansatzpunkte der Effizienzsteigerung (z. B. EMSR-Technik, verfahrenstechnische Optimierung) aufgeführt sind.

Daraus wurden thematische Schwerpunkte abgeleitet, die näher betrachtet wurden. Für diese Schwerpunkte wurden teilweise in einem semi-quantitativen Ansatz Einsparpotenziale für Deutschland hochgerechnet und mit den bisherigen Prognosen und Zielsetzungen, sowie den tatsächlich in den letzten Jahren erzielten Verbesserungen verglichen.

### 2.2 Fachgruppe und Expertenworkshop

Da die Einschätzung der Einsparpotenziale und des Demonstrationscharakters angesichts fehlender „Marktdaten“ für den Abwassersektor eine starke subjektive Komponente hat, wurde von iat zur Bewertung der Einschätzungen eine begleitende Fachgruppe eingerichtet. In der Fachgruppe waren Akteure unterschiedlicher Sektoren im Abwasserbereich vertreten, die sich in der Vergangenheit intensiver mit Energieeffizienz in Abwasseranlagen beschäftigt haben (Betreiber, Planer, Anlagenbauer, finanzierende Organisationen, Forschung).

Dieser Fachgruppe wurden die ersten Zwischenergebnisse schriftlich übergeben und im Juni 2018 in einem gemeinsamen Workshop mit den technischen Sachverständigen für den Bereich Wasserwirtschaft der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)-Entwicklungsbank am Sitz der KfW in Frankfurt am

Main besprochen. Die Sachverständigen der KfW sind zuständig für die fachliche Bewertung von Projekten der Entwicklungszusammenarbeit, die von der Bundesregierung finanziell unterstützt werden. Die Sachverständigen der KfW betreuen jeweils eine oder mehrere der Weltregionen (z. B. Lateinamerika, Nahost, Ostasien, Osteuropa, Afrika).

Neben der Beurteilung der künftigen Einsparpotenziale und der Praxisnähe der geförderten Maßnahmen sollten bei diesem Workshop auch im direkten Austausch der Experten die Übertragbarkeit und die Exportchancen der geförderten Technologien eruiert werden und Anstöße für künftige Förderprogramme gegeben werden. Die Ergebnisse aus diesem Workshop sind in die weitere Berichtserstellung eingeflossen.

### 3 Evaluierung der Projekte

#### 3.1 Überblick der geförderten Projekte

Bei den 13 zur Förderung ausgewählten Projekten sind 12 im Bereich der Kläranlage und ein Projekt im Bereich der Kanalisation angesiedelt. Die Förderung im UIP wurde entweder als Zinszuschuss zur Verbilligung eines Kredites oder als Investitionszuschuss gewährt. Lediglich ein Antragsteller hatte einen KfW-Kredit mit Zinszuschuss, die restlichen 12 Antragsteller hatten einen Investitionszuschuss beantragt.

In folgender Tabelle sind die Projekttitle, die in diesem Bericht verwendeten Projektnummern und Kurztitel zusammengestellt.

Tabelle 1: Projektnummer, Projekttitle und Kurztitel der abgeschlossenen Projekte

Projektnummer	Projekttitle	Kurztitel
1	Energieautarke Kläranlage Jena	Jena
2	Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach	Weilerbach
3	Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal	Blümeltal
4	Realisierung einer Abwärmenutzung im Wiesental Aachen	Wiesental
5	Energetische Optimierung der Membrankläranlage Nordkanal	Nordkanal
6	Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz auf der Kläranlage Treysa	Schwalmstadt
7	Energieautarke Kläranlage mit Deammonifikation	Eisenhüttenstadt
8	Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Kläranlagen am Beispiel Schlitz-Hutzdorf	Schlitz
9	Plus-Energiekläranlage mit Phosphorrückgewinnung	Lingen
10	Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg	Isselburg
Projekt A	Energiegewinnung durch ORC-Technik im Klärwerk Steinhof	
Projekt B	Erweiterung der Kläranlage Buchmann GmbH um eine Anaerobiestufe	
Projekt C	Klärschlammverwertung mittels hydrothormaler Karbonisierung und anschließender Verstromung	

Von den 13 geförderten Projekten wurden drei nicht abgeschlossen, bei diesen handelt es sich um

- ▶ Energiegewinnung durch ORC-Technik im Klärwerk Steinhof (Projekt A)
- ▶ Erweiterung der Kläranlage der Buchmann GmbH um eine Anaerobiestufe (Projekt B)
- ▶ Klärschlammverwertung mittels hydrothormaler Karbonisierung und anschließender Verstromung (Projekt C)

Die Projektabbrüche wurden wie folgt begründet:

Projekt A: Nach einem ersten erfolgreichen Probetrieb lief die geförderte ORC Anlage im September 2014 zunächst stabil. Anschließend konnte wegen auftretender technischer Probleme, auch mit geziel-

ten technischen Modifikationen, kein dauerhafter stabiler Betrieb erreicht werden. Im September 2015 meldete der Hersteller des zentralen Aggregates Insolvenz an und wurde durch einen Insolvenzverwalter abgewickelt und aufgelöst. Ein stabiler Dauerbetrieb und die Abnahme der Anlage waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht erreicht. Andere Firmen, die die Anlage hätten fertigstellen können, konnten auf dem Markt nicht gefunden und daher das Projekt nicht abgeschlossen werden.

Projekt B: Die Umsetzung des Projektes setzte von Seiten der Papierfabrik sehr hohe Eigeninvestitionen für den Bau der anaeroben Stufe, für die zusätzlich ein Gebäude hätte errichtet werden müssen, voraus. Im Laufe des Planungsprozesses wurden Möglichkeiten gefunden, die Erweiterung ohne große bauliche Maßnahmen durch eine verfahrenstechnische Optimierung der Bestandsanlage durchführen zu können, was letztendlich auch umgesetzt wurde. Damit war das beantragte Projekt hinfällig.

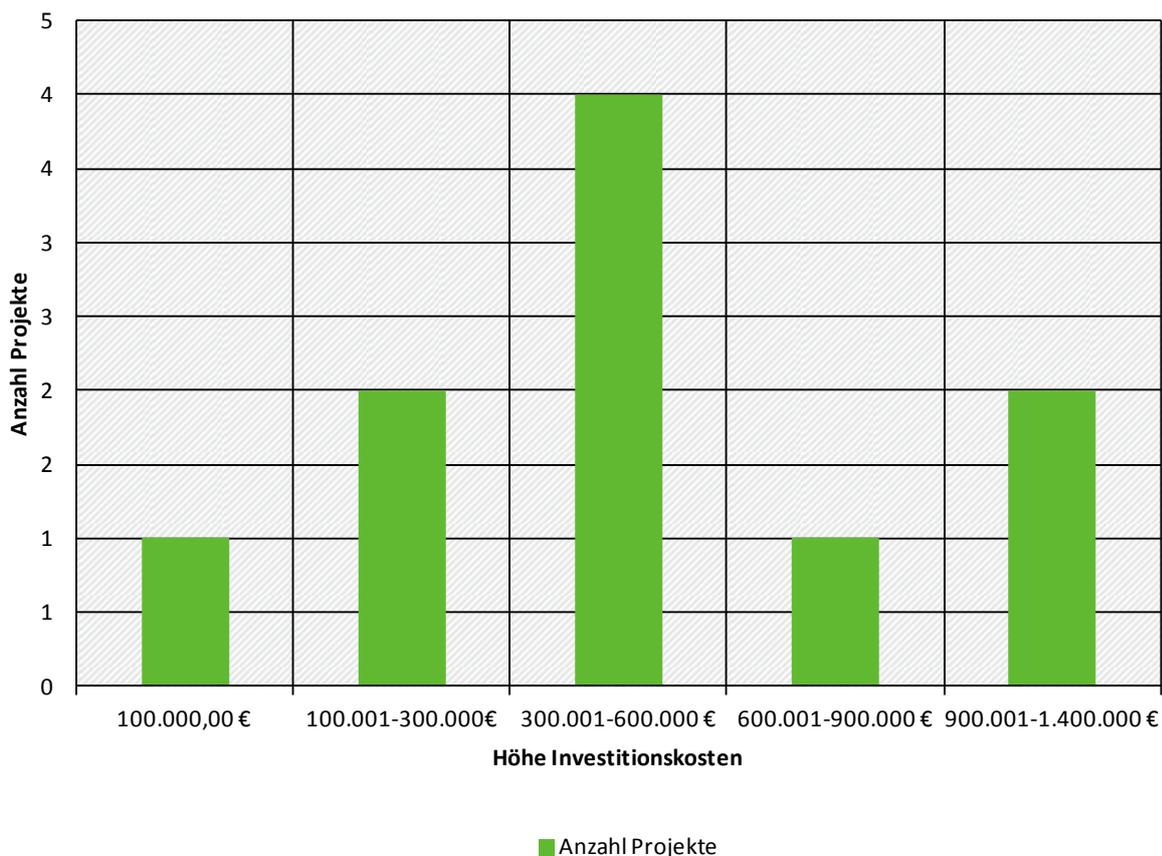
Projekt C: Aufgrund verfahrenstechnischer Probleme, insbesondere die Rückbelastung durch das entstehende Prozesswasser sowie weiterer offener Fragen in Bezug auf das Vergaberecht und ausstehender Genehmigungen wurde von einer Umsetzung des beantragten Projekts abgesehen.

Für jedes der zehn abgeschlossenen Projekte (neun Kläranlagenprojekte und ein Projekt zur Wärmerückgewinnung) wurde eine Zusammenfassung mit den wichtigsten Kenndaten und Ansatzpunkte erstellt, die zum einen kompakt in den folgenden Kapiteln und zum anderen ausführlicher im Anhang zu diesem Bericht zusammengestellt sind.

Die Gesamtförderkosten für die zehn umgesetzten Projekte, die alle einen Investitionszuschuss erhalten haben, lag bei 5,9 Mio. €, wobei der Investitionszuschuss der einzelnen Projekte zwischen 100.000 € und 1,3 Mio. € lag. In Abbildung 1 ist die Verteilung der Förderhöhe auf die Projekte dargestellt.

Die neun Kläranlagen, deren Energieeffizienz durch die Förderung im Rahmen des UIP-Förderschwerpunktes „EAA“ verbessert werden sollte, haben eine Ausbaugröße zwischen 14.000 und 210.000 EW. Insgesamt vier Anlagen haben dabei eine Ausbaugröße von maximal 30.000 EW, die Ausbaugröße von drei Anlagen liegen zwischen 62.000 und 80.000 EW, die restlichen Anlagen haben eine Ausbaugröße zwischen 195.000 und 210.000 EW.

Abbildung 1: bewilligte Fördersummen



Quelle: eigene Darstellung, iat Darmstadt

### 3.2 Projekt „Energieautarke Kläranlage Jena“

#### 3.2.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Jena hat eine Ausbaugröße von 210.000 EW. Zur Verbesserung der Energieeffizienz auf der Kläranlage Jena wurde die Faulgasproduktion durch eine Vergrößerung der Aufenthaltszeit im Faulturm erhöht. Dabei wurde durch den Bau eines dritten Faulbehälters die Aufenthaltszeit um 50 % im Vergleich zum Ausgangszustand verlängert. Neben dem Bau des neuen Faulbehälters, der sowohl parallel als auch in Reihe betrieben werden kann, wurde ein neues BHKWs installiert, das einen höheren elektrischen Wirkungsgrad als die bestehenden BHKWs hat.

Ziel der Maßnahme war ein energieneutraler Betrieb der Kläranlage durch eine **Erhöhung** der Faulgas- und Stromproduktion zu erreichen. Eine Co-Vergärung war nicht vorgesehen.

#### 3.2.2 Evaluierung

##### 3.2.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 2 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 2: Zielerreichung Kläranlage Jena

	Kurz- zeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	18	19,4	13,8
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	7,7	8,4	7,4
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	17,1	21,3	30,3
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgas- nutzung	%	<b>100</b>		96,4	
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>	37	39,5	41
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>		100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		83	>100 <sup>6</sup>	100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				305,7	500
Verringerung Faulschlammmenge	t/a				1.100	1.752

Die Faulgasproduktion wurde durch die Umsetzung der Maßnahme erhöht, der Zielwert für den Faulgasanfall von 30 l/(E\*d) konnte jedoch nicht erreicht werden, was auf den geringen spezifischen Schlammfall und zudem auf die vorliegenden Schlammigenschaften zurückzuführen ist.

Weiterhin ist der spezifische Gesamtstromverbrauch der Anlage leicht von 18 kWh/(E\*a) auf 19,4 kWh/(E\*a) gestiegen, er liegt aber weiterhin sehr nahe beim Zielwert von 18 kWh/(E\*a) (Abweichung < 10%). Zu beachten ist, dass die umgesetzten Maßnahmen auf eine Erhöhung der Gas- und Stromproduktion zielten und nicht auf eine Reduzierung des Stromverbrauches. Durch den Bau des dritten Faulbehälters sind weitere Aggregate zur Förderung des Schlammes bzw. zur Umwälzung hinzugekommen, die zu einer leichten Erhöhung des spezifischen Stromverbrauches führen.

### 3.2.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Die in 2011 beantragte Überschussschlammintegration wurde nicht umgesetzt. Dafür wurde ein neues BHKW mit einem besseren elektrischen Wirkungsgrad installiert.

Im Rahmen der Umsetzung mussten die folgenden Hindernisse überwunden werden:

- ▶ Sehr geringer Zeitraum zwischen Fördermittelzusage bis erforderlichem Baubeginn zur Einhaltung des terminierten Projektendes
- ▶ Umbau bei vollem Betrieb der Anlage (Koordinationsaufwand)

<sup>6</sup> Bezugsjahr 2015

- ▶ Änderung in der Gesetzgebung (Bund) während Planung und Bau (speziell Änderungen im Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG), wodurch sich die Wirtschaftlichkeit der Eigenstromerzeugung verschlechtert hat
- ▶ erforderliche Genehmigung gemäß Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG
- ▶ Verlängerung der Umsetzungszeit aufgrund des Hochwassers 2013.

### 3.2.3 Wirtschaftlichkeit

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich (Berechnung der Projektkostenbarwerte) wurden die beiden folgenden Varianten miteinander verglichen:

- ▶ Alternative 1: Weiterbetrieb von zwei Faulbehältern mit bisherigem Gasertrag und unverändertem Abbaugrad der organischen Trockensubstanz
- ▶ Alternative 2: Neubau eines dritten Faulbehälters mit höherem Gasertrag und besserem Abbaugrad der organischen Trockensubstanz

Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte wurde eine Nutzungszeit von 30 Jahren, ein Zinssatz von 3 % und eine jährliche Steigerungsrate von 2,5 % angesetzt. Mit diesen Ansätzen ergibt sich, unter Berücksichtigung der Fördergelder, ein Kostenvorteil der Varianten 2 in Höhe von 31.193 €/a.

### 3.2.4 Zusammenfassung

Durch die Verlängerung des Faulraumvolumens wurde die Aufenthaltszeit in der Faulung von rund 19 Tagen auf 29 verlängert. Dies hat zu einer Erhöhung der einwohnerspezifischen Gasproduktion von rund 17 l/(E\*d) auf ca. 21 l/(E\*d) geführt. Der elektrische Wirkungsgrad der Stromerzeugung wurde durch die Montage eines neuen BHKWs mit besserem elektrischem Wirkungsgrad erhöht. Der spezifische Gesamtstromverbrauch blieb mit 19,4 kWh/(E\*a) auf einem sehr niedrigen Niveau.

Die Kläranlage hat nach Umsetzung der Maßnahme einen Eigenversorgungsgrad von 100 % beim Strom. Am Beispiel der Kläranlage Jena wird gezeigt, dass eine 100 % Eigenversorgung beim Strom auch ohne Co-Vergärung möglich ist.

## 3.3 Projekt „Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach“

### 3.3.1 Kurzbeschreibung

Die Kapazität der Kläranlage Weilerbach wurde durch den Umbau in 2014 von 16.000 EW auf 30.000 EW erhöht. Dabei wurde die biologische Abwasserbehandlung von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Schlammstabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung umgestellt. Das anfallende Faulgas wird über eine Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) verstromt und dient somit der Eigenversorgung der Kläranlage. Der Strombedarf der Kläranlage sollte durch eine Optimierung der Prozesssteuerung und durch den Einsatz von energieeffizienten Motoren minimiert werden.

Ziel der Maßnahme war es einen energieautarken Betrieb der Kläranlage zu erreichen, so dass weder Strom noch Wärme von externen Anbietern zugeführt werden muss. Modellhaft sollte gezeigt werden, dass unter der Ausnutzung der Energieeinsparpotenziale und der **Optimierung der Faulgaserzeugung** mittelgroße Anlagen energieneutral betrieben werden können.

### 3.3.2 Evaluierung

#### 3.3.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 3 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 3: Zielerreichung Kläranlage Weilerbach

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	20,8	20,8	19,5
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>		7,1	10
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>		24,3	30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>		100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>		28,2	36
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>		100	
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%			66 (72,2 <sup>7</sup> )	100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				181,4	248
Verringerung Faulschlammmenge	%				44	33
Reduzierung Gesamtstromverbrauch	kWh/a				15.000	55.000

Das Förderziel „gesamter spez. Stromverbrauch“ wurde nicht erreicht. Der spezifische Stromverbrauch ist jedoch gleich und mit 20,8 kWh/(E\*a) auf niedrigem Niveau geblieben.

Auch in diesem Projekt lag das Hauptziel der Maßnahme in der Faulgasproduktion, die jedoch mit 24,3 l/(E\*d) den Zielwert von 30 l/(E\*d) nicht erreicht worden ist. Das vom Antragsteller zusätzlich selbst formulierte Ziel, die Schlammmenge um 33 % zu verringern, wurde deutlich übertroffen.

#### 3.3.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Aufgrund der Änderung der Zulaufbelastung und somit der Änderung des Überschussschlammanfalles haben sich längere Aufenthaltszeiten und geringere organische Belastungen in Hochlastfaulung und Nachvergärung in Vergleich zur Auslegung ergeben, so dass die Faulzeit insgesamt bei rund 23 Tagen (14 Tage Faulung und 9 Tage Nachvergärung) liegt.

Als Schwierigkeit bei der Umsetzung der Maßnahme wurde die Einbindung der neuen Anlagenteile in den Bestand der Abwasserbehandlungsanlage Weilerbach genannt.

<sup>7</sup> Wenn Zeitraum mit Versäuerung der Faulung nicht berücksichtigt wird

### 3.3.3 Wirtschaftlichkeit

Durch die Umstellung der GKA Weilerbach von aerober Schlammstabilisierung auf Hochlastfaulung mit anschließender Nachvergärung, reduzieren sich die Betriebskosten (Energie, Betriebsmittel und Schlamm Entsorgung) für den Betrieb der GKA Weilerbach ab der Inbetriebnahme der neuen Anlagenteile um ca. 113.000 €/a (-68 %) und die Jahreskosten (entsprechend LAWA, 2012) um ca. 150.000 €/a.

Der Berechnung wurde ein Zinssatz von 2,5 %, eine Preissteigerung für Betriebsmittel von 1,5 % und Energiekosten von 4 % zugrunde gelegt. Auf Basis dieser Jahreskosteneinsparung wird eine Amortisation nach ca. 17 Jahren erreicht.

### 3.3.4 Zusammenfassung

Durch den Bau der Faulung konnte eine Faulgaserzeugung von rund 24 l/(E\*d) realisiert werden. Obwohl eine Hochlastfaulung geplant war, liegen die Aufenthaltszeiten mit 14 Tagen im Faulbehälter und 9 Tagen in der Nachvergärung im Bereich der Aufenthaltszeit einer konventionellen Faulung. Die Erhöhung der Aufenthaltszeit im Vergleich zur Planung ist auf den Rückgang der Zulaufbelastung um rund 17 % zurückzuführen.

Durch den Umbau wurde eine erhebliche Menge an Betriebsmitteln eingespart: Einsparung Kalk 36,8 %, Einsparung Natriumchlorid 100 %. Die Dosierung mit Erhöhung Eisenchlorid hat sich hingegen um 35,6 % erhöht.

Die Schlammproduktion hat sich um 44,3 %, die zu entsorgende Schlammmenge um rund 35,8 % reduziert.

Durch den Bau der Faulung und die Nutzung des Faulgases konnte der externe Strombezug der Anlage um 65 - 72 % verringert werden.

## 3.4 Projekt „Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal“

### 3.4.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Blümeltal hat eine Ausbaugröße von 62.000 EW. Das Maßnahmenpaket beinhaltet neben der Umstellung von vorgeschalteter auf intermittierende Denitrifikation und einem optimierten Steuer- und Regelungskonzept der Belüftung, den Austausch der Belüfter und die Verbesserung der hydraulischen Durchströmung der Belebungsbecken durch den Einbau verschiedener Leitwände. Das Steuer- und Regelkonzept wurde mit einer Lastprofilerkennung ausgestattet.

Das Ziel der Maßnahmen war es, die Kläranlage Blümeltal ohne die Annahme von Co-Substraten annähernd energieneutral durch eine **Verringerung des Stromverbrauches** zu betreiben.

### 3.4.2 Evaluierung

#### 3.4.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 4 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 4: Zielerreichung Kläranlage Blümeltal

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18+3</b>	37,8	19,8	21 (18+3)
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	14,3	7,8 <sup>8</sup>	< 10
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	24	22	
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>	100	100	
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>		28,2	
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%		100	100	
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		42	73	> 90
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				445	483

Die Kläranlage Blümeltal erreicht nach Umsetzung der Maßnahmen den Zielwert für  $e_{ges}$  aus dem Förderschwerpunkt. Hier ist zu beachten, dass aufgrund der Randbedingungen (Flockungsfiltration und Abluftbehandlung) der Zielwert für den einwohnerspezifischen Stromverbrauch um 3 kWh/(E\*a) erhöht wurde. Der Zielwert für die Belüftung  $e_{Bel}$  wird deutlich unterschritten. Die Zielwerte, die sich auf die Faulgas- und Stromerzeugung beziehen wurden nicht erreicht, in diesem Bereich wurden jedoch auch keine Maßnahmen umgesetzt.

### 3.4.3 Wirtschaftlichkeit

Die Umsetzung der Maßnahmen auf der Kläranlage Blümeltal hat sich als sehr wirtschaftlich dargestellt. Die Investitionskosten von 900.000 € können mit den jährlichen Einsparungen in Höhe von 178.000 €/a finanziert werden. Die Einsparungen teilen sich auf in Einsparungen für die Energiekosten in Höhe von 153.037 €/a und Einsparungen bei den Fällmittelkosten in Höhe von 25.000 €/a.

### 3.4.4 Zusammenfassung

Die Optimierung der Belebung (Umstellung auf intermittierende Denitrifikation, Austausch der Belüfter und Steuerung Belüftung mit Lastprofilerkennung) hat eine sehr hohe Stromeinsparung realisiert. Durch die Stromeinsparung konnte der Eigenversorgungsgrad für Strom auf 73 % erhöht werden. Die Reinigungsleistung<sup>9</sup> der Anlage wurde durch die Optimierung der Belebung ebenfalls verbessert und Fällmittel eingespart.

<sup>8</sup> Inkl. Stoßbelüftung für die Umwälzung

<sup>9</sup> CSB-Ablauf: von 30 mg/l auf 25 mg/l; bzw. CSB Elimination von 1.860.000 kg/a auf 1.900.000 kg/a ; N-Ablauf: von 14 mg/l auf < 5 mg/l; bzw. N-Elimination von 144.000 kg/a auf 168.000 kg/a; P-Ablauf: von 0,7 mg/l auf < 0,3 bzw. P-Elimination von 27.000 kg auf 28.000 kg; Reduktion des Fällmittelverbrauches um 2/3 (2011: 29 kg/d; 2015: 9,5 kg/d)

### 3.5 Projekt „Realisierung einer Abwärmenutzungsanlage im Wiesental Aachen“

#### 3.5.1 Kurzbeschreibung

Mittels Abwasserwärmepumpen und Abluftwärmepumpen wurde die Wärme aus Abwasser zur Gebäudebeheizung zur Verfügung gestellt. Das System besteht im Wesentlichen aus Edelstahlwärmetauscher, die in einen Abwasserkanal eingebaut sind, eine Soleleitung, den Abwasserwärmepumpen, einem Nahwärmenetz und Abluftwärmepumpen. Der Kanalabschnitt, in dem die Wärmetauscher eingebaut sind, führt Thermalwasser, so dass ganzjährig Temperaturen über 15°C vorhanden sind.

Ziel des Projektes war den Primärenergiebedarf der Wohnhäuser um 65 % mittels **Abwärmenutzung** zu senken.

#### 3.5.2 Evaluierung

##### 3.5.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 5 sind die Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt und die Kennwerte nach Umsetzung der Maßnahme zusammengestellt.

Tabelle 5: Zielerreichung Wiesental

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Jahresarbeitszahl	JAZ	-	<b>4,5</b>		3,44	
Wärmepumpe Abwasser	COP	-			3,7	
Abluftwärmepumpe	COP	-			3,0-3,2	

Der Zielwert für die Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4,5 konnte bei den Wärmepumpen nicht erreicht werden, der Erdgasverbrauch wurde jedoch komplett durch die Abwärmenutzung und die strombetriebenen Wärmepumpen substituiert.

##### 3.5.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Bei der Umsetzung des Projektes wurde das Wärmesystem um Abluftwärmepumpen ergänzt. Die Heizungspumpen der Abwasserwärmepumpen mussten ausgetauscht werden, da der Förderstrom für die ursprünglich eingebauten Pumpen zu gering war.

Der Wärmetauscher konnte nur nachts und bei Trockenwetter in den Kanal eingebaut werden, wodurch sich die Montagedauer erhöht hat.

#### 3.5.3 Wirtschaftlichkeit

Unter Berücksichtigung der Förderungen errechnet sich ein Amortisationszeitraum von knapp 19 Jahren.

#### 3.5.4 Zusammenfassung

Für die Abwärmenutzung liegen in diesem Projekt mit ganzjährigen Abwassertemperaturen von über 15°C sehr günstige Randbedingungen vor. Der Erdgasverbrauch der Heizung konnte vollständig durch Abwärme aus Abwasser ersetzt werden (monovalenter Betrieb).

### 3.6 Projekt „Energetische Optimierung der Membrankläranlage Nordkanal“

#### 3.6.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Nordkanal ist eine Membranbelebungsanlage mit einer Ausbaugröße von 80.000 EW. Die Anlage wurde energetisch durch eine Umstellung der Belüftungsregelung, eine Änderung der Taktzeiten der Cross-Flow-Belüftung, der Nachrüstung von Frequenzumformern und dem Austausch von Aggregaten (v. a. Gebläsen) optimiert. Zudem wurde eine automatische Regelung zum Schlammabzug in Abhängigkeit der Wetterprognosen implementiert.

Für die automatisierte, übergeordnete Regelung zur Koordination des Feststoffgehaltes in der Belebungsanlage, des erforderlichen Schlammabzuges sowie des Einsatzes des Entwässerungsaggregates wurde die Regenvorhersage aus dem „Hochwasserinformationssystem Erft“ des Verbandes (HOWIS) eingebunden. Mit diesem Vorhersagesystem werden neben der direkten Zuflussmessung auf dem Kläranlagenstandort auch die erst in mehreren Stunden erwarteten Zuflüsse prognostiziert und in der Festlegung des Belebtschlamm-Gehaltes berücksichtigt. Dieses witterungsgeführte Schlammmanagement sollte die erforderlichen Schlammspeicherkapazitäten vor Eintreffen des Regenereignisses bereitstellen und den Feststoffgehalt in der Belebungsanlage über eine automatisierte variable Überschussschlammabnahme auf das notwendige Maß beschränken. Die geregelte Ansteuerung der Entwässerungsaggregate führt zusätzlich zu einem optimierten Lastspitzenmanagement bei dem Strombezug der Anlage.

Ziel des Projektes war die **Reduzierung des Energieverbrauchs**.

#### 3.6.2 Evaluierung

##### 3.6.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 6 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Der spezifische Gesamtstromverbrauch konnte durch die Umsetzung der Maßnahmen deutlich reduziert werden, auch der Zielwert von 82 kWh/(E\*a) für Membranbelebungsanlagen wurde deutlich unterschritten. Der Zielwert für den spezifischen Stromverbrauch für die Belüftung wurde jedoch nicht erreicht.

Tabelle 6: Zielerreichung Kläranlage Nordkanal

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(E*a)	<b>82</b> <sup>10</sup>	69	40	55
Spez. Stromverbrauch Belüftung	e <sub>Bel</sub>	kWh/(E*a)	<b>12</b>	26,7	24	
Spezifischer Stromverbrauch		kWh/m <sup>3</sup>		1,0	0,65	
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				1.359	

<sup>10</sup> Da die Kläranlage Nordkanal eine Membranbelebungsanlage ist, ist der Vergleich mit den vorgegebenen Zielwerten nicht möglich. In Rücksprache mit UBA (Fachvotum) wurde dieser auf 82 kWh/(E\*a) (UBA Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen (FZK 20526307) festgelegt

### 3.6.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Vor der Ausführungsplanung wurden die verschiedenen Aggregate getestet. Aufgrund dieser Tests wurden das Sandfangebläse und die Gebläse für die Cross-Flow-Belüftung nicht ausgetauscht, sondern mit Frequenzumformer nachgerüstet. Die Gebläse für die Belüftung der Nitrifikationsbecken hingegen wurden ausgetauscht. Die Frequenzumformer mussten mit aktiven elektronischen Filtern zur Netzstabilisierung nachgerüstet werden.

Die Umsetzung der Programmierarbeiten war aufwändig, zudem mussten die Mitarbeiter von der Maßnahme überzeugt werden.

### 3.6.3 Wirtschaftlichkeit

Die Umsetzung der Maßnahme hat ein Kosten-Nutzenverhältnis von 0,12 und ist somit sehr wirtschaftlich.

### 3.6.4 Zusammenfassung

Durch Optimierung der Membranbelebungsanlage (automatische Regelung zum Schlammabzug in Abhängigkeit der Wetterprognosen, Umstellung der Belüftungsregelung, Änderung der Taktzeiten der Cross-Flow-Belüftung, der Nachrüstung von Frequenzumformern und Austausch von Aggregaten (v. a. Gebläsen)) wurde der gesamte spezifische Stromverbrauch von 69 kWh/(E\*a) auf 40 kWh/(E\*a) gesenkt und somit ein sehr großes Einsparpotenzial realisiert.

Sowohl die Reinigungsleistung als auch die Betriebsstabilität der Kläranlage haben sich verbessert.

## 3.7 Projekt „Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa“

### 3.7.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Schwalmstadt-Treysa hat eine Ausbaugröße von 22.000 EW. Die Gasproduktion sollte durch die Mitbehandlung von Klärschlämmen externer Kläranlagen und Co-Substraten erhöht werden. Das BHKW der Kläranlage sollte wärmegeführt betrieben und der Faulgasüberschuss in einem externen BHKW verstromt werden, so dass die Abwärme vollständig genutzt wird. Die Rückbelastung aus den Schlammsilos sollte durch eine Deammonifikation in Scheibentauchkörpern minimiert werden, um dadurch entsprechende Kapazitäten in der Belebung zu schaffen. Zudem sollten Konzentrate bei zwei Indirekteinleitern abgetrennt und im Faulturm der Kläranlage mitbehandelt werden. Dadurch sollte die Zulauffracht deutlich verringert und die Gasproduktion erhöht werden.

Die Projektziele beinhalteten zum einen eine **Erhöhung der Faulgasproduktion** und eine Erhöhung der Strom- und Nutzwärmeerzeugung, zum anderen eine Verringerung der Zulauffracht, eine Senkung des Gesamtstromverbrauches und eine Verbesserung der Reinigungsleistung.

### 3.7.2 Evaluierung

#### 3.7.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 7 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 7: Zielerreichung Kläranlage Schwalmstadt-Treysa

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	Nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18+1,9<sup>11</sup></b>	25,1	35,8	18
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	11,5	15	
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	23,6	39	30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>	83	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>	27,7	29	36
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>	94	>100	>100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	<b>100</b>	57	70	> 100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				147	340

Die Zielwerte für den spezifischen Gesamtstromverbrauch und den spezifischen Stromverbrauch für die Belüftung konnten durch die Umsetzung der Maßnahme nicht erreicht werden. Die spezifischen Stromverbräuche (Gesamt und Belüftung) sind deutlich gestiegen, was jedoch auch auf eine erhebliche Abnahme der - nominellen - Zulaufbelastung zurückgeführt werden kann (zu Einwohnerwerten als Bezugsgröße siehe auch Kap. 4.2 und 5.2). Der Zielwert für die spezifische Faulgasproduktion wurden hingegen sehr deutlich überschritten und der Eigenversorgungsgrad für Strom deutlich erhöht.

### 3.7.2.2 Abweichung und Modifikationen

Bei den Randbedingungen ergab sich eine große Veränderung der Zulaufkraft im Projektzeitraum. Die Einwohnerwerte sind von 26.400 EW<sub>CSB</sub> in 2011 auf rund 18.600 EW<sub>CSB</sub> in 2015/2016 gesunken. Eine Ursache für diesen hohen Rückgang der Zulaufkraft konnte nicht gefunden werden. Da weder bei den Einwohnerzahlen noch bei der angeschlossenen Industrie größere Veränderungen auftraten und der Stromverbrauch sowohl für die Belüftung als auch für die Kläranlage insgesamt in absoluten Zahlen annähernd gleich geblieben ist, liegt der Verdacht nahe, dass es sich hier möglicherweise um ein messtechnisches Problem handelt.

Auf den Bau einer beantragten Faulschlammvakuumentgasung wurde verzichtet, weil sich nach genauerer Prüfung eine sehr ungünstige Kosten-Nutzen-Relation ergab. Dafür wurde ein Nacheindicker gebaut, der zum einen als Vorlage für die Deammonifikation dienen und zum anderen das warme Trübwasser vom Schlamm abtrennen sollte. In diesem Zuge wurde auf eine Beheizung des Scheibentauchkörpers zur Deammonifikation verzichtet. Da sich der Schlamm im Nacheindicker nicht abgesetzt hat, wird der Schlamm aus der Faulung direkt in die Schlammsilos geführt und das abgekühlte Trübwasser aus diesen Silos in den Nacheindicker gegeben, der nun lediglich die Funktion eines Vorlagebehälters hat.

<sup>11</sup> Hohe Förderhöhe Zulaufpumpwerk

Für das extern verwertete Faulgas musste aufgrund der Bildung von Wassersäcken durch Kondenswasser in der Faulgasleitung eine Gastrocknung nachgerüstet werden. Auch die ursprünglich geplante Abdeckung des Nacheindickers bzw. der Schlammsilos wurde angepasst, da beim Nacheindicker kein wesentlicher Gasanfall mehr zu erwarten war und bei den Schlammsilos erheblicher Aufwand zur kontrollierten Kondensatableitung und Vermeidung von Vereisungen im Leitungssystem entstanden wäre. Gebaut wurde lediglich eine kleine schwimmende Haube zur Erfassung der Gasemissionen.

Aufgrund von technischen Schwierigkeiten (Kondensatbildung in der Gasleitung; Faulschlamm, der sich entgegen der Vorversuche nicht im Nacheindicker abgesetzt hat, sehr langsames Wachstum der Biomasse im Scheibentauchkörper) haben sich Abweichungen der Projektergebnisse von den Projekt- und Förderzielen ergeben.

Zeitliche Verschiebungen im Projekt können zum einen auf den mehrfachen Wechsel und die mehrfachen Vakanzen in der Geschäftsführung der Stadtwerke Schwalmstadt zurückgeführt werden. Zum anderen hat die zeitaufwändige Klärung der rechtlichen Fragestellungen zum Bau und Betrieb des externen Faulgas-BHKWs und langwierigen Genehmigungsverfahren zur Co-Vergärung zu Verzögerungen geführt. Ähnliches gilt für die Abtrennung von Konzentraten bei der ansässigen Industrie und separater Anlieferung. Derzeit liefert nur eine Brauerei Konzentrate, während beim Haupteinleiter bis heute noch kein Abschluss der technischen Klärung erzielt worden ist; wobei die Stadtwerke Schwalmstadt als Betreiber der Kläranlage Treysa keinen entscheidenden Einfluss auf die Umsetzung im Werk haben.

Die extrem lange Einfahr- und Optimierungsphase des Scheibentauchkörpers für die Deammonifikation über mehr als zwei Jahre und die Tests zur Co-Fermentation mit verschiedenen Schlämmen, Industrieabwasserkonzentraten und Co-Substraten war sehr betreuungsintensiv und haben zusammen mit zahlreichen Störungen an der Faulgasleitung zum externen BHKW zu einer zeitlichen Überlastung und gewissen Demotivation des Personals geführt.

### **3.7.3 Wirtschaftlichkeit**

Aufgrund der starken Schwankungen der Energiekennwerte bzw. der Einwohnerwerte im gesamten Projektverlauf konnten die Einsparungen nicht abschließend quantifiziert werden. Einsparungen haben sich jedoch durch die Vergrößerung der Kapazität infolge des Baus der Trübwasserbehandlung grundsätzlich ergeben, da der Bau eines neuen Belebungsbeckens deutlich teurer geworden wäre.

Für das externe BHKW inklusive Faulgasleitung und Faulgastrocknung errechnet sich ein Kosten-Nutzenfaktor von 0,62.

### **3.7.4 Zusammenfassung**

Durch die Annahme von Co-Substraten konnte die Faulgasproduktion erhöht werden, so dass der Zielwert für den spezifischen Gasertrag deutlich übertroffen wurde. Durch den Betrieb des externen BHKWs mit Faulgas der Kläranlage gelang es zudem, die Abwärme, die bei der Verstromung entsteht, vollständig zu nutzen. Exemplarisch wurden für andere Anlagen die derzeitigen energie- und steuerrechtlichen Bedingungen für den Einsatz von Faulgas in einem externen BHKW geklärt. Außerdem wird in diesem Projekt über das Projektende hinaus an der Ausweitung der Konzentratabtrennung und separaten Faulung gearbeitet. Die Nebenstromdeammonifikation im Scheibentauchkörper konnte nicht umgesetzt werden.

### 3.8 Projekt „Energieautarke Kläranlage mit Deammonifikation“

#### 3.8.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Eisenhüttenstadt ist ursprünglich für eine Kapazität von 99.000 EW (Belebung) bzw. 132.000 EW (Schlammfäulung) ausgelegt worden. Durch viele Gewerbestilllegungen und den Rückgang der Einwohner wurde die Genehmigung auf 66.000 EW reduziert. Das Projekt sieht eine Verfahrensumstellung in der Abwasserbehandlung und in der Behandlung des Schlammwassers vor. Die Abwasserbehandlung sollte auf EssDE® (Kombination aus A-B-Verfahren mit einer Deammonifikation) im Hauptstrom umgestellt werden. Das Schlammwasser sollte in einer weiteren Deammonifikationsanlage behandelt werden.

Ziel des Projektes war neben der **Reduzierung des Stromverbrauches**, die Erhöhung der Faulgasproduktion und damit die Erhöhung der Strom- und Wärmeproduktion. Neben diesen Zielen soll die Klärschlammmenge verringert werden.

#### 3.8.2 Evaluierung

##### 3.8.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 8 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 8 Zielerreichung Kläranlage Eisenhüttenstadt

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	55,7	37,5	18
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	19,8	14,3	10
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	29,8	20,6	>30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>	100	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>	24,2	27,3	36
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>	100	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	<b>100</b>	27,8	35,6	> 100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				486	935

Trotz deutlicher Reduzierung des gesamten spezifischen Stromverbrauches konnte der Zielwert nicht erreicht werden. Auch die Zielwerte der anderen Förderkriterien wurden nicht erreicht.

##### 3.8.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Im Vergleich zur Antragstellung haben sich im Laufe der Projektumsetzung mehrere Änderungen ergeben: Austausch Überschussschlammverdickung, Nachrüstung Wärmetauscher für Schlammwasserbehandlung, Austausch Gebläse.

Durch die Insolvenz des Generalunternehmers haben sich zeitliche Verschiebungen in der Projektumsetzung ergeben.

Mit Beginn des Projektes mussten viele bestehende Anlagenteile bei laufendem Betrieb umgerüstet werden. Diese Anpassungen benötigten einen höheren Zeitaufwand als geplant. Mit Inbetriebnahme einzelner Anlagenteile waren Folgeinvestitionen erforderlich, die erst in den einzelnen Wirtschaftsplänen berücksichtigt und zeitversetzt über Ausschreibungsverfahren realisiert werden konnten. Dadurch hat sich das Projekt verzögert.

Das größte Problem gab es bei der Beschaffung der erforderlichen Biomasse für das DEMON-Verfahren. Der erforderliche Schlamm für die Deammonifikation im Hauptstrom konnte zum damaligen Zeitpunkt nur aus einer Anlage in den Niederlanden beschafft werden. Der Schlamm wurde über eine Abfallschlüsselnummer eingeführt, so dass eine Notifizierung zwischen den beteiligten nationalen Abfallbehörden erforderlich war. Das Genehmigungsverfahren dauerte ca. sechs Monate und galt nur für ein Jahr.

Die Deammonifikation im Hauptstrom stellte sich als schwierig dar, so dass diese bis zum Zeitpunkt des Projektendes nicht umgesetzt werden konnte. Dies ist ggf. auch auf die Veränderung der Abwasserzusammensetzung zurückzuführen, da sich das Verhältnis  $N_{ges}/CSB$  im Vergleich zur Antragstellung erheblich verringert hat.

### **3.8.3 Wirtschaftlichkeit**

Unter Berücksichtigung der Förderungen errechnet sich der Amortisationszeitraum zu 14,2 Jahren.

### **3.8.4 Zusammenfassung**

Die Deammonifikation im Nebenstrom (Demon+®) konnte erfolgreich umgesetzt werden und die Anlage läuft stabil. Die Deammonifikation im Hauptstrom konnte nicht realisiert werden. Durch die Umsetzung der Maßnahmen hat sich der spezifische Gesamtstromverbrauch deutlich reduziert, der Zielwert konnte jedoch nicht erreicht werden.

## **3.9 Projekt „Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen am Beispiel der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf“**

### **3.9.1 Kurzbeschreibung**

Die Kläranlage Schlitz-Hutzdorf hat eine Ausbaugröße von 14.000 EW. Die Klärschlammstabilisierung sollte von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Faulung umgestellt werden. Durch die Annahme von Fremdschlämmen aus Kläranlagen umliegender Gemeinden (interkommunale Zusammenarbeit in der Klärschlammbehandlung) und von Co-Substraten sollte zudem die Faulgasmenge wesentlich erhöht werden.

Ziel des Projektes war die Reduzierung des externen Energiebezuges von Strom und Wärme durch die **Erhöhung der Faulgasproduktion** und Verwertung in einem BHKW.

### **3.9.2 Evaluierung**

#### **3.9.2.1 Kennwerte**

In folgender Tabelle 9 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Tabelle 9: Zielerreichung Kläranlage Schlitz-Hutzdorf

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	34,0	58,4 <sup>12</sup>	38,1
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	19,9	16,4	
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>		70,6 <sup>13</sup> (38 <sup>14</sup> )	>30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>		100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>		28,2	31-32
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>		100 <sup>15</sup>	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	<b>100</b>		86,4 <sup>16</sup> 59,1 <sup>17</sup>	> 100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				162,5 <sup>18</sup> 74,4 <sup>19</sup>	

Die Zielwerte für den Stromverbrauch konnten nicht erreicht werden, der Zielwert für die Faulgasproduktion wurde jedoch weit übertroffen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kläranlage sowohl Fremdschlämme von benachbarten Kläranlagen als auch Co-Substrate mitbehandelt, der Bezug jedoch nur auf die Zulauffracht zur Kläranlage erfolgt. Der Zielwert für den Eigenversorgungsgrad für Strom wurde trotz hoher Faulgasproduktion nicht erreicht.

### 3.9.3 Wirtschaftlichkeit

Die hohen Investitionen und die sich daraus ergebenden hohen Kapitalkosten konnten durch die wirtschaftlichen Vorteile aus dem geringeren Energieverbrauch und die Einsparung der Entsorgungskosten nicht ausgeglichen werden.

### 3.9.4 Zusammenfassung

Die Umstellung von simultaner aerober Schlammstabilisierung auf eine Faulung wurde erfolgreich umgesetzt. Durch die für die Faulung erforderliche Maschinenteknik und durch die Annahme von

<sup>12</sup> Gerechnet über Gesamtstromverbrauch inkl. Trocknung und 8.036 EW

<sup>13</sup> Bezogen auf  $EW_{CSB}$  Schlitz-Hutzdorf

<sup>14</sup> Bezogen auf  $EW_{CSB}$  Schlitz-Hutzdorf zzgl. Einwohnerwerte von externen Kläranlagen mit 6.650 EW abgeschätzt

<sup>15</sup> Abwärme des BHKWs grundsätzlich für die Beheizung des Faulturmes und des Betriebsgebäudes ausreichend, aufgrund der erforderlichen Umbaumaßnahmen des Faulturms musste in der Messphase zusätzlich Wärme zugeführt werden

<sup>16</sup> Messbereich Nov/Dez 17

<sup>17</sup> Werte aus Gesamtjahr 2016

<sup>18</sup> Hochgerechnet aus optimalem Betrieb

<sup>19</sup> Aus Messungen 2016, inkl. Außerbetriebnahme Faulturm

Fremdschlämmen, die zu einer zusätzlichen Rückbelastung führt, hat sich der gesamte spezifische Stromverbrauch erhöht. Exemplarisch wurde die Möglichkeit der interkommunalen Zusammenarbeit in der Klärschlammbehandlung aufgezeigt. Die Gasproduktion liegt über dem Zielwert. Durch die Verwertung des Faulgases im BHKW wird ein Teil des für den Betrieb der Kläranlage erforderlichen Stromes selbst erzeugt.

Der Eigenversorgungsgrad für Strom lag im Messzeitraum November bis Dezember 2017 bei max. 87 %, trotz der überdurchschnittlich hohen Gasproduktion.

### 3.10 Projekt „Plus-Energiekläranlage mit Phosphorrückgewinnung“

#### 3.10.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Lingen hat eine Ausbaugröße von 195.000 EW. Der Primär- und Überschussschlamm wird anaerob stabilisiert. Im Rahmen des UIP-Projektes wurde eine Thermodruckhydrolyse zur Desintegration des Überschussschlammes bzw. des Faulschlammes installiert. Neben dieser Schlammdeintegration wurde die MAP-Fällung zur Phosphorrückgewinnung umgesetzt.

Ziel war es die Kläranlage in eine Energieplus-Kläranlage umzuwandeln. Dies sollte zum einen durch eine verfahrenstechnische Intensivierung der Schlammfäulung, die sowohl zu einer **Erhöhung der Faulgasproduktion** führt als auch weitere Kapazitäten für die Annahme von Co-Substraten in der Fäulung schafft, umgesetzt werden. Zum anderen sollte durch die Erhöhung der Annahmemenge von Co-Substraten die Faulgasproduktion weiter erhöht werden.

#### 3.10.2 Evaluierung

##### 3.10.2.1 Kennwerte

In folgender Tabelle 10 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderschwerpunkt, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Der spezifische Gesamtstromverbrauch der Kläranlage hat sich erhöht, was jedoch auch auf eine Verringerung der Zulaufkraft zurückzuführen ist. Der Zielwert für den gesamten spezifischen Stromverbrauch konnte nicht erreicht werden, der Zielwert für den Stromverbrauch für die Belüftung wurde annähernd erreicht und der Zielwert für die Faulgasproduktion wurde weit übertroffen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kläranlage auch Co-Substrate mitbehandelt.

Tabelle 10: Zielerreichung Kläranlage Lingen

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	23,1	32	21,3
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	13	10,6	11,8
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	20,9 <sup>20</sup> (16,4 <sup>21</sup> )	41 <sup>22</sup> (34 <sup>23</sup> )	31

<sup>20</sup> Mit Co-Substrat

<sup>21</sup> Ohne Co-Substrat

<sup>22</sup> Mit Co-Substrat

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>	97	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$	%	<b>38</b>	30,8	33	38
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	<b>100</b>	100	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	<b>100</b>	61	83	125
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				400	100

### 3.10.2.2 Abweichungen und Modifikationen

Im Rahmen der Umsetzung des Projektes mussten eine maschinelle Primärschlammverdickung und eine weitere Überschussschlammvorerwärmungsstufe nachgerüstet werden, um sicherzustellen, dass auch Überschussschlamm mit 7 - 7,5 % TR störungsfrei behandelt werden kann. .

Statt AirPrex® wurde EloPhos® zur Phosphorrückgewinnung installiert. Realisiert wurde die Phosphor-Rückgewinnung aus Faulschlamm, während im Antrag die Phosphor-Rückgewinnung aus dem Schlammwasser vorgesehen war. Auch eine Faulgasentschwefelung wurde erforderlich.

Für die Schlammwässerung wurde zusätzlich zu den vorhandenen Bucherpressen eine Zentrifuge installiert.

Da die Zulaufbelastung erheblich zurückgegangen war und somit genug Kapazitäten in der Belebung für die Rückbelastung vorhanden waren, konnte auf die Schlammwasserdeammonifikation (Demon®) verzichtet werden.

### 3.10.3 Wirtschaftlichkeit

Den Einsparungen von 359.000 €/a stehen Investitionskosten in Höhe von insgesamt 4.479.277 € gegenüber.

### 3.10.4 Zusammenfassung

Die thermische Desintegration führte zu einem deutlich verbesserten oTR-Abbau und somit zu einer Erhöhung der Faulgasproduktion um etwa 20 %. Zudem konnte mit der Desintegration und der damit verbesserten Entwässerbarkeit des Schlammes, die zu entsorgende Schlammmenge um rund 30 % verringert werden. Die Ergebnisse aus diesem Projekt stellen eine gute Entscheidungsgrundlage für Betreiber dar, die sich mit der thermischen Desintegration auseinandersetzen. Bezogen auf die P-

<sup>23</sup> Ohne Co-Substrat

Fracht im Zulauf der Kläranlage Lingen liegt die im Projekt realisierte Rückgewinnungsrate mit dem umgesetzten Verfahren bei ca. 13 %.

### 3.11 Projekt „Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg“

#### 3.11.1 Kurzbeschreibung

Die Kapazität der Kläranlage Isselburg wurde durch den Umbau von 14.000 EW auf 20.000 EW erhöht. Das Zulaufpumpwerk wurde energetisch saniert. Die Biologie wurde zu einer Dreierkaskade umgebaut und eine kontinuierlich betriebene Sandfilteranlage der Nachklärung nachgeschaltet. Der bestehende Faulturm wurde saniert und die Schlammrückführung und Schlammbehandlung wurden angepasst. Ziel der Maßnahmen war es den **Energieverbrauch** der Anlage trotz Erweiterung der Kapazität **zu verringern**.

#### 3.11.2 Evaluierung

In folgender Tabelle 11 sind, neben den Zielwerten (ZW) aus dem Förderprogramm, die Kennwerte der Kläranlage vor und nach Umsetzung der Maßnahme und zudem die wichtigsten zusätzlichen Ziele, die vom Antragsteller formuliert wurden, zusammengestellt.

Trotz großer Verringerung des spezifischen Gesamtstromverbrauches wurde der Zielwert für den gesamten spezifischen Stromverbrauch nicht erreicht. Auch der Zielwert für den spezifischen Stromverbrauch für die Belüftung wurde nicht erreicht.

Tabelle 11: Zielerreichung Kläranlage Isselburg

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	53,4 <sup>24</sup>	31,4 <sup>25</sup>	29
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	13	13,4	11,8
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	k.A.	k.A.	
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>	k.A.	k.A.	
El. Wirkungsgrad Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>	k.A.	k.A.	
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>	k.A.	k.A.	
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		0	24,8	
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a				119	

##### 3.11.2.1 Abweichungen und Modifikationen

Im Vergleich zum Antrag wurden im Rahmen der Umsetzung zusätzlich die Zulaufpumpen durch energieeffizientere Pumpen ersetzt.

<sup>24</sup> Bezugsjahr 2001, besondere Verbraucher berücksichtigt

<sup>25</sup> Besondere Verbrauch nicht berücksichtigt, unter Berücksichtigung dieser Verbraucher: 35,8 kWh/(E\*a)

### **3.11.3 Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme wurde vom Antragsteller nicht berechnet.

### **3.11.4 Zusammenfassung**

Durch die energetische Sanierung des Zulaufpumpwerkes und die Umstellung der biologischen Reinigung konnte der gesamte spezifische Stromverbrauch erheblich reduziert werden. Er liegt jedoch mit rund 31 kWh/(E\*a) deutlich über dem Zielwert.

## **3.12 Nicht geförderte Projekte**

Von den insgesamt 20 eingereichten Projektanträgen wurden sieben als nicht förderungsfähig eingestuft und entsprechende Ablehnungsbescheide an die Antragsteller verschickt. Von diesen sieben Projektanträgen wurde lediglich ein Projekt (thermische Verwertungsanlage am Standort der Kläranlage Bergen, Rügen) ohne Förderung durch den Förderschwerpunkt EAA umgesetzt.

## 4 Aggregation der Projektevaluierungen zur Gesamtschau

### 4.1 Inhaltliche Schwerpunkte und Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen innerhalb der Matrix

#### 4.1.1 Inhaltliche Schwerpunktsetzung

Die zehn umgesetzten Projekte lassen sich einteilen in Projekte, die

- ▶ die Wärme **rückgewinnen** wollen,
- ▶ die Faulgasmenge und somit die Strom- und Wärmeproduktion **erhöhen** wollen,
- ▶ den Stromverbrauch **reduzieren** wollen,
- ▶ Phosphor **rückgewinnen** wollen.

In den meisten Projekten mussten zudem Maßnahmen umgesetzt werden, die nicht direkt mit den oben dargestellten Zielen in Verbindung gebracht werden können (z. B. Austausch des Schlammwässerungsaggregates), die jedoch für den sicheren Betrieb der Anlage erforderlich waren.

Aus der Auswertung der Projektberichte und der Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen ergeben sich folgende inhaltliche Projektthemen:

- ▶ Umstellung von simultaner aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung
- ▶ Umstellung der biologischen Reinigung (Kaskadendenitrifikation und intermittierende Denitrifikation)
- ▶ Interkommunale Zusammenarbeit/Überwindung von Systemgrenzen
- ▶ Austausch der Maschinenteknik
- ▶ Optimierung der Steuerung/Automatisierung
- ▶ Deammonifikation
- ▶ Optimierung der Schlammfäulung
- ▶ Wärmerückgewinnung aus der Kanalisation
- ▶ Phosphor-Rückgewinnung

In den folgenden Unterkapiteln werden die inhaltlichen Schwerpunkte der Projekte vorgestellt und die umgesetzten Maßnahmen in einer Matrix eingeteilt. Anschließend werden die Kennwerte aus den einzelnen Projekten zusammengestellt. Diese werden in die verschiedenen Häufigkeitsverteilungen eingetragen und mit den eigenen Zielen und den Zielwerten des Förderschwerpunktes verglichen. Nach einer Zusammenstellung der Hindernisse bei der Umsetzung der Maßnahmen und der hilfreichen Einflussfaktoren, werden die realisierten Einsparungen in den Projekten zusammengefasst. Mit einer Beschreibung der Reinigungsleistung und der Wirtschaftlichkeit schließt dieses Kapitel ab.

#### 4.1.1.1 Umstellung simultane aerobe Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung

Die Umstellung von simultaner aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung wurde bei zwei Kläranlagen, Kläranlage Weilerbach (Ausbaugröße 30.000 EW) und Kläranlage Schlitz-Hutzdorf (Ausbaugröße 14.000 EW) durchgeführt (siehe Abschnitte 3.3 und 3.9). Bei der Kläranlage Weilerbach wurde eine Hochlastfäulung, bei der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf die Fäulung mit konventionellen Berechnungsansätzen geplant. Aufgrund des geringen Schlammanfalls wurde die Hochlastfäulung nie unter 15 Tagen Aufenthaltszeit in der Fäulung und 9 Tagen Aufenthaltszeit in der Nachvergärung betrieben, was einer konventionellen Fäulung entspricht.

Eine Reduzierung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauches der Kläranlage konnte bei beiden Projekten erwartungsgemäß nicht realisiert werden, da die Stromeinsparung bei der Belüftung durch zusätzliche Verbraucher bei der Faulung überkompensiert wurde. Der Strombezug wurde erheblich durch die Eigenstromerzeugung reduziert. Der in den beiden Projekten erreichte Eigenversorgungsgrad für Strom liegt nach Umsetzung der Maßnahmen bei mindestens 59 %.

Die Umstellung auf eine Hochlastfaulung wurde mit einer Amortisationszeit von 17 Jahren angegeben. Die hohen Kapitalkosten aus der Umstellung auf eine konventionelle Faulung konnten nicht von den wirtschaftlichen Vorteilen aus dem geringeren Fremdenergiebezug und dem Saldo der Entsorgungskosten ausgeglichen werden.

#### **4.1.1.2 Umstellung des biologischen Reinigungsverfahrens**

Zwei Kläranlagen (Kläranlage Blümeltal (siehe Abschnitte 3.4) und Kläranlage Isselburg (siehe Abschnitt 3.11)) haben ihre Verfahrenstechnik der vorgeschalteten Denitrifikation auf Kaskadendenitrifikation bzw. intermittierende Denitrifikation umgestellt. Beide Kläranlagen konnten ihren gesamten einwohnerspezifischen Stromverbrauch erheblich um jeweils rund 18 kWh/(E\*a) verringern. Während die Kläranlage Blümeltal nach der Umsetzung das Förderkriterium für den spezifischen Gesamtstromverbrauch erreicht hat, liegt der spezifische Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Isselburg mit 31,4 kWh/(E\*a) weiterhin weit darüber.

Bei beiden Kläranlagen wurden neben der Umstellung des Verfahrens weitere Maßnahmen (Optimierung der Steuerung, Austausch Belüfter und Gebläse) umgesetzt, so dass eine quantifizierte Aussage zur Einsparung allein durch die Umstellung nicht möglich ist.

Auch ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die sich lediglich auf die verfahrenstechnische Umstellung bezieht, nicht möglich. Die Amortisationszeit des Projektes Blümeltal ist mit insgesamt rund fünf Jahren quantifiziert.

#### **4.1.1.3 Interkommunale Zusammenarbeit/Überwindung von Systemgrenzen**

Für die interkommunale Zusammenarbeit und die Überwindung von Systemgrenzen stehen eine Vielzahl von Ansätzen zur Verfügung (siehe Abbildung 2). Interkommunal können Gemeinden im Bereich von Kläranlagen u. a. durch eine gemeinschaftliche Klärschlammbehandlung auf einer (zentralen) Kläranlage zusammenarbeiten.

Die Grenzen des Systems Kläranlage können zum einen dadurch überwunden werden, dass Konzentrate, die normalerweise als Abwasser über die Kanalisation in die Kläranlage geleitet werden, abgetrennt und im Faulurm der Kläranlage mit behandelt werden. Zum anderen kann überschüssiges Faulgas an ein externes BHKW geliefert oder überschüssige Wärme in ein Nahwärmenetz eingespeist werden.

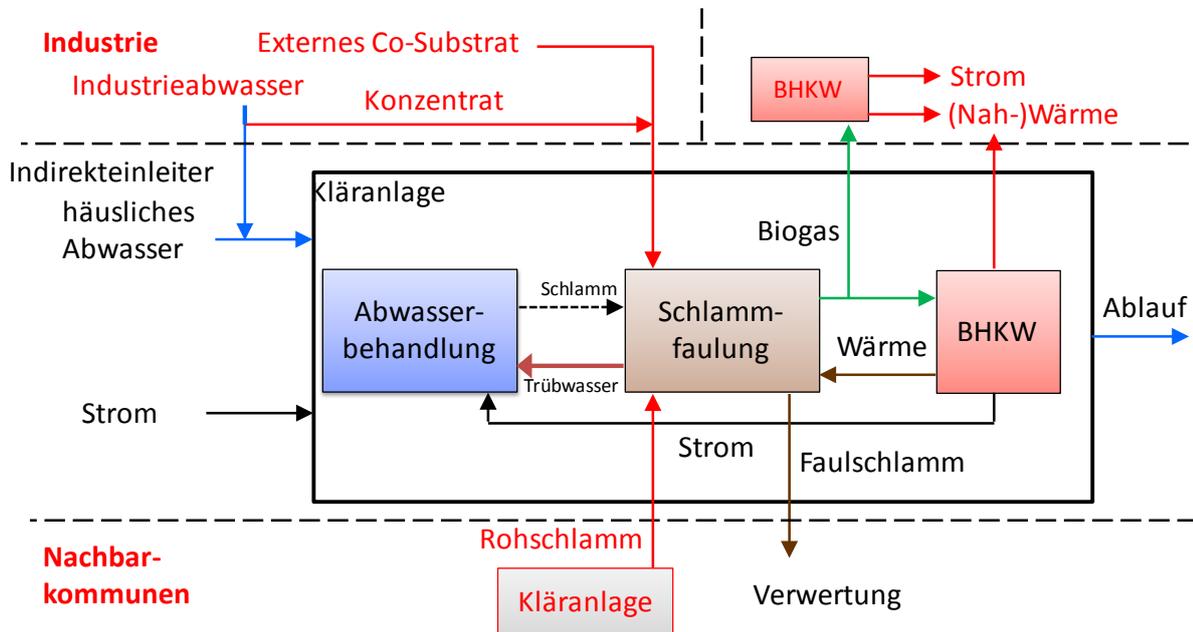
Sowohl im Projekt Schwalmstadt (siehe Abschnitt 3.7) als auch im Projekt Schlitz (siehe Abschnitt 3.9) wurde eine interkommunale Zusammenarbeit in der Schlammbehandlung realisiert. Bei beiden Kläranlagen wird der Klärschlamm von Kläranlagen umliegender kleinerer Gemeinden im Faulurm behandelt. Durch die Umsetzung dieser Maßnahme wurde keine Stromeinsparung erzielt. Eine Untersuchung, ob die klärschlammliefernden Kläranlagen aufgrund einer möglichen Reduzierung des Schlammalters Strom eingespart haben, hat nicht stattgefunden.

Die Gaserzeugung wurde bei beiden klärschlammannahmenden Kläranlagen erhöht. Da jedoch beide Anlagen sowohl Fremdschlämme als auch Co-Substrate annehmen und die Kläranlage Schlitz zudem von einer simultanen aeroben Stabilisierung auf eine anaerobe umgestellt hat, ist die Erhöhung der Faulgasproduktion, die sich aufgrund der Fremdschlämme ergibt, nicht quantifizierbar.

Für die Klärschlammlieferung und -mitbehandlung sind Abstimmungen und vertragliche Regelungen zwischen den Handlungsakteuren und Genehmigungen erforderlich.

Im Projekt Schwalmstadt wurde ein externes BHKW in einem separaten Nahwärmenetz gebaut und mit Faulgas aus der Schlammfäulung betrieben und somit zusätzlich zur interkommunalen Zusammenarbeit die Systemgrenze Kläranlage bei der Faulgasverwertung überwunden.

Abbildung 2: Darstellung interkommunale Zusammenarbeit und Überwindung von Systemgrenzen



Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Die interkommunale Zusammenarbeit bzw. die Überwindung von Systemgrenzen hat zwar in der Umsetzungsphase zahlreiche organisatorische, technische und rechtliche Fragen aufgeworfen, wird aber von den Fördernehmern im Nachhinein als sehr positiv beschrieben.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die sich lediglich auf die Mitbehandlung von Fremdschlämmen bezieht, wurde nur beim Projekt Schwalmstadt durchgeführt. Im Vergleich zum vorherigen Zustand ergab sich ein leichter finanzieller Vorteil, der zwischen den Gemeinden aufgeteilt wurde.

#### 4.1.1.4 Austausch der Maschinentchnik

Bei mehreren geförderten Projekten wurden zum einen Stromverbraucher (Motoren, Belüfter, Pumpen und Gebläse) ausgetauscht (siehe v. a. Kläranlage Blümeltal Kapitel 3.4, Kläranlage Nordkanal Kapitel 3.6 und Kläranlage Isselburg Kapitel 3.11). Zum anderen wurden Stromerzeuger erneuert (siehe v.a. Kläranlage Jena Abschnitt 3.2), so dass bei diesem Austausch der Stromverbrauch zwar nicht reduziert, die Eigenstromversorgung jedoch erhöht wurde.

Durch den Austausch von ineffizienten Maschinen kann der Stromverbrauch der Anlage reduziert werden, was unter anderem durch das Projekt Nordkanal gezeigt wurde. Der Austausch kann normalerweise mit recht geringem Aufwand erfolgen, eine auf die ausgetauschten Aggregate bezogene Betrachtung der Einsparungen und der Wirtschaftlichkeit ist in den Projekten nicht erfolgt.

#### 4.1.1.5 Optimierung Steuerung und Automation

Zwei Fördernehmer (Erftverband und Stadt Pirmasens) haben die Steuerung ihrer Kläranlage (siehe Abschnitt 3.4 und 3.6) optimiert. In einem der Projekte wurde eine umfassende Steuerung der Belüftung, im zweiten Projekt der Schlammabzug verbessert. Das Einsparungspotenzial, welches alleine durch die Optimierung der Steuerung und Automation realisiert wurde, ist aus den beiden Projekten nicht quantifizierbar, da auch weitere Maßnahmen umgesetzt wurden, die ebenfalls einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch hatten.

#### **4.1.1.6 Deammonifikation**

In zwei Projekten (Treysa und Eisenhüttenstadt) wurde eine Deammonifikation im Nebenstrom, d. h. eine Deammonifikation für die Schlammwasserbehandlung realisiert (siehe Abschnitt 3.7 und 3.8). Dabei wurden zwei verschiedene Verfahren (Deammonifikation im Scheibentauchkörper und Demon+®) für die Behandlung eingesetzt.

Die Deammonifikation im Scheibentauchkörper, die in Treysa erstmalig in dieser Form umgesetzt wurde, hat sich als in der Einfahrphase sehr betreuungsaufwändig gezeigt. Die Ausbildung eines signifikanten Biofilms auf den Scheiben war erst nach mehrmonatigem Betrieb möglich. Planctomyceten siedelten sich in der Projektlaufzeit nicht an. Eine Stickstoffelimination konnte deshalb nur über eine konventionelle Nitrifikation/Denitrifikation erreicht werden. Das Demon+®-Verfahren wurde erfolgreich umgesetzt.

Die Deammonifikation im Hauptstrom konnte im Projektzeitraum nicht realisiert werden.

Bei beiden Projekten ist eine lediglich auf die Teilstrombehandlung zu beziehende Bilanzierung der Stromeinsparung nicht möglich, so dass auch keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur dieses Verfahrens über eine Stromeinsparung möglich ist. Die Wirtschaftlichkeit scheint eher durch eine Entlastung der Belebung und damit einer höheren Reservekapazität gegeben, diese ist jedoch ebenfalls schwer quantifizierbar.

#### **4.1.1.7 Optimierung der Schlammfäulung**

Die Optimierung der Schlammfäulung wurde im Projekt Jena durch eine Erhöhung des Faulraumvolumens (siehe Abschnitt 3.2) bzw. der Faulzeit und auf der Kläranlage Lingen durch eine thermische Druckhydrolyse realisiert (siehe Abschnitt 3.10). In beiden Projekten konnte der Faulgasanfall und somit die Stromerzeugung soweit gesteigert werden, dass diese weit über dem Eigenverbrauch der zusätzlichen Aggregate liegt und der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage für Strom erhöht werden konnte.

Die Wirtschaftlichkeit der Erhöhung der Faulturmkapazität in Jena ist bei 30 Jahren Nutzungsdauer gegeben. Das Projekt Lingen ist bei einer angesetzten Nutzungsdauer von 30 Jahren für die Bau- und 15 Jahren für die Maschinenteknik und einem Realzinssatz von 2,5 % ebenfalls wirtschaftlich.

#### **4.1.1.8 Phosphor-Rückgewinnung**

Im Projekt Lingen (siehe Abschnitt 3.10) wurde das EloPhos®-Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung installiert. Realisiert wurde die Phosphor-Rückgewinnung aus Faulschlamm. Bezogen auf die Phosphor-Fracht im Zulauf der Kläranlage Lingen liegt die im Projekt realisierte Rückgewinnungsrate mit dem umgesetzten Verfahren bei ca. 13 %.

### **4.1.2 Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen innerhalb der Matrix**

Für die Zuordnung der Maßnahmen und für die Beurteilung, an welchen Stellen die Maßnahmen hauptsächlich angesiedelt sind, wurden alle Hauptmaßnahmen mit ihrer Projektnummer in die Übersichtsmatrix (siehe Abbildung 3) eingetragen. Da in vielen Projekten mehrere Maßnahmen umgesetzt wurden und diese teilweise dem gleichen Matrizenfeld zugeordnet sind, sind in einigen Feldern mehrere Punkte mit der gleichen Nummer aufgeführt.

Maßnahmen, die eine Reduzierung des Stromverbrauches bewirken sollen, sind mit einem Kreis gekennzeichnet. Maßnahmen, die auf eine Erhöhung der Faulgas- und somit der Stromproduktion hinzelen, sind mit Dreiecken gekennzeichnet. Hauptziele sind dabei mit farblich ausgefüllten Markierungen gekennzeichnet, Nebenziele mit transparenten Kreisen bzw. Dreiecken.

Die Maßnahmen der Projekte, die eine Reduzierung des Stromverbrauches zum Ziel hatten, sind hauptsächlich im Bereich „biologische Stufe“ und dort in den Ansatzpunkten „Änderung der vorhandenen Maschinenteknik“, „Umstellung/Erweiterung der Verfahrenstechnik“ und „Automatisation und Regelung“ angesiedelt.

Die Maßnahmen der Projekte, deren Hauptziel die Erhöhung der Faulgas- und Stromproduktion war, sind hauptsächlich in den beiden Bereichen „Klärschlamm“ und „Faulgas“ eingeordnet und dort verteilt auf alle Bereiche der Ansatzpunkte.

Die Maßnahmen des Projektes Wiesental sind aufgrund der Übersichtlichkeit nicht in die Matrix eingeordnet. Sie sind im Bereich Kanalisation und dort in die Ansatzpunkte „Bautechnik“ und „Änderung der vorhandenen Maschinenteknik“ eingeordnet.

Abbildung 3: Matrix Übersicht über die Maßnahmen aller Projekte

Änderung/ Ansatzpunkt bei	Vorbehandlung	Biologische Stufe	Klärschlamm	Gas
Bautechnik		③	△8 △9	△6
Änderung der vorhandenen Maschinenteknik	⑤ ⑩	⑩ ⑨ ⑤ ⑤ ⑥ ⑩ ⑩ ③ ③ ⑤	⑩ △1 △6 △9 ⑨ ⑨ △9	△6 △9
Umstellung / Erweiterung der Verfahrenstechnik	△2 △8	⑨ ⑧ ③ ③ ⑥ ⑩ ⑦ ② ⑦ ⑨	△2 △8	△2 △8 △9
Automatisierung/ Regelung		③ ⑤ ⑤	⑤	△6
Änderung Gesamtkonzept / Organisation			△6 △6 △8	△6
Bemessung / Auslastung		⑨ △6 ⑩	△1 △2	△1

Legende:

○ / ● Reduzierung Stromverbrauch (Teilaspekt/Hauptaspekt)

△ / ▲ Erhöhung Gasproduktion/Stromerzeugung (Teilaspekt/Hauptaspekt)

Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

## 4.2 Zusammenstellung der Kennwerte

### 4.2.1 Einwohnerwert als (problematische) Bezugsgröße

Bei der Erstellung von spezifischen Kennwerten ist die Berechnung der Einwohnerwerte als Bezugsgröße von großer Bedeutung. Die Zulaufbelastung und die sich daraus ergebenden Einwohnerwerte unterliegen großen, teils unerklärlichen Schwankungen und haben somit eine entsprechende Auswirkung auf die spezifischen Kennwerte. Aus diesem Grund sind in folgender Tabelle die Einwohnerwerte in  $EW_{CSB}$ , die in den Berichten vor und nach Umsetzung der Maßnahmen angegeben sind, zusammengefasst. Bei vier Kläranlagen liegt die Änderung der Belastung unter 10 %, die fünf restlichen Kläranlagen haben eine Änderung der Einwohnerwerte zwischen ca. 23 und 58 % zu verzeichnen, wobei sowohl Reduzierungen als auch Erhöhungen der Belastung auftraten. Da zumindest in einzelnen Fällen keine Veränderung der Randbedingungen im Einzugsgebiet erkennbar war und der absolute Strom-

verbrauch fast konstant blieb, wird stark vermutet, dass die Schwankungen der EW-Zahlen und der spezifischen Kennwerte zumindest teilweise auf Messfehler zurückzuführen sind.

Tabelle 12: Änderung der Einwohnerwerte ( $EW_{CSB}$ ) der abgeschlossenen Projekte

Projektname	Ausbaugröße	Belastung vor Umsetzung der Maßnahme	Belastung nach Umsetzung der Maßnahme	Änderung absolut	Prozentuale Änderung
Jena (1)	210.000	170.833	155.000	- 15.833	- 9,3 %
Weilerbach (2)	30.000	22.244	21.568	- 676	- 3%
Blümeltal (3)	62.000	45.000	43.519	- 1.481	- 3,3 %
Wiesental (4)	nicht relevant.	nicht relevant.	nicht relevant.	nicht relevant	nicht relevant.
Nordkanal (5)	80.000	65.863 (2007) 79.863 (2011)	80.863	15.000	22,8 %
Schwalmstadt (6)	22.000	26.391	18.643	- 7.748	- 29,4%
Eisenhüttenstadt (7)	99.000	35.442	56.117	20.675	58,3 %
Schlitz (8)	14.000	9.273	7.155	- 2.118	- 22,8 %
Lingen (9)	195.000	154.282 (2010) 113.533 (R0 <sup>26</sup> 2017)	91.787 (R1 <sup>27</sup> 2017) 83.225 (R2 <sup>28</sup> 2018)	- 62.495	- 40,5 %
Isselburg (10)	20.000	13.000	13.550	550	4,2 %
<b>Summe</b>	<b>732.000</b>	<b>542.328</b>	<b>479.640</b>		

#### 4.2.2 Änderung des Gesamtstromverbrauches

In Tabelle 13 sind die Gesamtstromverbräuche der neun Kläranlagen vor und nach Umsetzung der Maßnahmen zusammengestellt. Der Gesamtstromverbrauch ist zum einen als spezifischer Stromverbrauch und zum anderen als absoluter Verbrauch aufgeführt. Beim Mittelwert des spezifischen Stromverbrauchs steht in der oberen Zeile das arithmetische Mittel der Einzelwerte und in der unteren Zeile das gewichtete Mittel als Quotient aus der Summe des Gesamtstromverbrauchs und der Summe der Einwohnerwerte. Durch diese differenzierte Betrachtung wird deutlich, dass die absolute Stromersparung von 3,65 GWh/a nur zum Teil auf einer Steigerung der Energieeffizienz beruht, da gleichzeitig auch die zu behandelnde Schmutzfracht gesunken ist.

Bei den Stromverbräuchen der Projekte Schwalmstadt (6), Eisenhüttenstadt (7) und Lingen (9) zeigt sich der Einfluss der Veränderung der Einwohnerwerte auf den spezifischen Stromverbrauch besonders. Obwohl sich der Stromverbrauch der Projekte 6 und 7 absolut kaum verändert hat, haben sich die einwohnerspezifischen Verbräuche erheblich verändert. Im Projekt 6 ist bei einem gemessenen Rückgang der Belastung im Projektzeitraum um 30 % der spezifische Verbrauch  $e_{ges}$  um knapp 43 %

<sup>26</sup> Referenzzeitraum 0: Oktober 2016

<sup>27</sup> Referenzzeitraum 1: März-Mai 2017

<sup>28</sup> Referenzzeitraum 2: Januar-Februar 2018

und  $e_{\text{Bel}}$  um 30 % angestiegen. Gleichzeitig stieg aber auch der spezifische Faulgasanfall um 65 %. Dagegen sanken bei Projekt 7 bei einem gemessenen Anstieg der Belastung im Projektzeitraum um 58 % sowohl der spezifische Gesamtstromverbrauch  $e_{\text{ges}}$  als auch spezifische Stromverbrauch für die Belüftung  $e_{\text{Bel}}$  und der spezifische Gasanfall um rund 30 %. Zumindest bei Projekt 6 konnte keine Ursache für den starken Rückgang der Belastung um 30 % gefunden werden.

Tabelle 13: Vorher-Nachher Vergleich Gesamtstromverbrauch (absolut und spezifisch)

Projekt Nr.	Spezifischer Stromverbrauch [kWh/(E*a)]			Absoluter Stromverbrauch [MWh/a]		Veränderung	
	vorher	nachher	Veränderung	Vorher	Nachher	[MWh/a]	[%]
Jena (1)	18	19,4	+ 1,4	2.782	2.907	+ 125	+ 4
Weilerbach (2)	20,8	20,8	+/- 0	463	448	- 15	- 3
Blümeltal (3)	37,8	19,8	- 18	1.700	860	- 840	- 49
Nordkanal (5)	69	40	- 29	5.506	3.214	- 2.292	- 42
Schwalmstadt (6)	25,1	35,8	+ 10,7	632	679	+ 47	+ 7
Eisenhüttenstadt (7)	55,7	37,5	- 18,2	1.972	2.102	+ 130	+ 7
Schlitz (8)	34	58,4	+ 24,4	384	469	+ 85	+ 22
<b>Lingen (9)</b>	<b>23,1</b>	<b>32</b>	<b>+ 8,9</b>	<b>3.558</b>	<b>2.872</b>	<b>- 686</b>	<b>- 19</b>
Isselburg (10)	53,4	31,4	- 22	694	486	- 208	- 30
Mittelwert/Summe	37,24	32,8	- 4,64	17.692	14.037	3.654	- 21
Gewichtetes Mittel	32,6	29,3	- 3,3				

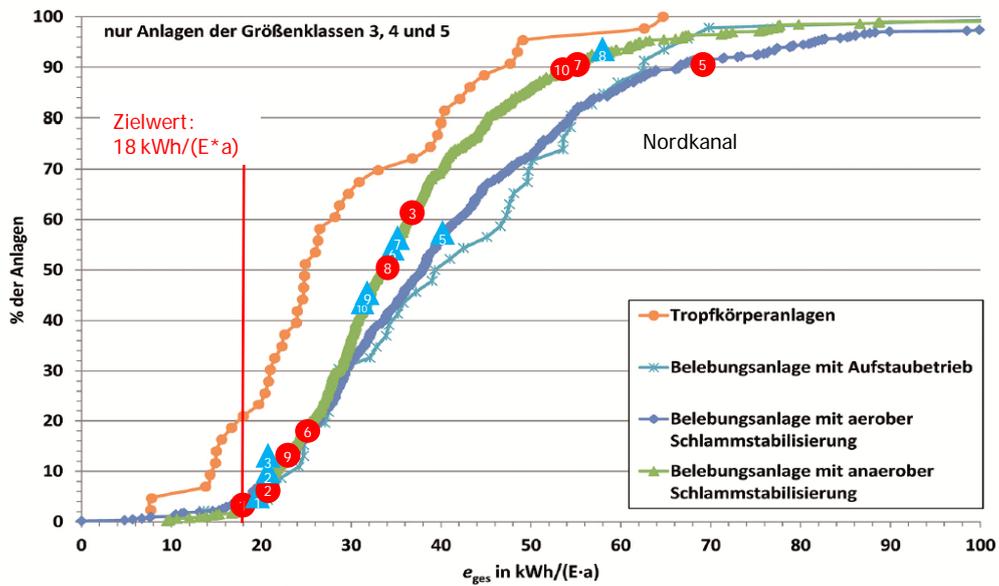
Beim Projekt Lingen (9) hat sich der spezifische Stromverbrauch ebenfalls wegen der gesunkenen Belastung um 8,9 kWh/(E\*a) bzw. 38 % erhöht, obwohl der absolute Stromverbrauch um 19 % reduziert werden konnte.

#### 4.2.3 Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung gemäß DWA A 216

Nach dem DWA-Arbeitsblatt 216 erfolgt der Energiecheck durch den Vergleich der ermittelten Energiekennwerte mit Unterschreitungshäufigkeiten, die die Bandbreite der ermittelten Kennwerte auf Basis realer Betriebsdaten von anderen Kläranlagen verdeutlichen. Die Unterschreitungshäufigkeiten sind darin für die Kennwerte des Energiechecks dargestellt und dienen einer ersten Orientierung. „Liegt der entsprechende Kennwert für den Energieverbrauch einer Anlage im ungünstigen Bereich, kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass Optimierungsmaßnahmen identifiziert werden können. Analog gilt dies auch für die Energieerzeugung (Faulgasanfall, Eigenversorgungsgrad). Die Unterschreitungshäufigkeit des spezifischen Gesamtstromverbrauchs sowie des spezifischen Stromverbrauches der Belüftung beruht auf Datenmaterial aus dem Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen der DWA (Stand 2013)“ [DWA A 216]. Für den Vergleich des einwohnerspezifischen Gasanfalls, des Eigenversorgungsgrades mit elektrischer Energie und dem Grad der Faulgasnutzung wurden zudem die Häufigkeitsverteilungen nach dem 30. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen der DWA von 2017 verwendet.

In folgender Abbildung 4 sind die spezifischen Gesamtstromverbräuche der neun Kläranlagen vor und nach Umsetzung der im Rahmen des UIPs geförderten Maßnahmen, in die Unterschreitungshäufigkeit nach DWA A 216 eingetragen.

Abbildung 4: spezifischer Gesamtstromverbrauch im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216



Legende:

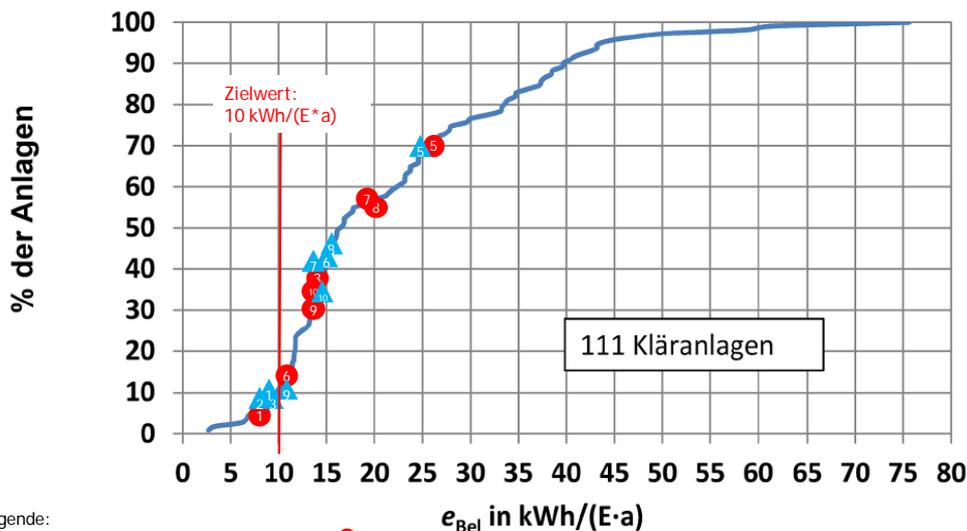
vor Umsetzung der Maßnahme: ●  
nach Umsetzung der Maßnahme: ▲

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Bei insgesamt vier Kläranlagen (3, 5, 7, 10) wurde der spezifische Gesamtstromverbrauch deutlich reduziert, bei zwei Anlagen (1, 2) ist der spezifische Gesamtstromverbrauch annähernd gleichgeblieben und bei den übrigen drei Kläranlagen erhöhte sich der spezifische Gesamtstromverbrauch.

Eine Kläranlage liegt nach Umsetzung der Maßnahmen lediglich beim 92 % Perzentil, was auf ein erhebliches bestehendes Optimierungspotenzial hinweist. Die restlichen Anlagen weisen eine Unterschreitungshäufigkeit von mindestens 60 % auf. Drei Anlagen liegen mit ihrem spezifischen Gesamtstromverbrauch bei den 10 % der besten Anlagen. Auch nach Umsetzung der Maßnahmen verteilen sich die spezifischen Gesamtstromverbräuche weiterhin über einen sehr großen Bereich der Häufigkeitsverteilung.

Abbildung 5: spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216



Legende:

vor Umsetzung der Maßnahme: ●  
nach Umsetzung der Maßnahme: ▲

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

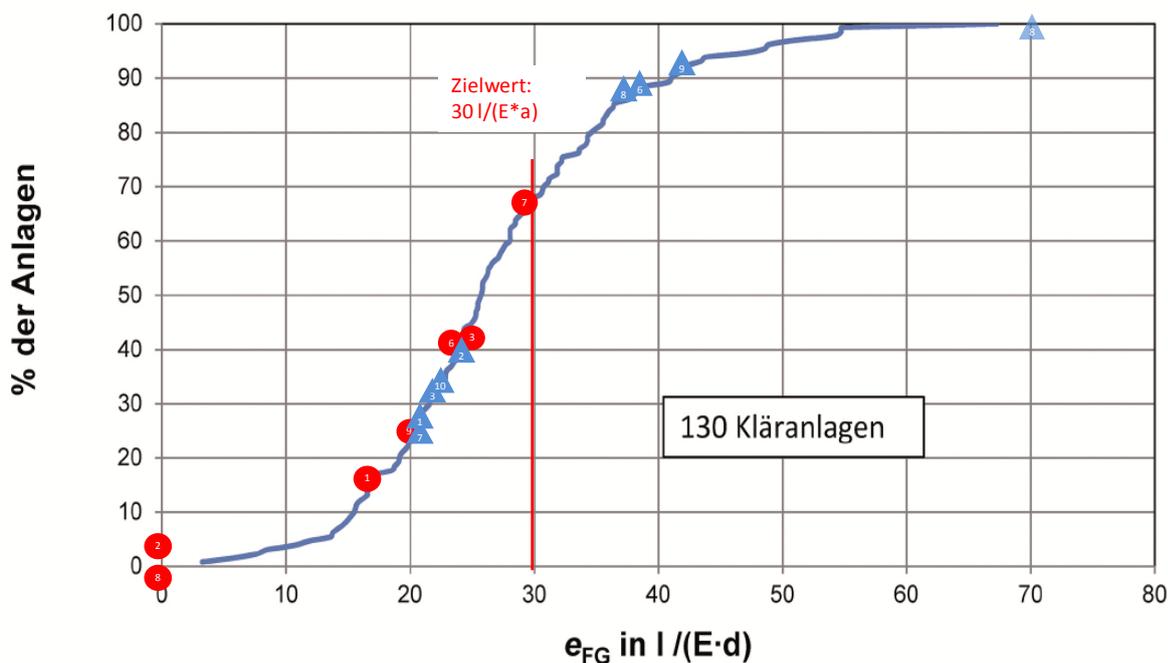
In Abbildung 5 sind die spezifischen Stromverbräuche für die Belüftung vor und nach Umsetzung der im Rahmen des Förderschwerpunktes EAA geförderten Maßnahmen, in die Unterschreitungshäufigkeit nach DWA A 216 eingetragen.

Der spezifische Stromverbrauch für die Belüftung wurde in fünf Kläranlagen reduziert, bei einer Anlage ist der spezifische Stromverbrauch für die Belüftung gleich geblieben, bei einer anderen Kläranlage hat er sich erhöht. Bei zwei Kläranlagen war ein Vergleich der spezifischen Stromverbräuche vor und nach Umsetzung der Maßnahmen nicht möglich, da vor der Umsetzung der Stromverbrauch für die Belüftung nicht erfasst bzw. nicht berechnet wurde.

Eine Anlage hat eine Unterschreitungshäufigkeit für den spezifischen Stromverbrauch der Belüftung von rund 67 %. Vier Anlagen liegen mit ihrem spezifischen Stromverbrauch für die Belüftung zwischen dem 30 %- und 50 %-Perzentil, die restlichen vier Anlagen haben eine Unterschreitungshäufigkeit von max. 10 % und liegen somit mit ihrem spezifischen Stromverbrauch für die Belüftung bei den 10 % der besten Anlagen.

In den folgenden Abbildungen ist der einwohnerspezifische Faulgasanfall der geförderten Kläranlagen vor und nach Umsetzung der Maßnahmen in der Häufigkeitsverteilung dargestellt.

Abbildung 6: spezifischer Gasanfall im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA A 216



Legende:

vor Umsetzung der Maßnahme: ●  
 nach Umsetzung der Maßnahme: ▲

Nicht relevant für Projekt Nr. 4, 5

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

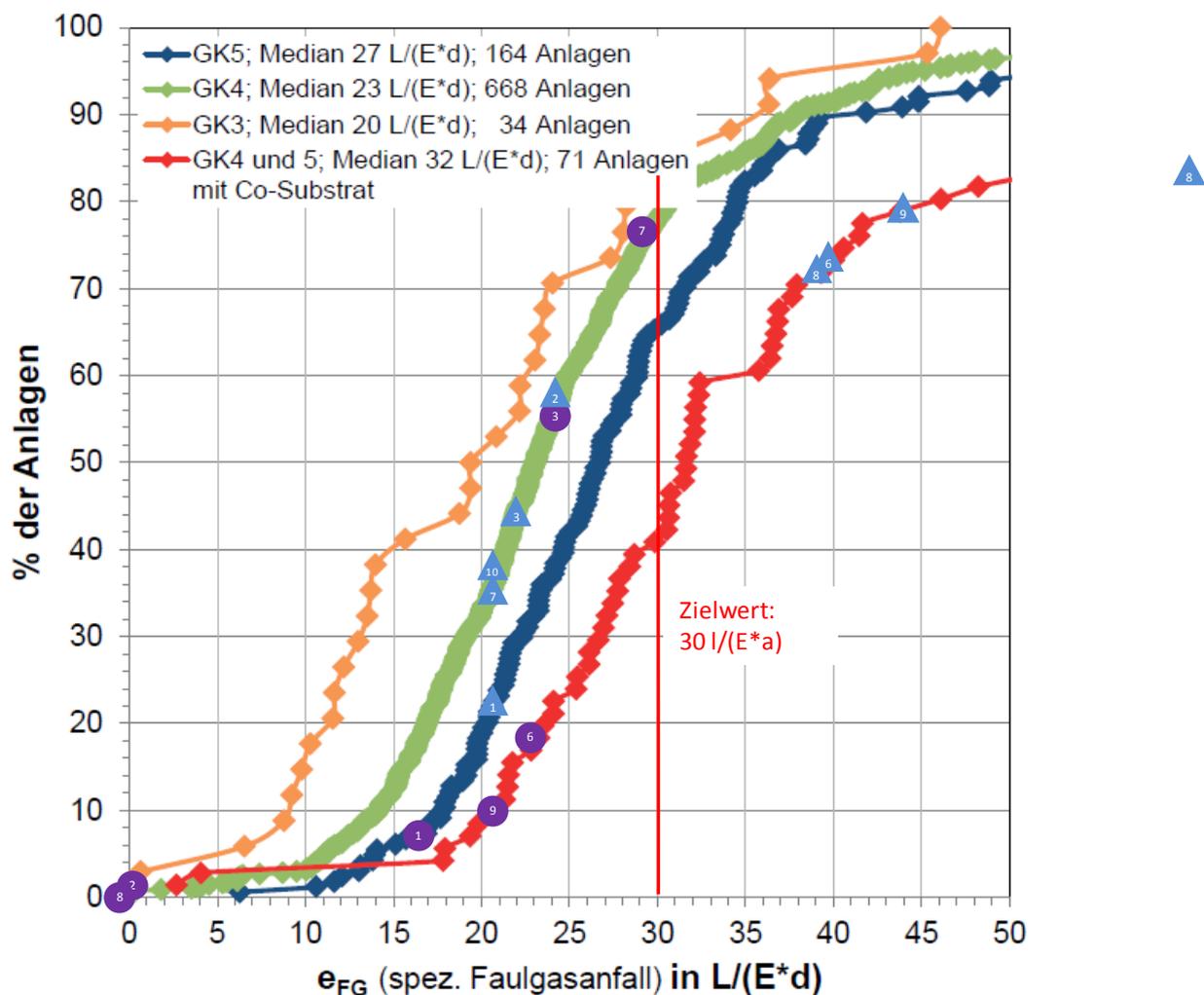
Bei zwei Kläranlagen mit Faulung hat sich der einwohnerspezifische Faulgasanfall verringert, bei den restlichen Anlagen erhöht.

Nach Umsetzung der Maßnahmen liegt der spezifische Faulgasanfall von fünf Kläranlagen im Bereich 20 - 40 %, bei den drei Anlagen mit Co-Vergärung im Bereich 86 - 100 %, also im Bereich der 14 % Anlagen mit der höchsten Faulgasproduktion. Zu beachten ist, dass für die Kläranlage Schlitz zwei Dreiecke eingetragen wurden, da für die Berechnung des einwohnerspezifischen Faulgasanfalls einmal lediglich die Zulauffracht berücksichtigt wurde (mit > 70 l/(E\*d) außerhalb der Grafik. Für die Berech-

nung des zweiten Kennwertes ( $38 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ ) die Einwohnerwerte der Kläranlagen, die den Klärschlamm zur Kläranlage Schlitz liefern, mitberücksichtigt wurden.

Im 30. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen der DWA (Betriebsergebnisse aus dem Jahr 2017) ist ebenfalls der einwohnerspezifische Faulgasanfall als Häufigkeitsverteilung veröffentlicht. Die Datenbasis beruht in dieser Auswertung auf 1.008 Kläranlagen, wobei diese Auswertung zwischen den Größenklassen und zwischen Anlagen mit und ohne Co-Vergärung unterscheidet. Die Ergebnisse aus den sieben Kläranlagenprojekten mit Faulung sind in diese Abbildung eingetragen. Der Graf für die Häufigkeit des Faulgasanfalls der Kläranlagen mit Größenklasse 4 ist nach dem DWA-Leistungsvergleich etwas nach links in Richtung niedrigere Werte verschoben, so dass die Ergebnisse der im Rahmen des UIP geförderten Projekte nach dieser Auswertung einen besseren Vergleichswert (32 bis knapp 60 % ohne Co-Vergärung) erreichen. Bei den Anlagen mit Co-Vergärung ergibt sich bei der Einordnung in die entsprechende Vergleichsgruppe (rote Kurve ganz rechts) eine etwas ungünstigere Bewertung (74 - 84 % Perzentil).

Abbildung 7: spezifische Faulgasproduktion nach Größenklasse, gemäß DWA Leistungsvergleich 2017

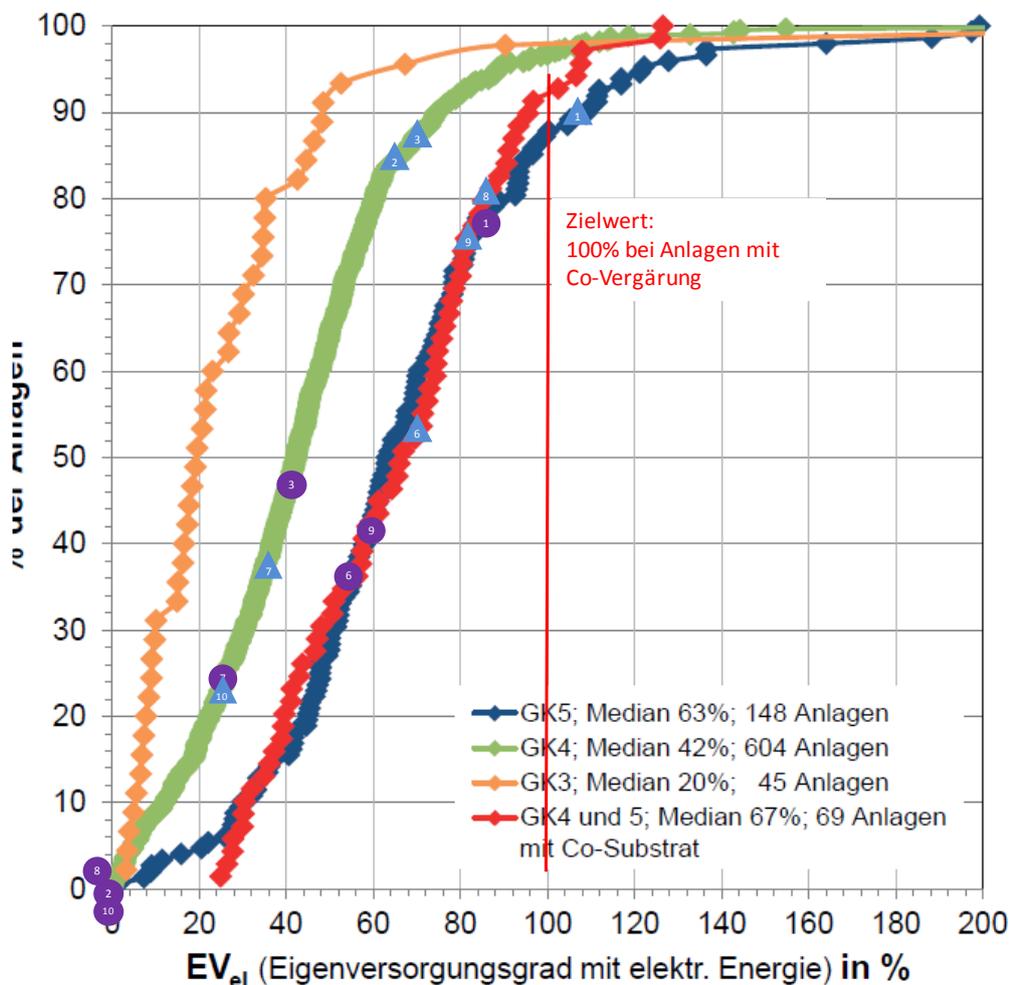


Quelle: DWA Leistungsvergleich 2017, ergänzt iat Darmstadt

Die Ergebnisse zum Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie aus den sieben Kläranlagenprojekten mit Faulung sind in Abbildung 8 eingetragen. Die Kläranlage Blümelatal (3) konnte ihren Eigenversorgungsgrad deutlich steigern und liegt gemeinsam mit der Kläranlage Weilerbach (2) im Bereich 85 - 88 %. Die Kläranlage Treysa (Projekt Schwalmstadt) liegt mit ihrem Eigenversorgungsgrad von

70 % beim 53 %-Perzentil, die Kläranlagen Schlitz und Lingen erreichen mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 75 % bzw. 81 % wesentlich bessere Werte. Die Kläranlage Jena erzielt ohne Co-Vergärung mit über 100 %<sup>29</sup> den höchsten Eigenversorgungsgrad aller untersuchten Anlagen. Lediglich die Kläranlagen Eisenhüttenstadt und Isselburg liegen im schlechten Bereich (< 38 %).

Abbildung 8: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie



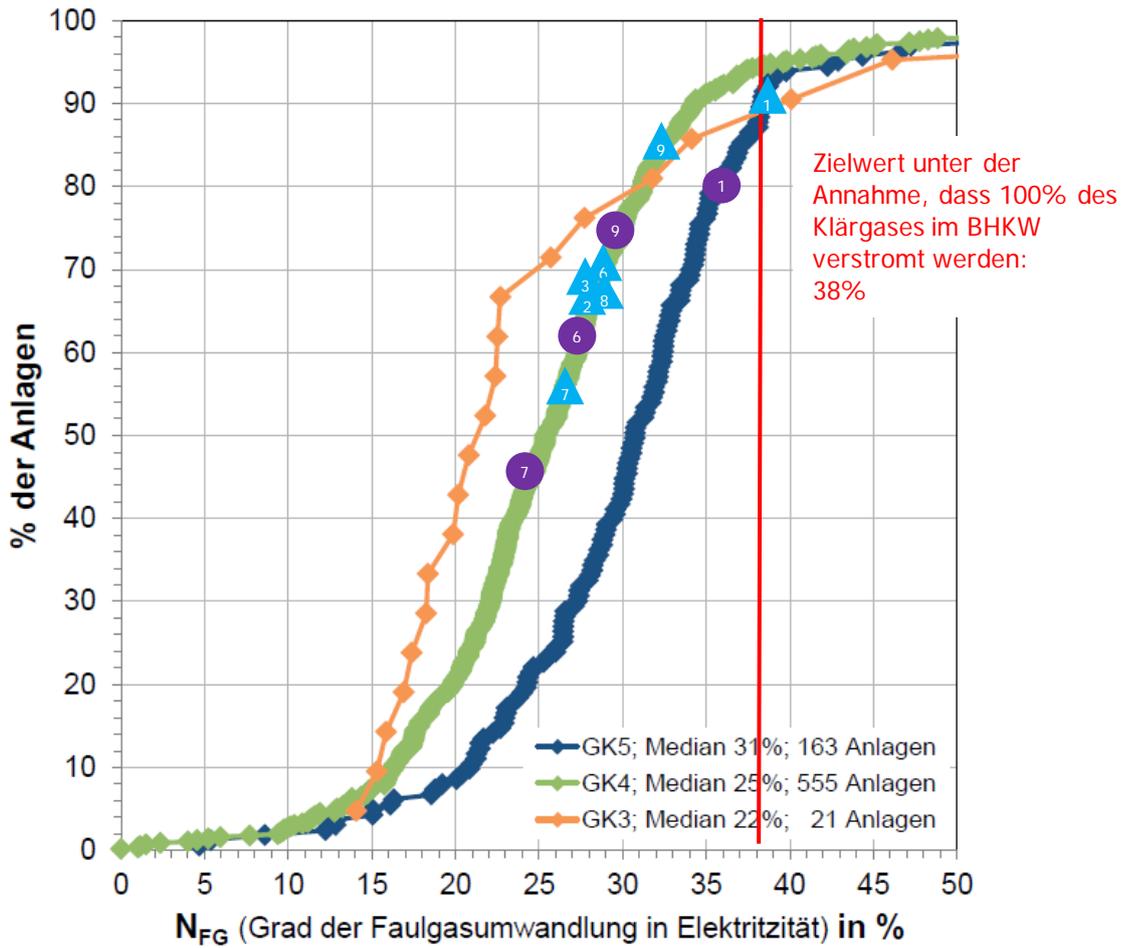
Quelle: DWA Leistungsvergleich 2017, ergänzt iat Darmstadt

Die Ergebnisse zum Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität aus den 8<sup>30</sup> Kläranlagenprojekten mit Faulung sind in Abbildung 9 eingetragen. Unter der Annahme, dass 100 % des anfallenden Faulgases verstromt werden, kann dieser Kennwert dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKWs gleichgesetzt werden. Daher sind die in den Berichten angegebenen elektrischen Wirkungsgrade in dieser Grafik eingetragen. Der Grad der Faulgasumwandlung der beiden Kläranlagen mit der Größenklasse 5 liegt beim 85 - 90 % Perzentil, die restlichen Anlagen beim 57 - 68 % Perzentil.

<sup>29</sup> Bezugsjahr 2015

<sup>30</sup> Für die Kläranlage Isselburg wurden keine Angaben zum Wirkungsgrad des BHKWs gemacht, daher sind die Ergebnisse nicht in der Abbildung eingetragen

Abbildung 9: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität



#### 4.2.4 Zielerreichung

Neben den Förderkriterien haben sich viele Fördernehmer im Antrag weitere eigene Ziele gesetzt. In folgender Tabelle ist zusammengestellt, wie viele dieser Ziele übertroffen (größer 10 % des Zielwertes), erreicht (Abweichung kleiner 10 %) und nicht erreicht (Abweichung größer 10 %) wurden. Da sich die Fördernehmer individuelle Ziele gesetzt haben, ergibt die Summe der Zielerreichung nicht zehn da nicht alle zehn Projekte pro Ziel zu berücksichtigen waren.

Teilweise haben sich die Fördernehmer zudem höhere oder niedrigere Ziele, als in den Förderkriterien vorgegeben, gestellt, diese sind ebenfalls in Tabelle 14 aufgeführt.

Von den selbst gewählten Zielen konnten nicht alle durch die Umsetzung der Maßnahmen erreicht werden. Insgesamt konnten 13 Ziele nicht erreicht werden, bei vier Projekten wurden die zusätzlichen eigenen Ziele erreicht, in sieben Projekten wurden die Ziele übertroffen.

Tabelle 14: Zusammenfassung über das Erreichen der selbst gesetzten Ziele

Kennwert	Einheit	Verfehlt (< 10%)	Erreicht (90 - 110%)	Übertroffen (> 10%)
Stromverbrauch	kWh/(E*a)	3	1	1
Stromverbrauch Belüftung	kWh/E*a)	1		1
CO2-Einsparung	t CO2/a	3	1	2
Reduzierung Zulaufbelastung	E			1
Reduzierung Ablaufrachten/Verbesserung der Reinigungsleistung	-		2	
Reduzierung Stromverbrauch	kWh/a	2		
Verringerung der Klärschlammmenge	t/a	1		1
Senkung Emission klimarelevanter Gase aus dem Nassschlammager	-	1		
Reduzierung externer Strombezug	kWh/a			1
Phosphorrückgewinnung	-	1		
Eigenversorgungsgrad Strom	%	1		
<b>Summe Zielerreichung</b>		<b>13</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

#### 4.2.5 Vergleich der Projektergebnisse mit den Förderkriterien

Grundlage des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ war die Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ von 2008 im Auftrag des UBA. Im Abschlussbericht dieser Studie wurden einwohnerspezifische Zielwerte für den Energieverbrauch veröffentlicht. Für den elektrischen Wirkungsgrad von BHKWs wurde in dieser Studie kein Zielwert definiert, sondern ein Bereich von elektrischen Wirkungsgraden für BHKWs zusammengestellt.

Im Rahmen der Ausschreibung des Förderschwerpunktes EAA wurden vom UBA die im Folgenden aufgeführten Zielwerte für den spezifischen Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage (insgesamt) und den spezifischen Energieverbrauch für die Belüftung vorgegeben. Für besondere Randbedingungen waren zudem Korrekturen der Zielwerte vorgesehen. Für Kläranlagen mit Faulung wurden zudem weitere Zielwerte für die Gasproduktion und Verwertung vorgegeben, die ebenfalls in Tabelle 15 zusammengestellt sind.

In der Tabelle 15 sind die einzelnen Förderkriterien und die Anzahl an Anlagen, die dieses nach Umsetzung der Maßnahme übertroffen (>10 %), erreicht (90 - 110 %) oder nicht erreicht haben (< 10 %), dargestellt. Zudem ist die Anzahl an Projekten aufgeführt, für die dieses Förderkriterium nicht relevant ist (siehe auch Anhang Tabelle 30).

Lediglich das Förderkriterium „Eigenversorgungsgrad Wärme“ konnte von allen relevanten Kläranlagen erreicht werden, die Eigenversorgung mit Strom wurde von den drei Kläranlagen mit Co-Vergärung nicht erreicht. Zu bemerken ist, dass die Kläranlage Jena im Jahr 2015 einen  $EV_{elek}$  von 100 % ohne Co-Vergärung erreicht hat.

Die restlichen Förderkriterien konnten entweder nicht oder nur von einigen Anlagen erreicht werden. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Projekte bestimmte Ziele (Verringerung des Stromverbrauches oder Erhöhung der Faulgas- bzw. Stromproduktion) verfolgten und somit nicht alle Förderkriterien von allen Projekten erreicht werden mussten.

Zum Förderkriterium „gesamter spezifischer Stromverbrauch“ ist anzumerken, dass die Kläranlage Nordkanal dieses Kriterium übertroffen hat. Hierbei handelt es sich eine Membranbelebungsanlage, deren Zielwert bei 82 kWh/(E\*a) liegt.

Tabelle 15: Erreichte Förderkriterien

Kennwert	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Verfehlt (< 10%)	Erreicht (90 - 110%)	Übertroffen (> 10%)	Nicht relevant oder keine Angabe
Jahresarbeitszahl	JAZ	-	<b>4,5</b>	1			
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	<b>18</b>	6	2 <sup>31</sup>	1 <sup>32</sup>	1
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	<b>10</b>	5	1	3	1
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	<b>30</b>	4		3	3
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	<b>100</b>		7		3
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	<b>38</b>	6	1		3
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	<b>100</b>		6	1	3
Eigenversorgungsgrad Strom (nur relevant für Anlagen mit Co-Vergärung)	$EV_{elek}$	%	<b>100</b>	3			7
<b>Summe</b>				<b>25</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	

### 4.3 Hindernisse bei der Umsetzung der Maßnahmen und hilfreiche Einflussfaktoren

Lediglich vier Fördernehmer gaben an, dass ihr Projekt innerhalb der Projektlaufzeit vollständig umgesetzt werden konnte, einzelne Teilaspekte der Projekte wurden noch nach Projektabschluss weiter bearbeitet. Als Verzögerungsgründe wurden Witterungsverhältnisse während der Bauphase, Liefer-

<sup>31</sup> Unter Berücksichtigung von Korrekturfaktoren und des 90% Bereiches

<sup>32</sup> Projekte Nordkanal, die Membranbelebungsanlage hat Zielwert von 82 kWh/(E\*a)

schwierigkeiten und personelle Vakanzen genannt. Bei einigen Projekten sind weitere Optimierungsmaßnahmen geplant, mit denen die Energieeffizienz der Anlage gesteigert werden soll.

Die Fördernehmer wurden nach den Hindernissen bei der Umsetzung der Maßnahmen und nach hilfreichen Einflussfaktoren befragt, die einzelnen Antworten sind im Anhang zu diesem Bericht zusammengestellt. Grundsätzlich lassen sich die genannten Haupthindernisse wie folgt zusammenfassen:

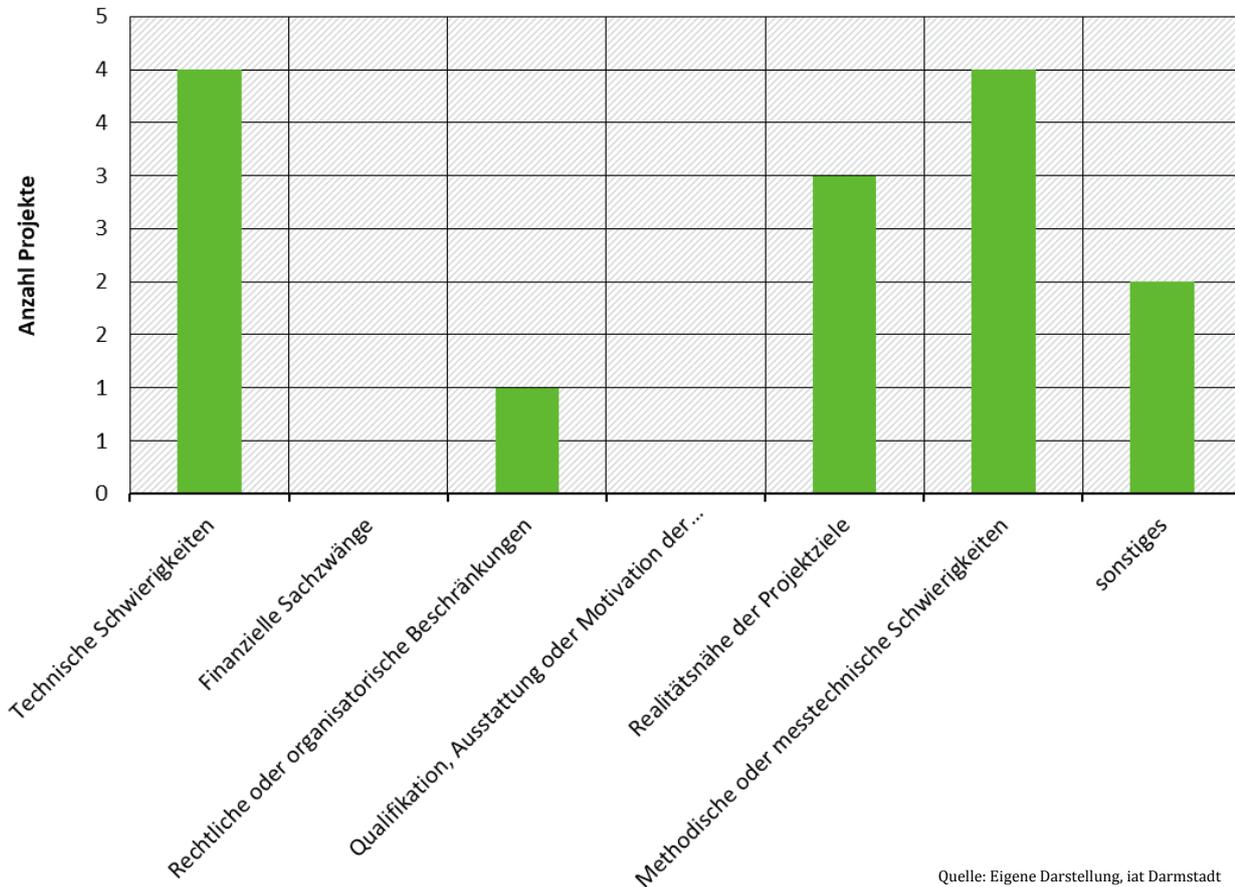
- ▶ Zeitdruck, da der Zeitrahmen zwischen Förderzusage und Projektende, das vom Fördernehmer selbst festgelegt wurde, kurz war.
- ▶ Wenn Folgeinvestitionen erforderlich wurden, mussten diese erst in den einzelnen Wirtschaftsplänen berücksichtigt werden und konnten nur zeitversetzt über Ausschreibungsverfahren realisiert werden.
- ▶ Umbau bei vollem Betrieb der bestehenden Anlage (Koordinationsaufwand), z. B. Projekt Wiesental: Einbau des Abwasserwärmetauschers im innerstädtischen Bereich konnte nur bei Trockenwetter und nachts durchgeführt werden.
- ▶ Änderungen in der Gesetzgebung (Bund) während Planung und Bau (speziell EEG), schwierige energierechtliche Fragestellung für die Strom- und Wärmelieferung eines externen BHKWs.
- ▶ (Schwierige) Genehmigungsverfahren.
- ▶ Probleme mit der bautechnischen Ausführung, was zur Anpassung der Maßnahmen während der Umbauphase führte.
- ▶ Mitarbeiter der Kläranlagen mussten von den positiven Aspekten, die durch die Umbaumaßnahmen entstehen, überzeugt werden, so dass sie den hohen zusätzlichen personellen Aufwand auch getragen haben.
- ▶ Wechsel und Vakanzen in der Betriebsführung.
- ▶ Insolvenzen von Auftragnehmern.
- ▶ Nachrüstung bzw. Anpassung von Aggregaten aufgrund technischer Schwierigkeiten (z. B. Projekt Schwalmstadt: Kondensatbildung in Gasleitung, führte zur Nachrüstung einer Faulgastrocknung; Projekt Lingen Schwierigkeiten bei der Schlammentwässerung führte zum Einbau eines weiteren Entwässerungsaggregates).
- ▶ Besondere / schwierige Baugrundverhältnisse.
- ▶ Beschaffung von Biomasse zur Deammonifikation.
- ▶ Interkommunale Zusammenarbeit und Beteiligung Dritter schwieriger als erwartet, da teilweise unterschiedliche Planungshorizonte und Interessen vorlagen.
- ▶ Hohe Rückbelastung durch Annahme von Fremdschlämmen.

Alle erwähnten Schwierigkeiten sind auf die vorhandenen Randbedingungen, technischen Schwierigkeiten und innerbetriebliche Gründe zurückzuführen, die grundsätzlich bei Optimierungsmaßnahmen entstehen können.

Neben diesen allgemeinen Angaben zu den Umsetzungshindernissen bzw. Schwierigkeiten, sollten die Fördernehmer Gründe nennen, warum die Projektziele nicht erreicht wurden. Hierzu wurden verschiedene Oberbegriffe wie „technische Schwierigkeiten“, „finanzielle Sachzwänge“, „rechtliche oder organisatorische Beschränkungen“, „Qualifikation, Ausstattung oder Motivation der Projektbeteiligten“, „Realitätsnähe der Projektziele“ und „Methodische oder messtechnische Schwierigkeiten“ vorgegeben. Antworten auf diese Frage wurden lediglich von den sieben Fördernehmern gegeben, die die

Ziele nicht erreicht haben. In folgender Abbildung 10 sind die Anzahl der Antworten auf die Oberbegriffe dargestellt. Am häufigsten wurden technische Schwierigkeiten und methodische oder messtechnische Schwierigkeiten als Grund dafür genannt, dass die Ziele nicht erreicht werden konnten.

Abbildung 10: Gründe, warum die Ziele nicht erreicht wurden



Im Einzelnen wurden von den Fördernehmern folgende Erläuterungen zu den Schwierigkeiten gegeben:

- ▶ technische Schwierigkeiten:
  - ▶ Projekt Wiesental: durch die Anforderungen der TrinkwV muss die Vorlauftemperatur mindestens 50°C betragen und liegt daher immer zwischen 50 und 55°C. Dadurch wurde die zunächst angegebene Jahresarbeitszahl von 4,2 auf 3,8 abgeschwächt.
  - ▶ Projekt Schwalmstadt: Herstellung der Gasleitung (Spülbohrung statt offene Bauweise); Herstellung einer großen Abdeckhaube zur Erfassung des Gases aus dem Nassschlammmlager war nicht möglich. Verfahrensänderung der Trübwasserbehandlung aufgrund des schlechten Absetzverhaltens im Nacheindicker.
  - ▶ Projekt Schlitz: Erzielung eines möglichst hohen Gasertrags aus den Fremdschlämmen ist bis heute nicht erreicht, bedingt dadurch, dass die betreffenden Anlagenbetreiber die Betriebsweise ihrer Anlagen nicht entsprechend auf eine Teilstabilisierung umgestellt haben.
  - ▶ Projekt Lingen: Der Anteil an "unlöslichen" Phosphor-Verbindungen im Schlamm ist zu hoch. Schwierigkeiten bei der Abscheidung der Kristalle, hier liegen noch zu wenig Ba-

sisinformationen über die Grundlagen der Kristallbildung und des Kristallwachstums in dem Schlammgemisch vor.

- ▶ rechtliche oder organisatorische Beschränkungen:
  - ▶ Projekt Schwalmstadt: Für die beantragten Co-Substrate wurden zum Teil keine Genehmigungen seitens der Wasserbehörde erteilt bzw. standen nicht mehr zur Verfügung.
- ▶ Realitätsnähe der Projektziele:
  - ▶ Projekt Schwalmstadt: Die geplante Nutzung des Gases aus dem Nacheindicker hat weniger wirtschaftlichen Nutzen, sondern dient eher der Erfassung und Dokumentation der Gasemission aus Nassschlamm lagern.
  - ▶ Projekt Oderaue: Die Deammonifikation im Hauptstrom benötigt mehr Zeit als im Fördermittelantrag festgelegt.
  - ▶ Projekt Schlitz: geforderte elektrische Wirkungsgrade von > 38% bei kleinen BHKW nicht erreichbar, Zielwert von  $e_{ges} = 18 \text{ kWh}/(E \cdot a)$  bei Anlagen der Größenordnung (10.000 EW) nicht erreichbar.
- ▶ Methodische oder messtechnische Schwierigkeiten:
  - ▶ Projekt Weilerbach: Rückgang der  $EW_{BSB5}$  um rd. 17 % (schwankende Werte je nach Jahreszeit).
  - ▶ Projekt Schwalmstadt: Die Nitratkonzentrationen konnten lediglich indirekt über die Analyse von  $N_{ges}$  und  $NH_4-N$  und  $NO_2-N$  bestimmt werden. Der Biofilm bildete sich sehr langsam aus (trotz Zugabe von Impfschlamm, Kalk, Zucker). EWs haben sich über die Projektlaufzeit nicht erklärbar verringert.
  - ▶ Projekt Schlitz: z.T. schwierige Zuordnung des Stromverbrauchs einzelner Aggregate zu Baugruppen aufgrund bereits vorhandener E-Installation.
  - ▶ Projekt Lingen: die EW-Belastung der Kläranlage hat sich in den letzten Jahren von etwa 140.000 EW (2011) auf etwa 90.000 EW reduziert. Der hohe Grundstromverbrauch bleibt.

Neben den Hindernissen wurden nachgefragt, welche Randbedingungen oder Einflussfaktoren für die Umsetzung der Projekte hilfreich waren:

- ▶ Sehr gute, konstruktive und zielorientierte Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern.
- ▶ Kenntnisse des Personals auf der Kläranlage.
- ▶ Bei der Nutzung von Abwärme aus der Kanalisation war es hilfreich, dass alle Gebäude, die mit der Wärme versorgt werden, im Besitz eines Eigentümers sind. Dadurch wurden die kundenseitigen Schnittstellen auf eine juristische Person minimiert. Zudem ist die Leitungsverlegung in die Wohnungen kundenseitig erfolgt.
- ▶ Unterstützung der Geschäftsführung.
- ▶ Verfügbarkeit der erforderlichen Flächen auf dem Gelände der Kläranlage: zur Anlagenerweiterung mussten keine Flächen hinzugekauft werden.
- ▶ Ein externer Abnehmer für Faulgas ist in mittelbarer Entfernung vorhanden.

- ▶ Aus den vorhandenen Schlammsilos aus Beton kann das Trübwasser gut abgezogen werden, dadurch konnte der Nacheindicker einfach umfahren werden.
- ▶ Mehrstraßige Belegung, wodurch eine Straße außer Betrieb genommen werden konnte, da sich die Zulaufbelastung erheblich reduziert hat.
- ▶ Die sehr gute Projektunterstützung durch die projektbeteiligten Firmen.

## 4.4 Realisierte Einsparungen in den Projekten

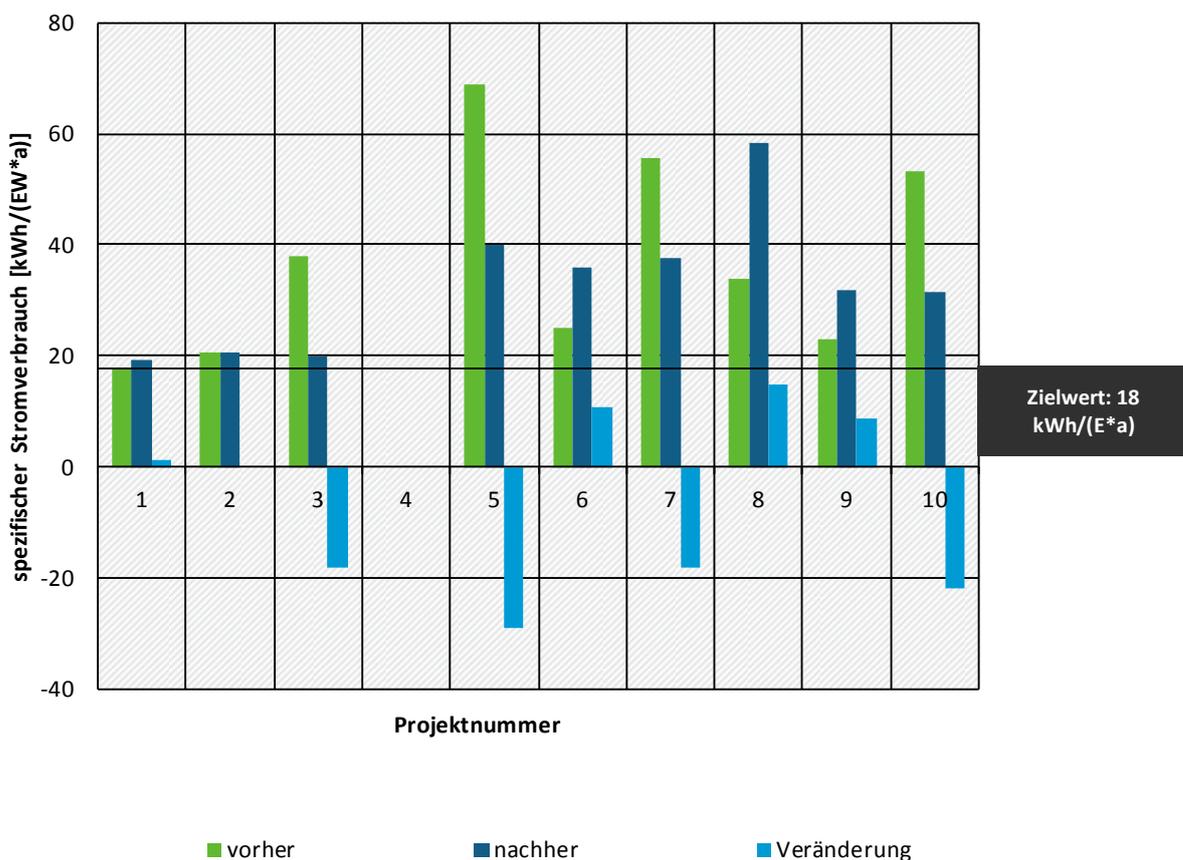
### 4.4.1 Auswahl der Parameter und Bezugsrahmen

Bei der Darstellung der erreichten Einsparungen werden die Parameter Stromeinsparung, Stromerzeugung, Einsparung Wärmeenergie und CO<sub>2</sub> berücksichtigt.

### 4.4.2 Stromeinsparung

Die Stromeinsparung kann zum einen auf den einwohnerspezifischen Stromverbrauch zum anderen auf den absoluten Stromverbrauch bezogen werden. In folgender Abbildung sind die spezifischen Gesamtstromverbräuche vor und nach Umsetzung der Maßnahme und die Veränderung dargestellt.

Abbildung 11: einwohnerspezifische Gesamtstromverbräuche



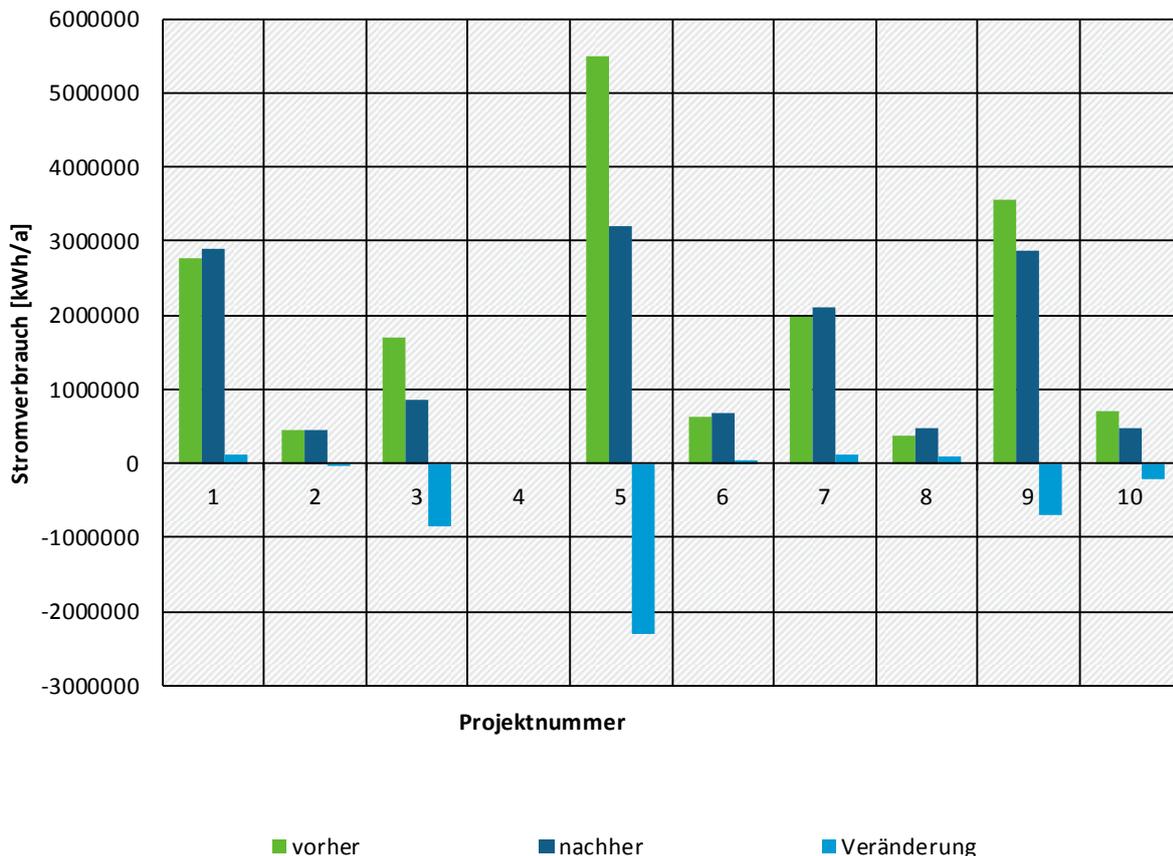
Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Das arithmetische Mittel beim spezifischen Gesamtstromverbrauch der neun Kläranlagen ist von 37,4 kWh/(E\*a) auf 32,8 kWh/(E\*a) gesunken, so dass die mittlere Einsparung bei 4,6 kWh/(E\*a) liegt, wobei die Maximalwerte bei einer Erhöhung um 24,4 kWh/(E\*a) und einer Einsparung von 29

kWh/(E\*a) liegen. Beim gewichteten Mittelwert sank der spezifische Stromverbrauch von 32,6 auf 29,3 kWh/(E\*a) ab, was einer mittleren Einsparung von 3,3 kWh/(E\*a) entspricht.

Erwartungsgemäß sind die höchsten Potenziale dort zu finden wo der Kennwerte vorher vergleichsweise hoch war.

Abbildung 12: Gesamtstromverbräuche



Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Werden die absoluten Stromverbräuche betrachtet, so konnten durch die Umsetzung des UIP-Förderschwerpunktes eine Stromeinsparung von insgesamt rund 3.655<sup>33</sup> MWh/a bzw. 21 % erreicht werden, wobei auch hier die Einzelwerte zwischen einer Erhöhung um 130 MWh/a und einer maximalen Einsparung von 2.292 MWh/a liegen. Insgesamt konnte der absolute Stromverbrauch von vier Kläranlagen reduziert werden, bei den restlichen sechs Projekten ist der Stromverbrauch angestiegen. Vor allem durch die sehr große Stromeinsparung im Projekt Nordkanal ergibt sich die positive Bilanz.

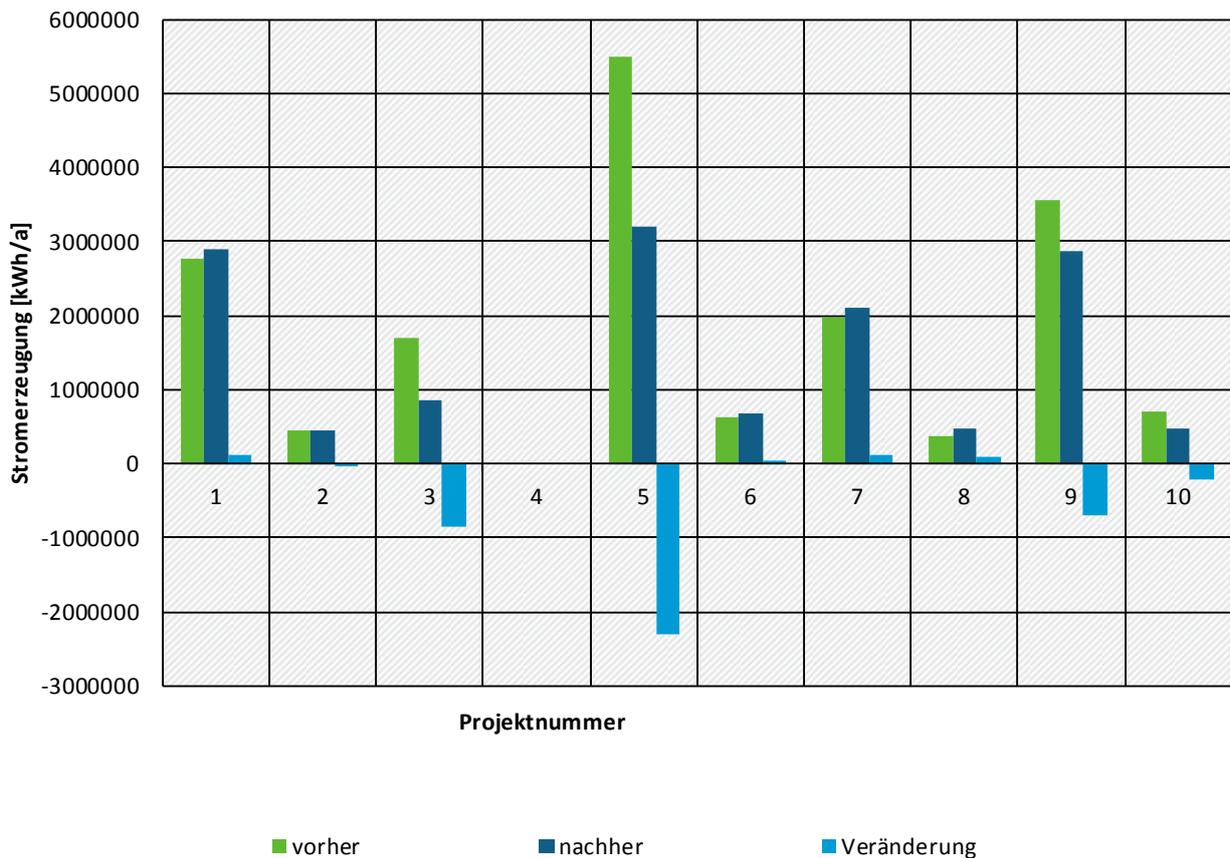
#### 4.4.3 Stromerzeugung

In folgender Abbildung ist die Stromerzeugung der Kläranlagen vor und nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt. Diese Stromerzeugung wurde teilweise über den angegebenen Eigenversorgungsgrad und den Gesamtstromverbrauch rückgerechnet. Mit Ausnahme von Projekt 3 (Kläranlage

<sup>33</sup> Von 17.692 MWh/a auf 14.037 MWh/a

Blümetal) konnten alle anderen Projekte ihre Stromerzeugung erhöhen. Die Erhöhung beruht bei den Projekten Schlitz und Weilerbach auf der Umstellung von aerober Stabilisierung auf Faulung. Weitere Gründe für die Erhöhung der Stromerzeugung liegen in der Erhöhung der Faulgasmenge durch Co-Vergärung, Erhöhung der Aufenthaltszeit in der Faulung und Desintegration. Die Umstellung im Betrieb von BHKWs (mehr Volllastzeiten) und der Austausch durch effizientere BHKWs führten ebenfalls zu einer Erhöhung der Stromerzeugung.

Abbildung 13: Stromerzeugung vor und nach Umsetzung der Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Insgesamt konnte die Stromerzeugung um rund 28 % von 6.102 auf 7.813 MWh/a erhöht werden.

#### 4.4.4 Einsparung Wärmeenergie

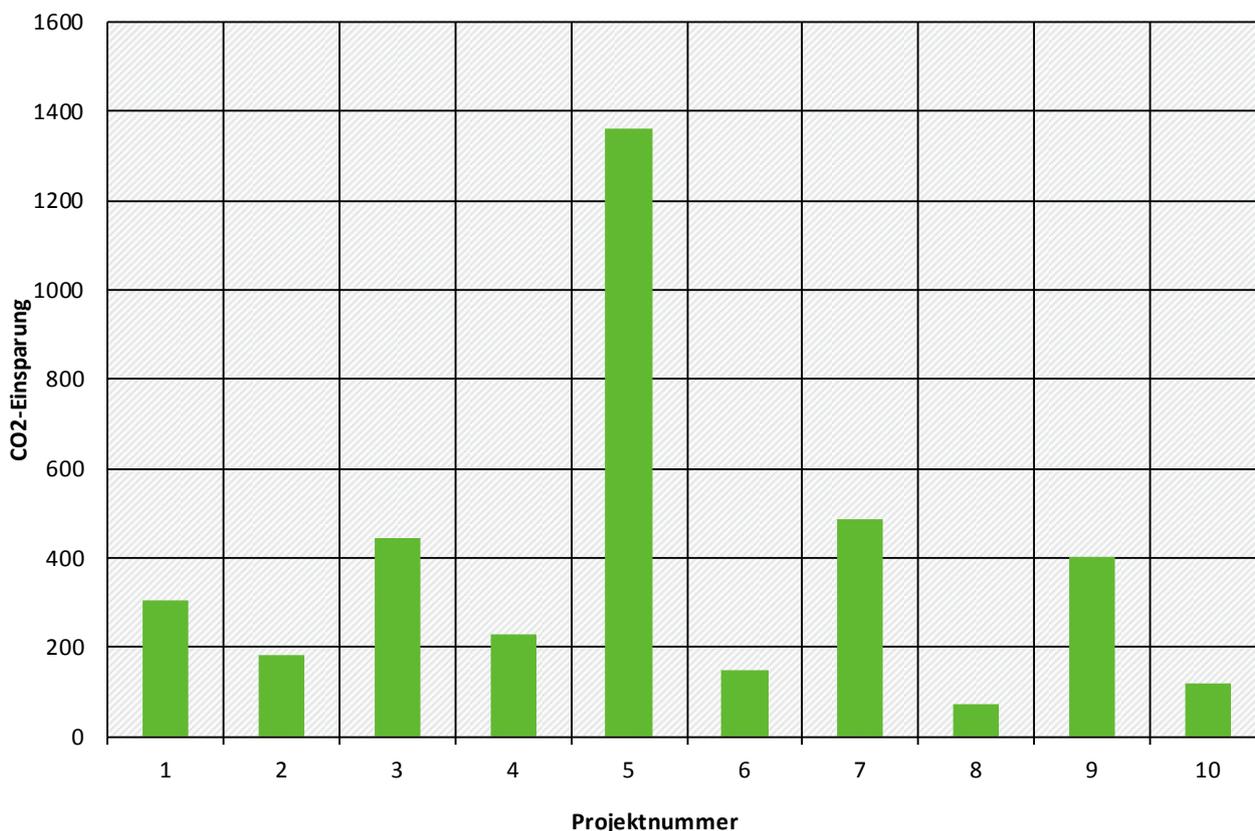
Lediglich in einzelnen Projektberichten ist die eingesparte Wärmeenergie quantifiziert. Herauszuheben ist dabei das Projekt Wiesental, welches durch die Nutzung der Abwärme aus der Kanalisation und der Nutzung von strombetriebenen Wärmepumpen rund 1.394 MWh Erdgas substituiert hat. Die restlichen Berichte enthalten den Eigenversorgungsgrad an Wärme, wobei über diese Angabe eine mögliche Einsparung nicht quantifizierbar ist. In zwei Projekten (Schlitz und Weilerbach) ist durch den Bau einer Faulung der Wärmebedarf erheblich angestiegen, wobei dieser durch die Nutzung des Faulgases abgedeckt werden kann.

#### 4.4.5 CO<sub>2</sub>-Einsparungen

In allen Projekten konnte eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht werden. Diese Einsparungen wurden zum einen durch die Reduzierung des Stromverbrauches zum anderen durch die Nutzung von

Faulgas zur Strom- und Wärmeerzeugung und die Nutzung von PV-Strom realisiert. Die Einsparungen wurden von den Fördernehmern berechnet, wobei unterschiedliche spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen angesetzt wurden, die zwischen 476 g CO<sub>2</sub> pro kWh Strom und 569 g CO<sub>2</sub>/kWh Strom liegen. In den meisten Projekten wurde die CO<sub>2</sub>-Einsparung über die Reduzierung des Stromverbrauches oder über die Substitution fossiler Brennstoffe durch Faulgasnutzung bzw. durch die Abwärmenutzung errechnet. In einem Projekt wurden zudem Einsparungen durch die Verminderung von Methanemissionen und durch die Verringerung des Schlammtransportes erreicht.

Abbildung 14: CO<sub>2</sub>-Einsparungen



Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Insgesamt konnten rund 3.750 t/a CO<sub>2</sub> eingespart werden, die mittlere Einsparung pro Anlage betrug 374 t/a CO<sub>2</sub>. Die höchste Einsparung wurde bei der Kläranlage Nordkanal mit 1.360 t CO<sub>2</sub>/a erzielt, die hauptsächlich auf die große Stromeinsparung und im kleineren Maße durch die Nutzung von PV-Strom zurückzuführen sind. Die geringste CO<sub>2</sub>-Einsparung liegt bei 74 t CO<sub>2</sub>/a bei der Kläranlage Schlitz. Hier wurden die Einsparungen durch die Nutzung von Faulgas zur Strom und Wärmeerzeugung durch den höheren Stromverbrauch der Kläranlage reduziert. Im Messzeitraum konnte die Faulung mit Gaserzeugung und Gasnutzung im BHKW allerdings nicht störungsfrei betrieben werden. Bei einem störungsfreien Betrieb wurde die CO<sub>2</sub>-Einsparung mit rund 163 t CO<sub>2</sub> abgeschätzt.

#### 4.4.6 Ressourceneffizienz

Drei Fördernehmer gaben an, dass sie durch die Umsetzung der Maßnahmen ihren Betriebsmitteleinsatz deutlich verringern konnten.

Die Kläranlage Weilerbach konnte ihren Kalkeinsatz zur Klärschlammkonditionierung um rund 37 % reduzieren. Auf der Kläranlage Blümelstal wurde durch die Erhöhung der biologischen Phosphor-Elimination die Fällmittelmenge um 2/3 reduziert. Auf der Kläranlage Lingen wurde der Polymerverbrauch um 20 - 30 % und der Verbrauch der eisenhaltigen Lösung um 50 - 70 % reduziert.

Zudem wurde eine Phosphor-Rückgewinnungsrate von rund 13 % im Vergleich zur Phosphor-Zulaufkraft erreicht.

Die Ressourceneffizienz hat sich im Wesentlichen nur bei der Schlammbehandlung verbessert, ansonsten wurden keine signifikanten Veränderungen erwähnt.

## 4.5 Reinigungsleistung

Bei den Kläranlagen steht grundsätzlich die Reinigungsleistung im Vordergrund. Da von einigen Kläranlagenbetreibern befürchtet wird, dass eine energetische Optimierung der Anlage zu Lasten der Reinigungsleistung führt, wurden die Fördernehmer über den allgemeinen Fragebogen gefragt, ob sich die Reinigungsleistung durch die Umsetzung der Maßnahmen geändert hat.

Vier Fördernehmer gaben an, dass sich die Reinigungsleistung ihrer Kläranlage verbessert hat, bei den anderen fünf Kläranlagen hat sich die Reinigungsleistung nicht geändert. Fünf Betreiber gaben zudem an, dass sich die Betriebsstabilität ihrer Anlage verbessert hat, bei den restlichen vier Anlagen ist diese gleich geblieben. Bei keiner Anlage hat sich die Reinigungsleistung oder die Betriebsstabilität verschlechtert.

Zudem wurden von einigen Fördernehmern weitere Verbesserungen durch die Umsetzung der Projekte genannt wie beispielsweise:

- ▶ Betriebsoptimierung der BHKW-Anlage.
- ▶ Reduzierung Wartungsaufwendungen BHKW-Anlage.
- ▶ Bessere Entwässerung des Faulschlammes und dadurch Einsparung von Kalk.
- ▶ Weniger Chemikalieneinsatz.
- ▶ Durch die Änderungen im Prozessleitsystem besteht eine bessere Kontrolle der Energieverbräuche einzelner Aggregate, die zudem Rückschlüsse auf den Verschleißzustand über den Energieverbrauch zulassen.
- ▶ Das Störfallmanagement wurde verbessert.

Somit zeigt sich, dass es keinen systematischen Widerspruch zwischen Verbesserung der Energieeffizienz und Reinigungsleistung der Kläranlagen gibt.

## 4.6 Wirtschaftlichkeit

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Projekten stehen unterschiedliche Berechnungsansätze zur Verfügung (u. a. Berechnung von Amortisationszeiten, Barwertbestimmung gemäß Kostenvergleichsrechnung nach LAWA, Kosten-Nutzen Analyse). Bei allen Berechnungsansätzen müssen bestimmte Variablen wie Preissteigerungsraten, Nutzungsdauer von Aggregaten und Bauwerken sowie Real- oder Kapitalmarktzinsen festgelegt werden. Diese Variablen sind dabei nicht fest vorgegeben, sondern können in einem bestimmten Rahmen gewählt werden, was zu sehr unterschiedlichen Bewertungen der Wirtschaftlichkeit führt. Beispielsweise gilt eine Amortisationszeit von fünf bis zehn Jahren im industriellen Bereich bereits als unwirtschaftlich, während Kommunen gerade bei Infrastrukturmaßnahmen eine Nutzungsdauer und damit Amortisationszeit von 30 Jahren durchaus noch als wirtschaftlich ansehen.

Dazu wurden seitens des Fördermittelgebers keine Vorgaben gemacht. Es wurde nicht festgelegt, ob bei einer Projektförderung die Wirtschaftlichkeit nach Abzug der Fördersumme bei den Investitionskosten oder ohne Abzug der Fördersumme bei den Investitionskosten berechnet werden sollte. Dem-

entsprechend haben die Fördernehmer jeweils unterschiedliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ihres Projektes durchgeführt, wobei sowohl unterschiedliche Methoden und Kriterien (z. B. Amortisation, KNA, Barwertmethode) als auch unterschiedliche Ansätze für die Variablen gewählt wurden, so dass ein direkter Vergleich der Wirtschaftlichkeit aller Projekte nicht möglich ist.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Kosten bzw. Einsparungen durch eine gleichzeitige Kapazitätserweiterung aufgrund der Maßnahmen meist nicht exakt quantifizierbar sind. Auch wurden teilweise ohnehin erforderliche Sanierungsmaßnahmen in die Projektkosten für die Energieeinsparung einbezogen. Bei einer Kombination von Maßnahmen innerhalb eines Projektes ist eine wirtschaftliche Analyse der einzelnen Maßnahmen kaum möglich, da die erreichten Einsparungen nicht den Einzelmaßnahmen zugeordnet werden können. Gleiches gilt für die Berücksichtigung von Mehrkosten oder Einsparungen bei sonstigen Betriebsmitteln. Auch wenn kleinere Maßnahmen bei einer Einzelbetrachtung unwirtschaftlich sind, kann das Gesamtprojekt insgesamt wirtschaftlich sein, wenn die restlichen Maßnahmen entsprechend wirtschaftlich sind. Genauso kann bei einer Betrachtung des Gesamtprojektes dieses unwirtschaftlich sein, auch wenn einzelne Teilmaßnahmen wirtschaftlich sind. Daher ist bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Bezug auf Einzelmaßnahmen oder Gesamtprojekt zu berücksichtigen.

Dies vorausgeschickt, wird im nachfolgenden Abschnitt versucht, Tendenzen bei der Wirtschaftlichkeit der zehn Projekte und ihrer Teilmaßnahmen abzuleiten.

Aus den vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen innerhalb der Abschlussberichte können auch ohne eine exakt quantifizierte Betrachtung einige grundsätzliche Aussagen zur Wirtschaftlichkeit getroffen werden:

- ▶ Der Neubau einer Faulung hat relativ lange Amortisationszeiträume. Die Wirtschaftlichkeit bei der Faulgaserzeugung (Umstellung von aerober simultaner Schlammstabilisierung auf Faulung) ist deshalb stark abhängig von der Umnutzung des Bestands, der gewählten Bauweise und Bemessung für Faulturm und Gasspeicher. Bei einem Neubau der Faulung sollte das Faulraumvolumen eher klein gehalten werden, um eine Gesamtwirtschaftlichkeit zu erreichen. Aufgrund der hohen Grundkosten kann die Nutzung von zentralen Faulanlagen wirtschaftlicher als der Bau von mehreren dezentralen Faulanlagen sein.
- ▶ Der Austausch von ineffizienten und/oder nicht mehr an den Bedarf angepassten Aggregaten und Belüfterelementen ist tendenziell sehr rentabel. Gleiches gilt für Änderungen im Bereich der Steuerung/Regelung.
- ▶ Der aktuell hohe Strompreis begünstigt die Rentabilität von Strom-Einsparmaßnahmen stark.
- ▶ Die Nutzung von Abwärme über (elektrisch) betriebene Wärmepumpen ist tendenziell eher unwirtschaftlich da relativ hohe Investitionskosten anfallen und der hohe Strompreis im Vergleich zum Wärmepreis die Betriebskosten ebenfalls nach oben treibt. Es müssen daher sehr günstige Randbedingungen für eine ausreichende Rentabilität vorliegen (z. B. hohe Abwassertemperaturen bei gleichzeitig niedrigem Temperaturniveau bei der Nutzung der Abwärme oder wechselweise Nutzung des Abwassers für Kühlzwecke im Sommer und Heizzwecke im Winter).

## 5 Evaluierung des Förderprogrammes

### 5.1 Kurzfassung der Förderziele

#### 5.1.1 Beschreibung der übergeordneten Ziele des UIP

Mit der Förderung ausgewählter Umweltinnovationsvorhaben durch das Bundesumweltministerium soll grundsätzlich das übergeordnete Gesamtziel verfolgt werden, die Umweltpolitik fortzuentwickeln, z. B. durch:

1. Anreize zum Einsatz umwelt- und klimaschützender Technik, insbesondere durch den Nachweis der Eignung und Leistungsfähigkeit neuer Verfahren und Verfahrenskombinationen im großtechnischen Maßstab zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen in ausgewählten Anwendungsbereichen (z. B. Fortschreibung BVTs),
2. Schaffung einer belastbaren Datenbasis aus der Erstanwendung neu entwickelter Umwelttechnik,
3. Erarbeitung von Beiträgen für den umweltbezogenen Diskussionsprozess innerhalb der EU, sowie
4. Fortschreibung der ordnungsrechtlichen Instrumente der Umweltauflagen.

Die Umweltinnovationsvorhaben sollen Pilotcharakter im technischen Sinne und Demonstrationscharakter in großtechnischem Maßstab haben. Außerdem soll eine Multiplikatorwirkung erzielt werden.

Ein weiteres Unterziel des UIP, nämlich die Förderung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und deren Exportchancen, steht beim hier betrachteten Förderschwerpunkt nicht im Vordergrund, weil es sich bei der Zielgruppe (Betreiber von Kläranlagen) im Wesentlichen um Körperschaften des öffentlichen Rechts handelt, die hoheitliche Ziele in Deutschland verfolgen und daher nicht gewinnorientiert sind. Ähnliches gilt für Beschäftigungseffekte. Dennoch ergibt sich zum einen eine Vorbildfunktion deutscher Umwelttechnik auf globaler Ebene und zum andern können einzelne Vorzeigeprojekte durchaus die Wettbewerbs-Chancen von Consultants oder Firmen des Anlagenbaus im Auslandsgeschäft verbessern.

#### 5.1.2 Spezifische Ziele des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“(EAA)

Im Bereich der Abwasseranlagen geht es im betrachteten Förderschwerpunkt vor allem um die Steigerung der Energieeffizienz sowie in Teilbereichen um Ressourcenschutz. Dabei bestand zum Zeitpunkt der Ausschreibung des Förderschwerpunktes die Besonderheit, dass der Stand der Technik hinsichtlich Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung nicht eindeutig definiert war und es in dieser Hinsicht auch keine quantifizierten ordnungsrechtlichen Vorgaben gab. Energieeffizienz war lediglich im Wasserhaushaltsgesetz als eines der Ziele eines ordnungsgemäßen Betriebs von Kläranlagen aufgeführt.

Das UBA hatte im Vorfeld im Rahmen der Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Anlagen“ [Haberkern et al., 2018] einen ersten Vorstoß zur Festlegung von quantifizierbaren Effizienzkriterien im Bereich der Abwasserbehandlung unternommen und es wurde u. a. die Möglichkeit erwogen, diese Effizienzkriterien als Mindestanforderungen in die Abwasserverordnung bzw. auch in die Berechnung der Abwasserabgabe mit aufzunehmen. Dies ist derzeit nicht mehr vorgesehen, auch deshalb, weil sich angesichts der Verfahrensvielfalt in der Abwasserbehandlung und der sehr unterschiedlichen Randbedingungen keine allgemein gültigen Grenzwerte definieren ließen. Auch erwies sich die Datenbasis für die Festlegung verbindlicher Richtwerte als sehr dürftig.

Dennoch zeigte die Studie eine starke Diskrepanz zwischen der theoretisch möglichen Energieeffizienz und dem tatsächlich im Anlagenbestand erreichten Niveau. Daraus entwickelte sich die Idee, einen

Förderschwerpunkt zum Thema Energieeffizienz in Abwasseranlagen einzurichten, der neue Impulse zur Anwendung energieeffizienter Verfahren geben sollte.

Im Gegensatz zu industriellen Produktionsverfahren ist es beim hier betrachteten Förderschwerpunkt angesichts unterschiedlicher Abwasserqualitäten und örtlicher Randbedingungen nur bedingt möglich, genau definierte und eins zu eins auf andere Kläranlagen übertragbare innovative Technologien oder Prozessschritte zu fördern, die dann einen neuen verfahrenstechnischen Stand der Technik definieren. Vorrangiges Ziel des Förderschwerpunktes EAA war es daher, beispielhaft innovative verfahrenstechnische Ansätze bzw. innovative Kombinationen bekannter Techniken zu fördern, die in der Summe für die betreffenden Kläranlagen eine höhere Energie- und Ressourceneffizienz ermöglichen. Nicht zuletzt sollte im Sinne von Punkt 2 der oben genannten Ziele des UIP die Datenbasis für den Stand der Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung erweitert und überprüft werden.

Als Maßstab für den Pilotcharakter der im Rahmen des UIP-Förderschwerpunktes EAA ausgewählten Projekte wurden Zielwerte für energetische Kennwerte als Förderkriterien definiert, die weitgehend aus der oben erwähnten UBA-Studie übernommen wurden (s. Tabelle 15, Kap 4.2). Diese Studie wurde erstellt, bevor bundesweite Erhebungen dieser Kennwerte durch die DWA vorlagen. Die Zielwerte basierten daher auf regional verfügbaren Häufigkeitsverteilungen (DWA Baden-Württemberg) und im Wesentlichen auf Annahmen zur Energieeffizienz von Anlagenkomponenten und theoretischen Berechnungen. Dazu wird in der Studie aufgeführt: Sie „bilden ein Optimum ab, das unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen nicht von allen Kläranlagen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreicht werden kann“ (a.a.O., S. 168). Insofern beschrieben die angestrebten Zielwerte definitionsgemäß nicht einen künftig von allen Kläranlagen einhaltbaren Umweltstandard, sondern sollten bestenfalls demonstrieren, was unter sehr guten Rahmenbedingungen möglich ist und Anregungen für eigene Aktivitäten geben. Zur Berücksichtigung verschiedener externer, nicht beeinflussbarer Randbedingungen wurden auch zusätzliche Korrekturfaktoren für die Kennwerte festgelegt, z. B. zur Berücksichtigung großer Förderhöhen im Zulaufpumpwerk oder ungünstiger Abwasserzusammensetzung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die ausgewählten Förderkriterien zum Zeitpunkt der Einrichtung des Förderschwerpunktes ein sehr anspruchsvolles Niveau der Energieeffizienz von Abwasseranlagen beschrieben haben.

## 5.2 Bewertung der Förderziele aus heutiger Sicht

Inzwischen gibt es zahlreiche Häufigkeitsverteilungen der gängigen Energie-Kennwerte (insbesondere im DWA-Arbeitsblatt A 216, aber auch aus den bundesweiten DWA-Leistungsvergleichen der Kläranlagen), die eine bessere Einordnung der Zielwerte und damit eine fundierte Einschätzung des erreichbaren technischen Standards erlauben. Es hat sich inzwischen herausgestellt, dass die in der Studie hergeleiteten Zielwerte zwar ganz gut den optimalen Bereich bei entsprechenden Häufigkeitsverteilungen der Parameter charakterisieren (also die ca. 10 bis 20 % besten Anlagen), aber definitionsgemäß nicht von allen Anlagen erreicht werden können (s. Tabelle 16).

Die lebhafte Diskussion in der Fachwelt zu Vor- und Nachteilen fixer Ziel- oder Idealwerte und deren Quantifizierung (z. B. gemäß Schweizer Handbuch „Energie in ARA“ 1994 oder NRW-Handbuch „Energie in Kläranlagen“, 1999) und die Erfahrungen aus zahlreichen Energieanalysen auf Kläranlagen haben inzwischen dazu geführt, dass im DWA-A 216 2015 mit dem anlagenbezogenen Idealwert ein neuer Ansatz eingeführt wurde, um den erreichbaren Effizienz-Standard für eine einzelne Kläranlage bzw. deren Anlagenteile genauer bestimmen zu können. Diese Methodik prägt heute die Standard-Vorgehensweise und wird auch in aktuelleren Handbüchern empfohlen (z. B. „Energie in Abwasseranlagen“, 2018).

Tabelle 16: Vergleich der Förderkriterien mit Häufigkeitsverteilungen nach DWA A 216

Kennwert	Kurzzeichen	Einheit	ZW EAA	Besten 10% DWA A 216	50 % Perzentil DWA 216
Jahresarbeitszahl	JAZ	-	4,5		
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	22	34
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	10	10	17
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas}$	l/(E*d)	30	41	26
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100		
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	38	34 <sup>34</sup>	26
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100 <sup>35</sup>	100
Eigenversorgungsgrad Strom (nur relevant für Anlagen mit Co-Vergärung)	$EV_{elek}$	%	100	80	44

Unabhängig von der absoluten Höhe der Zielwerte ist aufgrund der oben dargestellten, starken Streubreite der Energie-Kennwerte (wegen unterschiedlicher und teilweise nicht oder nur schwer beeinflussbarer Randbedingungen) der anlagenbezogene Idealwert als Maßstab für das tatsächliche Einsparpotenzial der einzelnen Kläranlage deutlich realistischer und genauer als ein fixer Zielwert. Daher scheint das Vorliegen einer Energieanalyse nach DWA A 216 mit der Berechnung anlagenbezogener Idealwerte als Voraussetzung für eine Förderung sehr sinnvoll und entspricht inzwischen dem geforderten Stand der Technik bei der Optimierung der Energieeffizienz von Kläranlagen. Damit würde transparent, mit welcher (innovativen) Technik oder Betriebsweise ein überdurchschnittlich guter Idealwert erreicht wird und wie hoch das zugehörige Einsparpotenzial im Vergleich zum Ist-Zustand wäre. An Stelle der Zielwerte könnten die Häufigkeitsverteilungen der Energiekennwerte zur Einordnung und Plausibilisierung der anlagenbezogenen Idealwerte herangezogen werden.

Zur Überprüfung der Ergebnisse nach Umsetzung der Maßnahmen wäre eine Aktualisierung der Energieanalyse oder ggf. auch ein gezieltes Messprogramm - wie im Förderschwerpunkt umgesetzt - sehr hilfreich. Damit können Abweichungen von den projektspezifischen Zielwerten identifiziert und ggf. begründet werden.

Eine grundsätzliche methodische Schwierigkeit ergibt sich bei der Wahl der Parameter häufig bei der Frage, ob die Energieeffizienz sehr detailliert auf Ebene eines Anlagenteiles abgefragt werden soll (wie z. B. beim elektrischen Wirkungsgrad eines BHKWs) oder eher die Gesamtanlagen-Effizienz (wie z. B. beim einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauch oder dem elektrischen Eigenversorgungsgrad). Die Betrachtung einzelner Anlagenkomponenten verringert die Streubreite der möglichen Zielwerte, das heißt das Kriterium ist besser vergleichbar und hat weniger Störeinflüsse. Dagegen erlaubt die

<sup>34</sup> Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität angesetzt

<sup>35</sup> 100 % Eigenversorgung bis zu 60% der Anlagen

Gesamtbetrachtung eine bessere Einschätzung des Zusammenwirkens einzelner Komponenten und der Sinnhaftigkeit eines Gesamtkonzeptes. Letzteres erscheint gerade bei Kläranlagen mit vielen internen Rückkoppelungen im Prinzip sehr sinnvoll, bedeutet aber aufgrund der Vermischung vieler Einflussfaktoren, dass der Effekt einzelner Maßnahmen bei Umsetzung eines parallel durchgeführten Maßnahmenbündels kaum noch quantifiziert werden kann. Eine Kombination beider Kriterien erscheint daher sinnvoll.

Für alle Kennwerte, die sich auf die zu behandelnde Schmutzfracht im Zulauf zur Kläranlage (angeschlossene Einwohnerwerte) beziehen, hat sich bei den bisherigen Energieanalysen aber auch bei der Fortschreibung von Energie-Kennwerten bei größeren Verbänden oft herausgestellt, dass es gelegentlich zu unerklärlichen Schwankungen der Jahresfrachten (als Einwohnerwerte) kommt, die sich nicht immer durch den Einfluss von Industrieabwasser oder Zuwächse bzw. Abgänge von Ortsteilen oder schwankende Einwohnerzahlen begründen lassen. Möglicherweise liegen hier messtechnische Probleme oder sonstige, nicht näher eingrenzbar Ursachen zugrunde (z. B. wechselnde Anteile von Niederschlagswasser im Abwasser), die zu Verfälschungen der Kennwerte führen.

Bei einzelnen der geförderten Projekte hat dies zu massiven Verschiebungen der Kennwerte geführt, die ganz offensichtlich nicht durch verfahrenstechnische Änderungen begründet sind. So ist in einem Fall sowohl der spezifische Faulgasanfall als auch der spezifische Stromverbrauch stark gestiegen, weil die EW-Werte entsprechend gesunken sind, ohne dass eine der Maßnahmen darauf Einfluss gehabt hätte. Diese maßnahmen-unabhängigen Schwankungen der Kennwerte sind mit verantwortlich dafür, dass manche Projekte ihre Zielwerte verfehlt haben. Hier ist möglicherweise ein längerer Vergleichszeitraum von mehreren Jahren erforderlich, um zu abschließenden Bewertungen zu kommen.

Beim Grad der Faulgasnutzung sollte differenziert werden zwischen rein thermischer Nutzung im Heizkessel und kombinierter Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen, wobei letzteres der bevorzugte Weg sein sollte. In manchen Kläranlagen wird zur Vermeidung des Einsatzes von Erdgas oder Heizöl das Faulgas im Heizkessel genutzt. Die beiden Zielwerte für 100 % Faulgasnutzung und 100 % thermische Eigenversorgung werden dann zwar erreicht, aber zulasten einer höheren Stromerzeugung. Daher wird im A 216 der Grad der Umwandlung von Faulgas in Strom ( $N_{FG}$  in %), als Produkt der Faulgasnutzung in KWK-Anlagen und deren elektrischem Wirkungsgrad zur Beurteilung der Effizienz der Faulgasnutzung herangezogen. Dies ist aus heutiger Sicht als Förderkriterium aussagekräftiger.

### 5.3 Bewertung der Zielerreichung durch die geförderten Projekte

Unabhängig davon, dass feste Zielwerte gegenüber anlagenbezogenen Idealwerten Nachteile aufweisen, stellt sich die Frage, inwieweit die gewählten Förderkriterien auf Basis des heutigen Wissenstandes realistisch und von den Fördernehmern überhaupt erreichbar waren. Auf dieser Grundlage ist eine adäquate Bewertung der Zielerreichung möglich. Dies wird nachfolgend für die einzelnen Parameter geprüft.

Der Zielwert für den spezifischen Gesamtstromverbrauch von Kläranlagen ( $e_{ges} = 18 \text{ kWh}/(E \cdot a)$ ) stellt im Vergleich zu den Häufigkeitsverteilungen des DWA A 216 ein sehr ehrgeiziges Ziel dar, das nur bei Vorliegen idealer Rahmenbedingungen und hoher Energieeffizienz in **allen** Anlagenteilen erreicht wird. Da die Optimierungsmaßnahmen der Projekte in der Regel nur ausgewählte Anlagenteile betreffen, während andere Bereiche suboptimal blieben, ist es unter o. g. Aspekten nicht erstaunlich, dass dieser absolute Wert zumindest ohne Berücksichtigung von Korrekturfaktoren von allen Projekten verfehlt wurde. Werden die Korrekturfaktoren berücksichtigt, haben drei Projekte dieses Kriterium erreicht oder stark angenähert (nur um weniger als 10 % überschritten). Diese Feststellung erlaubt aber noch keine abschließende Aussage darüber, ob die geförderten Maßnahmen zu einer optimalen

Energieeffizienz in dem jeweils geänderten Anlagenbereich geführt haben, da der anlagenbezogene Idealwert darüber oder darunter liegen kann.

Ähnliches gilt für den Parameter Eigenversorgungsgrad bzgl. Strom: Da hier eine zumindest bilanzielle Vollversorgung durch die Eigenerzeugung nur dann möglich ist, wenn der spezifische Stromverbrauch sehr niedrig und die Faulgaserzeugung sehr hoch ist, wurde dieser Zielwert nur von einem der geförderten Projekte erreicht. Insofern war zwar die Einschränkung in den Förderkriterien sinnvoll, diese sehr hohe Anforderung nur bei Anlagen mit Co-Fermentation zu erheben, letztlich müssen aber noch weitere Randbedingungen erfüllt sein, um dieses Ziel zu erreichen. De facto wird das Ziel inzwischen aber auch von einigen Kläranlagen ohne Co-Fermentation erreicht, u. a. von einer hier geförderten Anlage.

Der Zielwert für den spezifischen Stromverbrauch der Belüftung ( $e_{\text{Bel}}$ , 10 kWh/(E\*a)) wird in den Häufigkeitsverteilungen des DWA A 216 nur von den besten 10 % der Anlagen erreicht und ist insofern anspruchsvoll, aber nicht unrealistisch. Außerdem charakterisiert dieser Wert sehr viel spezifischer ein einzelnes Anlagenteil und kann deshalb durch eine gezielte Optimierung in diesem Bereich eher erreicht werden. Er wurde dementsprechend von vier der geförderten Projekte erreicht oder sogar deutlich unterschritten. Aber auch hier können sich nicht zu beeinflussende Randbedingungen auf den erreichbaren Wert auswirken.

Im Bereich der spezifischen Faulgaserzeugung lässt sich sagen, dass der Zielwert von 30 l/(E\*d) gemessen an aktuellen Häufigkeitsverteilungen (z. B. DWA-Leistungsvergleich 2017) vor allem für Anlagen mit Co-Fermentation nicht besonders ambitioniert ist, da zumindest ein Drittel der größeren Kläranlagen diesen Wert erreicht und zum Teil deutlich überschreitet. Allerdings ist hier die Streubreite besonders hoch und es ist aus Energieanalysen bekannt, dass der tatsächlich erreichbare Idealwert in weiten Bereichen schwanken kann und stark abhängig ist von externen Faktoren wie Topographie des Kanalnetzes, Art und Umfang der Mischwasserbehandlung oder Industrieabwasseranteil. Dies drückt sich auch in einer entsprechenden Bandbreite der erreichten Werte bei den geförderten Projekten aus: Während sich die Kläranlage Jena nur mäßig von 17 auf rund 21 l/(E\*a) verbessern konnte, gab es beim Projekt Lingen selbst ohne Berücksichtigung der Co-Substrate eine enorme Steigerung von 16 auf 34 l/(E\*a). Diese Werte lassen sich aufgrund der umgesetzten Maßnahmen nur bedingt erklären. Insofern ist hier ein fixer Zielwert offensichtlich kein aussagekräftiges Kriterium.

Sehr viel geringer ist die Streubreite beim Eigenversorgungsgrad für den Wärmebedarf und dem Grad der Faulgasnutzung. Hier ist es den meisten Projekten gelungen, den Zielwert einzuhalten. Diese Zielwerte von jeweils 100 % sind zwar nicht besonders anspruchsvoll, da gemäß den Häufigkeitsverteilungen im DWA A 216 60 % der Kläranlagen ihren Wärmebedarf zu 100 % decken können und der Grad der Klärgasnutzung nach Daten von DESTATIS seit etlichen Jahren im Bestand aller Kläranlagen bei ca. 90 % liegt. Bei der Faulgasnutzung lässt sich die Nutzung zu 100 % naturgemäß nicht weiter steigern und beim thermischen Eigenversorgungsgrad würde eine weitere Steigerung über 100 % eine externe Nutzung der Überschuss-Wärme bedingen, die für außerhalb gelegene Kläranlagen eine hohe Hürde darstellt.

Hilfreich ist spätestens bei einem ganzjährigen thermischen Eigenversorgungsgrad von nahe 100 % eine saisonale Betrachtung der verfügbaren Wärmeüberschüsse, um das Potenzial für zusätzliche, externe Abnehmer zu quantifizieren. Meist treten signifikante Wärmeüberschüsse nur im Sommerhalbjahr auf, wo es noch schwieriger ist als im Winter, Wärmeabnehmer zu finden. Dagegen kann die Nutzung von Abwärme zur Kühlung/Klimatisierung von Betriebsräumen und Schaltanlagen interessant sein, da diese in der Regel mit Strom betrieben wird. Dies geht nicht in den Kennwert thermische Eigenversorgung ein, sondern würde nur die Kennwerte  $e_{\text{ges}}$  und elektrischer Eigenversorgungsgrad positiv beeinflussen. Gleiches gilt für eine zusätzliche Stromerzeugung aus Abwärme, z. B. über ORC-Anlagen.

Für den Teilaspekt der Effizienz bei der Faulgasverstromung (elektrischer Wirkungsgrad) ist der Stand der Technik durch die technischen Daten der verfügbaren BHKWs bzw. Motoren und Gasturbinen klar und eindeutig definiert. Allerdings gibt es eine starke Korrelation zwischen Anlagengröße und maximal möglicher Effizienz. Hier wurde abweichend vom Vorschlag aus der o. g. UBA-Studie **unabhängig von der Anlagengröße** als Zielwert ein fixer Mindestwert für den elektrischen Wirkungsgrad des Stromerzeugers von 38 % gewählt und bei Anlagen über 1 MW<sub>el</sub> von 40 %. Diese Werte sind für größere Kläranlagen bzw. Aggregate (ab ca. 200 kW<sub>el</sub>) durchaus erreichbar. Für die hier mit betrachteten Größenklassen 3 und 4 der Kläranlagen mit BHKW-Größen von teilweise deutlich unter 100 kW<sub>el</sub> ist dieser Wert jedoch technisch derzeit nicht machbar. Hier wäre eine stärkere größenmäßige Staffelung der Zielwerte realistischer gewesen.

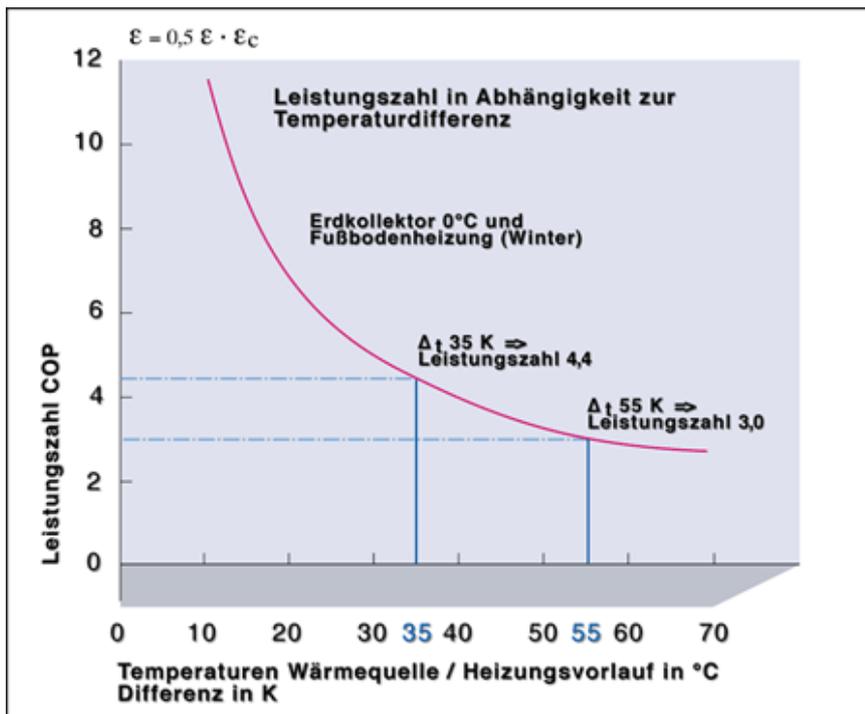
In den Vorgaben der Förderkriterien fehlt die Unterscheidung in Brutto- und Netto-Wirkungsgrad des BHKWs. In den technischen Datenblättern werden in der Regel die Brutto-Wirkungsgrade angegeben, d. h. die vom Generator erzeugte elektrische Leistung bezogen auf die eingesetzte Primärenergie ohne Berücksichtigung des Eigenverbrauchs an Strom für den Betrieb des BHKWs. Gemessen wird in der Regel der Netto-Wirkungsgrad, also die tatsächlich im Netz der Kläranlage nutzbare Stromerzeugung nach Abzug des Eigenverbrauchs für das BHKW (Kühlwasserpumpen, Notkühlung, Abluftventilatoren etc.), bezogen auf den Energiegehalt des eingesetzten Faulgases. Dieser Netto-Wirkungsgrad ist um ca. 2 bis 3 %-Punkte niedriger als der Brutto-Wirkungsgrad.

Bezogen auf den Netto-Wirkungsgrad ist der Zielwert von 38 % für Anlagen unter 200 kW<sub>el</sub> derzeit technisch nicht machbar. Die effizientesten auf dem Markt verfügbaren Faulgas-BHKWs in der Größenklasse von 50 bis 100 kW haben einen Brutto-Wirkungsgrad unter optimalen Bedingungen (Volllast, neuwertiger Zustand) von 35 bis 38 %, was unter realen Bedingungen mit Teillastbetrieb und Eigenverbrauch bestenfalls einem netto-Wirkungsgrad von ca. 32 bis 35 % entspricht. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Häufigkeitsverteilung im DWA-Leistungsvergleich 2017 (für N<sub>FG</sub>): Hier erreichen selbst die 20 % besten Anlagen der GK 3 und 4 nur  $\geq 31$  % und die „Top Ten“ nur  $\geq 35$  %, was bei einer 100 %-igen Faulgasnutzung dem elektrischen Wirkungsgrad entspricht.

Beim Förderkriterium für Wärmepumpen wurde mit der Jahresarbeitszahl (JAZ) ein übliches Effizienzkriterium gewählt, das im Hinblick auf eine ökologische Bewertung der Primärenergieeinsparung bzw. der Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sinnvoll und realistisch ist. Der absolute Zielwert von 4,5 für die JAZ ist im Vergleich mit sonst üblichen Werten sehr hoch angesetzt und bedingt ein sehr geringes Temperatur-Gefälle zwischen verfügbarer Abwärme und gewünschter Nutzwärme sowie eine geringe Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf. Bei Wärmenetzen mit Abwärmennutzung aus dem Abwasser wird die Zielerreichung deutlich einfacher bei hohen Abwassertemperaturen und gleichzeitig niedrigen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen im Heizkreislauf. Beides sind im Prinzip externe Faktoren, die zudem gegenläufig sind: Bei hohem Wärmebedarf mit tendenziell höheren Vor- und Rücklauftemperaturen im Winter sind die Abwassertemperaturen in der Regel am niedrigsten. Daher sollte im Vorfeld einer Förderung mit einer saisonalen Betrachtung geprüft werden, inwiefern die Zielerreichung bei den tatsächlich gegebenen Temperaturen in der maßgeblichen Jahreszeit realistisch ist.

Im Projekt Wiesental ist trotz einer relativ hohen Abwassertemperatur von 12 bis 20 °C bei einem geforderten Temperaturniveau im Heizkreis von 50 bis 55 °C, also einem  $\Delta T$  von 30 bis 40 K bereits die theoretisch erreichbare Leistungszahl (COP-Wert) kleiner als 4,5 und damit eine JAZ von 4,5 technisch nicht mehr machbar (s. Abbildung 15). Dementsprechend hat das Projekt auch das Förderkriterium klar verfehlt, was keine abschließende Aussage zulässt, ob die Anlage energieeffizient konzipiert war.

Abbildung 15: COP-Werte in Abhängigkeit von Temperaturniveaus



Quelle: [www.jahresarbeitszahlen.info](http://www.jahresarbeitszahlen.info)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die ausgewählten Förderkriterien zum Zeitpunkt der Konzeption des Förderschwerpunktes, d. h. mit einer schwachen Datenbasis, ein hilfreiches Instrument waren, um Projektansätze auszuwählen, die ehrgeizige Ziele hinsichtlich Energieeffizienz verfolgten. Auf der Grundlage des heutigen Erkenntnistandes mit einer deutlich umfassenderen Datenbasis aus dem technischen Regelwerk (insbesondere durch das DWA A 216), diversen aktualisierten Handbüchern und den Energiekennwerten aus dem bundesweiten DWA Leistungsvergleich sind - zumindest teilweise - andere Kriterien und Vorgaben sinnvoll, die eine bessere Aussage über den Innovationsgrad der Projekte erlauben.

Hinsichtlich des Beitrages zum umweltbezogenen Diskussionsprozess in Deutschland aber auch der EU war die Erweiterung der Datenbasis durch die begleitenden Messprogramme sehr hilfreich. Nach wie vor sind belastbare, systematische und unabhängige Auswertungen der Ergebnisse von Energieoptimierungsmaßnahmen selten. Meist werden von Betreibern oder Planern Einzelfälle beschrieben, die primär den Erfolg einer Investition dokumentieren sollen und keiner festen Methodik folgen. Sie sind daher oft schwer mit anderen Anlagen vergleichbar.

Im Hinblick auf erste Bemühungen der EU-Kommission, europaweite Effizienz-Standards für Kläranlagen ausarbeiten zu lassen, wäre es interessant, die Ergebnisse der Messprogramme mit den Resultaten des europäischen Forschungsprojekts „Enerwater“ zu vergleichen, das zu diesem Zweck von der EU finanziert wurde und inzwischen abgeschlossen ist.

## 5.4 Übertragbarkeit und Demonstrationscharakter der Projekte

### 5.4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Eine wesentliche Zielsetzung des UIP ist die Förderung von Projekten, die im großtechnischen Maßstab Demonstrationscharakter haben, also für die entsprechende Zielgruppe erstmalig zeigen, welche Umweltstandards technisch machbar sind. Im hier betrachteten Bereich der Abwasserbehandlung gibt

es einen grundlegenden Unterschied zu sonst üblicherweise geförderten industriellen Prozessen und Verfahren: Sowohl die Abwasserqualität (also sozusagen der „Rohstoff“) als auch die geforderte Reinigungsleistung (also die „Produktqualität“) hängen stark von örtlichen Rahmenbedingungen ab und schwanken stark im Laufe der Zeit. Außerdem weisen Kläranlagen aufgrund der über Jahrzehnte gewachsenen Anlagen sehr unterschiedliche Bauformen und Verfahrenstechniken sowie eine sehr variable Auslastung einzelner Anlagenteile auf.

Deshalb ist meist keine „eins-zu-eins-Übertragung“ ganzer Projekte möglich. Was auf einer Kläranlage hervorragend funktioniert und/oder sehr wirtschaftlich ist, kann auf anderen Anlagen zu völlig unwirtschaftlichen Ergebnissen oder/und einem instabilen Betrieb führen. Dennoch sind Anregungen aus Einzelmaßnahmen oder grundlegend neue Ansatzpunkte bei der Steuerung, der Betriebsweise oder der Organisation der Abwasserbehandlung oft übertragbar.

Dabei geht es nicht nur um den erstmaligen Einsatz einer technischen Lösung, sondern häufig auch um die Klärung von Organisations- und Rechtsfragen, insbesondere im Bereich der Faulgasverwertung und der interkommunalen Zusammenarbeit (z. B. Energierecht, Kommunalabgaben, Haftungsfragen). Der Demonstrationscharakter besteht dann in der Schaffung von organisatorischen und rechtlichen Strukturen z. B. für die Umsetzung neuer Formen der Energienutzung oder effizienter, zentralisierter, umweltentlastender Klärschlammbehandlung im Rahmen der Projektenwicklung. Die Übertragbarkeit solcher Modelle ist stark abhängig vom Fortbestand der zugrundeliegenden rechtlichen Randbedingungen, was gerade im Bereich des Energierechts nicht der Fall ist. Insofern müssen interessante Projektansätze zur effizienteren Nutzung von Faulgas immer wieder neu auf Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit überprüft und ggf. angepasst werden.

Schwierig ist vor diesem Hintergrund die Ermittlung des wirtschaftlich erzielbaren Einsparpotenzials einzelner Projektansätze oder Verfahrenstechniken auf Bundesebene oder im Ausland, da hierzu oft Grundlagendaten fehlen (z. B. vergleichbar mit Angaben zum Anteil einzelner Produktionsprozesse in einer Industrie-Branche). Im Rahmen der Evaluierung können allenfalls Trends für ausgewählte Technologien aufgezeigt werden. Nachfolgend wird dies für die im Kapitel 4 identifizierten inhaltlichen Schwerpunkte dargestellt.

#### **5.4.2 Umstellung simultane aerobe auf anaerobe Schlammstabilisierung**

Zum Schwerpunkt Schlammstabilisierung gab es zwei Projekte bei denen vor allem die Eigenstromversorgung mit Strom auf rund 60 - 80 % gesteigert werden konnte. Zur Umsetzung kamen im Prinzip bekannte Techniken, wenn auch bei der Hochlastfaulung mit einem geänderten Bemessungsansatz (kürzere Aufenthaltszeit im Faulraum). Dieser Bemessungsansatz kam jedoch wegen geringerem Schlammanfall nicht zum Tragen.

Bei beiden Projekten war ein großer bautechnischer Aufwand erforderlich, was für Faulungsanlagen typisch ist. Eine maßgebliche Rolle für die technisch-wirtschaftliche Übertragbarkeit spielt dabei neben der gewählten Bauweise für den Faulraum und den Gasspeicher die mögliche Umnutzung von Bestandsbauten, bzw. die Vermeidung von Neubauten in der Belebung bei einer erforderlichen Kapazitätserweiterung. In der Erweiterung von größeren Anlagen mit aerober Stabilisierung dürfte deshalb das größte Umsetzungspotenzial liegen, insbesondere in Gebieten mit Bevölkerungszuwachs oder bei Anschluss von Industriebetrieben.

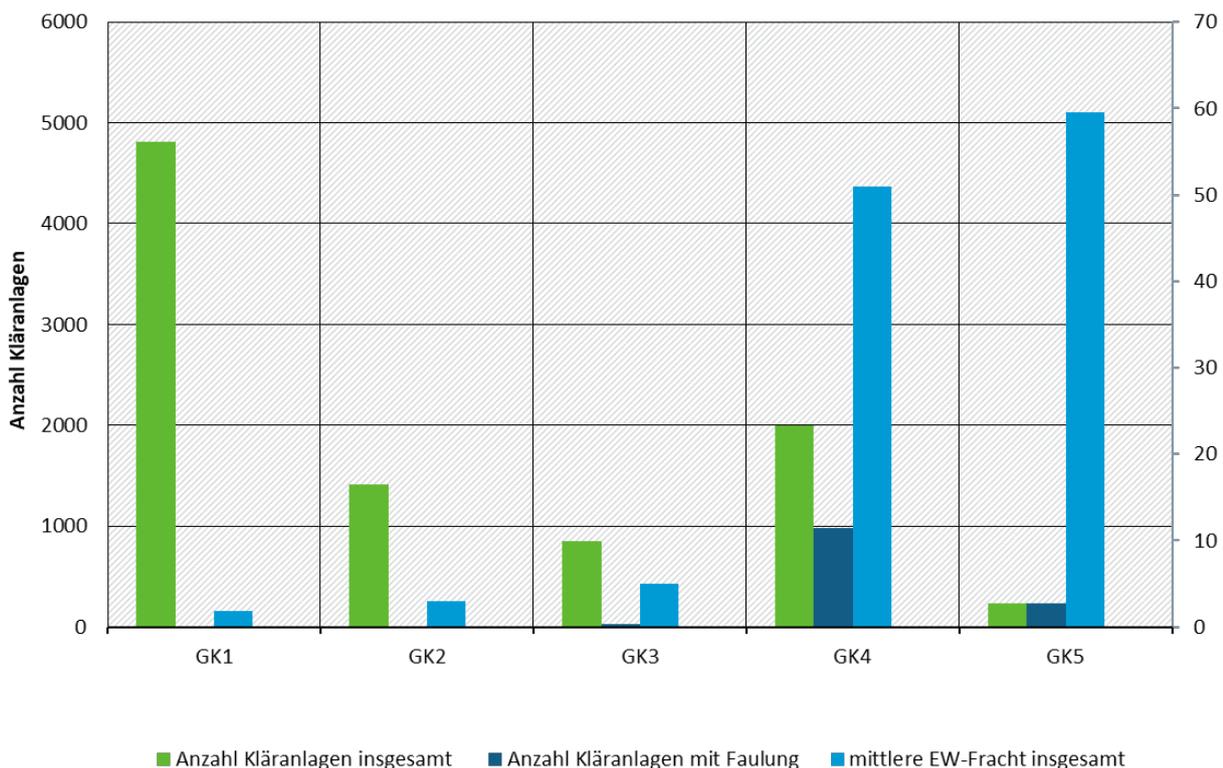
In Deutschland dürfte wegen der relativ geringen Steigerungsraten der Zulauffrachten außerhalb der Metropolregionen eine Umstellung auf Faulung eher im Rahmen einer interkommunalen Zusammenarbeit bei der Schlammbehandlung oder bei hohem Sanierungsbedarf im Bestand interessant sein. Dann ist prinzipiell der Neubau einer zentralen Faulung für einen Kläranlagenverbund interessant oder aber die Nutzung vorhandener Reservekapazitäten in einer bestehenden Faulung, jeweils verbunden mit einem Transport des (eingedickten) Rohschlammes der kleineren Satellitenanlagen zu dieser zentralen Faulung.

Begrenzend dürfte neben den Kosten vor allem die Rückbelastung der zentralen Kläranlage mit Stickstoff aus dem Prozesswasser sein, wenn nicht der Faulschlamm als Nassschlamm landwirtschaftlich verwertet wird. Außerdem wird die Grenze der Wirtschaftlichkeit spätestens dann erreicht, wenn der zusätzlich erzeugte Strom aus der Faulgasverstromung nicht mehr von der zentralen Kläranlage selbst genutzt werden kann und eingespeist werden muss, weil dann nur geringe Erlöse aus dem Stromverkauf erzielt werden können.

In den letzten zehn Jahren hat sich die Anzahl von Kläranlagen mit Faulung in Deutschland um ca. 100 erhöht (s. Abbildung 19 in Abschnitt 5.4.6). Da in Deutschland Kläranlagen der Größenklasse 4 praktisch nicht mehr neu gebaut werden, kann davon ausgegangen werden, dass es sich dabei um Umstellungen von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung handelt. Allein für das UIP-geförderte Konzept der Hochlastfaulung sind inzwischen nach Angaben des Planers [Siekman, 2018] acht Anlagen in Betrieb und weitere sieben Anlagen in Planung oder im Bau. Bei diesen Anlagen handelt es sich überwiegend um Kläranlagen in der Größenklasse von 15.000 bis 40.000 E mit vorher aerober Schlammstabilisierung.

Das Potenzial an zusätzlich zu erzeugendem Faulgas kann aufgrund der Zahlen von Destatis und aus dem 30. DWA-Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen wie folgt abgeschätzt werden (s. auch Abbildung 16):

Abbildung 16: Aufteilung EW-Frachten auf Größenklassen und Anlagen mit Faulung



Quelle: Eigene Darstellung, iat Darmstadt

Auf Basis der Zahlen aus dem DWA-Leistungsvergleich dürften alle 235 Kläranlagen der Größenklasse (GK) 5 eine Faulung besitzen, aber lediglich 34 Kläranlagen der GK 3. Somit entfallen von den 1.250 Anlagen mit Faulung 995 auf die GK 4. Bei insgesamt 1.998 Kläranlagen in GK 4 hat rund die Hälfte noch keine Faulung, wobei dies tendenziell eher die kleineren Anlagen sind. An Kläranlagen der GK 4 sind insgesamt etwa 51 Mio. E angeschlossen. Daraus ergibt sich unter Annahme einer gleichen Größenverteilung für Kläranlagen in Größenklasse 4 mit und ohne Faulung als obere Abschätzung ein

Potenzial von 25 Mio. E., deren Klärschlamm noch ausgefault werden könnte. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eher die kleineren Anlagen keine Faulung besitzen (also überwiegend Anlagen zwischen 10.000 und 40.000 E), fällt das Potenzial deutlich geringer aus. Bei einem angenommenen Mittelwert von 15.000 bis 20.000 E der 1.000 KA in GK4 ohne Faulung ergibt sich ein Potenzial von 15 bis 20 Mio. E für eine Umrüstung.

Da sicherlich nicht alle dieser Kläranlagen wirtschaftlich umgerüstet werden können, wäre eine Umsetzung von 50 % des Potenzials eine sehr optimistische Annahme. Bei einem Faulgasanfall von 30 l/(E\*d) bei 6 kWh/m<sup>3</sup> und einem für kleinere Anlagen relativ hohen Grad der Umwandlung in Strom von 31 % (80 %-Wert für GK 4), entspräche dies einer zusätzlichen Stromerzeugung von 150 bis 200 GWh/a. Tatsächlich dürfte das erreichbare Potenzial darunter liegen. Außerdem muss auch angesichts der Erfahrungen bei den geförderten Projekten davon ausgegangen werden, dass dem ein zusätzlicher Stromverbrauch für den Betrieb der Schlammfäulung und die Behandlung der Prozessabwässer gegenübersteht.

### 5.4.3 Deammonifikation

Bei der Deammonifikation muss unterschieden werden zwischen der Deammonifikation im Nebenstrom für das Prozesswasser, die inzwischen erfolgreich auf vielen Kläranlagen umgesetzt wurde, und der Deammonifikation im Hauptstrom, die bisher großtechnisch in Deutschland noch nicht umgesetzt worden ist. Bei der Deammonifikation im Nebenstrom hat sich aktuell das Belebungs(SBR)-Verfahren durchgesetzt.

Die Deammonifikation im Hauptstrom war Gegenstand eines Projektantrags im Förderschwerpunkt. Aufgrund von technischen Schwierigkeiten konnte diese bisher nicht etabliert werden. Vor allem das Problem der Anreicherung von Nitrit und dessen Austrag ins Gewässer blieb ungelöst. Auch die Frage, unter welchen Bedingungen sich die erforderlichen Bakterien aus der Gruppe der Planctomyceten im Hauptstrom halten können, ist bisher unbeantwortet. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Interessant ist dieser Ansatz jedoch, weil hohe Abwassertemperaturen (ca. 25 bis 30 °C) für die Deammonifikation förderlich sind und er daher möglicherweise für tropische Länder sinnvoll ist.

Ein anderes Vorhaben im Förderschwerpunkt zielte darauf ab, für die Deammonifikation im Nebenstrom mit dem Scheibentauchkörper ein sehr einfaches und betriebssicheres Verfahren zu nutzen, das auf kleineren Anlagen oder in tropischen Ländern eingesetzt werden könnte. Die derzeit übliche Deammonifikation mit dem Belebungsverfahren erfordert eine sehr sorgfältige Überwachung sowie die strikte Einhaltung gewisser Randbedingungen (Feststoff-arter Zulauf, konstante Temperaturen, regelmäßige Wartung der Sensorik, gute Regelung der Belüftungszyklen, etc.). Beim Einsatz des Scheibentauchkörpers konnte während der Projektlaufzeit keine dauerhafte Deammonifikation etabliert werden, auch wenn eine hohe Stickstoffelimination durch partielle Nitrifikation und Denitrifikation erreicht wurde. Damit erscheint dieses Verfahren nach derzeitigem Stand keine attraktive Alternative für die Deammonifikation im SBR zu sein.

Grundsätzlich gilt für die Deammonifikation:

- ▶ Das Einsparpotenzial ist schwierig zu bilanzieren, weil Einsparungen bei der Belüftung im Hauptstrom teilweise kompensiert werden durch zusätzlichen Stromverbrauch für die Teilstrombehandlung; in der Regel wird die Reinigungsleistung bzgl. Stickstoff verbessert.
- ▶ Die Inbetriebnahmephase ist auch bei konventionellen SBR-Anlagen zur Deammonifikation schwierig und stark abhängig von konstanten Abwassertemperaturen. Qualifiziertes und motiviertes Betriebspersonal ist erforderlich, was den Einsatz in Entwicklungsländern erschwert.
- ▶ Das Umsetzungspotenzial liegt in Deutschland hauptsächlich bei der Nebenstrombehandlung und dort vor allem in Anlagen, die ein ungünstiges N/CSB-Verhältnis im Zulauf haben.

Diese grundsätzlichen Aussagen wurden durch die Projekte zur Deammonifikation im Förderschwerpunkt bestätigt.

#### **5.4.4 Verfahrenstechnische Umstellungen**

Wie bereits im Abschnitt 5.4.1 dargestellt, wurden in diesem Maßnahmenfeld keine völlig neuen Technologien eingesetzt, sondern bekannte Verfahren und Betriebsweisen unter Berücksichtigung örtlicher Rahmenbedingungen so angepasst und innovativ kombiniert, dass die Energieeffizienz des Gesamtprozesses optimiert wurde. Es wurde dabei gezeigt, dass zwar erhebliche Einsparpotenziale mit relativ einfachen Mitteln und zum Teil geringem investiven Aufwand realisiert werden, aber keine einfachen Regeln oder Automatismen für den Einsatz der Verfahren abzuleiten sind.

Aus den durchgeführten Maßnahmen lassen sich dementsprechend keine bundesweiten Einsparpotenziale für einzelne Maßnahmen quantifizieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das gesamte Einsparpotenzial beim Stromverbrauch der Kläranlagen, wie es im Abschnitt 5.4.6 hergeleitet wird, überwiegend auf Maßnahmen zur verfahrenstechnischen Umstellung basiert. Dabei lassen sich einige Trends oder Leitlinien erkennen:

- ▶ Die Optimierung der Steuerung/Automatisierung bietet insofern Einsparpotenziale, als dass bestehende Regelkreise durch veränderte Abwasserqualität oder –frachten, geänderte Betriebsweise oder Maschinenteknik auf der Gesamtanlage nicht mehr sinnvoll sein können. Gleiches gilt für veraltete oder defekte Sensorik bzw. ungünstig gewählte Messpunkte für online-Messungen. Vor diesem Hintergrund sind durch relativ einfache Eingriffe erhebliche Einsparungen möglich. Eine genaue Analyse des Gesamtkonzeptes und der verwendeten Sensorik, wie sie z. B. im Rahmen einer Energieanalyse umgesetzt werden kann, ist dafür Voraussetzung.
- ▶ Die Umstellung von vorgeschalteter auf Kaskadendenitrifikation bzw. intermittierende Denitrifikation bietet aus energetischer Sicht Vorteile und verbessert in der Regel die Absetzeigenschaften des belebten Schlammes.
- ▶ Ein Austausch der Maschinenteknik und des Belüftungssystems sollte regelmäßig überprüft werden, wobei hier ein besonderes Augenmerk auf den nicht ohne weiteres erkennbaren Verschleiß von Belüfterelementen und der Laufräder von Pumpen gerichtet sein sollte. Hier kann die Erfassung und regelmäßige Bewertung des Stromverbrauchs einzelner Analgenteile nach den Regeln des Energiechecks wertvolle Hinweise liefern.
- ▶ Bei der Optimierung der Schlammfäulung ist aus energetischer Sicht ein Schwerpunkt die gleichmäßige Beschickung des Faulturms, d. h. eine gezielte Bewirtschaftung des Rohschlammes. Ein weitergehender Ansatz kann künftig darin bestehen, durch gezielte Steuerung der Schlammzugabe die Gasproduktion und –Verstromung entsprechend dem Strombedarf der Kläranlage (oder als Systemdienstleistung für die Netzbetreiber) zu regeln. Hierzu gibt es interessante Daten aus dem BMBF-Forschungsprojekt ERWAS/ESITI ([https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/180307\\_abschlussbericht\\_gesamt\\_final.pdf](https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/180307_abschlussbericht_gesamt_final.pdf)).

#### **5.4.5 Interkommunale Zusammenarbeit (IKZ) und Überwindung von Systemgrenzen**

Grundsätzlich liegt in der Überschreitung von Systemgrenzen ein großes Potenzial für die Steigerung der Energieeffizienz. Dies gilt für die Grenze zwischen den einzelnen Kläranlagenbetreibern, z. B. durch interkommunale Zusammenarbeit bei der Schlammbehandlung, aber auch im Hinblick auf Industriebetriebe als Indirekteinleiter oder Kooperationspartner für eine bessere energetische Nutzung des Faulgases oder der Abwärme. Die Möglichkeit der Einrichtung einer zentralen Schlammfäulung als Projekt einer IKZ wurde oben bereits skizziert.

Für Indirekteinleiter mit hohen Schmutzfrachten im Abwasser ist die Abtrennung von Konzentraten für eine gezielte anaerobe Behandlung ein Ansatz mit hohem Potenzial. Wenn die mittlere Belastung aller Kläranlagen in Deutschland von rund 118 Mio. E der Einwohnerzahl von rund 80 Mio. gegenübergestellt wird, wird deutlich, dass rund ein Drittel der Zulaufmengen in Kläranlagen aus Industrie und Gewerbe stammt. Davon fällt ein erheblicher Teil am Anfallort in konzentrierter Form an.

Dieser Teilstrom könnte entweder abgetrennt und per Tankwagen als Co-Substrat für die Faulung genutzt werden oder über eine separate anaerobe Vorbehandlung des Teilstromes vor Einleitung ins Kanalnetz behandelt und somit die Kläranlage erheblich entfrachtet werden. In beiden Fällen entsteht ein doppelter Einspareffekt: Die Schmutzfracht zur Kläranlage verringert sich mit entsprechender Stromeinsparung bei der Belüftung und weiteren Schlammbehandlung und gleichzeitig wird Faulgas gewonnen, das entweder auf der Kläranlage oder direkt im Industriebetrieb energetisch genutzt werden kann.

Zu klären sind neben technischen Fragen (wie Nährstoffverhältnisse, Abwassertemperaturen, Schadstoffgehalte etc.) vor allem Standortfragen und die Zuständigkeit für erforderliche Investitionen und den Betrieb der Anlagen, sowie die gebührenrechtliche Regelung. Komplizierte Rechtsfragen sind im Bereich des Energierechts (Zahlung von EEG-Umlagen und Stromsteuer, Berechtigung für KWK-Zuschläge), des Steuerrechts (z. B. Fälligkeit der Mehrwertsteuer aus Energielieferung bei einem ansonsten MwSt.-freien Abwasserbetrieb) und bei Fragen zur Haftung oder zur privatwirtschaftlichen Betätigung kommunaler Einrichtungen bei solchen Projekten zu lösen.

Hinzu kommen immissionsschutz-, abfall- und wasserrechtliche Anforderungen, letzteres vor allem bei einer landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Hier wurde durch die geförderten Projekte zum Teil Pionierarbeit geleistet und Beispiele für gelungene Organisationsstrukturen geschaffen, auf die andere Kommunen und Industriepartner zurückgreifen können.

Grundsätzlich besteht für diese Ansätze ein hohes Umsetzungspotenzial in Deutschland. Die Umsetzung ist allerdings stark abhängig von der Kooperationsbereitschaft der Partner, den zu überwindenden Entfernungen und einem Träger, der die Mittlerrolle zwischen den Partnern übernimmt und ggf. das finanzielle Risiko trägt.

Die externe Nutzung von Faulgas über externe BHKWs in benachbarten Nahwärmenetzen bietet gerade für größere Kläranlagen mit einem hohen Wärmeüberschuss oder im Falle einer zentralisierten Faulung die Möglichkeit, die Abwärme und den Strom aus der Faulgasverwertung komplett zu nutzen. Die Verlegung einer Faulgasleitung ist um ein vielfaches günstiger und vor allem verlustärmer als der Transport der Wärme über eine Fernwärmeleitung, insbesondere bei den hohen Vorlauftemperaturen aus dem BHKW. Diese Lösung wird im Übrigen auch bei Biogasanlagen verstärkt genutzt. Wegen möglicher Probleme mit Kondensatanfall in der Leitung sollte eine Gastrocknung vorgesehen werden.

#### **5.4.6 Hochrechnung der Einsparungen im Inland**

In der Ausschreibung des Förderschwerpunktes EAA werden die vermuteten Einsparpotenziale kurz umrissen:

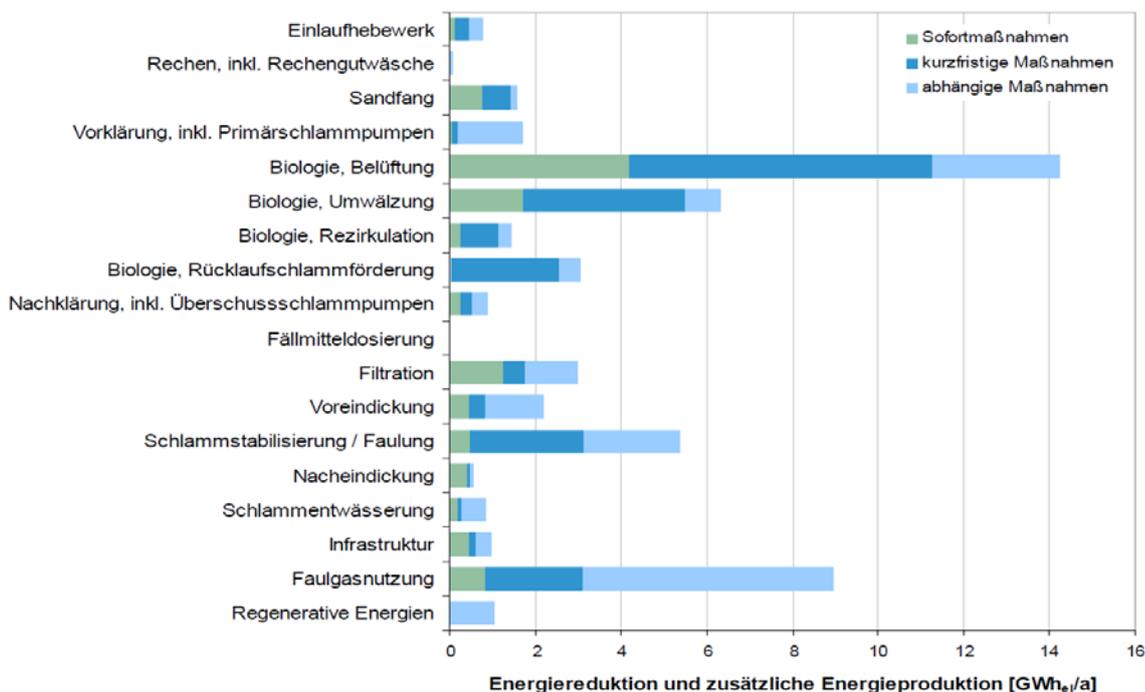
*„Energieeinsparungen lassen sich durch kurz- und mittelfristige Maßnahmen vor allem bei der Belüftung, bei der Behandlung und der Verwertung von Klärschlamm realisieren. Allein durch effizientere Belüftung, verbesserte Steuerung der Aggregate und Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Energieeffizienzklasse wäre in Deutschland eine durchschnittliche Stromeinsparung in Abwasserbehandlungsanlagen von 900 GWh pro Jahr oder ca. 600.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten Emissionsminderung pro Jahr realisierbar.“*

*„Durch optimierte Verfahren, die zu einer Erhöhung der Faulgasausbeute und des Wirkungsgrades bei der Verstromung führen, kann die Stromerzeugung auf kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen von derzeit 940 GWh pro Jahr nahezu verdoppelt und damit eine CO<sub>2</sub>-Einsparung*

*von weiteren knapp 600.000 Tonnen pro Jahr erreicht werden. Bei Nutzung aller Möglichkeiten geht die DWA in ihrer jüngsten Studie zur Steigerung der Energieeffizienz bei kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen langfristig von einer Vervierfachung der Stromausbeute auf rund 3.900 GWh pro Jahr aus.“*

Die tatsächlich erzielten Ergebnisse bei den geförderten Projekten können einige der Vermutungen bestätigen. So sind die Einsparungen im Bereich der Belüftung sowohl in absoluten Zahlen (GWh/a) als auch bei der prozentualen Verbesserung der Kennwerte sehr hoch im Vergleich zu den übrigen Bereichen; auch deswegen, weil hier ein Schwerpunkt der umgesetzten Maßnahmen liegt. Das deckt sich mit Ergebnissen aus anderen Auswertungen von Optimierungsmaßnahmen, die z. B. in NRW im Rahmen von Energieanalysen auf 70 Kläranlagen vorgeschlagen wurden (s. Abbildung 17).

Abbildung 17: Auswertung der vom Land NRW geförderten Energieanalysen



Quelle: Kohlisch et al., 2013

Die vorgeschlagenen Maßnahmen betrafen ähnliche Ansätze wie bei den UIP-Projekten im Förderschwerpunkt (optimierte Regelung, Austausch der Belüfter und Gebläse durch besser an den Bedarf angepasste und energieeffizientere Aggregate). Nicht bekannt ist, in welchem Umfang die Maßnahmen tatsächlich umgesetzt und dann auch diese prognostizierten Einsparungen erreicht wurden.

Wenn als Indikator für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen bei der Belüftung die Medianwerte von Häufigkeitsverteilungen des spezifischen Stromverbrauchs der Belüftung ( $e_{Bel}$ ) der letzten 20 Jahre herangezogen werden, zeigt sich erstaunlicherweise keine signifikante Verbesserung:

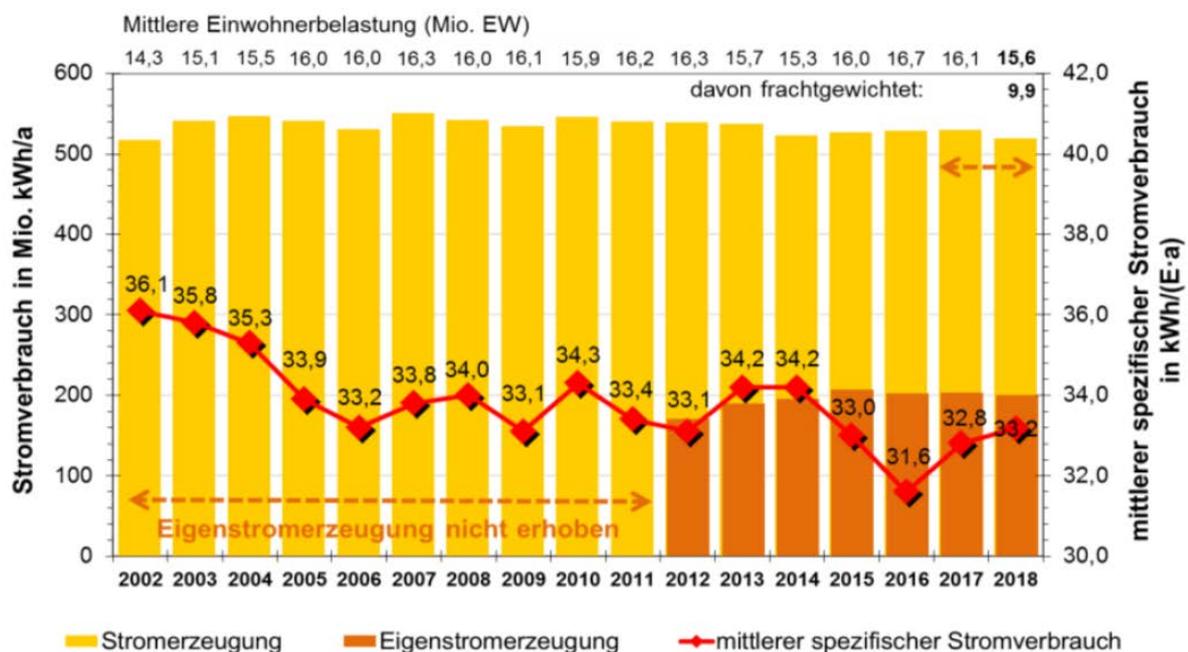
Bereits 1998 wurden aufgrund von Energieanalysen auf Kläranlagen in Baden-Württemberg im Handbuch Wasser [Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1998)] ein Medianwert von 16 kWh/(E\*a) und ein Idealwert von 10 kWh/(E\*a) für größere Anlagen abgeleitet. Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kam gleichzeitig eine Seminar-Dokumentation des Impulsprogramms Hessen [Haber Kern, 1998]. Das Handbuch-NRW „Energie in Kläranlagen“ [Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (1999)] leitete 1999 einen Idealwert von 13,7 kWh/(E\*a) her.

Etwa 15 Jahre später ergab die Auswertung von 70 Energieanalysen in NRW [Kohlisch, 2013] einen Medianwert für  $e_{Bel}$  von 15,1 kWh/(E\*a), also nur unwesentlich geringere als die o. g. Werte. Der Medianwert für  $e_{Bel}$  im DWA-A 216 [DWA (2015)] wurde 2015 wieder mit 16 kWh/(E\*a) angegeben. Diese Stagnation der spezifischen Verbrauchswerte ist umso weniger verständlich, als sich die Effizienz der Belüfter und Gebläse in der Zwischenzeit nachweislich stark verbessert hat.

Neben der Tatsache, dass gerade einige hocheffiziente Belüfter relativ schnell altern können und dann wieder zu ungünstigen Werten führen, ohne dass dies vom Betreiber sofort registriert oder gar korrigiert wird, mag dies auch ein Hinweis darauf sein, dass nachhaltige Energieeffizienz in Kläranlagen nicht nur eine Frage von technischen Daten der eingesetzten Aggregate ist, sondern auch der guten Gesamtkonzeption, der richtigen Auslegung und der sorgfältigen Betriebsführung sowie regelmäßiger Wartung und Instandhaltung. Ähnliches gilt auch für Pumpen, wobei hier der Einfluss des Verschleißes noch größer sein dürfte. In beiden Gebieten besteht weiterhin Forschungsbedarf.

Dass sich diese Stagnation beim Hauptstromverbraucher seit einigen Jahren auch in der Gesamtbilanz des Stromverbrauchs von Kläranlagen bemerkbar macht, ist dann nicht weiter erstaunlich (s. Abbildung 18, basierend auf den Ergebnissen des 45. Leistungsvergleichs kommunaler Kläranlagen in Baden-Württemberg.). Das bereits 2006 erreichte Niveau der Energieeffizienz mit ca. 33 kWh/(E\*a) hat sich bis 2018 nicht mehr signifikant verändert und entspricht exakt dem gewichteten Mittelwert der im UIP geförderten Projekte vor Umsetzung der Maßnahmen.

Abbildung 18: Entwicklung des Stromverbrauchs und der Zulauffrachten in Baden-Württemberg



Quelle: Morck, T.; Schwentner, G.(2019)

Allerdings war der DWA-Landesverband Baden-Württemberg schon vor der Jahrtausendwende führend bei der Erfassung der Kennzahlen und der Förderung der Energieoptimierung der Kläranlagen, so dass sich hier möglicherweise ein gewisser Vorsprung ergeben hat. Inzwischen ist der Mittelwert dieser Kennziffer im Bundesgebiet mit 31,8 kWh/(E\*a) etwas niedriger (s. unten), wobei sich eine Stabilisierung auf diesem Niveau abzuzeichnen scheint.

Nachfolgend ist der geschätzte bzw. hochgerechnete Gesamtstromverbrauch der Kläranlagen in der BRD zu verschiedenen Zeitpunkten und gemäß verschiedener Quellen dargestellt, wobei die Genauigkeit durch die zunehmend repräsentativere Datengrundlage der DWA-Leistungsvergleiche seit 2011 stark zugenommen hat:

- ▶ LfU BaWü 1998: 4.200 GWh/a
- ▶ UBA-Studie 2008 (Bezugsjahr 2006): 4.400 GWh/a bzw. 35 kWh/(E.a)
- ▶ 24. DWA Leistungsvergleich 2011: 4.080 GWh/a bzw. 34 kWh/(E.a)
- ▶ 29. DWA Leistungsvergleich 2016: 3.800 GWh/a bzw. 31,9 kWh/(E.a)
- ▶ 30. DWA Leistungsvergleich 2017: 3.750 GWh/a bzw. 31,8 kWh/(E.a)

Die tatsächlich realisierte Strom-Einsparung in den letzten 20 Jahren würde damit gegenüber der noch groben Schätzung von 1998 nur etwa 11 % betragen. Gegenüber der Schätzung in der UBA-Studie von 2008 ergibt sich eine Einsparung von 15 % im Absolutwert, aber nur von 10 % beim einwohnerspezifischen Stromverbrauch, da die Schmutzfracht insgesamt gesunken ist.

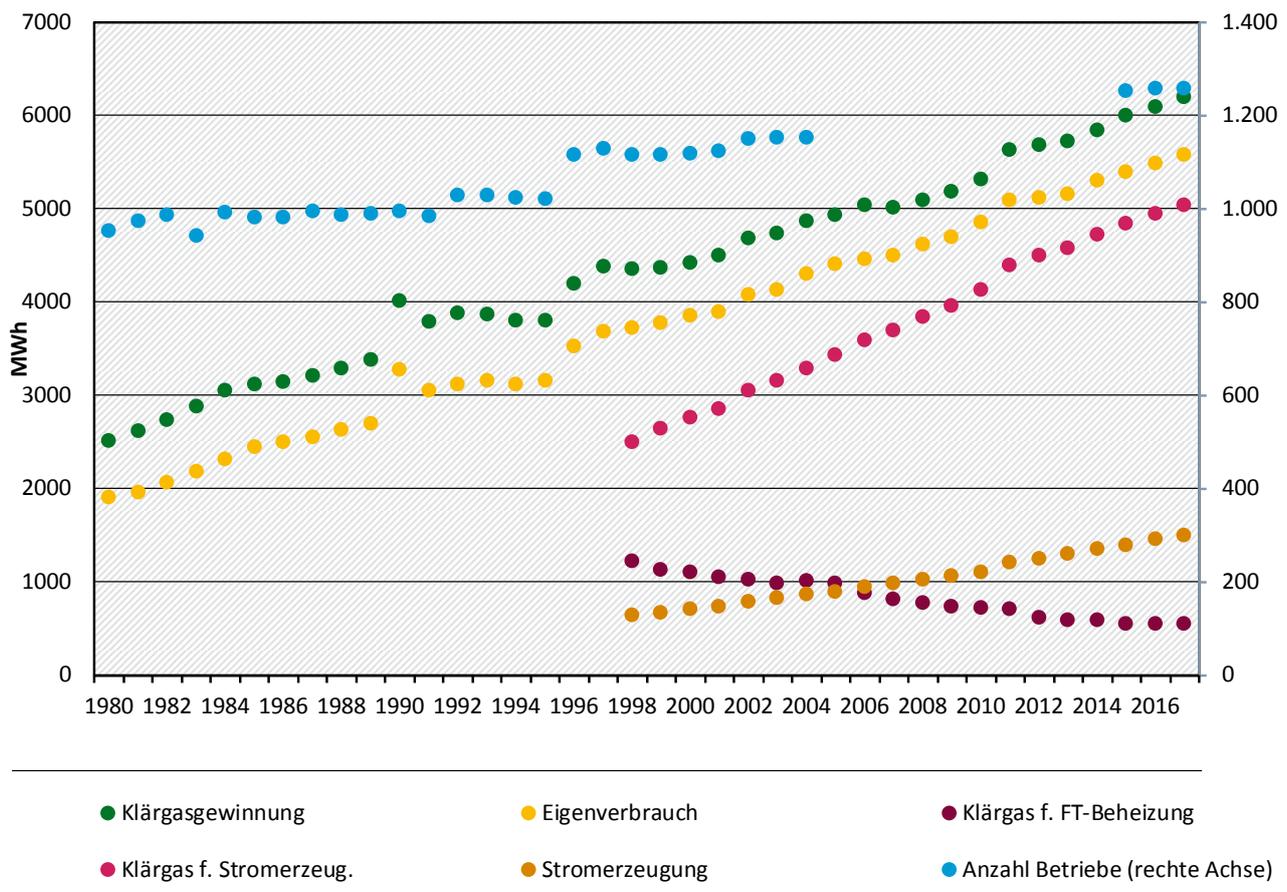
Demgegenüber hat die DWA-Studie „Energiepotenziale“ 2010 ein Einsparpotenzial von 25 % gegenüber dem Wert von 4.400 GWh/a, also einen Gesamtverbrauch von 3.300 GWh/a proklamiert. Es bliebe ein Restpotenzial von 450 GWh/a.

In den UIP-geförderten Projekten konnte der einwohnerspezifische Stromverbrauch im gewichteten Mittel von 32,6 auf 29,3 kWh/(E\*a) gesenkt werden, also um 10 %. Hochgerechnet auf den heutigen Kläranlagenbestand in Deutschland mit einer Gesamtfracht von derzeit 118 Mio. E entspräche dies einem Einsparpotenzial von 389 GWh/a oder einer mittleren Leistung von 44 MW. Dies zeigt, dass das in der DWA-Studie geschätzte Einsparpotenzial bzw. der angestrebte Gesamtverbrauch von 3.300 GWh/a durchaus realistisch ist, allerdings auch deswegen, weil die Zahl der angeschlossenen Einwohnerwerte zurückgegangen ist.

Interessant ist dabei, dass sich einerseits die Zahl der Kläranlagen insgesamt durch Stilllegung kleinerer Anlagen und Anschluss an größere Kläranlagen verringert hat, während die Zahl der Kläranlagen mit Faulung immer noch bzw. wieder deutlich zunimmt auf mittlerweile bereits etwa 1.250 Anlagen. Dies wird nachfolgend für den Bereich der Energiebereitstellung durch Optimierung der Faulgaserzeugung und Verstromung genauer untersucht.

Für den Bereich Faulgaserzeugung und Verstromung wurde bei den ausgewerteten Energieanalysen in NRW eine ähnliche Größenordnung für das Optimierungspotenzial wie bei den Einsparungen für die Belüftung aufgezeigt. Hier gibt es im Gegensatz zum Stromverbrauch schon seit längerem sehr erfreuliche, aussagekräftige und belastbare Daten auf Bundesebene. Eine Auswertung der Zeitreihen von Destatis zum Faulgasanfall und dessen Verwertung in Deutschland zeigt, dass dieses Potenzial tatsächlich in einem erheblichen Umfang realisiert wird (s. Abbildung 19). Da hier praktisch alle Kläranlagen mit Faulung erfasst werden und immer die gleiche Erhebungsmethodik angewandt wurde, sind diese Zahlen repräsentativ und, trotz Messfehlern im Einzelfall, für den zugrunde liegenden Trend belastbar.

Abbildung 19: Zeitreihe Faulgasgewinnung und –verwertung



Quelle: Daten Destatis-eigene Darstellung iat

Danach hat sich der Faulgasanfall in den letzten 37 Jahren um 250 % gesteigert, wobei sich die Zahl der Kläranlagen mit Faulung bis zum Anschluss der neuen Bundesländer nicht mehr wesentlich geändert hat. Nach dem starken Zuwachs der Kläranlagen mit Faulung zwischen 1990 und 1997, der vermutlich vor allem auf den Neubau der Kläranlagen in den neuen Bundesländern zurückzuführen ist, blieb die Zahl zunächst relativ konstant bei etwa 1.150 Anlagen. Die neueren Zahlen zeigen erneut einen signifikanten Anstieg der registrierten Anlagen mit Faulung.

Tatsache ist, dass die erzeugte Faulgasmenge wesentlich stärker und kontinuierlicher steigt als die Zahl der Kläranlagen mit Faulung. Dies ist besonders erstaunlich, weil die Schmutzfracht insgesamt in den letzten Jahren abgenommen hat. Noch ausgeprägter ist das Wachstum der Stromerzeugung aus Faulgas, wo eine Verdoppelung in den letzten 20 Jahren erreicht wurde. Die in der UBA-Studie von 2008 prognostizierte Verdoppelung der Stromerzeugung von 864 GWh in 2004 ist 2017 mit knapp 1.500 GWh/a bereits in Reichweite gekommen. Dazu hat vor allem beigetragen, dass inzwischen fast alle Kläranlagen mit Faulung eine Faulgasverstromung betreiben und immer weniger Faulgas abgefackelt oder im Heizkessel verbrannt wird.

Noch Mitte der 90iger Jahre besaßen laut Umfragen lediglich ein Drittel der Kläranlagen mit Faulung ein BHKW, während in den letzten Jahren der Anteil des verstromten Faulgases bei etwa 80 % der produzierten Menge liegt. Dennoch wird aus unterschiedlichen Gründen immer noch relativ viel Faulgas rein thermisch in Heizkesseln verwertet oder sogar abgefackelt: So können beispielsweise hohe Tagesspitzen bei der Klärgaserzeugung teilweise nicht genutzt werden. Bei Betriebsstörungen des BHKWs wird lediglich der Wärmebedarf über den Heizkessel gedeckt und der Überschuss an Klärgas mangels sonstiger Nutzungsmöglichkeiten abgefackelt. Hier liegt ein relativ großes ungenutztes Po-

tenzial von etwa 1.200 GWh Primärenergie, was einem Potenzial von ca. 420 GWh/a an zusätzlicher Stromerzeugung entspricht und damit mindestens gleich hoch ist wie das bei der Stromeinsparung.

Hinzu kommt der Zuwachs aus der Steigerung der Faulgasmenge (z. B. durch Optimierung der Faulung, Mitbehandlung von Fremdschlämmen und Co-Substraten) sowie der verbesserten Effizienz der Verstromung. Die Möglichkeit einer weiteren Verdoppelung der Stromerzeugung aus Faulgas auf die in der DWA-Potenzialstudie [DWA, 2010] langfristig genannten 3.900 GWh/a erscheint angesichts eines nach wie vor ungebremsten Wachstums der Faulgasproduktion und des daraus erzeugten Stroms nicht illusorisch.

Noch liegt der bilanzielle Eigenversorgungsgrad für alle Kläranlagen unter 40 %. Würde das Potenzial der Stromeinsparung von 10 % ausgeschöpft und die derzeitige Eigenerzeugung an Strom noch einmal verdoppelt, wäre eine bilanzielle Energieneutralität aller Kläranlagen in Deutschland erreicht.

Dass der Beitrag dazu aus der Umstellung der aeroben Schlammstabilisierung auf Faulung selbst unter sehr optimistischen Annahmen mit rund 200 GWh/a zusätzlicher Stromerzeugung eher bescheiden ist, wurde bereits im Abschnitt 5.4.2 gezeigt. Dagegen wäre eine weitere Absenkung der Schmutzfracht zum Beispiel durch anaerobe Vorbehandlung von Industrieabwasser nicht nur mit geringerem Investitionsaufwand, sondern auch mit zusätzlichem energetischem Gewinn durch die Faulgasnutzung einerseits und den verringerten Stromverbrauch für die entnommene Schmutzfracht andererseits verbunden.

In welchem Umfang der Förderschwerpunkt die skizzierten Entwicklungen beeinflusst hat, lässt sich nicht genau sagen. Die Ergebnisse der geförderten Projekte bestätigen die Beobachtung, dass in der zusätzlichen Stromerzeugung (in GWh/a) ein größeres Potenzial liegt als in der Stromeinsparung. Das Potenzial zur zusätzlichen Stromerzeugung wird offensichtlich im Gesamtbestand schneller und stärker erschlossen. Die beiden Projekte zur Umstellung von aerober Schlammstabilisierung auf Faulung haben sicherlich Anstöße geliefert, zum einen im Hinblick auf eine sparsame Bemessung der Faulturn-Volumina (Hochlastfaulung) und eine kostengünstige Bauweise, zum anderen hinsichtlich einer stärker zentralisierten Klärschlammbehandlung im ländlichen Raum. Letzteres dürfte sich gut ergänzen mit dem politischen Ziel einer verstärkten Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm bei zurückgehender landwirtschaftlicher Nutzung.

#### **5.4.7 Exportchancen deutscher Unternehmen**

Die Fördernehmer des Förderschwerpunktes EAA sind Kläranlagenbetreiber und daher kommunale, national ansässige Einrichtungen und Verbände. Das Thema Energieeffizienz ist im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit allerdings auch bei den staatlichen Organisationen der finanziellen und technischen Zusammenarbeit, KfW und GIZ, sehr aktuell. Die besonderen Rahmenbedingungen und möglichen Potenziale für Energieeinsparung und Klimaschutz bei der Abwasserbehandlung in den Entwicklungs- und Schwellenländern wurden daher im Rahmen eines Workshops im Juni 2018 mit technischen Sachverständigen der KfW-Entwicklungsbank diskutiert. Im Anhang findet sich eine kurze Zusammenstellung der Statements und Einschätzungen dieser Expertenrunde.

Auch im Ausland sind in einzelnen Ländern ähnliche Förderprogramme wie im UIP-Förderschwerpunkt geplant und umgesetzt. So wird derzeit von der KfW ein großes Finanzierungspaket für die Umstellung großer Kläranlagen in Tunesien (bis zu 1 Mio. EW) von aerober auf anaerobe Schlamm-Stabilisierung umgesetzt.

Die GIZ hat 2015 in Zusammenarbeit mit der DWA-Partner-Organisation ACWUA (Arab Countries Water Utilities Association) ein Handbuch zu Energieeffizienz in Trinkwasser- und Abwasseranlagen herausgegeben (Guidelines on Energy Efficiency in Water and Wastewater Utilities), in dem die Ermittlung von Energiekennwerten und die Ableitung von Optimierungsmaßnahmen im Abwasserbereich analog zum DWA-A 216 dargestellt werden. Insofern werden durch die hier entwickelten Kenn-

werte auch international Standards implementiert, die zwar keine verbindlichen Vorgaben machen, aber dennoch eine wertvolle Orientierung und Anregung bieten.

Über die oben genannten Organisationen, die einschlägigen Fachgremien der DWA (z. B. Fachausschuss Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft), sowie Consultants und Hochschuleinrichtungen sind die verschiedenen Initiativen fachlich und personell stark vernetzt. Dadurch ist eine Impulswirkung auch im Ausland durch die Ergebnisse des UIP gewährleistet. Deutsche Consultants haben Wettbewerbsvorteile, wenn entsprechendes Expertenwissen weitergegeben wird und Erfahrungswerte über Einsparpotenziale genutzt werden können. Ähnliches gilt für Anlagenbauer und Lieferanten von Ausrüstungsgütern.

Umgekehrt ergab die Diskussion mit den KfW-Sachverständigen, dass sich in vielen Ländern aufgrund der andersartigen Verfahrenstechnik bei Abwasseranlagen völlig andere Frage- und Problemstellungen ergeben, die erhebliche Auswirkungen auf den Klimaschutz haben. So wurde z. B. eine verbesserte Erfassung der massiven Methanemissionen aus UASB-Reaktoren bei der anaeroben Abwasserbehandlung (im Hauptstrom) angeregt. Dieser Reaktortyp ist wegen klimatischer Einflüsse (höhere Abwassertemperaturen) in tropischen Ländern weit verbreitet und insbesondere in Lateinamerika dominierend. Hier wäre selbst ein gezieltes Abfackeln des Faulgases ein erheblicher Gewinn für den Klimaschutz im Vergleich zur Ausgasung in die Atmosphäre. Ähnliches gilt für die erheblichen Methanemissionen aus den Anaerobstufen von unbelüfteten Teichkläranlagen in vielen Entwicklungsländern. Hier bietet sich ein sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich interessantes Betätigungsfeld.

Auch der verstärkte Einsatz von deutlich energieeffizienteren Tropfkörpern anstelle von Belebungsanlagen ist nach Ansicht der Experten im Hinblick auf Energieeffizienz und Einfachheit der Betriebsführung ein interessanter Ansatzpunkt.

Bezogen auf den europäischen Markt kann im Prinzip davon ausgegangen werden, dass sich bezüglich der Anlagentechnik ein ähnliches Bild wie in Deutschland bietet. Sehr entscheidend für das Marktpotenzial von Energieeffizienz-Technologien sind hier wie im übrigen Ausland vor allem die Strompreise für Kläranlagenbetreiber.

## **5.5 Multiplikatorwirkung**

Der UIP-Förderschwerpunkt EAA lief parallel zu einigen anderen Aktivitäten zur Förderung der Energieeffizienz in Abwasseranlagen (z. B. einschlägige Fortbildungsmaßnahmen der DWA für Planer und Betriebspersonal von Kläranlagen, die Förderung von Energieanalysen und Einsparmaßnahmen durch einige Bundesländer sowie die Fördermaßnahmen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative) ist es schwierig, die Multiplikatorwirkung des Förderschwerpunktes für sich genommen einzuschätzen. So wurde in den letzten Jahren verstärkt die Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung diskutiert und mehrfach umgesetzt, wobei insbesondere die UIP--geförderte Hochlastfaulung eine große Öffentlichkeitswirksamkeit erzielt hat. Die Förderung der beiden Projekte Schlitz-Hutzdorf und Weilerbach hat der aktuell stattfindenden Entwicklung zusätzliche Impulse gegeben.

Hinzu kommt, dass die geförderten Projekte mit wenigen Ausnahmen (z. B. EloPhos-Anlage) keine großtechnischen Umsetzungen völlig neuer Technologien zum Inhalt hatten, sondern auf die Erreichung innovativer energetischer Ziele ausgerichtet waren. Dies macht eine deckungsgleiche Übertragung auf andere Standorte schwierig.

Die im vorigen Kapitel dargestellte positive Entwicklung der Energieeffizienz auf Kläranlagen insbesondere im Bereich der vermehrten Faulgaserzeugung und -nutzung wurde durch die Aktivitäten und die Außenwirkung des UIP-Förderschwerpunkts befördert. Die Synergieeffekte wurden dabei vor allem dadurch erzielt, dass Inhalte und Zielsetzung des Programmes gut abgestimmt waren mit den einschlägigen Fachgremien der Berufsverbände (insbesondere dem Koordinierungsausschuss Energie in der DWA, bzw. dem Fachausschuss KEK 10 und der AG KEK 10.3) und mit politischen Gremien wie der

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Daneben fand ein reger Austausch auf informeller Ebene sowie auf Vortragsveranstaltungen und Workshops statt.

Die Ergebnisse der geförderten Projekte wurden u. a. auf den DWA-Energietagen und auf der internationalen Abwasser-Leitmesse IFAT in München 2014 und 2016 vorgestellt sowie in Fachzeitschriften (z. B. Korrespondenz Abwasser) publiziert. Sehr gut aufgenommen wurde der wechselseitige Austausch zwischen Projektpartnern im Rahmen der Status-Treffen und der Abschlussveranstaltung. Da auch Firmen des Anlagenbaus und größere Abwasserverbände (z. B. Ruhrverband, Erftverband) mit ihren Fachabteilungen vertreten waren, wurde eine relativ breite Multiplikatorwirkung erzielt. Die wichtigsten Inhalte der programminternen Workshops bzw. Statustreffen sind online abrufbar: <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/foerderschwerpunkte/energieeffiziente-abwasseranlagen>.

Darüber hinaus sind die Erfahrungen aus diesen Projekten über persönliche Kontakte in die Erarbeitung von Leitlinien in der Entwicklungszusammenarbeit von GIZ und KfW eingeflossen, z. B. bei der Erarbeitung des englischsprachigen Energie-Handbuchs Wasserwirtschaft der GIZ in Zusammenarbeit mit der arabischen DWA-Partnerorganisation ACWUA (<http://www.mena-water.net/fileadmin/MENA-WATER/energy-efficiency/guidelines/EE-Guidelines-final-web.pdf>), oder der Förderung von Energieoptimierungsmaßnahmen der KfW in Tunesien, wo die Umstellung der aeroben Schlammstabilisierung auf Faulung ein großes Thema ist. Der Erfahrungsaustausch wurde mit dem KfW-Workshop im Rahmen der Evaluierung nahtlos fortgesetzt.

## 5.6 Administrative Abwicklung des Förderschwerpunktes

Die ausreichende Verfügbarkeit von Betriebspersonal für Versuchsbetreuung, Umsetzung der Maßnahmen und den damit häufig verbundenen Betriebsstörungen, sowie für zusätzliche Messprogramme ist auf kleineren Kläranlagen trotz der finanziellen Unterstützung nur schwer zu leisten und setzt eine hohe Eigenmotivation voraus. Auch die administrative Abwicklung des Förderprogrammes und das Berichtswesen auf Verwaltungsebene bedingt erheblichen Mehraufwand, der bei kleineren Kommunen ebenfalls nur schwer zu erfüllen ist. Größere Verbände mit entsprechender übergeordneter Infrastruktur (Zentrallabore, Stabsabteilungen, etc.) können das einfacher leisten. Den Mehraufwand für das Berichtswesen und die Abrechnung der Fördergelder empfinden die Fördernehmer als gerechtfertigt.

Die Zusammenarbeit zwischen der KfW (formelle Prüfung der Anträge) und dem UBA (fachtechnische Prüfung) verlief in der Regel ohne große Reibungsverluste. Lediglich in einem Projekt kam es zu starken Verzögerungen bei der Prüfung von Nachträgen und Modifikationen des Antrags.

Ein Aspekt ist die Frage der Wirtschaftlichkeit der geförderten Projektansätze. Eine genaue Analyse der Wirtschaftlichkeit ist bei Kombinationsprojekten, bei denen mehrere Maßnahmen zeitgleich umgesetzt werden und nur teilweise der Energieoptimierung dienen, grundsätzlich schwierig. Werden zusätzlich verschiedene Bewertungsmethoden angewandt ist ein Vergleich kaum noch möglich. Es sollte deshalb für das Berichtswesen eine feste Methodik vorgegeben werden, um zumindest eine gewisse Vergleichbarkeit in der Beurteilung zu ermöglichen, z. B. Kosten-Nutzen-Analyse oder Berechnung der Amortisationszeit bei vorgegebenen Zinssätzen und Abschreibungszeiträumen. Dies gilt auch für die Berücksichtigung der Fördermittel in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Da der Förderschwerpunkt als Zielgruppe hauptsächlich Kommunen und Verbände adressiert, spielen Zeitverzögerungen, die durch kommunales Haushaltsrecht entstehen, eine große Rolle und wurden von den Antragstellern bei der Angabe des Umsetzungszeitraumes unterschätzt. Die Einholung der erforderlichen Beschlüsse der politischen Gremien und die Genehmigung der Haushalte durch Behörden, sowie das Vergaberecht bedingen in der Startphase und bei Projektänderungen und Verän-

derungen der Fördermittel eine starke Zeitverzögerung, die dann bei insgesamt fest vorgegebenem Zeitrahmen in der Schlussphase für erheblichen Termindruck gesorgt hat.

Das sorgfältige Monitoring vor und nach der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor, weil nur so die Datenbasis zur Beurteilung der Effizienz bestimmter Maßnahmen erweitert werden kann und gleichzeitig die Voraussetzungen für eine Multiplikatorwirkung geschaffen werden. Dies gilt sowohl für die Innenwirkung (Rechtfertigung von Investitionen für Energieeinsparung gegenüber dem eigenen Träger) als auch für die Außenwirkung zur Initiierung von Nachfolgeprojekten. Ohne belastbare Daten ist dies kaum möglich.

Im Rahmen eines Abschlussworkshops im Umweltbundesamt in Berlin am 12.11.2018 wurden die Hauptergebnisse der Evaluierung des UIP-Förderschwerpunktes EAA präsentiert. An dieser Veranstaltung nahmen Fördernehmer, MitarbeiterInnen des UBA und weitere Experten teil. Grundsätzlich haben sich alle anwesenden Fördernehmer in den präsentierten Ergebnissen wiedergefunden. Folgende Anmerkungen wurden von den Teilnehmern eingebracht:

- ▶ Die Schwierigkeit der Ermittlung von Einwohner-spezifischen Kennwerten wurde bestätigt, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Zulauffrachten erheblichen Schwankungen unterliegen. Es wurde u. a. angeregt, die behandelte Abwassermenge stärker bei den Kennwerten zu berücksichtigen. Ein Königsweg für die Ermittlung der Kennwerte gibt es jedoch auch nach Ansicht der anwesenden Ko-Autoren des DWA A 216 nicht. Bei einzelnen Aggregaten wird in diesem Arbeitsblatt ein anderer Bezug gewählt. So wird der Stromverbrauch von Pumpen sinnvollerweise auf die geförderte Wassermenge und die Förderhöhe bezogen.
- ▶ Die Datenerfassung alleine genügt nicht, die Daten müssen ausgewertet und interpretiert werden. Vor allem bei kleineren Verbänden und Kläranlagen fehlt oft das Personal für diese Aufgabe. Die Ausbildung sollte im Bereich der Datenanalyse verbessert werden.
- ▶ Eine Kooperation mit Herstellern, die die Daten für ihre Aggregate auswerten, kann zu einer Energieeffizienzsteigerung führen. Die erfassten Daten zum Stromverbrauch und der Leistungsaufnahme könnten auch direkt im Prozessleitsystem dokumentiert und dort kleinere Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden. Damit könnte das Betriebspersonal sehr einfach und schnell erkennen, wenn Aggregate aufgrund von Verschleiß zu viel Strom verbrauchen.
- ▶ Eine Beteiligung der Kläranlagenmitarbeiter an der Stromeinsparung in Form von Bonuszahlungen an das Betriebspersonal, wurde als zusätzliche Motivation für die Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen angesehen.

## 5.7 Abstimmung und Abgrenzung gegenüber anderen Förderprogrammen

Wie bereits in Abschnitt 5.5 dargestellt, gab und gibt es eine Reihe von parallel zum UIP laufenden Aktivitäten zur Förderung der Energieoptimierung von Abwasseranlagen. Zu nennen wären hier insbesondere die Förderprogramme im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative, NKI, bei der die neue Förderrichtlinie ab 1.1.2019 explizit Investitionskostenzuschüsse für Energiesparmaßnahmen im Bereich der Kläranlagen bietet (<https://www.ptj.de/projektfoerderung/nationale-klimaschutzinitiative/kommunalrichtlinie/klaeranlagen>).

Diese Förderaktivitäten könnten eine nahtlose Fortsetzung des UIP-Förderschwerpunktes z. B. im Bereich der Optimierung der Belüftung, der Erneuerung von Pumpen und anderer Maschinenteknik, aber auch bei der verfahrenstechnischen Optimierung der Anlagen sicherstellen. Ein Vorteil des NKI-Programmes ist, dass die Fördermittel über mehrere Jahre hinweg zum passenden Zeitpunkt bean-

tragt werden können, und damit die Maßnahmen besser in laufende Planungen und verfügbare Haushaltsbudgets eingefügt werden können.

Insofern erscheint es sinnvoll, dass der neue UIP-Förderschwerpunkt „Innovative Abwassertechnik“ explizit neue Themenfelder anspricht, die in der neuen NKI-Richtlinie nicht benannt sind, wie z. B. die Phosphor-Rückgewinnung. Eine gewisse Überlappung könnte es im Bereich der übergeordneten Energie- und Wärmenutzungskonzepte geben, da vom neuen Förderschwerpunkt ebenso wie im Rahmen der NKI ähnliche Ansätze verfolgt werden.

Hilfreich könnte sich auswirken, dass es inzwischen zahlreiche Förderprogramme der Bundesländer, aber auch die NKI für die Durchführung von Energieanalysen (beim NKI Potenzialanalyse genannt) gab und gibt, sodass künftig bei UIP-geförderten Projekten eine Energieanalyse leichter als Voraussetzung gefordert werden könnte.

Einen interessanten Ansatz verfolgt seit 2015 das STEP-Up-Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft, bei dem über Ausschreibungen die Projekte für eine Förderung ausgewählt werden, die eine besonders hohe Strom- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparung pro Euro an Fördermittel erzielen wollen/können: (<https://www.wettbewerb-energieeffizienz.de/foerderwettbewerb/rahmenbedingungen>). Damit ließe sich die Festlegung von fixen Zielwerten vermeiden. Gleichzeitig sind die Bereiche gezielt zu fördern, die besonders hohe Einsparpotenziale versprechen. Da das Programm ansonsten ähnliche Projekte fördert, ist hier eine gewisse Parallelität der Förderprogramme gegeben.

## **5.8 Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für neue Förderschwerpunkte**

### **5.8.1 Auswahl und Realitätsnähe der Förderkriterien**

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Auswahl der Förderkriterien zum Zeitpunkt der Ausschreibung des Förderschwerpunktes und dem damaligen Wissenstand entsprechend fachlich fundiert und geeignet war, innovative und fortschrittliche Verfahrenstechniken oder Projektansätze auszuwählen, die ehrgeizige Ziele hinsichtlich Energieeffizienz verfolgten. Auf Basis der Datenlage in 2010, also in der Konzeptionsphase des Förderschwerpunktes, erschienen die Zielwerte technisch machbar. Bei der Umsetzung der Projekte stellte sich allerdings heraus, dass einige der Zielwerte und der von den Fördernehmern selbst gesteckten Projektziele unter den gegebenen Randbedingungen nicht erreichbar sind. Auf Basis des heutigen Wissenstandes lässt sich das zumindest teilweise erklären und die Projektziele könnten differenzierter und realitätsnäher gesteckt werden. Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Projekte zusammengefasst, um daraus Empfehlungen aus heutiger Sicht für die Festlegung von Förderkriterien für künftige Projekte abzuleiten.

### **5.8.2 Projektergebnisse und Bewertung der Zielerreichung**

Grundsätzlich konnten in allen Projekten die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert und die Energieeffizienz insgesamt verbessert werden. Die größten Effekte wurden bei der Stromeinsparung für die Belüftung, der Erhöhung der Faulgasproduktion und der Steigerung der Effizienz bei der Faulgasverstromung erzielt. Insgesamt wurde der spezifische Stromverbrauch in den geförderten Projekten um rund 10 % auf 29,3 kWh/(E\*A) gesenkt, während die absolute Stromeinsparung mit 3.655 MWh/a aufgrund von Belastungsrückgängen sogar rund 20 % betrug.

Bei der Stromerzeugung aus Faulgas ergab sich eine noch größere prozentuale Verbesserung um 28 % (1.711 MWh/a). Bezogen auf die Zulaufkraft stieg die spezifische Stromerzeugung sogar um 45 %. Grundsätzlich bestätigt sich die Erfahrung aus zahlreichen Energieanalysen, dass die Einsparpotenziale höher sind und leichter realisiert werden können, wenn die Energiekennwerte vor Umsetzung der Maßnahme noch ungünstig sind.

Diese Ergebnisse sind aufgrund der geringen Zahl der geförderten Anlagen nicht zwangsläufig repräsentativ für den Gesamtbestand der Kläranlagen, geben aber eine erste Einschätzung der Potenziale. Sie bestätigen größenordnungsmäßig die Abschätzungen aus Potenzialstudien [Haber Kern 2008; DWA 2010].

Die Streubreite der Energie-Kennwerte ist bei den geförderten Projekten sowohl vor, als auch nach Umsetzung der Maßnahmen sehr hoch, was teilweise auf sehr unterschiedliche Randbedingungen bei den externen Einflussfaktoren zurückzuführen ist. Dies dürfte ein Hauptgrund dafür sein, dass viele Zielwerte trotz zum Teil deutlicher Verbesserungen gegenüber dem Ausgangszustand von den Projekten nicht erreicht wurden. Da bei den zur Förderung eingereichten Projekten in der Regel keine Gesamtoptimierung der Kläranlage beantragt wurde und daher nur Teilaspekte einer energetischen Optimierung gefördert werden konnten, blieben einige energetische Kennwerte der Kläranlagen auch nach Projektabschluss relativ ungünstig.

Nach Umsetzung der Maßnahmen wurden bei fast allen Förderkriterien die 90%-Perzentile der Häufigkeitsverteilung (sozusagen die „Top Ten“ der energieeffizienten Anlagen) von drei der geförderten Projekte erreicht.

Häufig wird betont, dass Energieoptimierung Nachrang hat gegenüber einer guten und stabilen Reinigungsleistung der Kläranlage und damit implizit ein Interessenskonflikt unterstellt. Tatsächlich hat sich auch in diesem Förderschwerpunkt herausgestellt, dass eine verfahrenstechnisch orientierte Energieoptimierung in der Regel sogar geringfügige bis deutliche Verbesserungen der Reinigungsleistung bewirkt, besonders bei der Stickstoffelimination. Bei keinem Projekt wurde eine Verschlechterung der Reinigungsleistung gemessen.

Eine relativ große Unsicherheit bei der Bewertung der in den Projekten erreichten Kennwerte entsteht zum einen durch teilweise unerklärliche Schwankungen bei der Bezugsgröße Zulaufkraft (Einwohnerwerte, Schlammfall), zum anderen durch Unsicherheiten bei den Berechnungsgrundlagen (z. B. bei der Definition der maximal möglichen spezifischen Gasausbeute oder dem Einsparpotenzial der Belüftung). Diese fachliche Problematik stellt sich unabhängig vom Förderschwerpunkt und muss durch weitere Forschungsarbeiten geklärt werden; sie erschwert aber die Bewertung der Zielerreichung im Rahmen dieser Evaluierung.

Bei der **CO<sub>2</sub>-Bilanz** ist es schwierig die Systemgrenzen der Betrachtung korrekt oder zumindest einheitlich zu definieren, wenn sie nicht auf die Betrachtung der Stromerzeugung bzw. -einsparung beschränkt bleiben soll.

Insbesondere bei Einbeziehung von anderen Treibhausgasen wie Lachgas (N<sub>2</sub>O) oder Methan ist die Datenbasis bzgl. der verfahrens- oder anlagenspezifischen Emissionen in Abwasseranlagen sehr gering. Die Vermeidung oder zusätzlich generierte Emission von Methan und Lachgas hat erheblichen Einfluss auf die Bilanz der CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Bereits ein Verlust von rund 5 % an Faulgas, z. B. über Faulschlamm- oder Leckagen führt zu einer Überkompensation der CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Faulgasverstromung. Diese Größenordnung wurde bei gezielten Messungen der Methanausgasung im Nassschlamm- oder Faulgaslager im Projekt Treysa tatsächlich gemessen. Andererseits führt eine stärkere Nutzung des Faulgases in der Verstromung dazu, dass Verluste (z. B. über Leckagen am Faulturm oder Abblasen über die Überdrucksicherungen) schneller registriert und behoben werden, weil sie mit verringerter Stromerzeugung und damit entsprechend höheren Kosten für den Strombezug verbunden sind.

Bei den Lachgasemissionen (überwiegend aus der biologischen Stufe) liegen in der Fachliteratur praktisch keine quantifizierbaren Berechnungsmodelle vor, um den Einfluss von Energieoptimierungsmaßnahmen (wie z.B. Änderungen der Belüftungsregelung) auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz belastbar zu ermitteln.

Ein Unterpunkt des Förderschwerpunktes betrifft die **Ressourceneffizienz**, wobei hier die Kriterien Nährstoffrecycling, Chemikalienverbrauch, Platzbedarf und Schlammproduktion betrachtet wurden.

Bei einem Projekt wurde ein neuartiges Verfahren der Struvit-Fällung gefördert, das einen wichtigen Beitrag zur verstärkten Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung lieferte.

Der größte Einfluss der übrigen geförderten Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz war beim Fällmittelverbrauch und bei der Schlammentwässerung festzustellen: Verringerter Einsatz von Konditionierungsmitteln und verringerte Schlammproduktion, vor allem bei Einrichtung oder Optimierung der Schlammfäulung.

Wie bei der Reinigungsleistung ist auch bzgl. der Ressourceneffizienz zu beobachten, dass sich eine verfahrenstechnisch optimale Konzeption und Betriebsführung in der Regel positiv auswirkt, weil häufig Zusatzstoffe zur Korrektur verfahrenstechnischer Mängel eingesetzt werden.

In einigen Projekten mussten im Laufe der Entwurfs- und Ausführungsplanung größere Modifikationen vorgenommen werden. Tendenziell war festzustellen: Je weiter der Planungsstand zum Zeitpunkt der Abgabe des Projektantrages fortgeschritten war, umso weniger Änderungen gab es in der Umsetzung und desto genauer wurden der Zeitplan und die Kostenschätzung eingehalten.

Hindernisse für die Zielerreichung waren sowohl rechtlich-organisatorische Rahmenbedingung als auch unerwartete technische Schwierigkeiten. In den meisten Fällen führte dies aber nur zu einer zeitlichen Verzögerung. Bei den Projekten mit externen Partnern (Interkommunale Zusammenarbeit bzw. Industrie-Partner) ergaben sich erhebliche Schwierigkeiten aufgrund unterschiedlicher Interessen und Planungshorizonte sowie verwaltungsrechtlicher Hürden.

### **5.8.3 Empfehlungen für künftige Förderschwerpunkte**

Die Zielwerte in den Förderkriterien sind gemessen an heute verfügbaren Häufigkeitsverteilungen der Kennwerte unterschiedlich ambitioniert. Sie sind für den spezifischen Stromverbrauch und den elektrischen Eigenversorgungsgrad sehr streng und können auch bei innovativen Projekten nicht immer erreicht werden. Bei der spezifischen Faulgaserzeugung sind sie moderat und beim Eigenversorgungsgrad Wärme und dem Grad der Faulgasnutzung leicht erreichbar und damit nicht selektiv genug für ein Spitzenförderprogramm. Beim elektrischen Wirkungsgrad der BHKW wäre eine stärkere Abstufung nach Anlagengröße sinnvoll, da der Zielwert von 38 % für große Anlagen angemessen, für kleinere Anlagen (unter 200 kWel) dagegen unrealistisch hoch ist.

Der spezifische Stromverbrauch ist als alleiniges Kriterium für die Beurteilung der Energieeffizienz nicht ausreichend, weil zum Teil zur Steigerung der Faulgaserzeugung zusätzliche Stromverbraucher installiert wurden, die zu einer Erhöhung des spezifischen Stromverbrauchs führten. Der spezifische Stromverbrauch muss daher immer in Verbindung mit der Entwicklung des Eigenversorgungsgrades gesehen werden.

Grundsätzlich ist eine Orientierung an anlagenbezogenen Idealwerten gemäß der Empfehlung des DWA A 216 sinnvoller als fixe Zielwerte, da so die örtlichen Rahmenbedingungen besser berücksichtigt werden. Dies erleichtert die Einordnung in Häufigkeitsverteilungen, da bei den anlagenbezogenen Idealwerten Korrekturfaktoren (Zu- und Abschläge auf Kennwerte) entfallen können, die ggf. zu Verwirrung beim Vergleich mit anderen Anlagen führen.

Das kommunale Haushaltsrecht (erforderliche Beschlüsse der Gremien und Genehmigung der Haushalte durch Behörden, sowie die langwierigen Vergabeverfahren) bedingt vor allem bei Projektänderungen und Veränderungen der Fördermittel bzw. des Finanzierungskonzeptes eine starke Zeitverzögerung, die für die Bemessung der Umsetzungszeiträume im Bereich der Körperschaften des öffentlichen Rechts stärker berücksichtigt werden sollte.

### **5.8.4 Pilot- und Demonstrationscharakter der Projekte**

Bei den geförderten Projekten gab es mit der Deammonifikation im Hauptstrom und der Deammonifikation für Trübwasser über Scheibentauchkörper zwei innovative Technologien, deren

Umsetzung wegen technischer Schwierigkeiten nicht bzw. nur in modifizierter Form erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Hier bestätigte sich, dass Forschungsergebnisse häufig nicht ohne weiteres in großtechnische Anlagentechnik übersetzt werden können, weil die jeweiligen Besonderheiten des Abwassers oder Klärschlammes zu unerwarteten Schwierigkeiten führen können. Dagegen konnte mit dem EloPhos-Verfahren eine weitere innovative Technologie zum Phosphorrecycling auch großtechnisch realisiert werden.

Überwiegend bestand der Pilotcharakter der Projekte nicht in einer technologischen Innovation im Sinne der erstmaligen großtechnischen Implementierung einer neuen Technologie. Der Schwerpunkt der meisten Anträge lag vielmehr in der Optimierung im Bestand sowie der innovativen Kombination und Anpassung bekannter Verfahren an örtliche Besonderheiten, um dadurch einen fortgeschrittenen Stand der Energieeffizienz bzw. die geforderten Zielwerte zu erreichen. Außerdem wurden im Bereich der Schlammbehandlung bzw. der Faulgaszeugung und Verwertung neue Organisationsmodelle entwickelt, mit denen eine energieeffizientere Betriebsweise möglich wurde.

Das Marktpotenzial und der Demonstrationscharakter des Förderschwerpunktes EAA resultiert dementsprechend nicht ausschließlich in der Bereitstellung neuer Verfahren, sondern vielmehr in der Bereitstellung von Referenzprojekten und der Anregungen für eine energieeffizientere Konzeption und Betriebsweise der Abwasseranlagen. Darüber hinaus wurde eine verbesserte Datenbasis für die Beurteilung des energetischen Einsparpotenzials geschaffen. In dieser Hinsicht waren die Messprogramme und die Veröffentlichung der Ergebnisse über Statustreffen, Workshops und Publikationen sehr hilfreich.

Referenzprojekte sowie die genauere und praxisbezogene Quantifizierung der Einsparpotenziale bieten eine wichtige Argumentationshilfe für die Bewilligung von Energieoptimierungsmaßnahmen in Abwasseranlagen durch politische Entscheidungsträger.

Sehr störend wirken sich die häufigen Änderungen im Energierecht auf die Übertragbarkeit und den Demonstrationscharakter der Projekte insbesondere im Bereich der Faulgasverstromung aus, da sie sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Organisation der Projekte massiv beeinflussen oder zum Teil sogar deren Umsetzung verhindern. Das gilt vor allem für die Zusammenarbeit mit externen Partnern. Dieser Punkt lässt sich aber nur außerhalb des UIP lösen.

Im Hinblick auf den Export ergeben sich zusätzliche Chancen für Consultants und Firmen des Anlagenbaus bei Energieeffizienztechnologien. Dies hat ein gemeinsamer Workshop mit Sachverständigen der KfW Entwicklungsbank, Experten aus dem Bereich der Energieeffizienz im Abwasser und Vertretern des UIPs gezeigt. Auch CO<sub>2</sub>-Gutschriften im Rahmen von Clean Development Mechanism (CDM) oder CO<sub>2</sub>-Zertifikaten könnten zusätzlich zu den Kosteneinsparungen interessant sein. Dies betrifft vor allem die erheblichen Methanemissionen, die von Anaerob-Stufen in Abwasserteichen oder UASB-Reaktoren ausgehen. Beides ist in Entwicklungsländern und Schwellenländern weit verbreitet. Auch die Umstellung großer Kläranlagen von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung, wie sie derzeit z. B. in Tunesien mit finanzieller Beteiligung der KfW vorangetrieben wird, birgt ein erhebliches energetisches Einsparpotenzial.

Allerdings sind im Ausland grundsätzlich andere Prioritäten und Randbedingungen zu beachten, insbesondere die Robustheit der eingesetzten Anlagen und deren einfache Bedienbarkeit, die Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Service-Leistungen, sowie die Berücksichtigung klimatischer Faktoren. Außerdem spielen institutionelle Fragen eine größere Rolle und der Strompreis wird häufig stark subventioniert, so dass die Rentabilität der Energiesparmaßnahmen leidet.

### **5.8.5 Wirtschaftlichkeit**

Die Rentabilität der energetischen Optimierung von Kläranlagen lässt sich selbst für definierte und klar umrissene Maßnahmen wie den Austausch der Belüfter oder die Umstellung von aerober auf an-

aerober Schlammstabilisierung nicht verallgemeinern, da sie sehr stark von örtlichen Besonderheiten und Rahmenbedingungen abhängig ist, nicht zuletzt auch vom Verschleiß vorhandener Anlagenteile. Grundsätzlich lassen sich aber Trends erkennen:

- ▶ Regelungstechnische Optimierungen haben häufig einen geringen Kostenaufwand bei teilweise hohem Einsparpotenzial. Dies gilt vor allem, wenn Regelungen nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen oder nicht mehr an die aktuelle Auslastung und Betriebsweise angepasst sind.
- ▶ Der Austausch von alten Aggregaten durch energieeffizientere Einheiten ist meist sehr rentabel, wenn die Restbuchwerte gering sind. Allerdings ergibt sich in der Beschaffungspolitik besonders bei öffentlichen Ausschreibungen die Schwierigkeit, dass bei neuen Aggregaten vor allem der Anschaffungspreis gewertet wird und daher energieeffizientere, aber etwas teurere Aggregate meist nicht zum Zuge kommen, obwohl sie bei einer life cycle cost - Betrachtung klar vorne lägen. Dies gilt vor allem für die energieintensiven Aggregate wie Gebläse, Pumpen und BHKWs.
- ▶ Ähnliches gilt für den Ersatz alter Anlagen, die zur Vermeidung von Investitionen in der Regel erst bei technischem Versagen ausgetauscht werden, obwohl ein vorzeitiger Austausch gegen ein energieeffizienteres Modell wirtschaftlich wäre. Das gilt vor allem für die wichtigsten Stromverbraucher auf Kläranlagen wie Pumpen, Gebläse (und Belüfter) sowie Rührwerke. Hier kann durch Investitionszuschuss ein entscheidender Anstoß zur vorzeitigen Erneuerung gegeben werden.
- ▶ Die Umstellung von aerober Schlammstabilisierung auf Faulung lässt sich bei Kläranlagen im unteren Bereich der Größenklasse 4 (unter 20.000 EW) und in Größenklasse 3 in der Regel nur durch Nutzung sonstiger Effekte (Kapazitätssteigerung, bessere Auslastung vorhandener Kapazitäten, Umnutzung vorhandener Bauwerke oder Stilllegung alter bzw. kleinerer Anlagen etc.) wirtschaftlich darstellen. Meist sind die Baukosten für einen Faulraum und die Vorklärung sowie die zusätzlichen Betriebskosten zu hoch, um über die Stromeinsparung refinanziert werden zu können. Eine Zentralisierung der Schlammfäulung von mehreren Anlagen auf einer Kläranlage, möglichst unter Nutzung vorhandener Faulraumkapazitäten, kann ein interessanter Kompromiss sein. Hier sollte versucht werden, auf den angeschlossenen kleineren Stabilisierungsanlagen zumindest eine kleine Vorklärung mit Primärschlamm Speicher einzurichten, um die Faulgaserzeugung auf der zentralen Anlage zu erhöhen und gleichzeitig Belüftungsenergie zu sparen.

Die Wirtschaftlichkeit einer Energieeffizienzsteigerung ist zudem stark abhängig von energierechtlichen Vorgaben und vom Strompreis. Da der Strompreis für Kläranlagenbetreiber vor allem in den ersten eineinhalb Dekaden dieses Jahrhunderts stark angestiegen ist, hat dies zu einer deutlich verbesserten Rentabilität der Energiesparmaßnahmen und damit zu verstärkten Aktivitäten in diesem Bereich beigetragen. Auf der anderen Seite wurden durch diverse Neuregelungen im Energierecht zahlreiche neue Kostenfaktoren geschaffen oder Vergünstigungen gestrichen, wie z. B. die EEG-Umlage-Pflicht für den selbst erzeugten und verbrauchten Strom oder die Abschaffung der KWK-Zulage für größere Faulgas-BHKWs. Außerdem hat eine ganze Reihe zusätzlicher Vorschriften und Meldepflichten zu einem erheblichen Zuwachs an bürokratischem Aufwand bei der energetischen Verwertung von Faulgas geführt, der Kläranlagenbetreiber zunehmend von einer effizienten Nutzung abhält.

Dies gilt insbesondere, wenn der Eigenbedarf überwiegend gedeckt ist und zumindest in Schwachlastphasen ein Stromüberschuss abgeben werden kann. Hier fehlt derzeit praktisch jeder finanzielle Anreiz. Noch schwieriger wird eine Verwertung des Faulgases in einem externen BHKW, beispielweise zur besseren Nutzung der dabei anfallenden Abwärme. Dadurch entsteht die paradoxe Situation, dass

gerade besonders energieeffiziente bis energieneutrale Kläranlagen für das Erzielen eines Energieüberschusses verwaltungstechnisch und finanziell eher bestraft als belohnt werden.

#### **5.8.6 Schlussfazit**

Die im Rahmen des UIP Förderschwerpunktes EEA umgesetzten Projekte haben gezeigt, dass in Abwasseranlagen durch die Optimierung und innovative Kombination bekannter und neuartiger Verfahren sowie deren optimale Adaption an die besonderen örtlichen Verhältnisse eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz möglich ist.

In den Projekten wurden im Mittel Stromeinsparungen von 20 % und eine Steigerung der Stromerzeugung aus Faulgas um 28 % erreicht, ohne dass es zu Verschlechterungen der Reinigungsleistung kam. Die Stromeinsparungen wurden vor allem im Bereich der Maschinenteknik und der Prozesssteuerung der biologischen Reinigungsstufe erzielt.

Eine einfache Übertragung von Technologien auf andere Abwasseranlagen oder eine Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den gesamten Anlagenbestand ist zwar nicht möglich; die Ergebnisse des Förderschwerpunktes führen aber zu wertvollen Anregungen und zeigen Trends auf, die sich inzwischen auch bei anderen Programmen zur Energieoptimierung abzeichnen. Dazu gehört die Erkenntnis, dass Sektor-übergreifenden Lösungen auch jenseits der Systemgrenzen der Abwasserbehandlung, deutlich größere Einsparpotenziale aufweisen als rein anlageninterne Ansätze. Hier wurde im neuen UIP-Förderschwerpunkt „Innovative Abwassertechnik“ im Oktober 2018 bereits ein entsprechender Ansatz aufgenommen ([www.umweltinnovationsprogramm.de/abwassertechnik](http://www.umweltinnovationsprogramm.de/abwassertechnik)).

Aufgrund des inzwischen stark gestiegenen Wissensstandes werden verschiedene Anpassungen der Förderkriterien für künftige Projekte oder Förderschwerpunkte empfohlen. Sinnvoll sind insbesondere der Ersatz fixer Zielwerte zugunsten anlagenbezogener Idealwerte und die begleitende Durchführung von Energieanalysen auch vor und nicht nur nach der Umsetzung der Maßnahmen. Dies wurde bereits im neuen Förderschwerpunkt aufgegriffen.

## Quellenverzeichnis

- Arab Countries Water Utilities Association (ACWUA) / Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Hrsg. (2015): Guidelines on Energy Efficiency in Water and Wastewater Utilities, Eschborn
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien Hrsg. (2013): Hauptstromdeammonifikation in Kläranlagen, Analyse des Einflusses auf die flüssigen und gasförmigen Emissionen kommunaler Kläranlagen in Österreich
- DWA, Hrsg. (2010): Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft - Schwerpunkt Abwasser, Hennef
- DWA, Hrsg. (2015): DWA Arbeitsblatt A 216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Hennef
- DWA, Hrsg. (2018): 30. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen, Hennef
- Morck, Tobias; Schwentner, Gerd (2019): 45. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg
- Haberkern, Bernd (1998): Seminar-Dokumentation - Energieeinsparung in Kläranlagen, IMPULS-Programm Hessen (Hrsg.), Darmstadt
- Haberkern, Bernd; Dr. Maier, Werner; Schneider, Ursula (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen; UBA-Texte 11/08, Berlin
- Kohlisch, G.; Taudien, Y.; Osthoff, T. (2013): Auswertung der vom Land NRW geförderten Energieanalysen kommunaler Kläranlagen, Forschungsbericht
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1998): Handbuch Wasser 4, Band 13, Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2018): Energie in Abwasseranlagen - Handbuch NRW - 2. vollständig überarbeitete Fassung
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (1999): Energie in Kläranlagen – Handbuch,
- Morck, T.; Schwentner, G. (2019): 45. Leistungsvergleich kommunaler KA, DWA Ba.-Wü.
- Müller, Ernst A.; Thommen, Rolf; Stähli, Peter (1994): Energie in ARA - Energiesparmaßnahmen in Abwasserreinigungsanlagen
- Roth, Manfred; Baumann, Paul (1999): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen - Leitfaden für das Betriebspersonal, ATV - Vereinigung für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz Landesgruppe Baden-Württemberg, Hrsg., Stuttgart
- Roth, Manfred; Baumann, P.; Maurer, P.; (2014): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen - Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen - Heft 4 – Praxisleitfaden (3.Auflage), DWA, Hrsg., Stuttgart
- Siekmann, Thomas (2018): Kompaktfaulung – Erzeugung und Nutzung von Faulgas auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe, Vortrag auf den DWA-Energietagen
- Statistisches Bundesamt / Destatis (2004 bis 2018): Erhebung über die Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas

Projektnummer 92848

## **Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinnovationsprogramm**

**Anhang zum Bericht**

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	5
1 Ausschreibung Förderschwerpunkt EAA .....	7
2 Energieautarke Kläranlage Jena.....	18
2.1 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	18
2.2 Ergebnisse .....	20
2.2.1 Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA-A 216.....	21
2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	22
3 Energieautarke Kläranlage Weilerbach .....	24
3.1 Antragstellung.....	24
3.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	24
3.3 Ergebnisse .....	25
3.3.1 Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA-A 216.....	27
3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	29
4 Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal .....	30
4.1 Antragstellung.....	30
4.2 Kurzbeschreibung des Projektes.....	30
4.3 Ergebnisse .....	32
4.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung.....	33
4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	34
5 Realisierung einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Wiesental Aachen.....	35
5.1 Antragstellung.....	35
5.2 Kurzbeschreibung des Projektes.....	35
5.3 Ergebnisse .....	36
5.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	36
6 Energetische Sanierung der Membrananlage Nordkanal.....	38
6.1 Antragstellung.....	38
6.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	38
6.3 Ergebnisse .....	39
6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: .....	41
7 Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa .....	44
7.1 Antragstellung.....	44

7.2	Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	45
7.3	Ergebnisse.....	45
7.3.1	Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung.....	47
7.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	49
8	Energieautarke Kläranlage mit Deammonifikation.....	51
8.1	Antragstellung.....	51
8.2	Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	51
8.3	Ergebnisse.....	52
8.3.1	Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung.....	54
8.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:.....	56
9	Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen am Beispiel der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf.....	58
9.1	Antragstellung.....	58
9.2	Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	58
9.3	Ergebnisse.....	59
9.3.1	Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung.....	61
10	Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung (Lingen).....	64
10.1	Antragstellung.....	64
10.2	Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	64
10.3	Ergebnisse.....	66
10.3.1	Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung.....	68
10.4	Wirtschaftlichkeit:.....	70
11	Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg.....	72
11.1	Antragstellung.....	72
11.2	Kurzbeschreibung der Projektumsetzung.....	72
11.3	Ergebnisse.....	73
11.3.1	Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung:.....	74
12	Zusammenfassungen Stromverbrauch und Kennwerte.....	76
13	Ergebnisse Expertenworkshop bei der KfW.....	79

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Jena .....	21
Abbildung 2: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Jena .....	21
Abbildung 3: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Jena .....	22
Abbildung 4: spezifischer Gesamtstromverbrauch; Kläranlage Weilerbach .....	27
Abbildung 5: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Weilerbach.....	28
Abbildung 6: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Weilerbach.....	28
Abbildung 7: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Blümeltal .....	33
Abbildung 8: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Blümeltal.....	33
Abbildung 9: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Blümeltal.....	34
Abbildung 10: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Nordkanal.....	40
Abbildung 11: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Nordkanal .....	41
Abbildung 12: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Treysa .....	47
Abbildung 13: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Treysa .....	48
Abbildung 14: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Treysa.....	48
Abbildung 15: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Eisenhüttenstadt.....	54
Abbildung 16: spezifischer Stromverbrauch, Kläranlage Eisenhüttenstadt .....	55
Abbildung 17: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Eisenhüttenstadt.....	55
Abbildung 18: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf.....	61
Abbildung 19: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf .....	62
Abbildung 20: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf .....	62
Abbildung 21: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Lingen.....	68
Abbildung 22: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Lingen .....	69
Abbildung 23: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Lingen.....	69
Abbildung 24: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Isselburg .....	74
Abbildung 25: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Isselburg.....	75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: vorher/nachher Vergleich Kläranlage Jena.....	20
Tabelle 2: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes, Kläranlage Jena .....	20
Tabelle 3: Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung, Kläranlage Jena.....	23
Tabelle 4: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Weilerbach .....	26
Tabelle 5: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes, Kläranlage Weilerbach.....	27
Tabelle 6: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Blümeltal .....	32
Tabelle 7: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Blümeltal .....	32
Tabelle 8 Vorher/Nachher-Vergleich der Energiekennwerte, Wiesental.....	36
Tabelle 9: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz;, Kläranlage Nordkanal .....	39
Tabelle 10: Vergleich mit Förderkriterien: Kläranlage Nordkanal.....	40
Tabelle 11: Werte nach LAWA zur Berechnung der Annuität, Kläranlage Nordkanal .....	41
Tabelle 12: Geplante und tatsächliche Ausgaben, Kläranlage Nordkanal.....	42
Tabelle 13: Energiedaten 2011 zu 2014, Kläranlage Nordkanal.....	42
Tabelle 14: Ermittlung der Kosten/ Nutzen- Verhältnis der Maßnahme, Kläranlage Nordkanal .....	42
Tabelle 15: Kosten- und Verbrauchsvergleich, Kläranlage Nordkanal .....	43
Tabelle 16: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Treysa.....	46
Tabelle 17: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Treysa .....	46
Tabelle 18: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Eisenhüttenstadt.....	53
Tabelle 19: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Eisenhüttenstadt.....	53
Tabelle 20: Gesamtstromverbrauch, Eigenstromerzeugung und Fremdstrombezug (IST-Vergleich), Kläranlage Eisenhüttenstadt .....	56
Tabelle 21: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf.....	59
Tabelle 22: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf.....	60
Tabelle 23: Aufteilung der Einwohnerwerte in kommunal und industriell (Dragon), Kläranlage Lingen.....	65
Tabelle 24: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz, Kläranlage Lingen.....	67
Tabelle 25: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Lingen .....	67
Tabelle 26: Jährliche Einsparung durch den Betrieb der Neuanlagen und Betriebskosten .....	70
Tabelle 27: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Bilanz; Isselburg.....	73
Tabelle 28: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Isselburg .....	73

Tabelle 29: Vorher-Nachher Vergleich, Stromverbrauch Belüftung .....	76
Tabelle 30: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes .....	77
Tabelle 31: Änderung des Eigenversorgungsgrades für Wärme .....	78

## 1 Ausschreibung Förderschwerpunkt EAA

### UIP - Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ (EAA)



#### 1. Begründung

Abwasserbehandlungsanlagen sind im kommunalen Bereich mit durchschnittlich 20 % Strombedarf die größten Stromverbraucher. Sie verbrauchen mehr Strom als Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude oder andere kommunale Einrichtungen. Der Gesamtstromverbrauch der rund 10.000 Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland liegt in der Größenordnung von 4.400 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr. Das entspricht etwa dem Strombedarf von 900.000 Vier-Personen-Haushalten und in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückt, einer Emission von 3 Millionen Tonnen pro Jahr.

Untersuchungen durch das Umweltbundesamt<sup>1</sup>, durch die Bundesländer (z. B. Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg) und durch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)<sup>2</sup> haben ergeben, dass relevante Energieeinsparpotenziale und Möglichkeiten zur besseren Ausnutzung des energetischen Potenzials der Abwasserbehandlungsanlagen (ABA) gegeben sind. Bei der Energieoptimierung von Abwasserbehandlungsanlagen sollte jedoch vor Aktivitäten zur Energieerzeugung stets eine Minimierung des Energieverbrauchs im Fokus stehen.

Energieeinsparungen lassen sich durch kurz- und mittelfristige Maßnahmen vor allem bei der Belüftung, bei der Behandlung und der Verwertung von Klärschlamm realisieren. Allein durch effizientere Belüftung, verbesserte Steuerung der Aggregate und Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Energieeffizienzklasse wäre in Deutschland eine durchschnittliche Stromeinsparung in Abwasserbehandlungsanlagen von 900 GWh pro Jahr oder ca. 600.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten Emissionsminderung pro Jahr realisierbar.

Die Energieerzeugung in Abwasseranlagen ist grundsätzlich den regenerativen Energien zuzuordnen<sup>3</sup>. Hinsichtlich des Energieerzeugungspotentials ist die gesamte Verfahrenskette, von der Nutzung der thermischen Energie des Abwassers, des nutzbaren Gefälles im Wasserweg, der Stromerzeugung durch verbesserte Faulgasgewinnung und -verwertung und der Gärresteverwertung von Bedeutung.

Durch optimierte Verfahren, die zu einer Erhöhung der Faulgasausbeute und des Wirkungsgrades bei der Verstromung führen, kann die Stromerzeugung auf kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen von derzeit 940 GWh pro Jahr nahezu verdoppelt und damit eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von weiteren knapp 600.000 Tonnen pro Jahr erreicht werden. Bei Nutzung aller Möglichkeiten geht die DWA in ihrer jüngsten Studie zur Steigerung der Energieeffizienz bei kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen langfristig von einer Vervierfachung der Stromausbeute auf rund 3.900 GWh pro Jahr aus.

Dies zeigt, dass die deutsche Siedlungswasserwirtschaft durch eine Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des Energiebedarfs und des CO<sub>2</sub>-Austoßes leisten kann. Innovative und umweltfreundliche

<sup>1</sup> UFOPLAN-Projekt „Steigerung der Energieeffizienz bei kommunalen Kläranlagen (FKZ 205 26 307)“

<sup>2</sup> DWA (2010): Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

<sup>3</sup> Ausnahme: Thermische Nutzung des Abwassers in Abwasserkanälen



Projekte in diesem Bereich haben ein hohes Demonstrations- und Multiplikationspotential.

Die umfänglichsten Einsparungen sind bei den großen Abwasserbehandlungsanlagen zu erwarten – rund 2.200 der 10.000 Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland haben eine Ausbaugröße von mehr als 10.000 Einwohnerwerten (EW)<sup>4</sup>, sie behandeln über 90 % des Abwassers und verursachen 87 % des Stromverbrauchs. Daneben sollen auch Industriekläranlagen, Gemeinschaftskläranlagen sowie kleinere Abwasseranlagen in den Förderschwerpunkt einbezogen werden. Insbesondere bei den kleineren kommunalen Abwasseranlagen liegt der spezifische Stromverbrauch deutlich über dem größerer Abwasserbehandlungsanlagen.

Ein effizienterer Einsatz von Energie bei der Abwasser- und Klärschlammbehandlung im Verbund mit der ressourcen- und energieeffizienten Klärschlammverwertung einschließlich der Co-Vergärung organischer Substrate machen das Erreichen des Zieles der „energieautonomen Abwasserbehandlungsanlage“ möglich.

---

<sup>4</sup> Kläranlagen der Größenklasse 4 (> 10.000 EW) und Größenklasse 5 (> 100.000 EW)



## UIP - Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ (EAA)



### 2. Förderkategorien und Förderkriterien

Gefördert werden Projekte mit Bezug zu Abwasseranlagen wie:

- der Abwassertransport in der öffentlichen Kanalisation,
- der Behandlung des Abwassers bis zur Einleitung in ein Gewässer und
- der Klärschlammbehandlung und -verwertung auf der Abwasserbehandlungsanlage (ABA).

#### 2.1 Abwasserwärmenutzung im Kanalnetz

Das Abwasser im Kanal hat im Jahresdurchschnitt eine Temperatur von ca. 15°C. In gut gedämmten Häusern gehen auf diese Weise bis zu 15 % der eingesetzten Heizenergie verloren. Bis zu 10 % des Gebäudebestands in Deutschland könnte effizient mit zurück gewonnener Wärme aus dem Abwasser beheizt werden.

**Förderkriterien:** Für eine Teilnahme am Wettbewerb muss die Abwasserwärmenutzung (z.B. Wärmetauscher, Wärmepumpen, Kombination mit BHKW) mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 erfolgen. Die Anforderung liegt über denen der Förderrichtlinie zum Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz (EEWärmeG Stand August 2010) die für Luft-Wasser-Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von 3,7 und für Wasser-Wasser und Sole-Wasser-Wärmepumpen von 4,3 verlangt.

#### 2.2 Energieeffiziente Abwasserbehandlung

Eine energieeffiziente Abwasserbehandlung, die Steigerung der Faulgasausbeute sowie eine Erhöhung der Faulgasnutzung bringen voraussichtlich das größte Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparpotential bei Abwasserbehandlungsanlagen.

In der Regel wird mehr als die Hälfte der bei der Abwasserbehandlung eingesetzten Energie, bei der Belüftung der Belebungsbecken für den aeroben Abbau benötigt. Durch vermehrten Einsatz anaerober Behandlungstechniken, verbesserter Steuerung der Aggregate sowie dem Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Energieeffizienzklasse kann das energetische Potenzial des Abwassers wesentlich effizienter genutzt werden.

Bei der Klärschlammbehandlung ist unter dem Aspekt der Energieeinsparung und Energieerzeugung die gesamte Verfahrenskette von der Schlammwässerung, Klärschlammaufschluss, der Faulgaserzeugung und -verwertung sowie der Gärrestverwertung zu betrachten.

Auch die Wärmeentnahme aus dem Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage



kann sich vor allem im Winterhalbjahr positiv auf das Gewässer, in das eingeleitet wird, auswirken. Abwasser wird oftmals im Betriebsablauf von Abwasserbehandlungsanlagen um mehrere Meter gehoben (bei Hochbehältern bis zu 20m). Durch Wasserkraftanlagen kann die Energie, die zuvor beim Heben eingesetzt wurde, zurück gewonnen werden. Die Wirkungsgrade bei Nutzung der Wasserkraft (potenzielle Energie) können 80 % erreichen.

Im Folgenden werden die Kriterien die zu einer Teilnahme am Wettbewerb berechtigen dargestellt. Hinsichtlich der Energieeffizienz der Abwasserbehandlung die Größenklassen 1 und 2 und die Größenklassen 3 bis 5 zusammengefasst werden.

- Für die Zuordnung zu einer Größenklasse ist die Ausbaugröße (in kg BSB<sub>5</sub>/d oder EW) maßgeblich.
- Zur Beurteilung industrieller Kläranlagen sowie von Gemeinschaftskläranlagen wird darüber hinaus die Stickstofffracht (TKN / BSB<sub>5</sub> Verhältnis) im Zulauf berücksichtigt (siehe unten)
- Zur Ermittlung der tatsächlich angeschlossenen Einwohnerwerte sind die einwohnerspezifischen Frachten entsprechend des ATV-DVWK A 131 zu Grunde zu legen. Im Allgemeinen gilt 60 g BSB<sub>5</sub>/ (EW d) im Zulauf. Die Ermittlung des Einwohnerwertes ist zu dokumentieren.
- Die genannten Zielwerte gelten unter folgenden Annahmen:
  - Gesamtabwassermenge 91 m<sup>3</sup>/EW · a bzw. 250 l/EW · d
  - Förderhöhe Zulaufpumpwerk ≤ 3 m
  - TKN / BSB<sub>5</sub>-Verhältnis im Zulauf ≥ 0,1 bis ≤ 0,25

### 2.2.1 Mittelgroße bis große Abwasserbehandlungsanlagen

Unter diesem Punkt können Förderanträge für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen der GK 3 (> 5000 EW) bis 5 (> 100.000 EW) sowie für vergleichbare industrielle Abwasseranlagen und Gemeinschaftskläranlagen eingereicht werden.

**Förderkriterien:** Für eine Teilnahme am Wettbewerb müssen die im Folgenden genannten Zielwerte für den spezifischen Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage (insgesamt) und den spezifischen Energieverbrauch für die Belüftung erreicht oder unterschritten werden. Um besonderen Randbedingungen, insbesondere der erhöhten Stickstoffbelastung durch Industrieabwasser gerecht zu werden, sind Korrekturen der Zielwerte vorgesehen (siehe Punkt: Besondere Abwasserzusammensetzung).

- **Gesamter spezifischer Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage [e<sub>ges</sub>]**

Der gesamte Stromverbrauch (E<sub>ges</sub>) setzt sich aus dem Strombezug und dem auf der Anlage erzeugten und verbrauchten Strom (z.B. durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)) zusammen.

$$E_{ges} \text{ (gesamter Stromverbrauch) } = \text{Strombezug} + E_{KWK}$$



Der gesamte **spezifische Stromverbrauch** ( $e_{ges}$ ) ist auf einen Einwohnerwert zu beziehen. Für anlagenspezifische Randbedingungen erfolgt eine Korrektur (siehe Tab. 3).

$$e_{ges} = (E_{ges} / EW) + K$$

$e_{ges}$  : Gesamter spezifischer Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage [kWh/(EW · a)]

$E_{ges}$  : Gesamter Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage [kWh/ a]

EW : Aktuell angeschlossene Einwohnerwerte

K : Korrektur von anlagenspezifischen Randbedingungen [kWh/(EW · a)]

Tab. 1: Zielwert für spezifischen Stromverbrauch  $e_{ges}$

Anlage/ Anlagenteil	Parameter	Kennwert Einheit	Zielwert mittelgroße bis große ABA
Kläranlage insgesamt	$e_{ges}$	kWh/EW·a	18

- **Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung ( $e_B$ )**

Bei fast allen Abwasserbehandlungsanlage mit Belebungsverfahren ist die Belüftung mit großem Abstand der wichtigste Stromverbraucher. Die Einflussmöglichkeiten zur energetischen Optimierung sind in der Regel bei der Belüftung groß, weswegen die Belüftung getrennt zu erfassen und bewerten ist.

Tab. 2: Zielwert für spezifischen Stromverbrauch  $e_B$

Anlage/ Anlagenteil	Parameter	Kennwert Einheit	Zielwert mittelgroße bis große ABA
Belüftung (anaerobe Schlammstabilisierung)	$e_B$	kWh/EW·a	10
Belüftung (simultane aerobe Schlammstabilisierung)	$e_B$	kWh/EW·a	12

- **Besondere Abwasserzusammensetzungen**

Besondere Abwasserzusammensetzungen, z.B. erhöhte N-Belastung durch Industrieabwasser, führen zu zusätzlichen energetischen Aufwendungen. Im Falle eines TKN / BSB<sub>5</sub>-Verhältnisses über 0,25 werden diese bei der Berechnung des Gesamtelektrizitätsverbrauchs berücksichtigt (siehe Zuschläge zum Zielwert).



Sind besondere Verfahrensstufen wegen erhöhter Anforderungen an die Ablaufqualität (zum Beispiel Membranfiltration) erforderlich, werden die daraus resultierenden Mehrverbräuche ebenfalls berücksichtigt und zum Zielwert (18 kWh/EW · a) für die gesamte Abwasserbehandlungsanlage addiert.

Tab. 3: Korrekturwerte (K) für die Berechnung des Gesamtelektrizitätsverbrauchs

Besondere Verfahrensstufen / Abwasserzusammensetzung	Parameter	Kennwert	Zuschlag
Förderhöhe Zulaufpumpwerk > 3 m	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 0,5 pro m zus. Höhendifferenz
Hohe N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB5 > 0,25)	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 1
Hohe N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB5 > 0,35)	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 2
Niedrige N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB5 < 0,1)	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	- 1
Flockungsfiltration/ Sandfiltration im Ablauf	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 2
Membranfiltration	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 9
Abwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 2,5
Klärschlamm-trocknung	E <sub>ges</sub>	kWh/EW·a	+ 2
Abluftbehandlung	E <sub>ges</sub>	kWh pro 1000 m <sup>3</sup> /h	+ 1

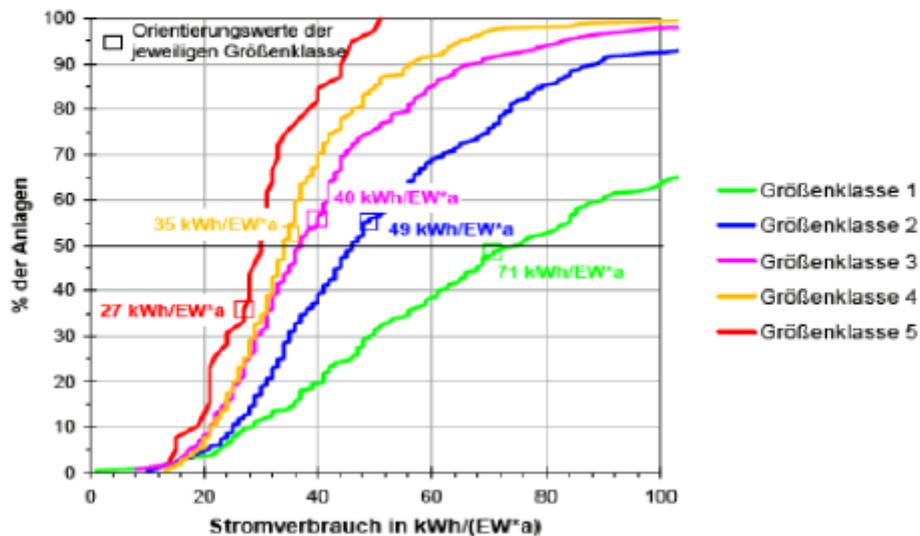
### 2.2.2 Kleine und mittelgroße Abwasserbehandlungsanlagen – Realisierung innovativer Konzepte

Unter diesem Punkt können Förderanträge für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen der **Ausbaugröße von 50 bis 5.000 EW (GK 1 und 2)** sowie für vergleichbare industrielle Abwasseranlagen und Gemeinschaftsklärwerke eingereicht werden.

Bei kleinen Abwasserbehandlungsanlagen ist die Streubreite des Energieverbrauchs unabhängig vom Verfahren sehr hoch. Wie aus untenstehender Abbildung hervorgeht, liegt der durchschnittliche Energieverbrauch erheblich über den Werten der Größenklassen 3 bis 5. Allerdings gibt es auch in GK 1 und 2 Anlagen, deren Energieverbrauch deutlich unterhalb des Medianwertes großer Anlagen liegt. Betrachtet man die 10 % der Anlagen der Größenklassen 1 und 2 mit den geringsten Stromverbräuchen, ist zu erkennen, dass diese mit einem Verbrauch von ca. 24 - 26 kWh / (EW · a) ein vergleichbares Potenzial aufweisen.



Für kleine kommunale Abwasserbehandlungsanlagen der GK 1 und 2 ergeben sich in Abhängigkeit des eingesetzten Verfahrens bei der Schlammstabilisierung Unterschiede im Stromverbrauch. Anlagen mit simultaner aerober Schlammbehandlung benötigen mehr Energie für die Belüftung. Anlagen mit Faulung benötigen weniger Belüftungsenergie. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der thermischen oder elektrischen Faulgasverwertung.



Streubreite des Stromverbrauchs nach Größenklassen (DWA Leistungsvergleich Baden Württemberg 2005) - Quelle: UFOPLAN-Projekt „Steigerung der Energieeffizienz bei kommunalen Kläranlagen (FKZ 205 26 307)“

### Förderkriterien

Für die Teilnahme am Wettbewerb müssen Anlagen der GK 1 und 2 die Zielwerte in Tabelle 4 erreichen oder unterschreiten. Bei kleinen Abwasserbehandlungsanlagen schlagen sich regionale Besonderheiten, wie die Notwendigkeit der Hebung des Abwassers deutlich stärker in den Kennzahlen nieder als in mittleren bis großen Abwasserbehandlungsanlagen. Hierfür sind Zuschläge entsprechend Tabelle 3 im Einzelfall zu berücksichtigen.

Tab. 4: Zielwert für Stromverbrauch von Kläranlagen GK 1 und 2

Anlage	Parameter	Kennwert	Zielwert
Abwasserbehandlungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung	Eges	kWh/EW·a	30
Abwasserbehandlungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung)	Eges	kWh/EW·a	25



Bei kleinen Anlagen schlagen sich regionale Besonderheiten, wie die Notwendigkeit der Hebung des Abwassers deutlich stärker in den Kennzahlen nieder als in Anlagen der Größenklassen 3 bis 5. Dies wird entsprechend berücksichtigt.

### 2.2.3 Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung

Die wesentliche Energiequelle einer Anlage ist die Produktion von Faulgas bei der anaeroben Schlammstabilisierung. Damit hängt die Energiebilanz entscheidend von der Faulgasproduktion und Faulgasausbeute ab (Faulgasproduktion). Das gewonnene Faulgas ist vollständig energetisch zu verwerten (Faulgasnutzung). Um das Faulgas optimal zu nutzen, sollte es vorrangig zur Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt werden. Der Grad der Faulgasumwandlung in elektrische Energie belegt den technischen Stand der Anlage (elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung). Bei Abwasserbehandlungsanlagen mit Faulung soll kein spezifischer externer Wärmebezug erfolgen, da die vollständige Eigenversorgung mit Wärme relativ einfach zu erreichen ist (Eigenversorgungsgrad Wärme).

**Faulgasproduktion:** spezifische Faulgasproduktion pro EW [ $\text{Nm}^3/(\text{EW}\cdot\text{a})$ ]

**Faulgasnutzung:** Anteil des Faulgases, der energetisch verwertet wird

**Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung:** [%]

**Eigenversorgungsgrad Wärme:** Thermischer Eigenversorgungsgrad der Abwasserbehandlungsanlage  $\text{EV}_{\text{th}}$  [%]

Tab. 5: Zielwerte für Abwasserbehandlungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung

Abwasserbehandlungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung	Parameter	Kennwert	Zielwert
Faulgasproduktion	$V_{\text{Faulgas}} \cdot \text{EW}^{-1}$	$l/\text{EW}\cdot\text{d}$	30
	(bei Normbedingung)	$(\text{Nm}^3/\text{EW}\cdot\text{a})$	(11)
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$	%	38 [2][3]
Eigenversorgungsgrad Wärme	$\text{EV}_{\text{th}}$	%	100

[1] Die Menge an Faulgas aus der Kofermentation (Richtwert 500 l/kg oTR) darf voll auf die gesamte Faulgasmenge angerechnet werden.

[2] bezogen auf einen Heizwert des Faulgases von 6 kWh/Nm<sup>3</sup>

[3] bei Anlagen mit großer elektrischer Leistung (> 1 MW) ist der Zielwert  $\eta_{\text{elek}} = 40\%$ ; bei Einsatz von Mikrogasturbinen aufgrund schlechter Gasqualität ist der Zielwert  $\eta_{\text{elek}} = 28\%$



## 2.2.4 Co-Vergärung

Co-Vergärung führt zu einer Steigerung der Energieeffizienz auf Abwasserbehandlungsanlagen durch Aufnahme zusätzlicher Biomasse in bestehende Anlagen. Eine 100 %-ige Eigenversorgung mit Elektrizität ist in der Regel nur mit Co-Vergärung zu erreichen (Eigenversorgungsgrad Strom).

**Förderkriterien:** Für eine Teilnahme am Wettbewerb ist eine 100- prozentige elektrische Eigenversorgung nachzuweisen.

Tab. 5: Zielwerte bei Co-Vergärung

Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung	Parameter	Kennwert	Zielwert
Eigenversorgungsgrad Strom	EV <sub>elek</sub>	%	100

Hinsichtlich der Co-Vergärung ist entsprechend § 55 Abs. 3 WHG durch eine ökobilanzielle Beurteilung nachzuweisen, dass die Mitbehandlung eines Substrates im Faulturm einer Abwasserbehandlungsanlage die umweltgerechteste Entsorgungsvariante ist. Weiterhin ist nachzuweisen, dass

- eine Verlagerung von Umweltbelastungen vermieden wird,
- freie Kapazitäten zur Mitbehandlung im Faulbehälter vorhanden sind,
- die Verarbeitung der Co-Substrate keine nachteiligen Auswirkungen auf die Faulung und die Verwertung des ausgefaulten Schlammes haben und
- die Rückbelastung aus der Schlammeindickung und Schlammwässerung nicht zu Störungen im Reinigungsprozess führen und die Ablaufwerte der Abwasserbehandlungsanlage nicht verschlechtern.

## 2.2.5 Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen

Unter diesem Punkt können Förderanträge für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen der Ausbaugröße von 50 EW bis 30.000 EW sowie für vergleichbare industrielle Abwasseranlagen und Gemeinschaftsklärwerke eingereicht werden.

Bei kleinen und mittelgroßen Anlagen sind optimierte Organisationsformen sinnvolle Maßnahmen zur Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz. Zu nennen ist beispielsweise die Errichtung von solaren Trocknungsanlagen zur Nutzung im Verbund. Von Interesse sind außerdem energetisch günstigere andere Konzepte wie Belüftung über Tropfkörper sowie semidezentrale Lösungen bei der Behandlungstechnik, der Klärschlammverwertung und der Energieerzeugung

## 2.3 Ressourceneffiziente Klärschlammbehandlung einschließlich Klärschlammverwertung

Eingehende Anträge zur Ressourceneffizienz in der Klärschlammbehandlung und Klärschlammverwertung sind grundsätzlich förderfähig und werden im Rahmen der



bereits bestehenden Förderinitiative „Kreislaufwirtschaft für Pflanzennährstoffe – insbesondere Phosphor“ bewertet.

Ziel einer zukünftigen Siedlungswasserwirtschaft ist die Verwertung der im Abwasser enthaltenen Nähr- und Rohstoffe. Dies ist aufgrund der Endlichkeit der weltweiten Phosphorlagerstätten geboten. Weitere Gesichtspunkte sind die Reduzierung des Nährstoffeintrags in die Oberflächengewässer sowie die Substitution von energieaufwändig hergestelltem Stickstoffdünger durch eine energieeffizientere Stickstoffrückgewinnung.

**Förderkriterien:**

**a) Klärschlamm-trocknung ohne Einsatz fossiler Brennstoffe**

Mindestanforderung für eine Teilnahme am Wettbewerb ist die Verwertung des getrockneten Klärschlammes in der Monoverbrennung oder in einem Verfahren, welches das stoffliche und energetische Potential des Klärschlammes nutzt. Ausgeschlossen ist die Trocknung als Vorschritt zur Mitverbrennung des Klärschlammes in Kohlekraftwerken, Zementwerken etc.

- Bei kleinen Abwasserbehandlungsanlagen kommen Verfahren wie z. B. solare Trocknung in Betracht,
- bei großen Abwasserbehandlungsanlagen kann die Trocknung des Klärschlammes mechanisch und/oder durch Nutzung von Abwärme erfolgen (geschlossener Energiekreislauf).

**b) Klärschlammverwertung**

Mindestanforderungen für eine Teilnahme am Wettbewerb sind:

- Der Anteil an zurück gewonnenem Phosphor aus dem Abwasserstrom muss mindestens 30 %, bezogen auf das Rohabwasser im Zulauf der Abwasserbehandlungsanlage, betragen.
- Bei Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm-Asche (ausschl. Monoverbrennung) muss die Rückgewinnungsquote mindestens 70 %, bezogen auf das Rohabwasser im Zulauf der Abwasserbehandlungsanlage, betragen.
- Bei thermischen Verfahren muss neben der stofflichen auch die energetische Verwertung integriert sein (Kraft-Wärme-Kopplung, Gasturbinen).
- Der energetische Teil der Verwertung muss ausschließlich als Monoverbrennung erfolgen. Eine Verdünnung der Rohstoffe (P, N ...) durch Mitverbrennung (z.B. in Zementwerken, Kohlekraftwerken) ist nicht förderfähig.
- Die Nährstoffrecyclingprodukte müssen mindestens die Wirksamkeit und Unschädlichkeit entsprechend den Anforderungen der Düngemittel-Verordnung (DüMV) aufweisen.



## UIP - Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ (EAA)



### Literatur

ATV-DVWK (2000): Arbeitsblatt 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

Haberkern, B., Maier W., Schneider U. (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Umweltbundesamt, Texte 11/08, Dessau

Müller, E.A., Kobel B., et al. (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Theilen U., Liebeneiner R. (2010): Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden



## 2 Energieautarke Kläranlage Jena

Die Kläranlage Jena hat eine Ausbaugröße von 210.000 EW. Zur Verbesserung der Energieeffizienz auf der Kläranlage Jena wurde die Faulgasproduktion durch eine Vergrößerung der Aufenthaltszeit im Faulturm erhöht. Dabei wurde durch den Bau eines dritten Faulbehälters die Aufenthaltszeit um 50 % im Vergleich zum Ausgangszustand verlängert. Neben dem Bau des neuen Faulbehälters, der sowohl parallel als auch in Reihe betrieben werden kann, wurde ein neues BHKWs installiert, das einen höheren elektrischen Wirkungsgrad als die bestehenden BHKWs hat.

Ziel der Maßnahme war ein energieautarker Betrieb der Kläranlage durch eine Erhöhung der Faulgas- und Stromproduktion zu erreichen. Eine Co-Vergärung war nicht vorgesehen. Antragsstellung

### Ansatzpunkt in der Antragsstellung:

Im Antrag war die Verbesserung der Hydrolyse des Überschussschlammes durch ein geeignetes Aufschlussverfahren (Desintegration) und eine Verbesserung der Ausfäulung im Faulturm durch Verlängerung der Verweilzeit und damit Erhöhung der Gasproduktion für einen energieautarken Betrieb der Kläranlage vorgesehen.

### Voruntersuchungen laut Antrag:

- ▶ Einsatz von 4 Desintegrationsverfahren im Technikumsmaßstab
- ▶ Diverse Gärversuche von Überschussschlamm
- ▶ Spektren organischer Säuren im Faulprozess
- ▶ Laborversuche zur Ausfäulung bei 35 Tagen Verweilzeit

### Kosten:

- ▶ Nach Antrag: 2.500.000 €

### Zuwendung:

- ▶ Zuwendungsfähige Ausgaben: 1.984.920 €
- ▶ Nicht zuwendungsfähig (Planung und Baugrundgutachten): 276.675 €
- ▶ Förderung: 595.476 €

### Änderungsantrag:

Mai 2013: Umwidmung Mittel aus Desintegration (Schätzung Erhöhung Gasproduktion um 5-6%) und Verwendung der Einsparungen (Differenz Antragsumme zu Ausschreibungssumme) für den Bau eines neuen Grundlast-BHKWs (Steigerung des Wirkungsgrade um 6-9%), dem Antrag wurde zugestimmt.

## 2.1 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- ▶ Bau dritter Faulturm (VFB: 2.000 m<sup>3</sup>), dadurch Erhöhung der Faulraumkapazität um 50%
- ▶ Erweiterung des Wärmetauschers
- ▶ Bau drittes BHKW (Grundlast-BHKW 400 kW; höherer Wirkungsgrad als bestehende BHKWs)
- ▶ der neue Faulturm wird mit einem Mischer umgewälzt, während die bestehenden Faultürme mittels Gaseinpressung umgewälzt werden

Kosten:

2.261.591 €

Anlagendaten und Kennwerte:

Ausbaugröße: 210.000 EW

Belastung: Vor Umbau: 170.833 EW  
Nach Umbau: 155.000 EW

Mittlerer Gasanfall:

Vor Umbau: 2.720 m<sup>3</sup>/d (15,9 l/(EW\*d))

nach Umbau: 3.300 m<sup>3</sup>/d (21,3 l/(EW\*d))

Stromverbrauch:

vor Umbau (2014): 2.781.914 / 18,0 kWh/(EW\*a)

nach Umbau (2015): 2.906.847 / 19,4 kWh/(EW\*a)

Aufenthaltszeit Faulturm:

vor Umbau (2014): 21-22 Tage

nach Umbau (2015): 32-34 Tage

Schlammraten:

vor Umbau (2014): 3.600 kg oTS/d

nach Umbau (2015): 3.300 kg oTS/d

entsorgte Schlammmenge:

vor Umbau (2014): 7.500 – 8.300 t/a

nach Umbau (2015): 7.300-7.800 t/a

Temperatur Faulturm:

vor Umbau (2014): 36-41°C

nach Umbau (2015): 37-41°C

## 2.2 Ergebnisse

In folgender Tabelle sind die spezifischen Kennwerte vor und nach Umsetzung der Maßnahmen zusammengestellt. Zum Vergleich sind zudem die im Antrag formulierten Ziele eingetragen.

Tabelle 1: vorher/nachher Vergleich Kläranlage Jena

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	19,4	13,8
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	7,7	8,4	7,4
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	17,1	21,3	30,3
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%		96,4	
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	37	39,5	41
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%		100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	83	>100	100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a			305,7	500
Verringerung Faulschlammmenge	t/a			1.100	1.752

In folgender Tabelle sind die Kennwerte im Vergleich zu den Zielwerten aus dem UIP Förderschwerpunkt Energieeffiziente Abwasseranlagen zusammengefasst.

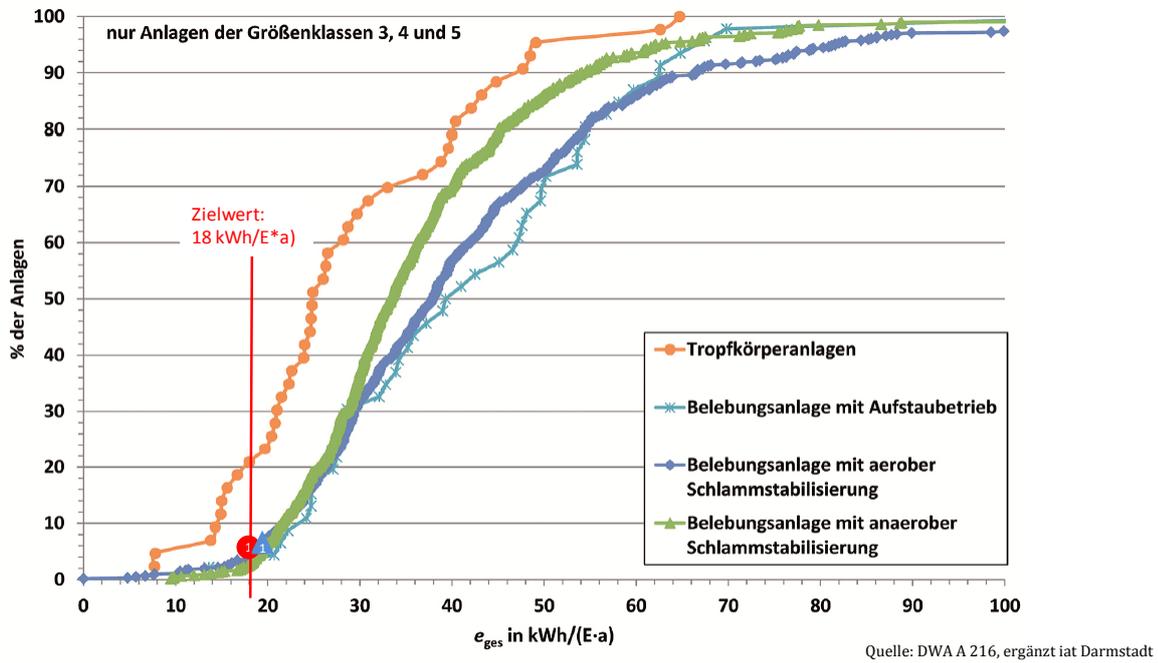
Tabelle 2: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes, Kläranlage Jena

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Jena
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	19,4
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	10	8,4
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	30	21,3
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	96,4
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	38	39,5
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		>100

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

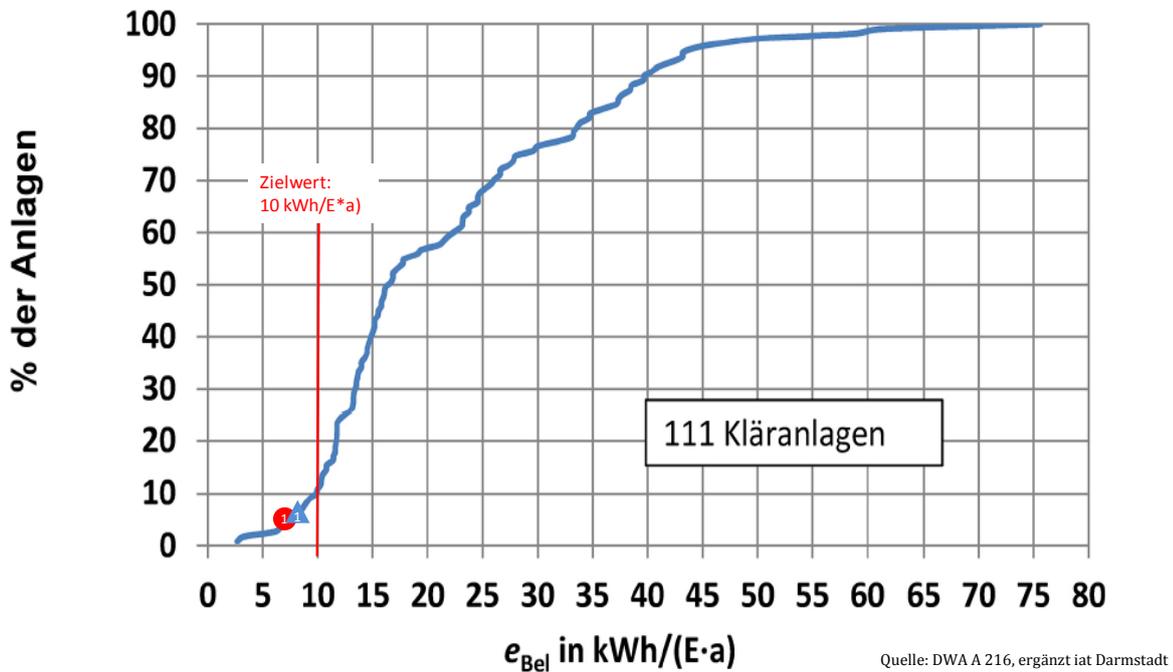
### 2.2.1 Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA-A 216

Abbildung 1: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Jena



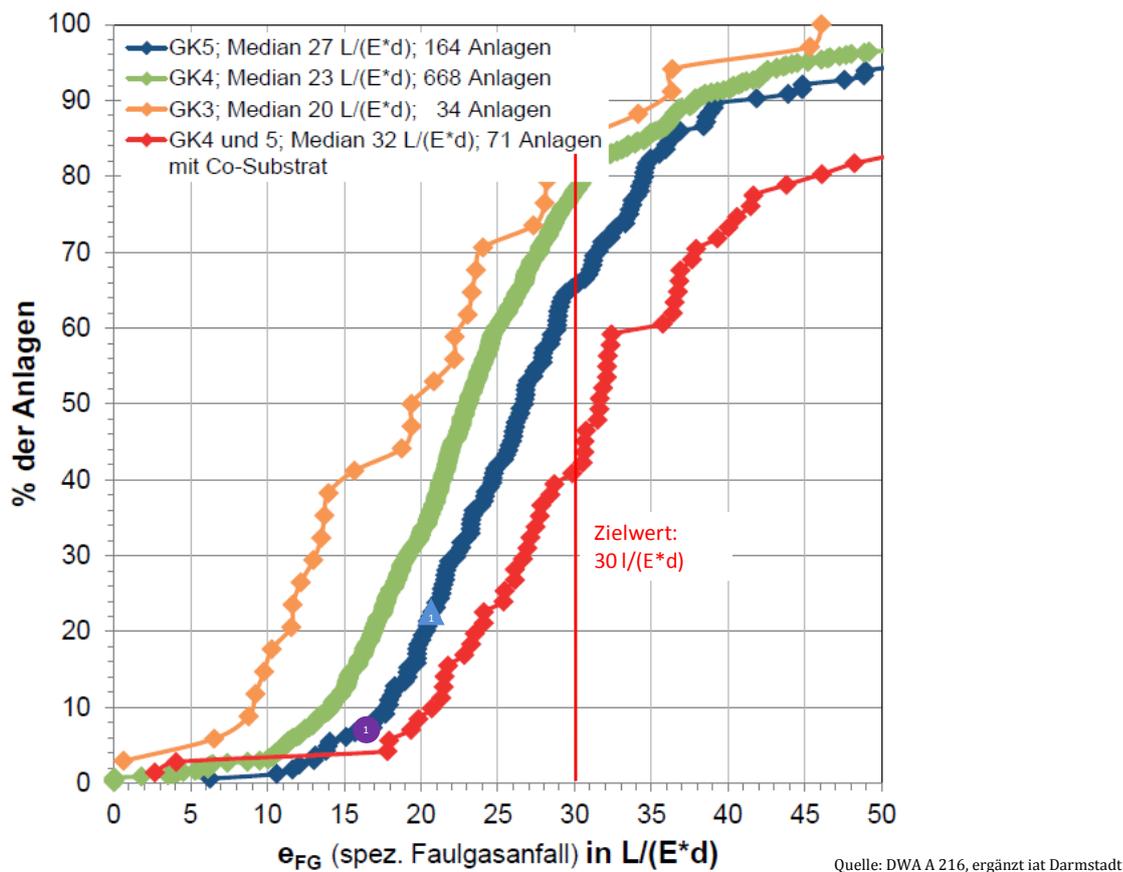
Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Abbildung 2: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Jena



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Abbildung 3: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Jena



Zeichenerläuterung: Lila Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Durch die Umsetzung der Maßnahmen hat sich die Entwässerbarkeit des Schlammes verbessert.

Haupt Hindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

- ▶ Sehr geringer Zeitraum zwischen Fördermittelzusage bis erforderlichem Baubeginn zur Einhaltung des terminierten Projektendes
- ▶ Umbau bei vollem Betrieb der Anlage (Koordinationsaufwand)
- ▶ Änderung in der Gesetzgebung (Bund) während Planung und Bau (speziell Änderungen im Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG), wodurch sich die Wirtschaftlichkeit der Eigenstromerzeugung verschlechtert hat
- ▶ erforderliche Genehmigung gemäß Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG
- ▶ Verlängerung der Umsetzungszeit aufgrund des Hochwassers 2013.

### 2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Kostenvergleichsrechnung gemäß der LAWA-Leitlinien (LAWA 2005) wurden folgende Alternativen betrachtet:

- ▶ Alternative 1: Weiterbetrieb von 2 Faulbehältern mit bisherigem Gasertrag und unverändertem Abbaugrad der organischen Trockensubstanz
- ▶ Alternative 2: Neubau eines dritten Faulbehälters mit höherem Gasertrag und besserem Abbaugrad der organischen Trockensubstanz

Alternative 1 verursacht keine weiteren Investitionen und entsprechende Abschreibungen, wogegen Alternative 2 zusätzliche Kapitalkosten verursacht und dafür einen Betriebskostenvorteil erzeugt.

### Berücksichtigung der Maßnahmenförderung durch die KfW

Der sich ergebende Betrag wird einmalig bei der Erstinvestition von Maschinen, Bau- und elektrotechnischen Anlagen von den berechneten Kosten abgezogen. Die Re-Investitionen nach Ablauf der gemäß LAWA angesetzten Nutzungsdauern werden ungekürzt berücksichtigt.

Finanzmathematische Ansätze (nach LAWA):

Untersuchungszeitraum: 30 Jahre

Zinssatz: 3%

Jährliche Preissteigerungsrate: 2,5%

In der vorliegenden Kostenvergleichsrechnung wird der kostenbewertete Nutzen der Faulung (Einsparung an Stromkosten durch gestiegene Eigenstromerzeugung, Reduzierung der Entsorgungskosten durch zusätzlichen Abbau organischer Trockensubstanz) abzüglich der Wartungs- und Instandhaltungskosten für die Neuinvestitionen als progressiv steigende Kostenreihe berücksichtigt.

Tabelle 3: Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung, Kläranlage Jena

	Alternative 1	Alternative 2	Differenz
Erstinvestition - Zuwendung KfW	-	1.598.170 €	- 1.598.170 €
Re-Investition nach 15 Jahren	-	939.290 €	- 939.290 €
Mehrkosten Betrieb p.a	101.004 €	-	101.004 €
Barwert Einzelkosten:	-	2.201.065 €	- 2.201.065 €
Barwert Kostenreihe:	2.812.463 €	-	2.812.463 €
Projektkostenbarwert PKBW:	2.812.463 €	2.201.065 €	611.399 €
<b>Jahreskosten p.a.</b>	143.490 €	112.297 €	31.193 €

Es zeigt sich ein Kostenvorteil für die Alternative 2 mit einem um rd. 611.000 € geringeren Projektkostenbarwert. Die Erweiterung der Faulung lässt sich somit auch aus wirtschaftlichen Gründen rechtfertigen jedoch nur unter Einbeziehung der beschiedenen Fördermittel.

### 3 Energieautarke Kläranlage Weilerbach

Die Kapazität der Kläranlage Weilerbach wurde durch den Umbau in 2014 von 16.000 EW auf 30.000 EW erhöht. Dabei wurde die biologische Abwasserbehandlung von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Schlammstabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung umgestellt. Das anfallende Faulgas wird über eine Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) verstromt und dient somit der Eigenversorgung der Kläranlage. Der Strombedarf der Kläranlage sollte durch eine Optimierung der Prozesssteuerung und durch den Einsatz von energieeffizienten Motoren minimiert werden.

Ziel der Maßnahme war ein energieautarker Betrieb der Kläranlage zu erreichen, so dass weder Strom von Wärme von externen Anbietern zugeführt werden muss. Modellhaft sollte gezeigt werden, dass unter der Ausnutzung der Energieeinsparpotenziale und der Optimierung der Faulgaserzeugung mittelgroße Anlagen energieautark betrieben werden können.

#### 3.1 Antragstellung

##### Ansatzpunkt:

- ▶ Umstellung der Kläranlage von aerober Stabilisierung auf eine anaerobe Stabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung unter Nutzung des anfallenden Gases über KWK mit dem Ziel eines energieautarken Betriebes der Anlage.

##### Voruntersuchungen laut Antrag:

Keine genannt

##### Kosten:

Nach Antrag: 2.033.503,85 €

##### Zuwendung:

Zuwendungsfähige Ausgaben: 1.934.585,84 €

Nicht zuwendungsfähige Ausgaben (Genehmigungsplanung, Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe, Messprogramm): 98.918,01 €

Förderung: 580.376 €

##### Änderungsantrag

Keiner vorhanden

#### 3.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- ▶ Vorversuche:  
Versuche zur Gasproduktion mit dem Ergebnis, dass 442 l Gas pro kg oTR<sub>zu</sub> bei einer hydraulischen Aufenthaltszeit von 7 Tagen entstehen; in der Nachvergärung entstehen weitere 64 l/(kg oTR<sub>zu</sub>)
- ▶ Neubau 2. Sand- und Fettfang
- ▶ Neubau Vorklärbecken (Aufenthaltszeit 1h)
- ▶ Optimierung Belebung (Außerbetriebnahme eines Beckens, Impulsbelüftung, Anpassung ts<sub>BB</sub> an Temperatur)
- ▶ Tausch von alten Motoren durch IE3 Motoren
- ▶ Bau maschinelle ÜS-Eindickung
- ▶ Bau einer einstufigen Hochlastfaulung (V 300 m<sup>3</sup>, geplante Aufenthaltszeit von 7-8 Tagen und einer Raumbelastung von > 5 kg oTS<sub>zu</sub>/(m<sup>3</sup>\*d))
- ▶ Umbau Schlammsilo zur Nutzung eines Segmentes als Nachvergärung (geplante Aufenthaltszeit 4-5 Tage). Die Nachvergärung wird lediglich bei Wärmeüberschuss beheizt.

- ▶ Bau Gasspeicher, Fackel und BHKW (Nutzung der Abwärme für Erwärmung Faulturm und Betriebsgebäude)

Kosten:

Kosten für die Umsetzung des UIP-Projektes: 3.000.000 €  
(Gesamtumbaukosten liegen bei rund 4.000.000 €, wobei rund 1.000.000 € nicht auf das UIP-Projekt bezogen werden können).

Anlagendaten:

Ausbaugröße:

30.000 EW (Nach Umbau 2014, vorher 16.000)

Belastung:

Vor Umbau: 22.244 EW<sub>CSB</sub>; 29.976 EW<sub>BSB</sub> (2014)

Nach Umbau: 21.568 EW<sub>CSB</sub>; 24.266 EW<sub>BSB</sub> (2015-2016)

Mittlerer Gasanfall:

Vor Umbau: kein Faulgasanfall

nach Umbau: 524 m<sup>3</sup>/d (24,3 l/(EW\*d))

Energieverbrauch:

vor Umbau (2014): 462.800 / 20,8 kWh/(EW\*a)

nach Umbau (2015): 448.000 / 20,8 kWh/(EW\*a)

Stromerzeugung nach Umbau (2015):

294.560 kWh/a

Aufenthaltszeit Faulturm:

vor Umbau (2014): kein Faulturm

nach Umbau (2015): rund **14** Tage

Aufenthaltszeit Nachvergärung:

vor Umbau (2014): kein Faulturm

nach Umbau (2015): rund **9** Tage

Temperatur Faulturm:

vor Umbau (2014): kein Faulturm

nach Umbau (2015): 36,5-37,5 °C

Temperatur Nachvergärung:

vor Umbau (2014): keine Nachvergärung

nach Umbau (2015): 35,8-37,5 °C

### 3.3 Ergebnisse

Das Projekt wurde baulich ohne Änderungen zu den Angaben im Antrag umgesetzt. Aufgrund der geänderten Zulaufbelastung haben sich andere Aufenthaltszeiten und eine andere organische Belastung in der Hochlastfaulung und der Nachvergärung ergeben:

Hochlastfaulung:

- ▶ Aufenthaltszeit geplant: 7-8 Tage
- ▶ Aufenthaltszeit umgesetzt: rund 14 Tage
- ▶ Organische Belastung geplant: 5 kg oTS/(m<sup>3</sup>\*d)
- ▶ Organische Belastung umgesetzt: 3,6 kg oTS/(m<sup>3</sup>\*d)

Nachvergärung:

- ▶ Aufenthaltszeit geplant: 4-5 Tage
- ▶ Aufenthaltszeit umgesetzt: rund 9 Tage

Tabelle 4: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Weilerbach

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(E*a)	20,8	20,8	19,5 <sup>1</sup>
Spez. Stromverbrauch Belüftung	e <sub>Befl</sub>	kWh/(E*a)		7,1	10
Faulgasproduktion	V <sub>Faulgas</sub> *E	l/(E*d)		24,3	30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%		100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	η <sub>elek</sub>	%	0	28,2	36
Eigenversorgungsgrad Wärme	EV <sub>th</sub>	%	0	100	
Eigenversorgungsgrad Strom	EV <sub>elek</sub>	%		66(72,2 <sup>2</sup> )	100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a			181,4 <sup>3</sup>	248
Verringerung Faulschlammmenge	%			44	33
Reduzierung Stromverbrauch	kWh/a			15.000	55.000

In folgender Tabelle sind die Kennwerte im Vergleich zu den Zielwerten aus dem UIP Förderschwerpunkt Energieeffiziente Abwasseranlagen zusammengefasst.

<sup>1</sup> 17,6 nach Fachvotum

<sup>2</sup> Wenn Störungszeitraum unberücksichtigt wird (Übersäuerung FT)

<sup>3</sup> Nur Strom

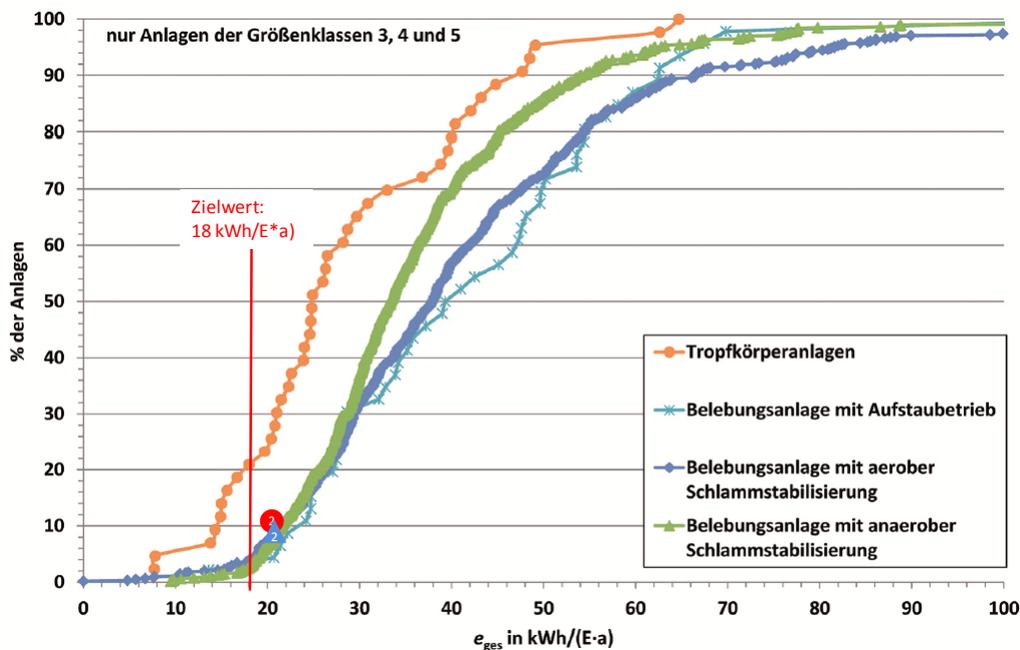
Tabelle 5: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes, Kläranlage Weilerbach

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Weilerbach
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	20,8
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	10	7,1
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	30	24,3
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	38	28
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		66(72,2)

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 3.3.1 Kennwerte im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung nach DWA-A 216

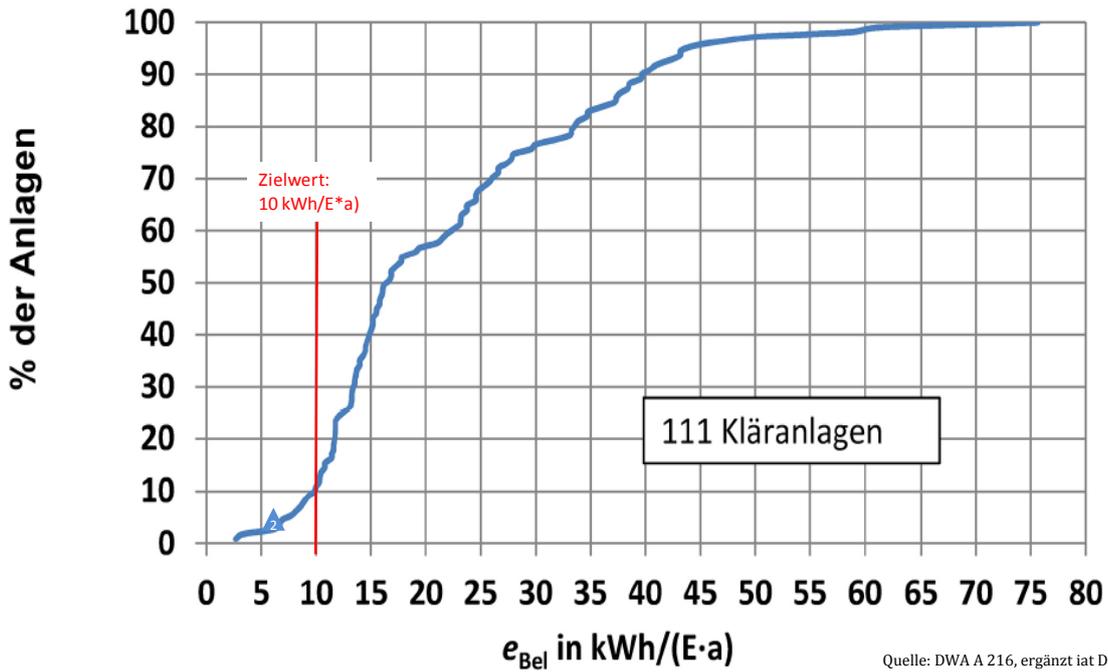
Abbildung 4: spezifischer Gesamtstromverbrauch; Kläranlage Weilerbach



Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

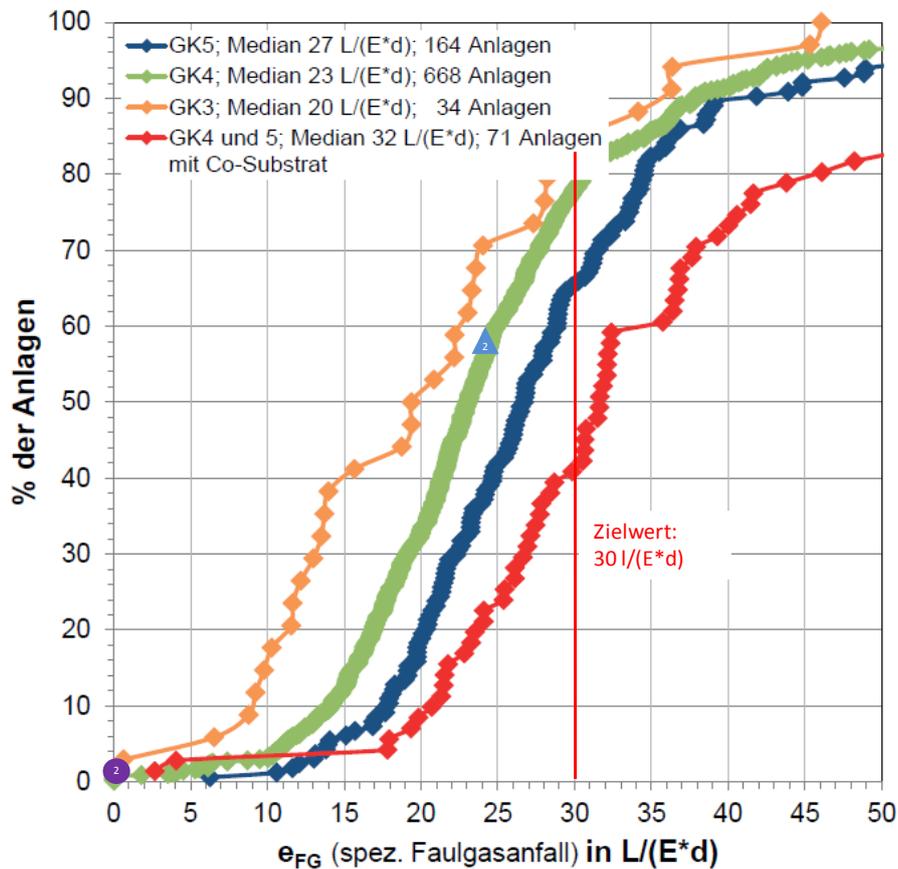
Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Abbildung 5: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Weilerbach



Zeichenerläuterung: blaues Dreieck nach Umsetzung

Abbildung 6: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Weilerbach



Zeichenerläuterung: blaues Dreieck nach Umsetzung

Die Betriebsstabilität hat sich durch die Umsetzung der Maßnahme verbessert, die Reinigungsleistung ist gleich geblieben.

Haupthindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

Die Einbindung der neuen Anlagenteile in die rund 25 Jahre alte Kläranlage

Durch die Umsetzung der Maßnahme hat sich der Einsatz von Kalk um 36,8% verringert, der FeCl<sub>3</sub> Einsatz hat sich um 35,6 % erhöht, während der Einsatz von NaAl um 100 % zurückging. Die Schlammproduktion hat sich um 44,3 % verringert, die zu entsorgende Schlammmenge ist um 35,8 % zurückgegangen.

Messtechnische Schwierigkeiten:

Rückgang der EW<sub>BSB5</sub> um rund 17% mit schwankenden Werten

### **3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Durch die Umstellung der GKA Weilerbach von aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung mit anschließender Nachvergärung reduzieren sich die Betriebskosten (Energie, Betriebsmittel und Schlamm Entsorgung) für den Betrieb der GKA Weilerbach ab der Inbetriebnahme der neuen Anlagenteile um ca. 113.000 €/a (-68 %) und die Jahreskosten (entsprechend LAWA, 2012) um ca. 150.000 €/a. Hierbei wurde von einem Zinssatz von 2,5 % und einer Preissteigerung für Betriebsmittel von 1,5 % und für Energiekosten von 4 % ausgegangen. Auf Basis dieser Jahreskosteneinsparung wird eine Amortisation nach ca. 17 a erreicht.

## 4 Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal

Die Kläranlage Blümeltal hat eine Ausbaugröße von 62.000 EW. Das Maßnahmenpaket beinhaltet neben der Umstellung von vorgeschalteter auf intermittierende Denitrifikation und einem optimierten Steuer- und Regelungskonzept der Belüftung, den Austausch der Belüfter und die Verbesserung der hydraulischen Durchströmung der Belebungsbecken durch den Einbau verschiedener Leitwände. Das Steuer- und Regelkonzept ist mit einer Lastprofilerkennung ausgestattet.

Das Ziel der Maßnahmen war es, die Kläranlage Blümeltal ohne die Annahme von Co-Substraten annähernd energieneutral durch eine Verringerung des Stromverbrauches zu betreiben.

### 4.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ Optimierung des Kläranlagenbetriebes durch ein optimiertes Steuer- und Regelungskonzept mit Frachtprofilerkennung. Vergleichmäßigung der Zulauffracht und Umstellung der Verfahrenstechnik von vorgeschalteter Denitrifikation auf intermittierende Denitrifikation.

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

- ▶ In Form von Teilnahme am Prozessbenchmarking Kläranlage der Aquabench GmbH für die Jahre 2009 und 2010,
- ▶ sehr detaillierte Kostenschätzung der Umbaumaßnahmen (für Belüfter, Sonden und Programmierung) im Antrag

#### Kosten:

Nach Antrag: 995.546,60 €

#### Zuwendung:

Zuwendungsfähige Ausgaben: 885.030,81 €

Nicht zuwendungsfähig: Grundlagenermittlung: 72.511,74 € und Messprogramm: 38.004,05 €

Förderung: 265.509 €

#### Änderungsantrag

keiner vorhanden

### 4.2 Kurzbeschreibung des Projektes

#### Umsetzung:

- ▶ Umstellung vorgeschaltete Deni auf intermittierende Deni und Außerbetriebnahme bzw. Rückbau des Rezirkulationspumpwerkes
- ▶ Nutzung des stillgelegten Nachklärbeckens als Frachtausgleichsbecken, der Ablauf aus dem Frachtausgleichsbecken kann an zwei Stellen eingeleitet werden (über Rücklaufschlammleitung in Deni 1 oder in Belebung 2.1).
- ▶ Bypassleitung um Vorklärung, so dass bei ungünstigen Nährstoffverhältnissen die Vorklärung automatisch umfahren wird. Der Zulauf wird dann direkt ins Becken D1 gegeben.
- ▶ Einbau von Plattenbelüftern in Deni-Becken zur intermittierenden Belüftung
- ▶ Stoßbelüftung statt Einsatz von Rührwerken
- ▶ Einbau einer Trennwand zur Realisierung der Pfropfenströmung in B2-4 und bessere Durchströmung der Becken
- ▶ Bau von „kalten“ Ansaugrohren für Gebläse (erdverlegte Führung der Rohre zur Kühlung im Sommer)
- ▶ Umsetzung der Zugabestelle des Fällmittels zur P-Elimination, Erhöhung der biologischen P-Elimination

- Erweiterung der Messtechnik, so dass jedes Belebungsbecken bedarfsgerecht belüftet werden kann und Lastzustände frühzeitig erkannt werden. Mit der Messtechnik wird zudem der energetische Zustand der Kläranlage erfasst, überwacht und bewertet.

Basis des Regelpaketes ist die Lasteinstufung. Anhand der  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in den Belebungsbecken wird die Lastsituation der biologischen Stufe festgelegt. Dabei werden sechs verschiedene Lastzustände unterschieden.

Den Lastzuständen sind Zykluszeiten für die Nitrifikation und Denitrifikation zugeordnet. Abhängig von der Lasteinstufung von schwach belastet bis hoch belastet wird die biologische Stufe hinsichtlich der Sauerstoffversorgung unterschiedlich betrieben. Die Intensität der Sauerstoffversorgung nimmt mit steigender Last zu. Es werden schrittweise die Sauerstoffsollwerte angehoben und die belüfteten Anteile am Gesamtvolumen erhöht. Jedem Beckenteil werden Zykluszeiten (belüftet/unbelüftet) zugewiesen. Lastabhängig können einzelne Becken auch unbelüftet oder dauerbelüftet sein. Während bei mittlerer Last die Becken im Wechsel belüftet werden, werden bei niedriger Last einzelne Becken zusätzlich intermittierend gefahren, während bei hoher Belastung in beiden Zyklen durchgängig belüftet wird. Bei schwacher Last wird das Spitzenlastausgleichsbecken entleert, bei hoher Last wird ein Anteil des Zulaufes in das Speicherbecken umgeleitet. Bei hoher Last wird außerdem ein Teil des Zulaufes in die hinteren Becken geleitet um auch hier ein für die Denitrifikation günstiges Nährstoffverhältnis einzustellen.

Ist ausreichend Kapazität vorhanden, wird in den ersten Becken durch anaerobe Zustände die Phosphatrücklösung herbeigeführt. Bei hoher Last werden diese Becken in die Belüftung mit einbezogen.

Trotz der neuen flächigen Belüftung wurden nicht alle Rührwerke demontiert. So kann bei schwächelnder Denitrifikation die Durchmischung und damit der Substratübergang mit Hilfe der Rührwerke intensiviert werden.

Der Lasteinstufung ist eine Energieüberwachung überlagert. Die Leistungsanforderung der Gebläse wird ausgewertet und geht zusätzlich in die Sauerstoffsollwertbildung ein. Wird bei hoher Last erkannt, dass die Leistungsanforderung der Gebläse zu hoch wird, wird die Sollwertanhebung ausgebremst. Es fließt dann ein Minderungsfaktor in die Sollwertbildung ein. Umgekehrt wird der Sauerstoffsollwert bei niedriger Last angehoben, wenn die Leistungsanforderung der Gebläse zu gering ist. So wird verhindert, dass die Biologie bei langen Schwachlastphasen durch zu niedrige Sauerstoffeinträge geschwächt wird.

Kosten: 995.546,60 €

Anlagendaten:

Ausbaugröße: 62.000 EW

Belastung: Vor Umbau (2010): 45.000 EW

Nach Umbau (2015): 43.519 EW

Energiekennwerte/Zielwerte:

Stromverbrauch:

Vor Umbau (2010): 1.700.000 kWh/a bzw. 37,8 kWh/(EW\*a)

Nach Umbau (2015): 860.481 kWh/a bzw. 19,8 kWh/(EW\*a)

Mittlerer Gasanfall:

Vor Umbau: 1.080 m<sup>3</sup>/d (24 l/(EW\*d)) (518 l/kg oTR)

Nach Umbau: 960 m<sup>3</sup>/d (22 l/(EW\*d)) (587 l/kg oTR)

Aufenthaltszeit Faulturn:

Vor Umbau: 95d

Nach Umbau: 104d

### 4.3 Ergebnisse

Die Projektidee wurde ganz umgesetzt, im Vergleich zum Antrag sind keine Modifikationen erkennbar.

Tabelle 6: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Blümeltal

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	37,8	19,8	21 (18+3)
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Befl}$	kWh/(E*a)	14,3	7,8	<10
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	24	22	k. A.
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100	k. A.
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	k. A.	28,2	k. A.
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100	k. A.
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	42	73	Größer 90
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a			445	483
Reduzierung Ablauffrachten	kg CSB/a			40.000	20.800
	kg Nges/a			22.000	10.400

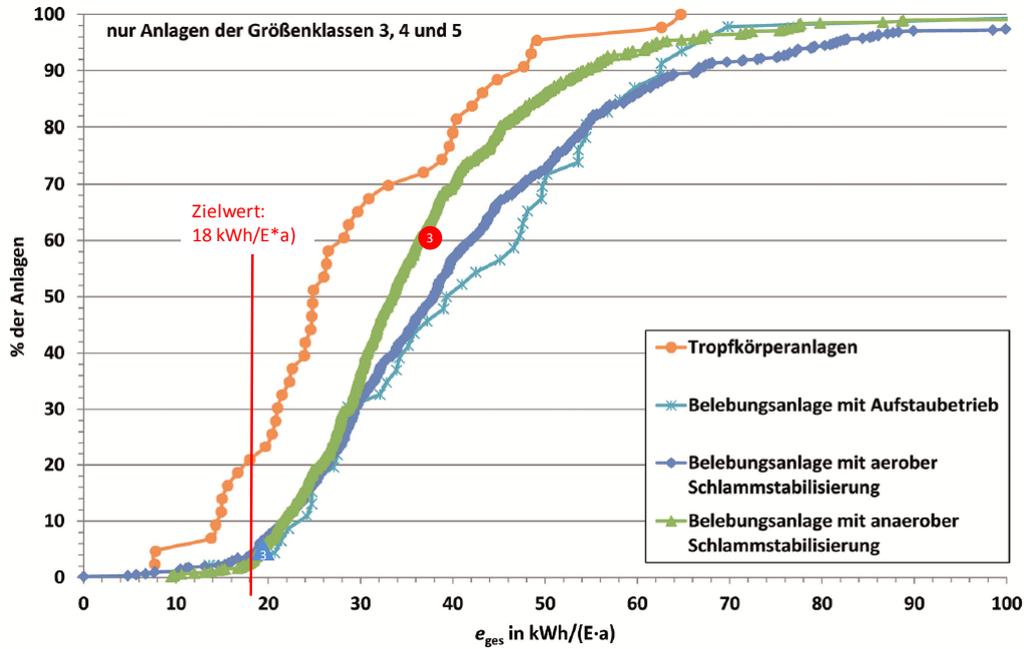
Tabelle 7: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Blümeltal

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Blümeltal
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	19,8
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	10	7,8
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	30	22
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	38	
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%		73

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 4.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung

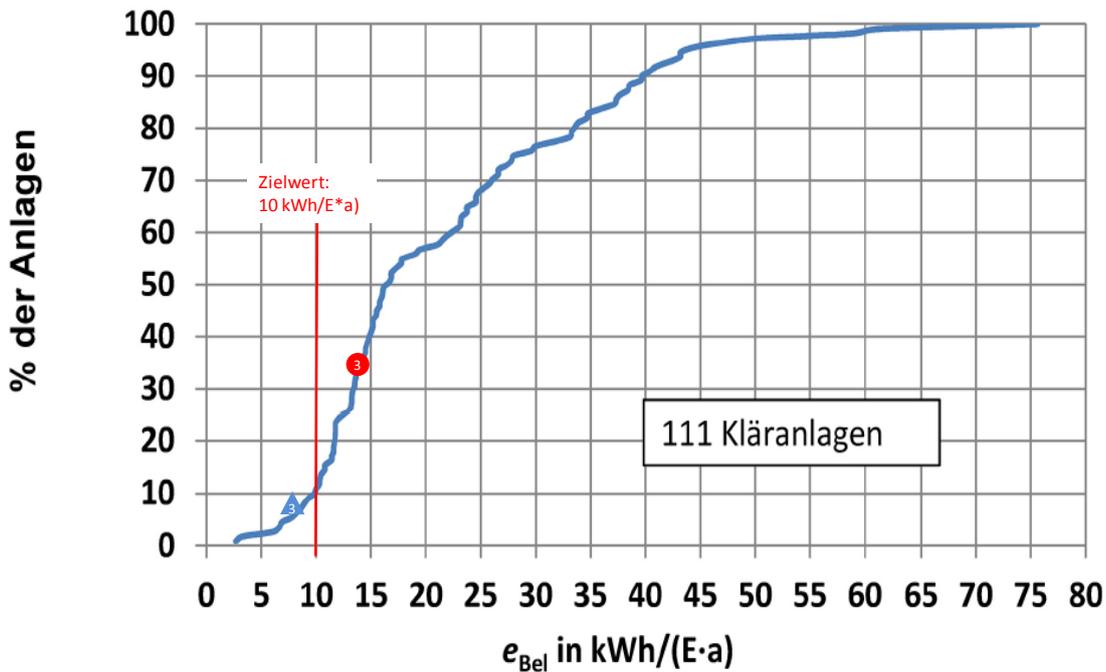
Abbildung 7: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Blümelstal



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

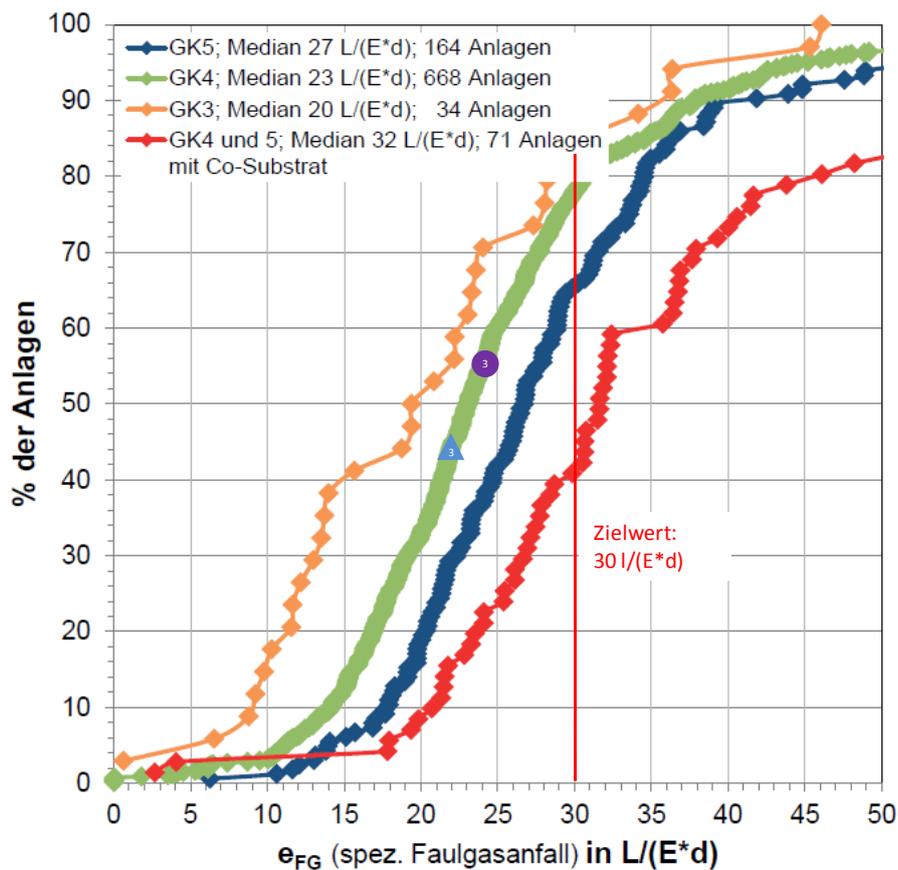
Abbildung 8: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Blümelstal



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 9: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Blümeltal



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Änderung der Reinigungsleistung:

- ▶ Die Reinigungsleistung der Kläranlage hat sich verbessert
- ▶ CSB-Ablauf: von 30 mg/l auf 25 mg/l; bzw. CSB Elimination von 1.860.000 kg/a auf 1.900.000 kg/a
- ▶ N-Ablauf: von 14 mg/l auf < 5 mg/l; bzw. N-Elimination von 144.000 kg/a auf 168.000 kg/a
- ▶ P-Ablauf: von 0,7 mg/l auf < 0,3 bzw. P-Elimination von 27.000 kg auf 28.000 kg

Änderung der Ressourceneffizienz:

Reduktion des Fällmittelverbrauches um 2/3 (2011: 29 kg/d; 2015: 9,5 kg/d)

#### 4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Stromeinsparung liegt bei 795.000 kWh/a (20 kWh/(E\*a). Bei Stromkosten von 19,25 Cent pro kWh entspricht dies einer Einsparung von 153.037,- Euro/a. Die Werte der Eigenenergieerzeugung konnten analog zu den angestrebten Zielen nicht komplett eingehalten werden. Vor Projektbeginn betrug die eine Eigenenergieerzeugung von ca. 900.000 kwh/a. Im Zuge der optimierten Abwasserreinigung (C:N:P-Verhältnis) ist diese Menge auf ca. 700.000 kwh/a gesunken.

Reduktion der Fällmittelkosten um ca. 25.000,-€/a.

Investitionskosten: 900.000 €

Einsparungen Energie: 795.000 kWh/a bzw. 153.037 €/a bei 19,25 ct/kWh

Einsparungen Fällmittel: 25.000 €/a

Einsparungen gesamt: 178.037 €/a

## 5 Realisierung einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Wiesental Aachen

Mittels Abwasserwärmepumpen und Abluftwärmepumpen wurde die Wärme aus Abwasser zur Gebäudebeheizung zur Verfügung gestellt. Das System besteht im Wesentlichen aus Edelstahlwärmetauscher, die in einen Abwasserkanal eingebaut sind, eine Soleleitung, den Abwasserwärmepumpen, einem Nahwärmenetz und Abluftwärmepumpen. Der Kanalabschnitt, in dem die Wärmetauscher eingebaut sind, führt Thermalwasser, so dass ganzjährig Temperaturen über 15°C vorhanden sind.

Ziel des Projektes ist den Primärenergiebedarf der Wohnhäuser um 65 % mittels **Abwärmenutzung** zu senken.

### 5.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ CO<sub>2</sub>-neutrale Wärmeversorgung der Liegenschaften im Wiesental durch Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Kanal.
- ▶ 80% der benötigten Wärme soll durch die Abwasserwärmepumpen zur Verfügung gestellt werden, die restlichen 20% durch strombetriebene Wärmepumpen.

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

- ▶ Temperaturmessung über den Winter im vorgesehenen Kanal, Durchflussmessung, Ermittlung der erforderlichen Wärmemenge der Liegenschaften, Zuwendungsbescheid der Bezirksregierung Arnsberg über 42.700 € Projektförderung bereits bei Antragstellung vorhanden (März 2011).

#### Kosten:

Nach Antrag: 737.000 €, zusätzlich zur UIP-Förderung Fördergelder als Baukostenzuschuss 185.000 € und NRW-Förderung: 43.000 €

#### Zuwendung

Zuwendungsfähige Ausgaben: 737.000 €  
Zuwendungshöhe: 100.000 €

#### Änderungsantrag

Kein Änderungsantrag

### 5.2 Kurzbeschreibung des Projektes

#### Umsetzung:

- ▶ Einbau eines Wärmetauschers und Wärmepumpen.
- ▶ Eine Thermalquelle speist in den Abwasserkanal, daher liegen die Abwassertemperaturen ganzjährig zwischen 12°C und 20°C.
- ▶ Bau eines Nahwärmenetzes, Integration von vier Abluftwärmepumpen und Aufbau MSR Anlage.

#### Kosten:

845.000 €

#### Anlagendaten:

163 Wohnungen, 9.895 m<sup>2</sup> Wohnfläche

Wärmebedarf:

Vor Umbau: 1.290.000 kWh Gasverbrauch und 10.900 kWh Allgemeinstrom, erzeugte Wärme-  
arbeit: 900.000 kWh/a

nach Umbau: 860.000 kWh (Theoretischer Wert aus Gutachten, bauphysikalischer Nachweis),  
realisiert: Stromverbrauch: 211.888 kWh erzeugte Wärmearbeit: 728.065 kWh

Kosten:

Investitionskosten: 845.000 €

Förderung KfW: 13,6% der Investitionskosten, maximal: 100.000 €, jedoch weitere Förder-  
und Bauzuschüsse in Höhe von 175.000 €

Energiekennwerte:

Energieverbrauch:

nach Umbau:

- ▶ mittlere Jahresarbeitszahl Wärmepumpensamtsystem: 3,44
- ▶ COP Wärmepumpe I: Mittel 3,8
- ▶ COP Wärmepumpe II: Mittel 3,7
- ▶ COP Abluftwärmepumpen: 3,0-3,2

CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Umbau: 202 to<sub>CO2</sub>/a

**5.3 Ergebnisse**

Das Projekt wurde ganz umgesetzt, jedoch wurde die Umsetzung im Vergleich zur Antragstellung um  
die Abluftwärmenutzung ergänzt

Tabelle 8 Vorher/Nachher-Vergleich der Energiekennwerte, Wiesental

	Kurz- zeichen	Einheit	ZW	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Jahresarbeitszahl	JAZ	-	<b>4,5</b>		3,44	
Wärmepumpe Abwas- ser	COP	-			3,7	
Abluftwärmepumpe	COP	-			3,0-3,2	

Haupthindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

- ▶ Demontage Öltank erforderlich.
- ▶ Austausch der Heizungspumpen der Abwasserwärmepumpen, da Förderstrom zu gering war.
- ▶ Arbeiten im bestehenden Netz nur bei Trockenwetter und nachts möglich.
- ▶ Nachrüstung der Abluftwärmepumpen, Problem mit einer Armatur (Drosselklappe statt Ab-  
sperrklappe eingebaut).

**5.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Den Planungsunterlagen vor Baubeginn sind die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

- ▶ Investitionskosten: 845.000 €
- ▶ Förder-/Baukostenzuschüsse: 275.000 €
- ▶ Jährliche Einnahmen: 100.000 €
- ▶ Jährliche Ausgaben: 65.000 €

Unter Berücksichtigung sämtlicher Positionen, wie Kapitalkosten bzw. Zinszahlungen, Wartungskosten sowie des Stromverbrauchs, ergibt sich eine Amortisationszeit von knapp 19 Jahren. Somit ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage über den vertraglich festgelegten Zeitraum von 20 Jahren knapp gewährleistet.

Die Umsetzung des Projektes wäre folglich ohne den Einsatz von Fördermitteln nicht möglich gewesen, da sich die hohen Investitionskosten nicht durch die reine Wärmeerzeugung refinanzieren würden. Bei außerplanmäßig auftretenden Kosten wie bspw. Pumpenaustausch oder Steuerungstechnik kann die Wirtschaftlichkeit somit schnell gefährdet werden.

Aus Sicht der Mieter und somit der Wärmekunden ergibt sich ein Kostenvorteil von 1,76 ct/kWh Wärme. (Berechnungsgrundlage: Gaspreis des Grundversorgers multipliziert mit dem Wirkungsgrad der GEH). Für alle Bewohner ergibt sich somit ein Kostenvorteil von 13.000 € jährlich.

## 6 Energetische Sanierung der Membrananlage Nordkanal

Die Kläranlage Nordkanal ist eine Membranbelebungsanlage mit einer Ausbaugröße von 80.000 EW. Die Anlage wurde energetisch durch eine Umstellung der Belüftungsregelung, eine Änderung der Taktzeiten der Cross-Flow-Belüftung, der Nachrüstung von Frequenzumformern und dem Austausch von Aggregaten (v. a. Gebläsen) optimiert. Zudem wurde eine automatische Regelung zum Schlammabzug in Abhängigkeit der Wetterprognosen implementiert.

Für die automatisierte, übergeordnete Regelung zur Koordination des Feststoffgehaltes in der Belebungsanlage, des erforderlichen Schlammabzuges sowie des Einsatzes des Entwässerungsaggregates wurde die Regenvorhersage aus dem „Hochwasserinformationssystem Erft“ des Verbandes (HOWIS) eingebunden. Mit diesem Vorhersagesystem werden neben der direkten Zuflussmessung auf dem Kläranlagenstandort auch die erst in mehreren Stunden erwarteten Zuflüsse prognostiziert und in der Festlegung des Belebtschlamm-Gehaltes berücksichtigt. Dieses witterungsgeführte Schlammmanagement sollte die erforderlichen Schlammspeicherkapazitäten vor Eintreffen des Regenereignisses bereitstellen und den Feststoffgehalt in der Belebungsanlage über eine automatisierte variable Überschussschlammabnahme auf das notwendige Maß beschränken.

Die geregelte Ansteuerung der Entwässerungsaggregate führt zusätzlich zu einem optimierten Lastspitzenmanagement bei dem Strombezug der Anlage.

Ziel des Projektes ist die **Reduzierung des Energieverbrauchs**.

### 6.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ Verringerung des Stromverbrauches durch Umsetzung verschiedener Energieoptimierungen. Für die Umsetzung wurde die Steuerung der gesamten Membrananlage ausgewechselt und neu strukturiert.
- ▶ Durch die verbesserte Programmierung kann flexibler auf die verschiedenen Betriebszustände reagiert werden und die einzelnen Aggregate können im optimalen und damit energieeffizienten Betrieb gefahren werden.

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Energiefeinanalyse von 2009 (Bezugsjahr 2007)

#### Kosten:

Nach Antrag: 397.185,81 €

#### Zuwendung

Zuwendungsfähige Ausgaben: 368.003,21 €

Nicht zuwendungsfähig (Messprogramm): 29.182,60 €

Zuschuss KfW: 110.400 €

#### Änderungsantrag

Änderungsantrag liegt nicht vor, jedoch Anpassungen im Rahmen der Umsetzung

### 6.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

#### Umsetzung durch:

- ▶ Änderung der Steuerung: Für eine automatisierte, übergeordnete Regelung zur Koordination des Feststoffgehaltes in der Belebungsanlage, des erforderlichen Schlammabzuges sowie des Einsatzes des Entwässerungsaggregates wurde die Regenvorhersage aus dem „Hochwasserinformati-

onssystem Erft“ des Verbandes eingebunden. Mit diesem Vorhersagesystem werden neben der direkten Zuflussmessung auf dem Kläranlagenstandort auch die erst in mehreren Stunden erwarteten Zuflüsse prognostiziert und in der Festlegung des Belebtschlamm-Gehaltes berücksichtigt. Dieses witterungsgeführte Schlammmanagement sollte die erforderlichen Schlamm-speicherkapazitäten vor Eintreffen des Regenereignisses bereitstellen und den Feststoffgehalt in der Belebung über eine automatisierte variable Überschussschlammmentnahme auf das notwendige Maß beschränken. Die geregelte Ansteuerung der Entwässerungsaggregate führt zusätzlich zu einem optimierten Lastspitzenmanagement beim Strombezug der Anlage.

- ▶ Austausch Gebläse Belüftung Nitrifikation
  - ▶ Nachrüstung der Rührwerke in der Belebung und der Gebläse für die Cross-Flow-Belüftung mit FU
  - ▶ Nachrüstung der FU mit aktiven elektronischen Filtern zur Netzstabilisierung
  - ▶ Nachrüstung Sandfanggebläse mit FU
  - ▶ Änderung Taktung Air-Cycling-Regelung inklusive Austausch und Nachrüstung der Absperrklappen mit einem Pneumatikantrieb
  - ▶ Umstellung der Belüftungsregelung (Gleitdruck)
  - ▶ Optimierung Überschussschlammmentnahme (Witterungsabhängige Schlammmentnahme)
  - ▶ Vollautomatisierte Überschussschlammmentwässerung
- ▶ Zusätzlich (bereits im Vorfeld umgesetzt: Bau eine PV-Anlage 236 kW<sub>p</sub>)

**Kosten:**

Gesamtkosten nach Umsetzung der Maßnahmen: 566.212 €

**Anlagendaten:**

**Ausbaugröße:**

80.000 EW

**Belastung:**

vor Umbau (2007): 65.210 EW<sub>CSB</sub>  
 (2011): 79.863 EW<sub>CSB</sub>  
 nach Umbau (2014): 80.865 EW<sub>CSB</sub>

**Energiekennwerte/Zielwerte:**

**Stromverbrauch:**

vor Umbau (2011): 5.506.000kWh/a bzw. 68,83 kWh/(EW\*a)  
 nach Umbau (2014/15): 3.213.998kWh/a bzw. 40,17 kWh/(EW\*a)

**6.3 Ergebnisse**

Im Rahmen der Umsetzung wurden folgende Änderungen im Vergleich zum Antrag vorgenommen:

- ▶ Nachrüstung der Sandfanggebläse mit FU statt Austausch der Gebläse
- ▶ Kein Austausch der Gebläse für die Cross-Flow-Belüftung, jedoch Nachrüstung mit FU
- ▶ Austausch der Gebläse für die Belüftung der Nitrifikationsbecken
- ▶ Nachrüstung der FU mit aktiven elektronischen Filtern zur Netzstabilisierung

Tabelle 9: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz:, Kläranlage Nordkanal

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(E*a)	69	40	55

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	26,7	24	
CO2-Einsparung	t/a			1.359	
Spezifischer Stromverbrauch	kWh/m <sup>3</sup>		1,0	0,65	0,8

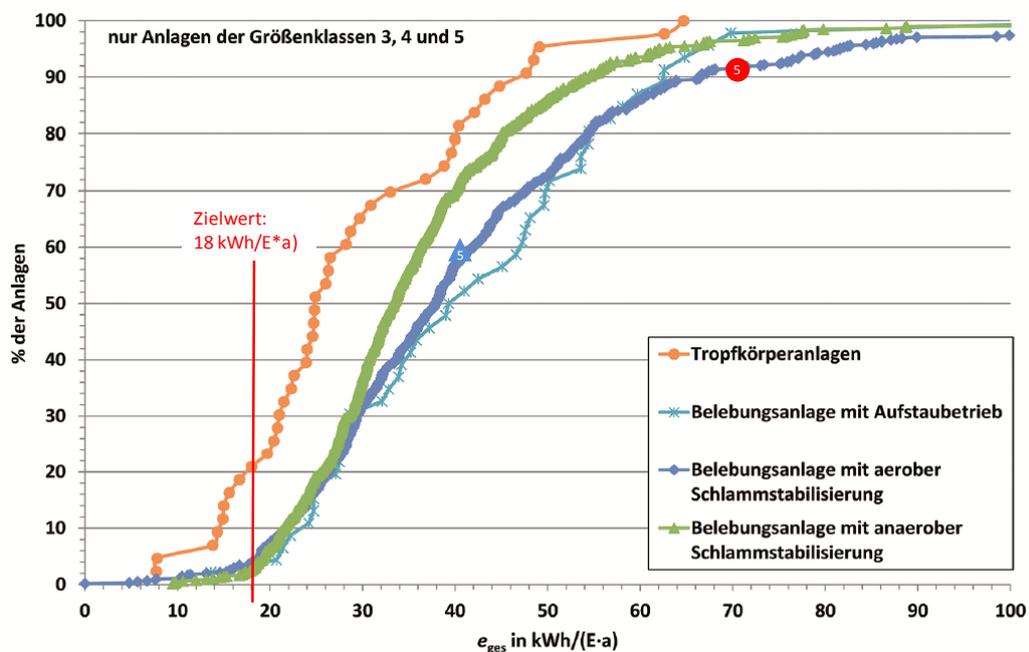
Tabelle 10: Vergleich mit Förderkriterien: Kläranlage Nordkanal

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Nordkanal
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	82 <sup>4</sup>	40
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	12	24

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung:

Abbildung 10: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Nordkanal

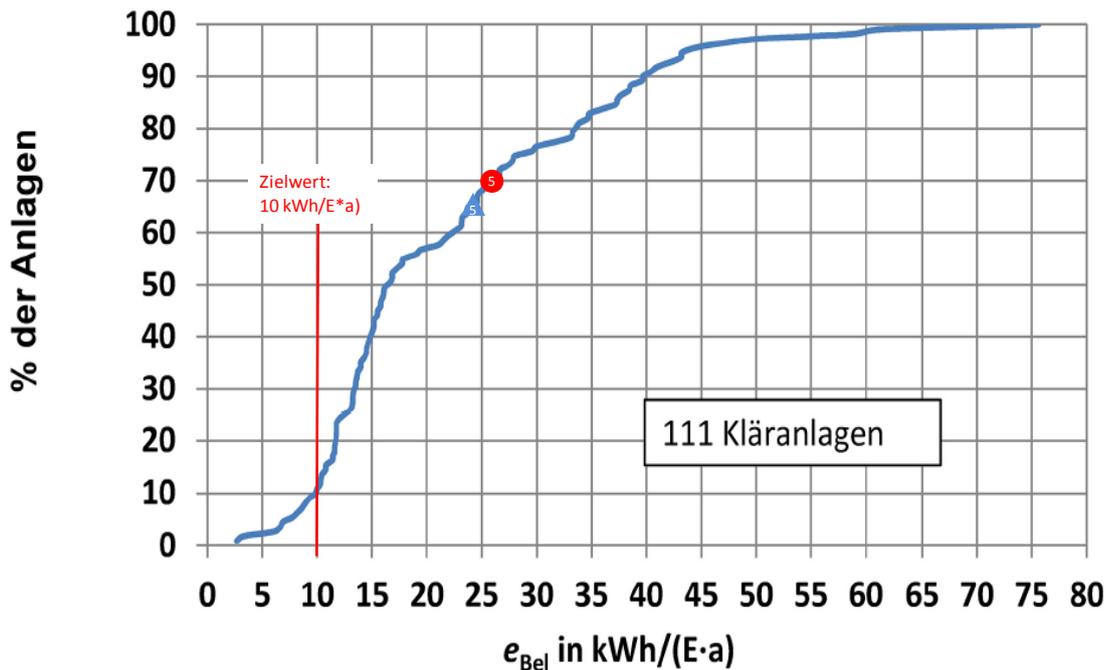


Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

<sup>4</sup> Da die Kläranlage Nordkanal eine Membranbelebungsanlage ist, ist der Vergleich mit den vorgegebenen Zielwerten nicht möglich. In Rücksprache mit UBA (Fachvotum) wurde dieser auf 82 kWh/(E\*a) (UBA Studie „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen (FZK 20526307) festgelegt

Abbildung 11: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Nordkanal



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Auswirkung auf Reinigungsleistung und Betriebsstabilität:

Verbesserung der Reinigungsleistung und Verbesserung der Betriebsstabilität

Haupt Hindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

Umsetzung der Programmierarbeiten, Mitarbeiter mussten überzeugt werden, Probleme mit bautechnischer Ausführung (Nachrüstung der FU mit aktiven elektronischen Filtern zur Netzstabilisierung wurde erforderlich)

## 6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Für die ökonomische Betrachtung wird das Handbuch LAWA (Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) herangezogen.

Bei dieser Vergleichsrechnung gelten die Investitionskosten als einmalige Fixkosten. Die variablen Kosten oder auch Jahreskosten sind Kosten, die abhängig sind von dem betrieblichen Umgang der Aggregate (Energieverbrauchs Differenzwert) und der variablen Stromkosten pro Kilowattstunde. Die Jahreskosten ergeben sich aus den zusätzlichen Betriebskosten und den Kapitalkosten, die entsprechend nach LAWA als Annuität berechnet werden:

Tabelle 11: Werte nach LAWA zur Berechnung der Annuität, Kläranlage Nordkanal

Aufgliederung der Annuitätswerte	Werte	Einheit
Kalkulatorischer Zins (= i) :	3	%
Abschreibungsdauer Maschinen/ Elektrotechnik	15	Jahre

Aufgliederung der Annuitätswerte	Werte	Einheit
Wartung/- Reparaturkosten der Investitionssumme:	2	%
Betriebsmittel/ etc. der Investitionssumme:	2	%
spez. Strompreis:	0,19	€/kW

Dieses Kosten/Nutzen-Verhältnis drückt aus, wie sinnvoll und wirtschaftlich eine Investition ist. Liegt das Verhältnis unter dem Wert 1, so wird die Maßnahme als wirtschaftlich angesehen.

Um einen Stromvergleichswert für die Jahre 2011 – 2014 zu erstellen, wurde der Gesamtstrom ohne PV-Einspeisung berücksichtigt, da erst Anfang 2012 die PV-Anlage in Betrieb genommen wurde.

Tabelle 12: Geplante und tatsächliche Ausgaben, Kläranlage Nordkanal

Teilvorhaben	geplant	tatsächlich
(1) Maschinen	421.260,00 €	497.075,59 €
(2) Programmierarbeiten	44.982,00 €	45.394,70 €
(3) Personalkosten	20.761,21 €	23.741,82 €
<b>Summe (1) - (3)</b>	<b>487.003,21 €</b>	<b>566.212,11 €</b>

Tabelle 13: Energiedaten 2011 zu 2014, Kläranlage Nordkanal

Energieverbrauch 2011	Energieverbrauch 2014	Differenz
5.497.007,00 kWh/a	3.499.415,00 kWh/a	1.997.592,00 kWh/a

Tabelle 14: Ermittlung der Kosten/ Nutzen- Verhältnis der Maßnahme, Kläranlage Nordkanal

Wirtschaftlichkeit (geplante Kosten)				Kosten/ Nutzen-Verhältnis
Investitionskosten	487.003	€		<b>0,11</b>
Kapitalkosten	40.795	€/a		
Betriebskosten	0	€/a	Keine zusätzlichen Betriebskosten	
Jahreskosten	40.795	€/a	Kapital + Betriebskosten	
Jahresnutzen	379.542	€/a	Energieeinsparung • spez. Strompreis	

Wirtschaftlichkeit tatsächlich				Kosten/ Nutzen-Verhältnis
Investitionskosten	566.212	€		<b>0,12</b>
Kapitalkosten	47.430	€/a		
Betriebskosten	0	€/a	Keine zusätzlichen Betriebskosten	
Jahreskosten	47.430	€/a	Kapital + Betriebskosten	
Jahresnutzen	379.542	€/a	Energieeinsparung • spez. Strompreis	

Der Abschlussbericht bezieht sich auf den Zeitraum Oktober 2014 bis Oktober 2015. Für diesen Zeitraum werden in nachstehender Tabelle die Verbräuche, spezifische Verbräuche und Einwohnerverbrauchswerte (EWV-Wert), sowie die Kosten mit den Ausgangswerten nach dem Antrag 2011 verglichen.

Tabelle 15: Kosten- und Verbrauchsvergleich, Kläranlage Nordkanal

Ausbaugröße (EW) Bezugsdaten	80.000 Verbrauch	Kosten pro kWh	Kosten
	kWh/ a	€	€/ a
Ausgangswerte nach dem Antrag 2011	5.506.000	0,15	825.900
<b>Erfolgskontrolle (10/2014 bis 10/2015)</b>	<b>3.213.998</b>	<b>0,19</b>	<b>610.660</b>
Zeitraum	Abwassermenge	spez. Verbrauch	spez. EWV- Wert
	m <sup>3</sup> / a	kWh/ m <sup>3</sup>	kWh/ (E · a)
Ausgangswerte nach dem Antrag 2011	5.519.586	1,00	68,83
<b>Kontrollzeitraum (10/2014 bis 10/2015)</b>	<b>4.921.088</b>	<b>0,65</b>	<b>40,17</b>

## 7 Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa

Die Kläranlage Schwalmstadt-Treysa hat eine Ausbaugröße von 22.000 EW. Die Gasproduktion sollte durch die Mitbehandlung von Klärschlämmen externer Kläranlagen und Co-Substraten erhöht werden. Das BHKW der Kläranlage sollte wärmegeführt betrieben und der Faulgas/Faulgasüberschuss in einem externen BHKW verstromt werden, so dass die Abwärme vollständig genutzt wird. Die Rückbelastung aus den Schlammstillen sollte durch eine Deammonifikation in Scheibentauchkörpern minimiert werden, um dadurch entsprechende Kapazitäten in der Belebung zu schaffen. Zudem sollten Konzentrate bei zwei Indirekteinleitern abgetrennt und im Faulturm der Kläranlage mitbehandelt werden. Dadurch sollte die Zulaufkraft deutlich verringert und die Gasproduktion erhöht werden.

Die Projektziele beinhalteten zum einen eine **Erhöhung der Faulgasproduktion** und eine Erhöhung der Strom- und Nutzwärmeerzeugung, zum anderen eine Verringerung der Zulaufkraft, eine Senkung des Gesamtstromverbrauches und eine Verbesserung der Reinigungsleistung.

### 7.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ Verbesserung der Energieeffizienz der Kläranlage durch Überwindung der Systemgrenzen.
- ▶ Durch eine umfassende verfahrenstechnische und energetische Optimierung soll gezeigt werden, dass selbst bei Kläranlagen, die bereits ein gutes bis sehr gutes Niveau der Energieeffizienz erreicht haben, noch ein hohes Optimierungspotenzial besteht, wenn Systemgrenzen zwischen dem Träger der Abwasserbehandlung, Indirekteinleitern und externen Partnern mit unkonventionellen Ansätzen überwunden werden.
- ▶ Die wichtigsten Ansatzpunkte dazu sind: Mitfäulung (teil-)stabilisierter Klärschlämme benachbarter kleinerer Kläranlagen; Kofermentation der Konzentrate von Indirekteinleitern, die bisher ins Kanalnetz eingeleitet und künftig mit Saugwagen zum Faulturm gefahren werden; Bewirtschaftung der Konzentrate und Schlämme durch Zwischenspeicherung zur bedarfsgerechten Gaserzeugung; Wärmegeführter Betrieb des BHKWs auf der Kläranlage und Weiterleitung des Faulgasüberschusses zu einem neuen externen Satelliten-BHKW mit Abwärmenutzung in einem bestehenden Nahwärmenetz; Auffangen der Gasemissionen im Nassschlammager durch schwimmende Abdeckhauben; Stickstoffelimination im Trübwasser durch (teilweise) Deammonifikation im Scheibentauchkörper; Ergänzende Energieoptimierungsmaßnahmen.

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Energieanalyse Basisjahr 2011

#### Kosten:

Nach Antrag: 745.030 €

#### Zuwendung:

Zuwendungsfähige Ausgaben: 843.737 €

Nicht zuwendungsfähig (Messprogramm): 42.849 €

Zuschuss: 253.121 €

#### Änderungsantrag:

Umwidmung Mittel aus Faulschlammmentgasung für den Bau des Nacheindickers und Erhöhung der Mittel (Zuwendungsfähige Ausgaben: 1.308.563,97 €), dem Antrag wurde zugestimmt; Anpassung der Abdeckung des Nassschlammagers: Bau lediglich von einer Pilothaube zur Erfassung der Gasemission.

## 7.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

### Umsetzung durch:

- ▶ Mitbehandlung Klärschlämme einer Nachbargemeinde (drei Kläranlagen)
- ▶ Abtrennung von Konzentraten im Einzugsgebiet der Kläranlage und Mitbehandlung im Faulturm
- ▶ Annahme und Mitbehandlung von Co-Substraten
- ▶ Bewirtschaftung der Konzentrate und Co-Substrate zur bedarfsgerechten Gaserzeugung, durch bauliche Änderungen des VED (Konzentrat und Co-Substratspeicher)
- ▶ Bau Satelliten-BHKW mit Faulgasleitung (Entfernung rund 800 m) und Lieferung Faulgas, dadurch Nutzung von 100 % des erzeugten Strom und 100 % der Wärme möglich
- ▶ Wärmegeführter BHKW-Betrieb auf der Kläranlage
- ▶ Abdeckung Nassschlammager (Pilothaube)
- ▶ Deammonifikation des Trübwassers aus Nassschlammager mit Scheibentauchkörper
- ▶ Konventionelle Energieoptimierungsmaßnahmen: Austausch Belüftung in Nitrifikationszone 1, Arbeitszeit-Pausenzeitsteuerung der Rührwerke in den Denizonen

### Kosten:

Gesamtkosten rund 1.660.000 €

### Anlagendaten:

Ausbaugröße: 22.000 EW

Belastung: Vor Umbau: 26.391 EW<sub>CSB</sub>  
Nach Umbau (2015/2016): 18.643 EW<sub>CSB</sub>

### Mittlerer Gasanfall:

Vor Umbau: 751 m<sup>3</sup>/d (23,6l/(EW\*d))  
nach Umbau: 747 m<sup>3</sup>/d (39 l/(EW\*d))

### Energiekennwerte/Zielwerte:

#### Energieverbrauch:

vor Umbau (2011): 632.000 kWh/a bzw. 25,14 kWh/(EW\*a)  
nach Umbau (2015/2016): 679.000 kWh/a bzw. 35,8 kWh/(EW\*a)

#### Aufenthaltszeit Faulturm

vor Umbau (2011): 24 Tage  
nach Umbau (2015/2016): 20 Tage

#### Temperatur Faulturm

vor Umbau (2011): 34°C  
nach Umbau (2015/16): 34°C

## 7.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Umsetzung wurden folgende Änderungen/Anpassungen vorgenommen:

- ▶ Statt Abdeckung des gesamten Nassschlammagers und des NED lediglich Bau einer Pilothaube zur Quantifizierung und Qualifizierung des Gases, keine Nutzung Gas
- ▶ Beheizung des Scheibentauchkörpers zur Deammonifikation des Trübwassers wurde nicht realisiert
- ▶ Nachrüstung FU Regelung Rührwerke durch Arbeitszeit-Pausenzeitsteuerung ersetzt

Tabelle 16: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Treysa

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(EW*a)	25,1	35,8	18
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(EW*a)	11,5	15	
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(EW*d)	23,6	39	30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	83	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	27,7	29	36
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	94	>100	>100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	57	70	>100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a			147	340
Verringerung Zulauf-fracht		EW/%	26.000	19.000	- 5 %
Senkung Stromverbrauch		MWh/a	653	679	500
Verbesserung Stickstoffelimination					o. Wert
Senkung Emissionen klimarelevanter Gase aus Nassschlammlager		m <sup>3</sup> /a		0	10.000

Tabelle 17: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Treysa

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Treysa
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(EW*a)	18+1,9 <sup>5</sup>	<b>35,8</b>
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(EW*a)	10	<b>15</b>
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(EW*d)	30	<b>39</b>
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	<b>100</b>

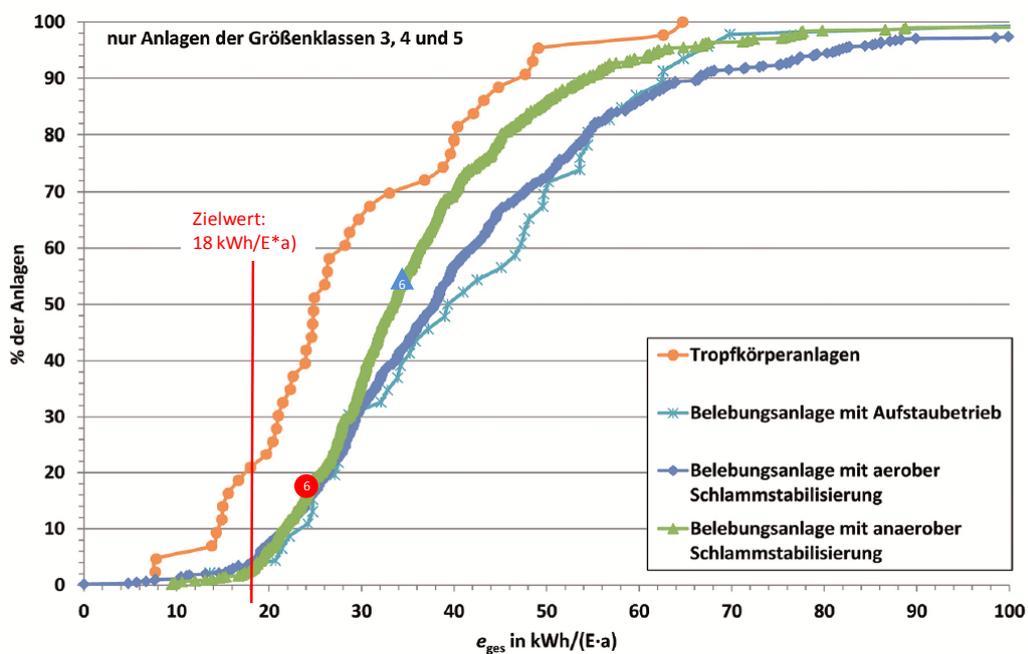
<sup>5</sup> Förderhöhe 6,8

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Treysa
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$ (BHKW < 1MWh)	%	38	<b>29</b>
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	100	<b>&gt;100</b>
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	100	<b>70</b>

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 7.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung

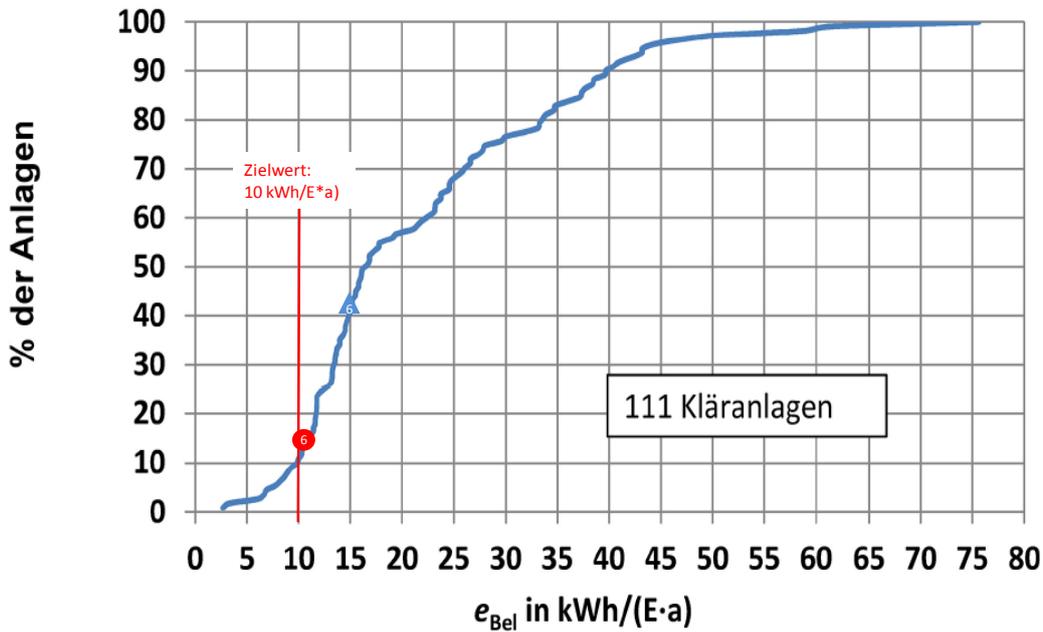
Abbildung 12: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Treysa



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

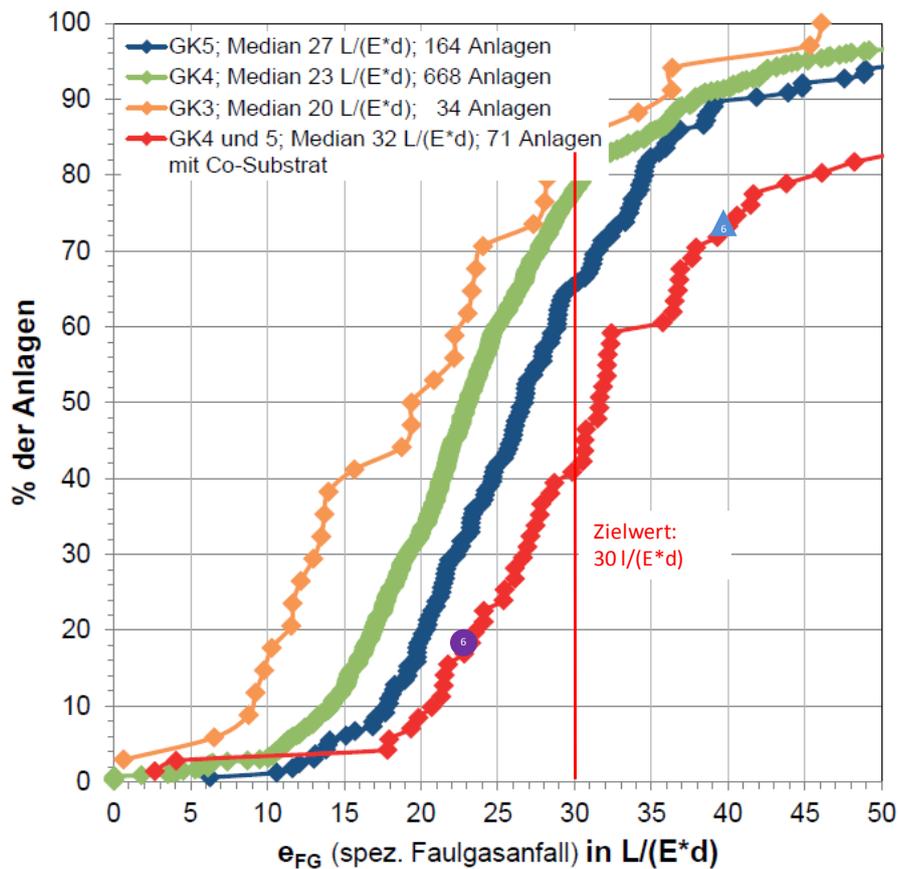
Abbildung 13: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Treysa



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 14: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Treysa



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Auswirkung auf Reinigungsleistung und Betriebsstabilität:  
Die Reinigungsleistung für die Stickstoffelimination hat sich verbessert

Haupthindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

- ▶ Mehrfacher Wechsel und Vakanz in der Geschäftsführung der Stadtwerke
- ▶ Ausstehende Wasserrechtliche Erlaubnisse für die Mitbehandlung von Co-Substrat haben zu Verzögerungen geführt
- ▶ Abtrennung Konzentrate im Einzugsgebiet technisch schwieriger als erwartet, konnten während der Projektlaufzeit nicht umgesetzt werden
- ▶ Schwierige energierechtliche Fragestellung für die Strom- und Wärmelieferung des Satelliten-BHKWs
- ▶ Kondensatbildung in Gasleitung, eine Faulgastrocknung musste montiert werden
- ▶ Besondere / schwierige Baugrundverhältnisse
- ▶ Nacheindickung des Faulschlammes hat nicht funktioniert/Schlamm hat sich nicht abgesetzt, dadurch auch Verzögerungen in der Trübwasserbehandlung
- ▶ Hoher zusätzlicher personeller Aufwand

Hilfreiche Randbedingungen:

- ▶ Verfügbarkeit der erforderlichen Flächen zur Anlagenerweiterung/Trübwasserbehandlung
- ▶ Externer Abnehmer für Faulgas in mittelbarer Entfernung vorhanden
- ▶ Trübwasser kann in den vorhandenen Silos abgetrennt werden

Die Abweichungen der Projektergebnisse von den Projektzielen bzw. Förderkriterien ergaben sich aufgrund von:

- ▶ Technische Schwierigkeiten:
  - ▶ Kondensat in Faulgasleitung, Nachrüstung einer Faulgastrocknung wurde erforderlich
  - ▶ Faulschlamm hat sich entgegen der Vorversuche im Nacheindicker nicht abgesetzt, Umnutzung des NED zur Trübwasserspeicherung, dadurch jedoch auch Abkühlung des Trübwassers, so dass die Scheibentauchkörper mit kaltem Wasser beschickt werden
  - ▶ Langsames Wachstum der Biomasse auf den Scheiben des STK
  - ▶ Kondensat in Gasleitung zum BHKW führte dazu, dass das Gas aus den Nassschlamm lagern nicht zum Gasspeicher geführt wurde
- ▶ Rechtliche oder organisatorische Beschränkungen:
  - ▶ hoher Aufwand zur Klärung der rechtlichen Fragestellungen zur Faulgaslieferung an das Satelliten-BHKW
- ▶ Ablehnungsbescheide Co-Substrat
- ▶ Qualifikation, Ausstattung oder Motivation der Projektbeteiligten:  
Belastung des Kläranlagenpersonals bei Umsetzung der Maßnahmen sehr hoch
- ▶ Methodische oder messtechnische Schwierigkeiten:  
Große Unterschiede in der Zulaufbelastung im Vergleich zum Bezugsjahr, Ursache konnte nicht geklärt werden. Dadurch erhebliche Verschiebungen bei den einwohnerspezifischen Kennwerten

## 7.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Inwieweit durch die Umsetzung der Maßnahmen im Rahmen des UIP Projektes Energieeinsparungen erzielt wurden konnte aufgrund der starken Schwankungen der Energiekennwerte im gesamten Projektverlauf nicht quantifiziert werden. Jedoch konnte der Stromverbrauch insgesamt und der Eigenversorgungsgrad auf der Kläranlage, trotz der Installation neuer Verbraucher (Scheibentauchkörper, Nacheindicker, Faulgastrocknung und Gasförderung zum Satelliten-BHKW) annä-

hernd gleich gehalten werden, so dass es zusammen mit der zusätzlichen Stromerzeugung des Satelliten-BHKWs zu einer deutlichen Verbesserung der Energieeffizienz kam.

Insgesamt lagen die Investitionen bei rund 1,66 Mio €. Da sich durch den Bau des Nacheindickers und der Scheibentauchkörper keine quantifizierbare Energieeinsparung ergibt, werden für die Investitionen dieser Maßnahmen keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt. Der Bau dieser Anlagen ist jedoch dahingehend sinnvoll, dass die Belebung entlastet wurde und somit eine Erweiterung der Kläranlage Treysa insgesamt vermieden werden konnte. Der ansonsten erforderliche Zubau von Belebungsbecken wäre deutlich teurer gewesen, sowohl in der Investition als auch in den Betriebskosten.

Für den Bau und den Betrieb des Satelliten-BHKWs wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand einer Kosten-Nutzen-Berechnung durchgeführt.

Für die Ermittlung der Jahreskapitalkosten wurde ein Kapitalzinssatz von 2% angesetzt, eine mögliche Steigerung der Energiekosten bleibt unberücksichtigt. Die Jahreskosten ergeben sich aus der Addition der Jahreskapitalkosten und der Betriebskosten. Die Nutzungsdauer wurde für das BHKW und die Faulgastrocknung mit 15 Jahren und für die Faulgasleitung mit 30 Jahren berücksichtigt. Weiterhin werden für die Ermittlung des Jahresnutzens ein spezifischer Strompreis von 18 ct/kWh zzgl. 5,4 ct/kWh KWK-Zulage (in den ersten 10 Jahren) und ein Wärmepreis von 7 ct/kWh angesetzt. Berücksichtigt wurde die Strom- und Wärmeerzeugung aus der mittleren Jahresmenge des gelieferten Faulgas im Zeitraum vom 01.11.2014 bis 30.09.2016 (Energieerzeugung: 52 MWh und 96 MWh<sub>th</sub>) und die Strom- und Wärmeerzeugung aus dem Betrieb des BHKWs mit Erdgas.

Die Investitionskosten für den Bau der Faulgasleitung, des Satelliten-BHKWs und der Faulgastrocknung lagen insgesamt bei rund 400.000 €, davon rund 240 T€ für die Faulgasleitung. Die Wartung und Reparatur für das BHKW beträgt rund 12 T€/a, die Wartung und Reparatur der Faulgasleitung wird mit 1% vor Investitionskosten (2.400 €/a) beziffert, so dass sich die Jahresbetriebskosten zu 14.400 €/a und die Jahreskapitalkosten zu rund 23 T€ errechnen. Die Jahreskosten für das Erdgas errechnen sich mit einem spezifischen Preis von 5ct/kWh zu rund 68 T€. Die jährlichen Kosten ergeben sich somit zu 105.600 €.

Der Jahresnutzen liegt bei rund 170.000 €/a, so dass das Kosten-Nutzenverhältnis bei 0,62 liegt und sich die Maßnahme dementsprechend sehr rentabel darstellt.

Dass die Strom- und Wärmeerzeugung aus dem Faulgas und damit auch die maximale CO<sub>2</sub>-Einsparung des BHKWs im Vergleich zur Planung nicht voll realisiert werden konnte, liegt an dem geringeren Faulgasüberschuss. Die gelieferte Gasmenge fällt mit rund 31.000 m<sup>3</sup>/a wesentlich geringer als erwartet aus. Wesentlicher Grund ist der Rückgang der Faulgasproduktion, teils wegen Wegfalls von Co-Substraten, teils wegen geringerem Schlammanfall. Auch kann das aus dem Schlamm-lager entweichende Gas (rund 15.000 m<sup>3</sup>/a) nicht genutzt werden, da das Schlammsilo bzw. der Nacheindicker nicht an den Gasspeicher angeschlossen werden. Zudem liegt die spezifische Gasproduktion aus dem Co-Substrat mit rund 7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Co-Substrat wesentlich geringer als erwartet. Vor allem konnte auch die Abtrennung der Konzentrate des Sägewerkes als Co-Substrat noch nicht umgesetzt werden, so dass hier in den nächsten Jahren noch eine deutliche Steigerung zu erwarten ist.

## 8 Energieautarke Kläranlage mit Deammonifikation

Die Kläranlage Eisenhüttenstadt ist ursprünglich für eine Kapazität von 99.000 EW (Belebung) bzw. 132.000 EW (Schlammfäulung) ausgelegt worden. Durch viele Gewerbestilllegungen und den Rückgang der Einwohner wurde die Genehmigung auf 66.000 EW reduziert. Das Projekt sieht eine Verfahrensstellung in der Abwasser- und in der Behandlung des Schlammwassers vor. Die Abwasserbehandlung soll auf EssDE® (Kombination aus A-B-Verfahren mit einer Deammonifikation), die Schlammwasserbehandlung soll ebenfalls auf eine Deammonifikation umgestellt werden.

Ziel des Projektes ist die Reduzierung des Stromverbrauches, die Erhöhung der Faulgasproduktion und damit die Erhöhung der Strom- und Wärmeproduktion. Neben diesen Zielen soll die Klärschlammmenge verringert werden.

### 8.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ Deammonifikation für die Filtratwasserbehandlung
- ▶ Umstellung auf AB-Verfahren mit Deammonifikation im Hauptstrom

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Keine Voruntersuchungen erwähnt

#### Kosten:

2.426.748,12 €

#### Zuwendung

Zuschuss laut Zuwendungsbescheid: 688.424€

#### Änderungsantrag

Liegt nicht vor

### 8.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

#### Umsetzung durch :

- ▶ Planung, Installation, Inbetriebnahme und Probetrieb der Schlammwasserbehandlung mit Demon+®
- ▶ Planung, Installation, Inbetriebnahme und Probetrieb mit EssDE®  
Zunächst wurde das stillgelegte Doppelbecken umgerüstet, anschließend das zweite Becken.
- ▶ Bauliche Maßnahmen:
  - ▶ Für Filtratwasserbehandlung: Einbau von Plattenbelüfter, Rührwerk und einer Trübwasserabzugspumpe in den vorhandenen Trübwasserspeicher
  - ▶ Die Deammonifikation im Hauptstrom konnte ohne bauliche Umbaumaßnahmen in den bestehenden Belebungsbecken (Kaskaden) integriert werden. Es mussten lediglich einzelne Öffnungen in den Becken geschlossen bzw. zwei Überlaufschwelle eingebaut werden.
  - ▶ Austausch der vorhandenen Turboverdichter durch Drehkolbengebläse. Da der Wirkungsgrad der neuen Gebläse sehr schlecht war, wurden diese durch neue Turboverdichter ausgetauscht.

#### Kosten:

2.293.360,89 €

#### Anlagendaten:

Ausbaugröße: 99.000 EW (Teilbereiche (u.a. die Schlammfäulung) auf 132.000 EW ausgelegt)

Belastung: Vor Umbau (2010): 35.442 EW<sub>CSB</sub> (12,2 g NH<sub>4</sub>-N/(EW\*d))

Nach Umbau (2016): 56.117 EW<sub>CSB</sub> (7,2 g NH<sub>4</sub>-N/(EW\*d))  
(Erhöhung aufgrund eines Industrieinleiters mit hoher organischer, aber geringer Stickstofffracht)

Aufenthaltszeit Faulturm

vor Umbau (2010): 45 d  
nach Umbau (2016): 47 d

Temperatur Faulturm

vor Umbau (2010): 35°C  
nach Umbau (2016): 35°C

Mittlerer Gasanfall:

Vor Umbau: 1.055 m<sup>3</sup>/d (29,8l/(EW\*d))  
nach Umbau: 1.160 m<sup>3</sup>/d (20,6 l/(EW\*d))

Energiekennwerte/Zielwerte:

Energieverbrauch:

vor Umbau (2010): 1.972.433 kWh/a bzw. 55,7 kWh/(EW\*a)  
nach Umbau (2016): 2.102.006 kWh/a bzw. 37,5 kWh/(EW\*a)

Eigenstromerzeugung:

vor Umbau (2010): 547.913 kWh/a  
nach Umbau (2016): 747.867 kWh/a

Fremdstrombezug:

vor Umbau (2010): 1.424.520 kWh/a  
nach Umbau (2016): 1.354.139 kWh/a

### 8.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Umsetzung wurden folgende Änderungen vorgenommen

- ▶ Austausch Überschussschlammeindickung
- ▶ Mehrfache Lieferung Planctomyceten
- ▶ Nachrüstung Wärmetauscher für Schlammwasserbehandlung
- ▶ Neue Gebläse mussten durch energieeffizientere Gebläse ersetzt werden
- ▶ DEMON im Hauptstrom noch nicht etabliert

Tabelle 18: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Eisenhüttenstadt

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	55,7	37,5	18
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	19,8	14,3	10
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(E*d)	29,8	20,6	>30
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	24,2	27,3	38
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	27,8	35,6	>100
CO <sub>2</sub> -Einsparung	t/a			486	935
Gasanfall		m <sup>3</sup> /a	385.030	423.550	398.130
Eigenstromerzeugung		kWh/a	547.913	749.828	782.109
Gesamtstromverbrauch		kWh/a	1.972.433	2.102.006	630.000 <sup>6</sup>
Stromverbrauch Belüftung		kWh/a	700.800	805.181	352.300

Tabelle 19: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Eisenhüttenstadt

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Eisenhüttenstadt
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(EW*a)	18	<b>37,5</b>
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(EW*a)	10	<b>14,3</b>
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(EW*d)	30	<b>20,6</b>
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	<b>100</b>

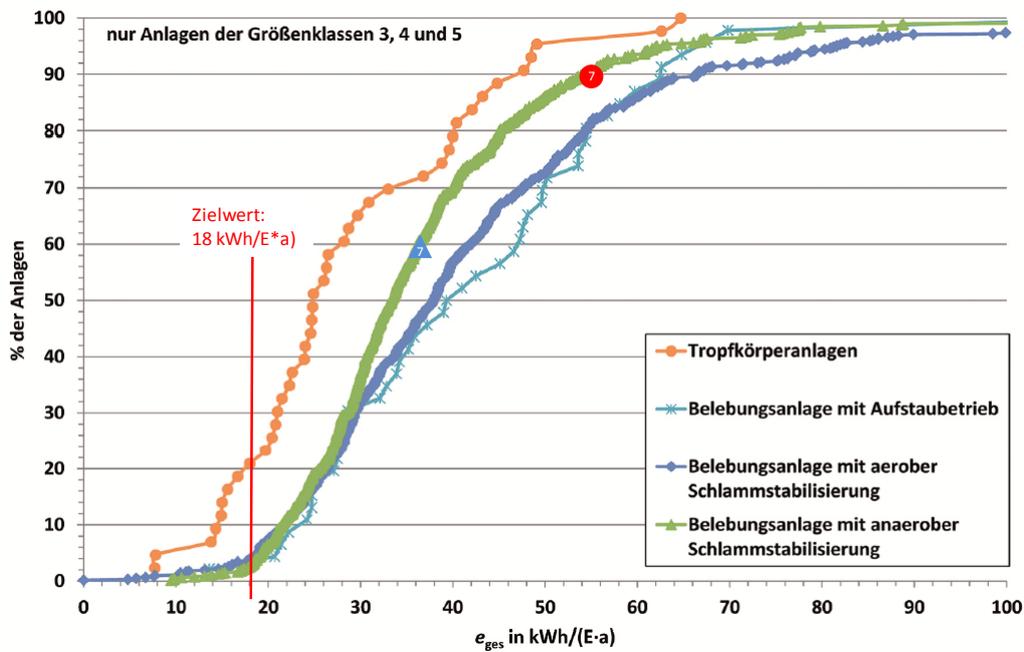
<sup>6</sup> Erwarteter Gesamtstromverbrauch (Anlage 3, S.2)

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Eisenhüttenstadt
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$ (BHKW < 1MWh)	%	38	<b>27,3</b>
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	100	<b>100</b>
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	100	<b>35,6</b>

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 8.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung

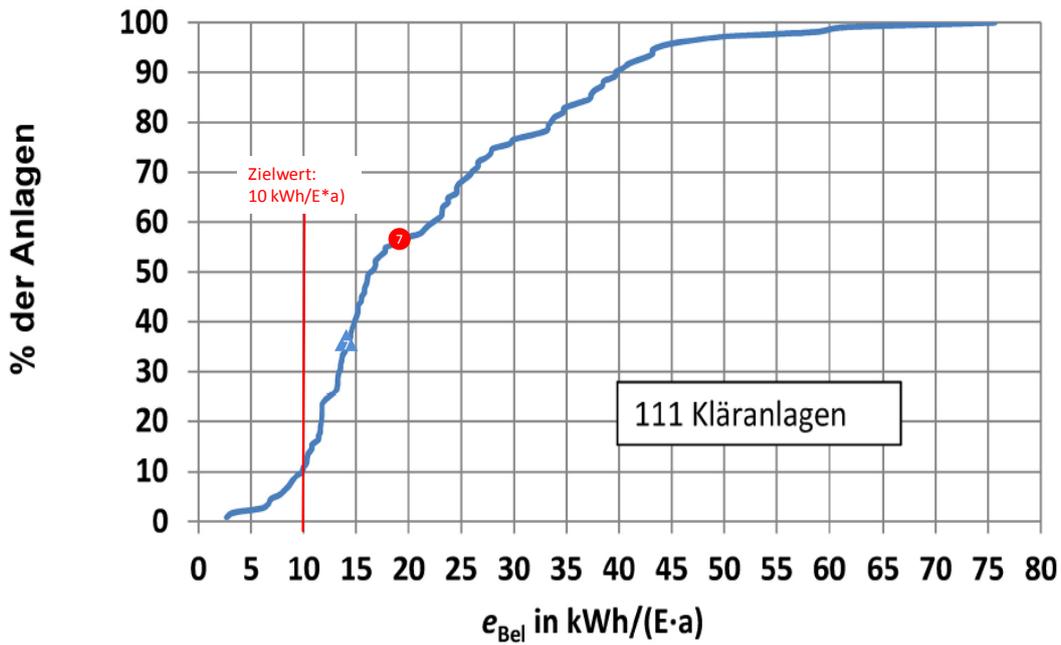
Abbildung 15: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Eisenhüttenstadt



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

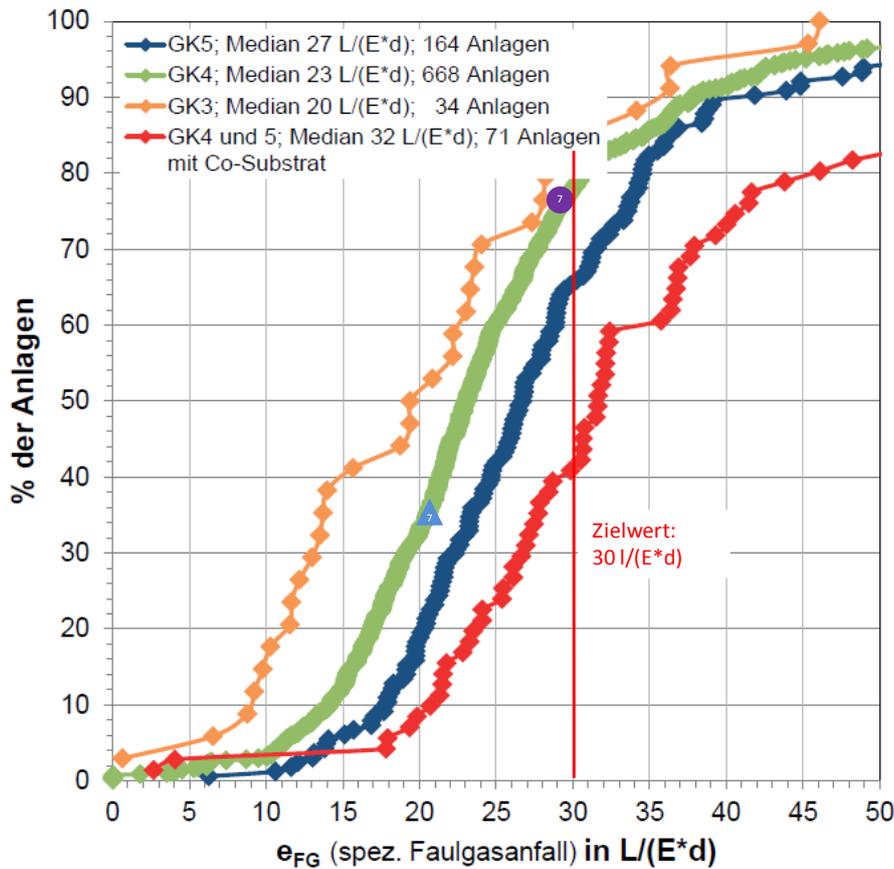
Abbildung 16: spezifischer Stromverbrauch, Kläranlage Eisenhüttenstadt



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 17: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Eisenhüttenstadt



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Haupthindernisse, die in der Umsetzungsphase überwunden werden mussten:

- ▶ Insolvenz des Generalunternehmers
- ▶ Mit Beginn des Projektes mussten viele bestehende Anlagenteile bei laufendem Betrieb umgerüstet werden. Diese Anpassungen benötigten einen höheren Zeitaufwand als geplant. Mit Inbetriebnahme einzelner Anlagenteile waren Folgeinvestitionen erforderlich, die erst in den einzelnen Wirtschaftsplänen berücksichtigt und zeitversetzt über Ausschreibungsverfahren realisiert werden konnten, dadurch hat sich das Projekt verzögert.
- ▶ Das größte Problem gab es bei der Beschaffung der erforderlichen Biomasse für das DEMON-Verfahren. Der erforderliche Schlamm für die Deammonifikation im Hauptstrom konnte zum damaligen Zeitpunkt nur aus einer Anlage in den Niederlanden beschafft werden. Der Schlamm wurde über eine Abfallschlüsselnummer eingeführt, so dass eine Notifizierung zwischen den beteiligten nationalen Abfallbehörden erforderlich war. Der Genehmigungszeitraum dauerte ca. 6 Monate und gilt nur für ein Jahr.
- ▶ Messprogramm wurde nicht wie geplant durchgeführt, Schwierigkeiten in der Umsetzung der Deammonifikation im Hauptstrom.

**8.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:**

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde auf Grundlage von Bruttopreisen erstellt, da der Trinkwasser- und abwasserzweckverband Oderaue nicht vorsteuerabzugsberechtigt ist. Zum besseren Vergleich wurden die Kosten aus 2010 und die Bilanzen der beiden Jahre 2010/2016 verglichen.

Tabelle 20: Gesamtstromverbrauch, Eigenstromerzeugung und Fremdstrombezug (IST-Vergleich), Kläranlage Eisenhüttenstadt

	Einheit	2010	2016
Gesamtstromverbrauch	[kWh/EW*a]	55,7	37,5
	[EW/d]	35.442	56.117
	[kWh/a]	1.972.433	2.102.005
Faulgasproduktion	[l/EW*d]	29,8	20,6
BHKW <sub>Input Gas</sub>	[Nm <sup>3</sup> /a]	349.323	423.550
Eigenstromerzeugung	[kWh/a]	547.913	749.828
BHKW-Wirkungsgrad	[%]	24,2	27,3
Fremdstrombezug	[kWh/a]	1.424.520	1.352.177
<b>+/-</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>-72.343</b>
Energiekosten	[€/a]	263.617	241.729
<b>+/-</b>	<b>[€/a]</b>		<b>-21.888</b>

Bei der Kostenbetrachtung wurde mit den Energiekosten des Basisjahres 2010 gerechnet. Trotz der aufgrund des Anstiegs der CSB-Frachten im Jahr 2016 um ca. 6,6 % gestiegenen Stromverbräuche konnte eine Unterschreitung in Höhe von 21.888 € (d.h. eine Reduktion um ca. 8,3 % gegenüber 2010) erreicht werden.

Amortisation

- ▶ Investitionskosten gesamt Brutto: 2.293.360,89 €

- ▶ Amortisationsfaktor: 20,9 Jahre
- ▶ Ersparnis durch 30 % Investitionszuschuss:
- ▶ Investitionskosten gesamt Brutto: 2.293.360,89 €
- ▶ Fördersumme: - 688.008,27 €
- ▶ Amortisationsfaktor: 14,2 Jahre

## 9 Realisierung innovativer Konzepte bei kleinen und mittelgroßen Abwasserbehandlungsanlagen am Beispiel der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf

Die Kläranlage Schlitz-Hutzdorf hat eine Ausbaugröße von 14.000 EW. Die Klärschlammstabilisierung soll von einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Faulung umgestellt werden. Durch die Annahme von Fremdschlämmen aus Kläranlagen umliegender Gemeinden (interkommunale Zusammenarbeit in der Klärschlammbehandlung) und von Co-Substraten sollte zudem die FaulgasFaulgasmenge wesentlich erhöht werden.

Ziel des Projektes war die Reduzierung des externen Energiebezuges von Strom und Wärme durch die **Erhöhung der FaulgasFaulgasproduktion** und Verwertung in einem BHKW.

### 9.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

Bezug externer Energiequellen (Strom und Wärme) soll weitgehend reduziert werden durch die Annahme von Klärschlämmen externer Kläranlagen (Realisierung regionales Klärschlammkonzept) und CO-Substraten. Umstellung von aerober Stabilisierung auf intermittierende Denitrifikation und Faulung.

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Keine, jedoch Vorgespräch mit Betreibern externer Kläranlagen

#### Kosten:

Nach Antrag: 1.832.600 €

#### Zuwendung

Zuwendungsfähige Ausgaben: 1.686.230 €

Nicht zuwendungsfähig: Messprogramm 60.214 €  
Zufahrt Außenanlagen: 86.156 €

#### Änderungsantrag

Kein Änderungsantrag

### 9.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

#### Umsetzung durch:

- ▶ Bau Vorklärbecken
- ▶ Bau eines Annahmebehälters für externe Schlämme
- ▶ angemieteter Annahme- und Mischbehälter für CO-Substrate
- ▶ Bau maschinelle Überschussschlammwindickung (Scheibeneindicker)
- ▶ Bau Faulbehälter (V=600 m<sup>3</sup>, Auslegung: 20d)
- ▶ Bau Faulgasspeicher, Gasreinigung und BHKW
- ▶ Bau Notfackel
- ▶ Bau Nahwärmenetz
- ▶ Bau Betriebsgebäude

**Kosten:**

2.999.148,81 €

**Anlagendaten:**

**Ausbaugröße:** 14.000 EW

**Belastung:** Vor Umbau (2015): 9.273 EW<sub>CSB</sub> (Mittelwert 2013-2015: 10.304 EW<sub>CSB</sub>)  
 Nach Umbau (2016): 7.155 EW<sub>CSB</sub> (ohne Rückbelastung)  
 8.036 EW<sub>CSB</sub> (mit Rückbelastung)

**Mittlerer Gasanfall:**

Vor Umbau: keine Faulung  
 nach Umbau: 567,47 m<sup>3</sup>/d (70,6<sup>1</sup> l/(EW\*d) bzw. 38<sup>8</sup> l/(EW\*d))

**Energiekennwerte/Zielwerte:**

**Stromverbrauch:**

vor Umbau (2013-2015): 384.400<sup>9</sup> kWh/a bzw. 37,3 kWh/(EW\*a)  
 nach Umbau (2016): 469.297 kWh/a bzw. 58,4<sup>10</sup> kWh/(EW\*a)

**Aufenthaltszeit Faulturm:**

vor Umbau: keine Faulung  
 nach Umbau (2016): im Mittel 20,4 d (1,86 kg oTR ((m<sup>3</sup>\*d))  
 (Monatsmittelwert: 17,7-34,1 d)

**Temperatur Faulturm:**

nach Umbau (2016): 35°C

**9.3 Ergebnisse**

Im Rahmen der Umsetzung gab es keine technische Modifikation, jedoch Änderungen in der "Akquisition" von CO-Substrat und externen Klärschlämmen.

Tabelle 21: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(E*a)	34,0	58,4 <sup>11</sup>	38,1
Spez. Stromverbrauch Belüftung	e <sub>Bel</sub>	kWh/(E*a)	19,9	16,4	/
Faulgasproduktion	V <sub>Faulgas</sub> * EW	l/(E*d)	/	70,6 <sup>12</sup>	33,2

<sup>7</sup> Mittelwert Gaserzeugung Nov/Dez 2017 (Faulzeit: 17,75d). Bezug auf Zulaufbelastung inkl. Rückbelastung 8.036 EW<sub>CSB</sub>

<sup>8</sup> Mittelwert Gaserzeugung Nov/Dez 2017 und Bezug Zulaufbelastung zzgl. Einwohnerwerte von externen Kläranlagen mit 6.650 E abgeschätzt und berücksichtigt

<sup>9</sup> Mittelwert 2013-2015 inkl. solare Trocknung, ohne Trocknung: 348.785 (33,8 kWh/(EW\*a))

<sup>10</sup> mit 8.036 EW<sub>CSB</sub> gerechnet

<sup>11</sup> Gerechnet über Gesamtstromverbrauch inkl. Trocknung und 8.036 E

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
				(38 <sup>13</sup> )	
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	/	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$	%	/	28,2	31-32
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	0	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	0	86,4 <sup>914</sup> 59,1 <sup>15</sup>	K.A.
CO <sub>2</sub> -Einsparung		t/a		162,5 <sup>16</sup> 74,4 <sup>17</sup>	K.A.
Gesamtstromverbrauch		kWh	384.440	469.297	375.000
Reduzierung externer Strombezug		kWh	384.440	237.171 <sup>18</sup>	150.000
Reduzierung Bezug externer Energieträger (Gas)		kWh	60.000	31.242	0

Tabelle 22: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Schlitz
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{\text{ges}}$	kWh/(EW*a)	18	<b>58,4</b>
Spez. Stromverbrauch	$e_{\text{Bel}}$	kWh/(EW*a)	10	<b>16,4</b>

<sup>12</sup> Mittelwert Gaserzeugung Nov/Dez 2017 und nur Einwohnerwerte Schlitz-Hutzdorf berücksichtigt

<sup>13</sup> Mittelwert Gaserzeugung Nov/Dez 2017 und Einwohnerwerte von externen Kläranlagen mit 6.650 E abgeschätzt und berücksichtigt

<sup>14</sup> Messbereich Nov/Dez 17

<sup>15</sup> Werte aus Gesamtjahr 2016

<sup>16</sup> Hochgerechnet aus optimalem Betrieb

<sup>17</sup> Gesamtes Jahr 2016, inkl. Außerbetriebnahme Faulturm

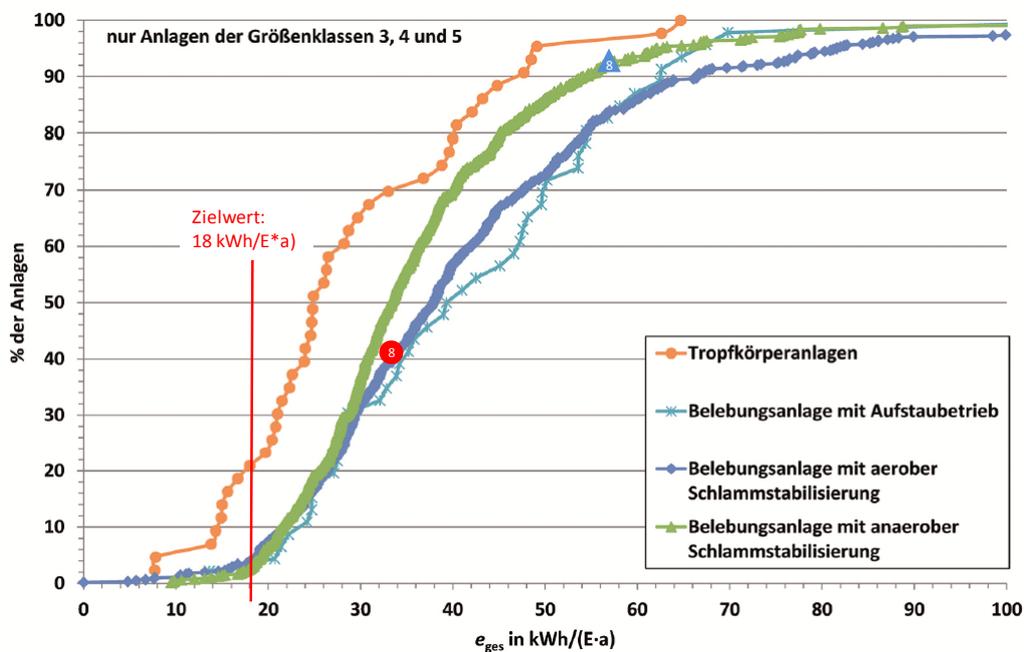
<sup>18</sup> Gesamtes Jahr 2016, inkl. Außerbetriebnahme Faulturm

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Schlitz
Belüftung				
Faulgasproduktion	$V_{\text{Faulgas}} * \text{EW}$	$l/(EW*d)$	30	70,6 (38)
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$ (BHKW < 1MWh)	%	38	28,2
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	100	86,4

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 9.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung

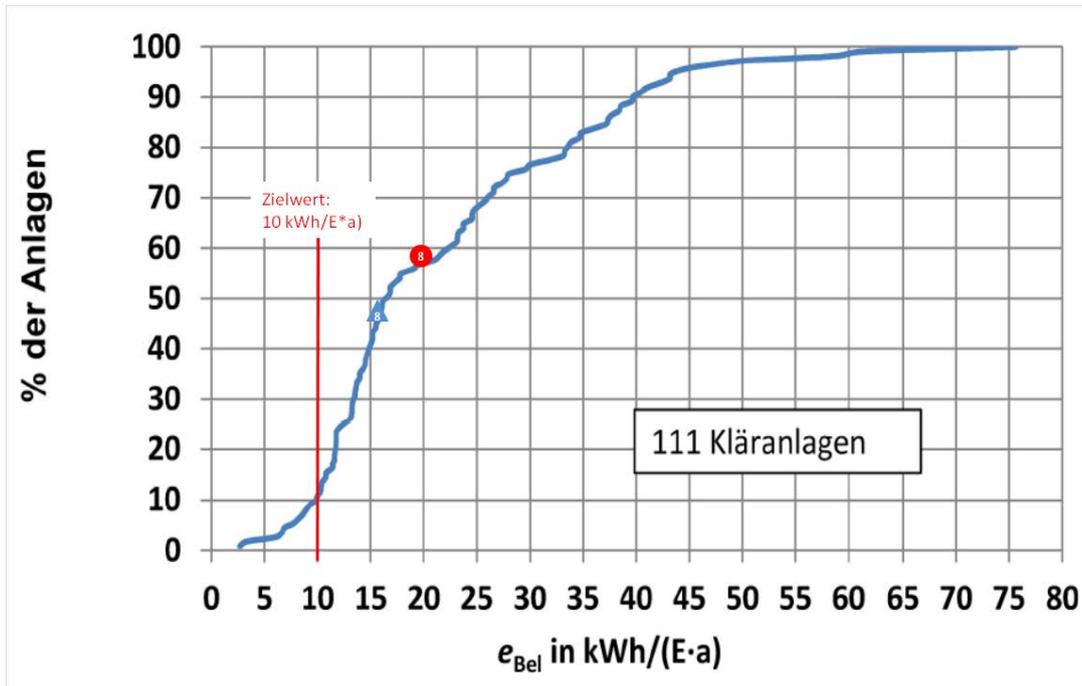
Abbildung 18: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

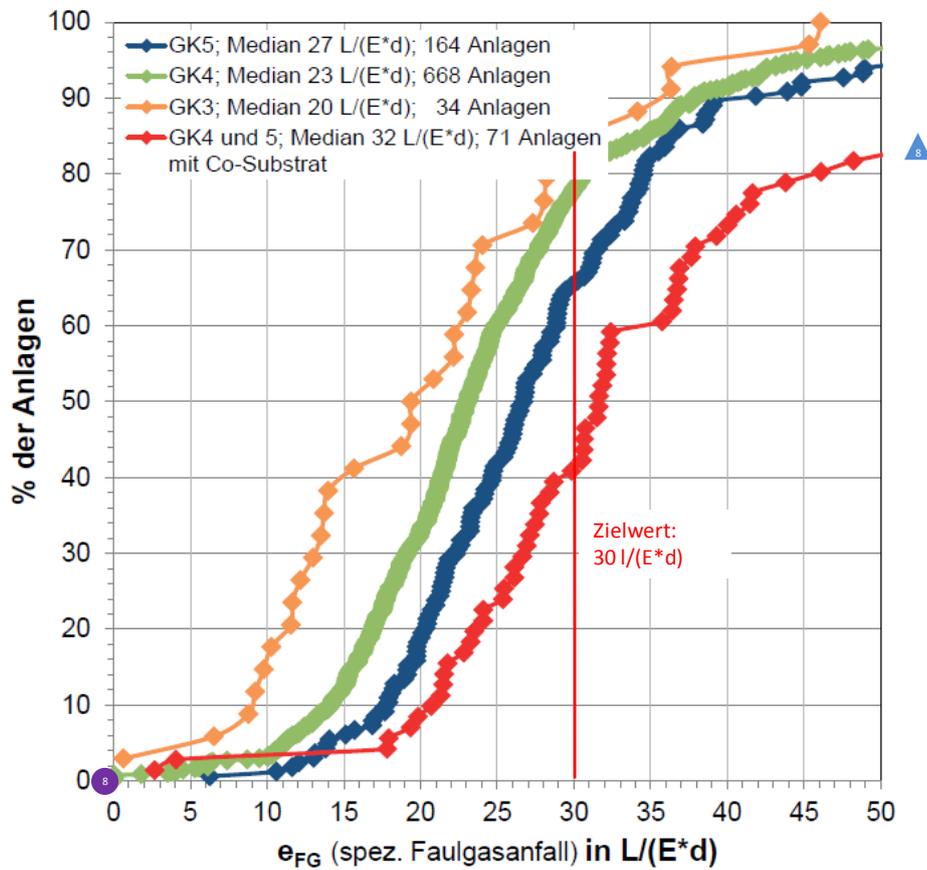
Abbildung 19: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 20: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Schlitz-Hutzdorf



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Die Reinigungsleistung der Anlage hat sich aufgrund der Rückbelastung aus der Schlammwässerung verschlechtert:

Überschreitung der  $N_{ges}$  Ablaufwerte daher Realisierung Bypass Vorklärung: 10% Umfahrung.

Wirtschaftlichkeit:

Gegenüberstellung der Investitionen des Umbaus sowie die sich daraus ergebenden Kapitalkosten mit den Aufwendungen für Energiebezug sowie der Klärschlamm- und Co-Substratannahme nach dem Umbau zu den Energie- und Entsorgungskosten vor dem Umbau der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf in 2015 ergibt, dass aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionen die sich daraus ergebenden hohen Kapitalkosten von den wirtschaftlichen Vorteilen aus dem geringeren Energieverbrauch und dem Saldo der Entsorgungskosten nicht ausgeglichen werden können.

## 10 Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung (Lingen)

Die Kläranlage Lingen hat eine Ausbaugröße von 195.000 EW. Der Primär- und Überschussschlamm wird in einer anaeroben Faulung stabilisiert. Im Rahmen des UIP-Projektes wurde eine Thermodruckhydrolyse zur Desintegration des Überschussschlammes bzw. des Faulschlammes installiert. Neben dieser Schlamm-desintegration wurde die MAP-Fällung zur Phosphorrückgewinnung umgesetzt.

Ziel ist die Kläranlage in eine Energieplus-Kläranlage umzuwandeln. Die soll zum einen durch eine verfahrenstechnische Intensivierung der Schlammfäulung, die sowohl zu einer Erhöhung der Faulgasproduktion führt als auch weitere Kapazitäten für die Annahme von Co-Substraten in der Faulung schafft umgesetzt werden. Zum anderen soll durch die Erhöhung der Annahmemenge von Co-Substraten die Faulgasproduktion weiter erhöht werden.

### 10.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

- ▶ Intensivierung der Faulung mittels thermischer Hydrolyse (Lysotherm ®)
- ▶ Schaffung neuer Faulraumkapazitäten für Co-Substrat
- ▶ P-Rückgewinnung (MAP) aus Zentrat des Überschussschlammes
- ▶ Deammonifikation des Zentrat
- ▶ Optimierung el. Wirkungsgrad der Faulgasverwertung durch neue BHKWs
- ▶ Umsetzung weiterer Einsparpotenziale aus eigenen Mitteln

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Folgende Berichte liegen dem Antrag bei:

- ▶ Abschlussbericht „Auswirkungen der thermischen Klärschlammhydrolyse und der prozessintegrierten Nährstoffrückgewinnung auf die Stoffstrom- und Energiebilanz auf Kläranlagen“, erstellt von P.C.S. Pollution Control Service GmbH und Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH
- ▶ Gutachten zum Abschlussbericht „Auswirkungen der thermischen Klärschlammhydrolyse und der prozessintegrierten Nährstoffrückgewinnung auf die Stoffstrom- und Energiebilanz auf Kläranlagen“ Prof. Harald Horn, Garching
- ▶ Angebot zur wissenschaftlichen Begleitung
- ▶ Richtpreisangebote für die technischen Anlagen

#### Kosten:

Nach Antrag: 4.607.914 €

#### Zuwendung

Zuwendungsfähige Ausgaben: 4.143.853,11 €

Nicht zuwendungsfähig: wissenschaftliche Begleitung und Messprogramm

Änderungsantrag: ja

### 10.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

#### Umsetzung durch:

- ▶ Bau einer LysoTherm®-Anlage (thermische Schlamm-desintegration) und Optimierung des Betriebes (Testphasen mit Überschussschlamm-desintegration und Faulschlamm-desintegration, Betrieb der Faultürme mit unterschiedlichen Schlämmen (nur Primärschlamm und Co-Substrat in einem Faulturm und Überschussschlamm im zweiten Faulturm, Betrieb der Faultürme mit Beschickung von gemischtem Schlamm))
- ▶ Bau von zwei neuen BHKWs á 300 kW<sub>el</sub>

- ▶ Bau maschinelle Voreindickung des Primärschlammes
- ▶ Erweiterung der Lysothermanlage um weitere Überschussschlammvorerwärmungsstufe
- ▶ Bau einer MAP-Fällungsanlage und P-Rückgewinnung
- ▶ Bau Gasentschwefelung
- ▶ Bau Zentrifuge zur Schlammenwässerung als Ersatz der Bucherpressen
  
- ▶ Zusätzlich aus eigenen Mitteln:
  - ▶ Erneuerung der Rührwerkstechnik (2014-2015)
  - ▶ Optimierung der Rücklaufschlammförderung
  - ▶ Installation neuer Schlammumwälzpumpen
  - ▶ Außerbetriebnahme einer Beckenstraße (2011)
  - ▶ Erneuerung Belüfter (2014)
  - ▶ Austausch Turbogeläse (2016)

**Kosten:**

Kosten: 4.479.277 € (inkl. Kosten für die Erneuerung der Rührwerke, der Optimierung der Rücklaufschlammförderung, den Austausch der Schlammumwälzpumpen und der Installation eines neuen Turboverdichters)

**Anlagendaten:**

Ausbaugröße: 195.000 EW

Belastung: Vor Umbau (2010): 154.282 EW<sub>CSB</sub>

Nach Umbau:

R0 (Oktober 2016): 113.533 EW<sub>CSB</sub>

R1 (März-Mai 2017): 91.787 EW<sub>CSB</sub>

R2 (Jan-Feb 2018): 83.225 EW<sub>CSB</sub>

Tabelle 23: Aufteilung der Einwohnerwerte in kommunal und industriell (Dragon), Kläranlage Lingen

	Kommunal	industriell	Verhältnis Kommunal/Industriell
2010	Ca. 60.000	Ca. 90.000	0,7
2017 (Energieanalyse)	61.803	24.506	2,5
R0	91.858	21.675	4,2
R1	62.500	29.233	2,1
R2	55.417	27.808	1,99

**Mittlerer Gasanfall:**

Vor Umbau (2010): 3.230 m<sup>3</sup>/d (20,9l/(E\*d) (inkl. Co-Vergärung)

nach Umbau: R0: 2.936 m<sup>3</sup>/d bzw. 25,9 l/(E\*d) (inkl. Co-Vergärung)  
R1: 3.789 m<sup>3</sup>/d (41,3 l/(E\*d) (inkl. Co-Vergärung))  
R2: 3.698 m<sup>3</sup>/d (44,4 l/(E\*d) (inkl. Co-Vergärung))

Energiekennwerte/Zielwerte:

Stromverbrauch:

vor Umbau (2010): 3.558.024 kWh/a bzw. 23,1 kWh/(EW\*a)  
nach Umbau (2017): 2.871.677 kWh/a bzw. 33,3 kWh/(EW\*a) (mit 86.390 EW gerechnet)

Aufenthaltszeit Faulturm

nach Umbau: R0: 28,6 Tage  
R1: 28,1 Tage  
R2: 29,9 Tagge

Temperatur Faulturm:

nach Umbau: R0: 38,5 °C  
R1: 38 °C  
R2: 38°C

### 10.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Umsetzung gab es folgende technische Modifikation:

- ▶ Nachrüstung maschinelle Primärschlammeindickung
- ▶ Weitere Überschussschlammvorerwärmungsstufe
- ▶ Statt AirPrex® wurde EloPhos® zur Phosphorrückgewinnung installiert; realisiert wurde die P-Rückgewinnung aus Faulschlamm, im Antrag war die P-Rückgewinnung aus dem Schlammwasser vorgesehen
- ▶ Faulgasentschwefelung
- ▶ Ersatz der Bucherpresse zur Schlammentwässerung durch Zentrifuge
- ▶ Verzicht auf Schlammwasserdeammonifikation (Demon®), da die Zulaufbelastung erheblich zurückgegangen war und somit genug Kapazitäten in der Belebung für die Rückbelastung vorhanden sind

Tabelle 24: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kläranlage Lingen

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	23,1	32	21,3
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	13	10,6	11,8
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(E*d)	20,9 <sup>19</sup> (16,4 <sup>20</sup> )	41 <sup>21</sup> (34 <sup>22</sup> )	31
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	97	100	100
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	30,8	33	38
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100	100
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	61	83	125
P-Rückgewinnung		%	0	13	30
CO <sub>2</sub> -Einsparung		t/a		400	100

Tabelle 25: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Lingen

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Lingen
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(EW*a)	18	<b>32</b>
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(EW*a)	10	<b>10,6</b>
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * EW$	l/(EW*d)	30	<b>41</b>
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	<b>100</b>
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$ (BHKW < 1MWh)	%	38	<b>33</b>
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	<b>100</b>

<sup>19</sup> Mit Co-Substrat

<sup>20</sup> Ohne Co-Substrat

<sup>21</sup> Mit Co-Substrat

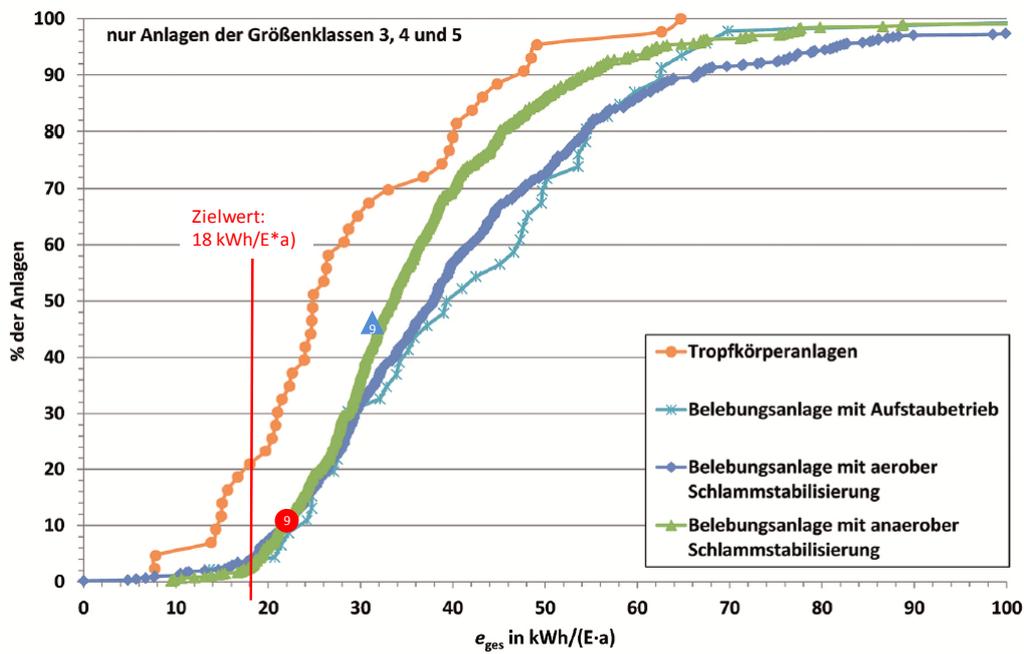
<sup>22</sup> Ohne Co-Substrat

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Lingen
Eigenversorgungsgrad Strom	EV <sub>elek</sub>	%	100	<b>83</b>

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 10.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung

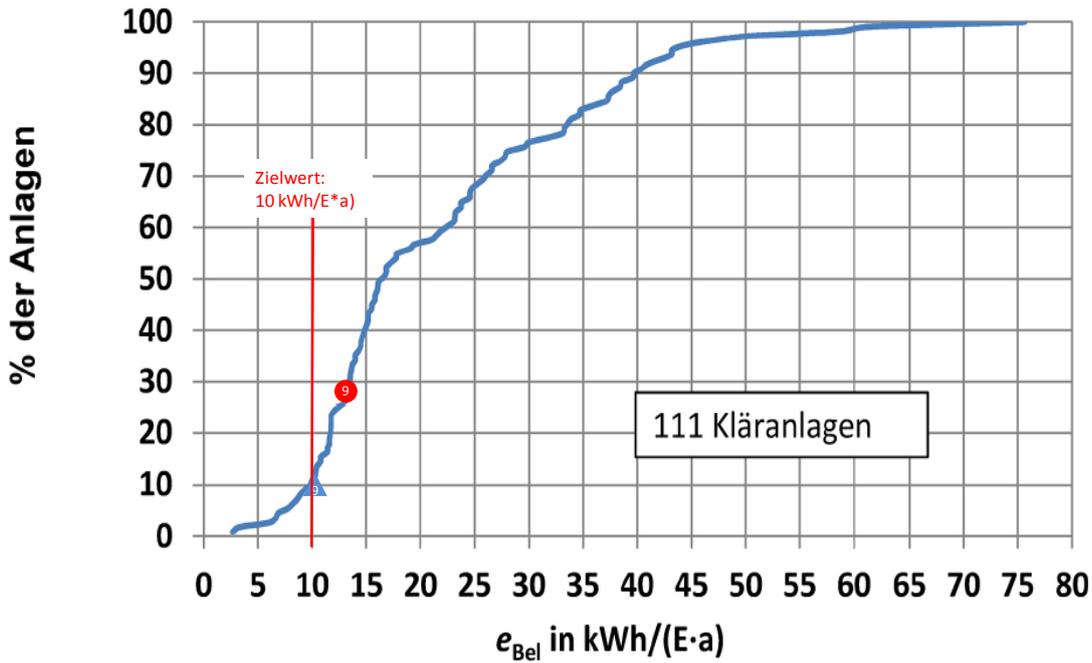
Abbildung 21: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Lingen



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

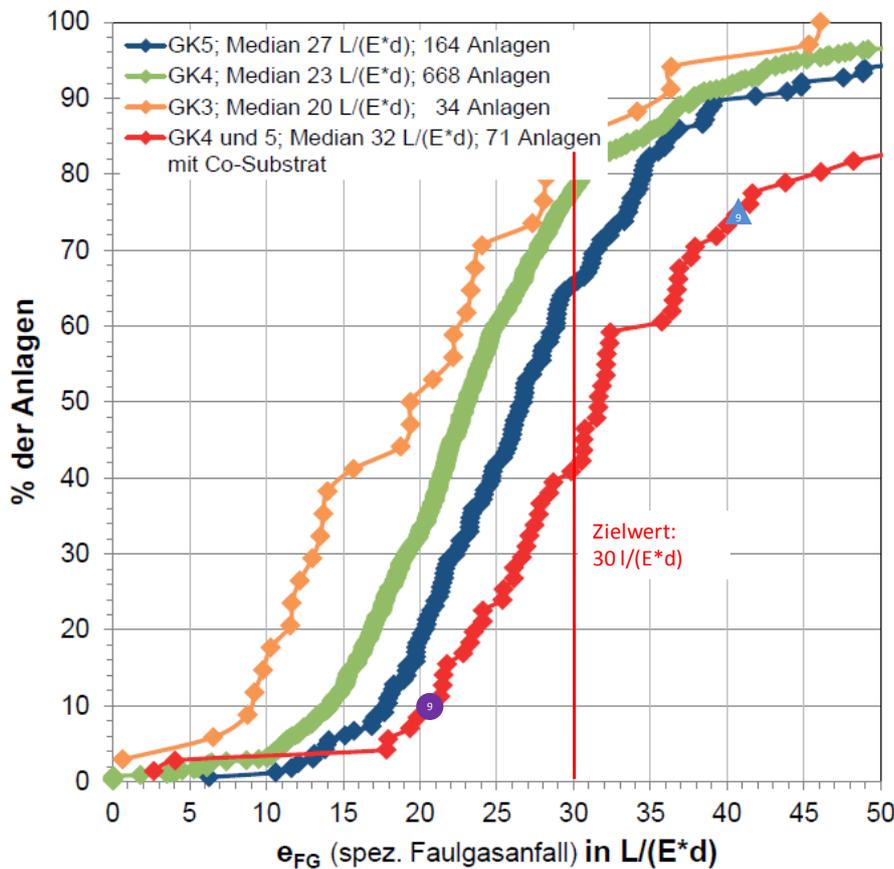
Abbildung 22: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Lingen



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 23: spezifische Faulgasproduktion, Kläranlage Lingen



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Die Reinigungsleistung der Anlage hat sich durch die Umsetzung der Maßnahmen nicht verändert

### 10.4 Wirtschaftlichkeit:

Durch die Umsetzung des Projektes konnten auf der KLA Lingen erhebliche Einsparungen erzielt werden. Neben den Mess-/Bilanzzeiträumen R0, R1b und R2b gelten für einige Vergleiche die Jahre 2010 und 2011 als Basis-/Vergleichsjahre, da die thermische Schlammintegration auf der KLA Lingen in 2012 in Betrieb genommen wurde.

Der durch die thermische Desintegration deutlich verbesserte o-TR-Abbau führte zu einer Erhöhung der Faulgasmengen um etwa 20%. Mit den in 2014 in Betrieb genommenen neuen Blockheizkraftwerken wurde die Eigenstromerzeugung von 61% (in 2010) auf 83% gesteigert. Davon beträgt die der LysoTherm®-Anlage zuzuordnende Strommehrproduktion, nach Abzug des Stromverbrauchs der Anlage, 275.000 kWh/a. Das Ziel, eine Eigenstromerzeugung von  $\geq 100\%$ , wurde nicht erreicht. Das lag daran, dass die CSB-Konzentration der gelieferten Co-Substrate im Laufe der letzten Jahre stark zurückgegangen ist, 2017 lag sie nur noch bei etwa 50% der CSB-Konzentration des Jahres 2011. Durch die etwas höheren Co-Substrat-Dosiermengen konnte das bei weitem nicht ausgeglichen werden. In 2017 wurden durchschnittlich 1.060 kg Substrat-CSB/d in die beiden Faulbehälter dosiert, das sind 44% weniger als in 2011 (1.900 kg/d). Der Eigenversorgungsgrad mit Wärme beträgt 100%, die überschüssige Wärme wird über ein Fernwärmenetz abgegeben. Durch den besseren organischen Abbau im Faulturm und den deutlich gesteigerten Entwässerungsgrad wurde die entwässerte Klärschlammfracht um etwa 30% reduziert, die Entsorgungskosten verringerten sich ebenfalls um 30%. Zusätzlich konnte der Polymerverbrauch um etwa 30% (6 kg WS/t TR) und die Eisenlösung für die Entwässerung um 70% (150 kg/t TR) reduziert werden.

Weitere Einsparungen gab es durch die energetische Optimierung der Abwasser- und der Schlammbehandlung. Die Erneuerung der Rührwerkstechnik in den Bio-P-Becken, den Denitrifikations- und Zehrungszonen der biologischen Stufe, die Optimierung der Rücklaufschlammförderung, der Austausch der Schlammumwälzpumpen und die Installation eines neuen angepassten Turboverdichters führten zu einer Gesamtstromeinsparung von 520.000 kWh/a, belegt durch Leistungs- und Stromverbrauchsmessungen vor und nach Inbetriebnahme der o. g. Aggregate. Das sind 15% weniger als im Basis-/Vergleichsjahr 2011. Diese Maßnahmen wurden nicht gefördert. Gegenzurechnen sind die Betriebskosten für die LysoTherm®- und die EloPhos®-Anlage, unter anderem für Service und Wartung, Reparaturkosten, die Kosten für den Stromverbrauch und die Personalkosten.

Tabelle 26: Jährliche Einsparung durch den Betrieb der Neuanlagen und Betriebskosten

Einsparungen/Kosten	Wert
Stromeinsparungen, Erhöhung der Eigenstromerzeugung	239.000 €/a
Erhöhung der Wärmerzeugung / Fernwärmeverkauf	10.000 €/a
Reduzierung der entwässerten Klärschlammmenge	142.000 €/a
Reduzierung Chemikalienverbrauch	93.000 €/a
Betriebskosten Neuanlage (Strom, Wartung, Personal)	-104.000 €/a
Chemikalienkosten (Magnesiumchlorid für MAP-Fällung, Entschäumer)	-21.000 €/a

Einsparungen/Kosten	Wert
Jährliche Gesamteinsparung	359.000 €/a

Demgegenüber stehen die Förderprojektgesamtkosten in Höhe von 4.143.853 €, die im Rahmen der Förderung des Projektes „Stadt Lingen - Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung“ von der KfW mit 1.243.156 € (30%) bezuschusst wurden. In die Erneuerung der Rührwerkstechnik in den Bio-P-Becken, den Denitrifikations- und Zehrungszonen der biologischen Stufe, die Optimierung der Rücklaufschlammförderung, den Austausch der Schlammumwälzpumpen und die Installation eines neuen angepassten Turboverdichters investierte die KLA Lingen 335.424 €. Da der Klärschlammanfall und damit verbunden auch der Chemikalienverbrauch bei der Schlammmentwässerung, schon aufgrund des deutlichen Rückgangs der CSB-Schmutzbelastung der KLA Lingen um 35% von 132.000 EW in 2011 auf aktuell etwa 85.000 EW, gesunken sind, sind die Einsparungen nicht mehr so hoch wie zu Anfang des Projektes berechnet.

Bei gleichbleibender CSB-Schmutzbelastung und gleichen CSB-Co-Substrat-Frachten wie 2011 wäre eine Gesamteinsparung von etwa 500.000 €/a erzielt worden. Die Auswirkungen der neuen Klärschlamm- und der neuen Düngeverordnung, die 2017 in Kraft traten, zeigen sich schon jetzt. Die Verwertung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen ist dramatisch zurückgegangen. Viele Klärschlamm-Verwertungsverträge wurden bereits durch Entsorger und Landwirte gekündigt. Die zur Verfügung stehenden thermischen Kapazitäten reichen nicht aus, um die Mengen aus der Landwirtschaft zu kompensieren. Auch in diesem Segment gibt es bei Ausschreibungen in den meisten Fällen keine oder nur sehr wenige Angebote mit entsprechend hohen Verbrennungskosten. Aktuell ist auf vielen Kläranlagen im norddeutschen Raum die Entsorgung nicht gesichert. Da aktuell geplante Mono-verbrennungsanlagen erst in einigen Jahren in Betrieb gehen, werden die Kosten der Klärschlamm-entsorgung in den nächsten Jahren weiter stark ansteigen. Vor diesem Hintergrund kann die Reduzierung der zu entsorgenden Klärschlammmenge um 30% gar nicht hoch genug bewertet werden.

Nach dem derzeitigen Stand können ab Anfang 2019 die Co-Substratmengen so erhöht werden, dass eine Eigenstromproduktion von 90 – 95% möglich ist. Langfristig sollen weitere ähnliche Co- Substrate mitverarbeitet werden, um ab etwa 2022 eine Eigenstromerzeugung von 100% zu erreichen.

## 11 Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg

Die Kapazität der Kläranlage Isselburg wurde durch den Umbau von 14.000 EW auf 20.000 EW erhöht. Das Zulaufpumpwerk wurde energetisch saniert. Die Biologie wurde zu einer Dreierkaskade umgebaut und eine kontinuierlich betriebene Sandfilteranlage der Nachklärung nachgeschaltet. Der bestehende Faulturm wurde saniert und die Schlammrückführung und Schlammbehandlung angepasst.

Ziel der Maßnahmen ist den Energieverbrauch der Anlage trotz Erweiterung der Kapazität zu verringern.

### 11.1 Antragstellung

#### Ansatzpunkt:

Ausbau der Kläranlage auf 20.000 EW und gleichzeitig den Energiebedarf zu reduzieren

#### Voruntersuchungen laut Antrag:

Genehmigungsentwurf zur Erweiterung der Kläranlage

#### Kosten:

Nach Antrag: 5.718.386,31 € (brutto)

#### Zuwendung

Zuwendungsfähige Ausgaben: 4.551.854,37 €

Nicht zuwendungsfähig: 1.166.531,94 €

#### Änderungsantrag

Kein Änderungsantrag

### 11.2 Kurzbeschreibung der Projektumsetzung

#### Umsetzung durch:

- ▶ Umbau der vorhandenen biologischen Reinigung von vorgeschalteter Denitrifikation zu einer 3er-Kaskade mit alternierender Belüftung
- ▶ Umbau und Modernisierung der Gebläsestation
- ▶ Umbau und Modernisierung des Rücklaufschlammumpwerkes
- ▶ Neubau einer Filtrationsanlage zur sicheren Einhaltung der geforderten Überwachungswerte für BSB5 und Phosphor und bedarfsweise Nachdenitrifikation
- ▶ Umbau und Optimierung des Primärschlammabzuges
- ▶ Umbau und Optimierung des Voreindickers
- ▶ Umbau und Optimierung des Überschussschlammabzuges
- ▶ Nachrüstung einer maschinellen Überschussschlammeindickung
- ▶ Umbau und Optimierung Faulung
- ▶ Neubau einer maschinellen Schlammentwässerung
- ▶ Abriss der vorhandenen Schlammsilos
- ▶ Umbau und Optimierung des Trübwasserbehälters
- ▶ Umbau und Modernisierung des Betriebsgebäudes mit Schaltwarte
- ▶ Umbau und Modernisierung der kompletten EMSR-Technik

#### Kosten:

Kostenerhöhung um 27% im Vergleich zum Antrag (7.262.350,61 €)

Anlagendaten:

Ausbaugröße: Vor Umbau: 14.000 EW<sub>CSB</sub>  
 Nach Umbau: 20.000 EW<sub>CSB</sub>  
Belastung: Vor Umbau (2010): 13.000EW<sub>CSB</sub>  
 Nach Umbau (2017/18): 13.550<sup>23</sup> EW<sub>CSB</sub>

Energiekennwerte/Zielwerte:

Stromverbrauch:

vor Umbau (2001): 694.127 kWh/a bzw. 53,4 kWh/(EW\*a)  
 nach Umbau (2017/18): 485.655 kWh/a bzw. 31,4 kWh/(EW\*a)

**11.3 Ergebnisse**

Im Rahmen der Umsetzung gab es folgende technische Modifikation:

Keine Technischen Modifikationen

Tabelle 27: Vorher/Nachher-Vergleich der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz; Isselburg

	Kurzzeichen	Einheit	vorher	nachher	Ziel lt. Antrag
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(E*a)	53,4 <sup>24</sup>	31,4 <sup>25</sup>	20-29,1
Spez. Stromverbrauch Belüftung	e <sub>Bel</sub>	kWh/(E*a)	13	13,4 <sup>26</sup>	
Eigenversorgungsgrad Strom	EV <sub>elek</sub>	%		24,8	

Tabelle 28: Vergleich mit Förderkriterien, Kläranlage Isselburg

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Isselburg
Gesamter spez. Stromverbrauch	e <sub>ges</sub>	kWh/(EW*a)	18+6	<b>31,4</b>
Spez. Stromverbrauch Belüftung	e <sub>Bel</sub>	kWh/(EW*a)	10	<b>13,4<sup>27</sup></b>
Faulgasproduktion	V <sub>Faulgas</sub> * EW	l/(EW*d)	30	<b>k.A.</b>
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	<b>k.A.</b>

<sup>23</sup> Rückgerechnet aus spezifischem Stromverbrauch von 31,36 kWh/(EW\*a) und Stromverbrauch von 424939 kWh/a

<sup>24</sup> Bezugsjahr 2001, besondere Verbraucher berücksichtigt, im Antrag 52,1 kWh/(EW\*a)

<sup>25</sup> Jedoch besondere Verbraucher unberücksichtigt, sonst 35,84

<sup>26</sup> Jedoch mit Rührwerke

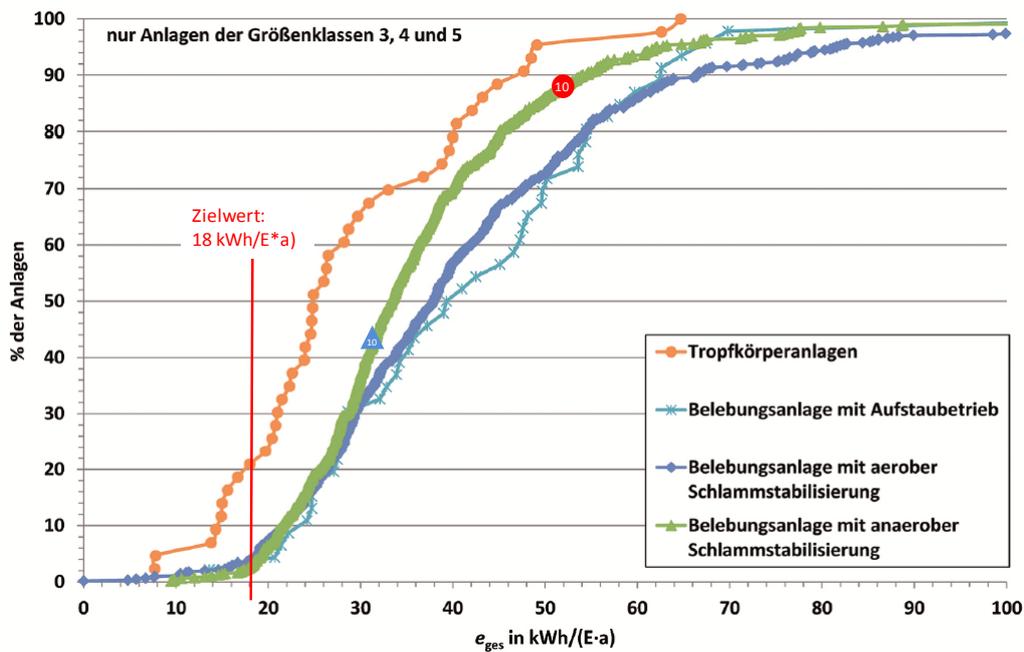
<sup>27</sup> Jedoch inkl. Umwälzung

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	Isselburg
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{\text{elek}}$ (BHKW < 1MWh)	%	38	k.A.
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{\text{th}}$	%	100	k.A.
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{\text{elek}}$	%	100	24,8

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt

### 11.3.1 Kennwerte der Anlagen gemäß Energiecheck nach DWA A 216 in der Häufigkeitsverteilung:

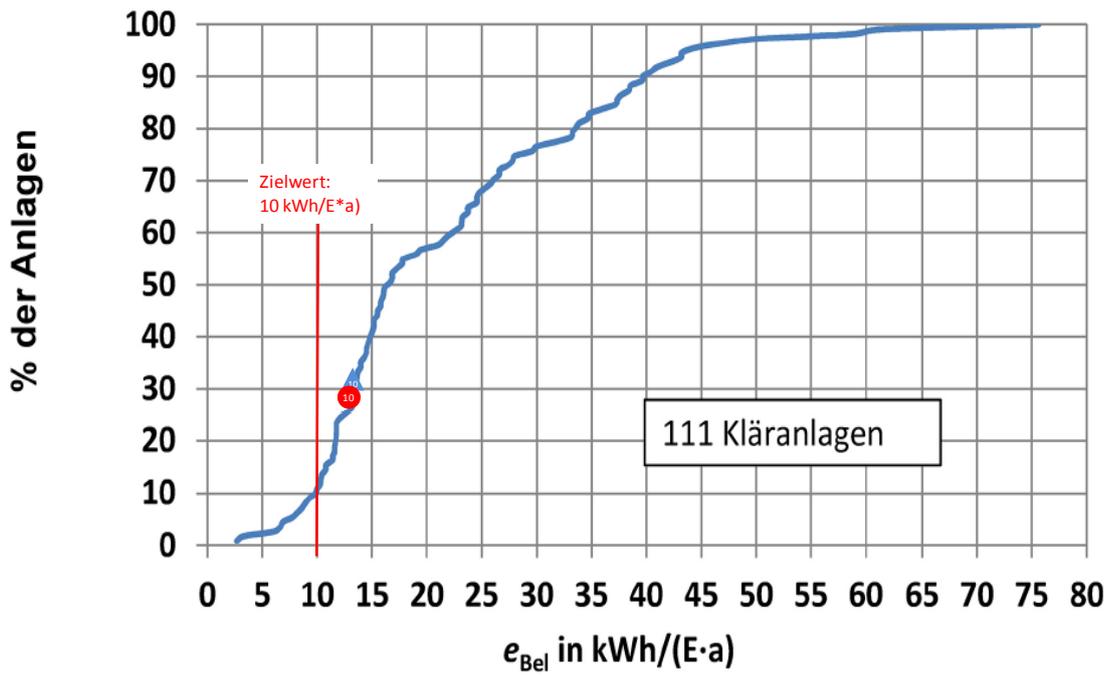
Abbildung 24: spezifischer Gesamtstromverbrauch, Kläranlage Isselburg



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

Abbildung 25: spezifischer Stromverbrauch Belüftung, Kläranlage Isselburg



Zeichenerläuterung: roter Kreis vor Umsetzung; blaues Dreieck nach Umsetzung

Quelle: DWA A 216, ergänzt iat Darmstadt

## 12 Zusammenfassungen Stromverbrauch und Kennwerte

In folgender Tabelle 29 sind die spezifischen Stromverbräuche für die Belüftung der 10 Projekte zusammengefasst.

Tabelle 29: Vorher-Nachher Vergleich, Stromverbrauch Belüftung

Projekt Nr.	Spezifischer Stromverbrauch, Belüftung [kWh/(EW*d)]		
	vorher	nachher	Veränderung
1	7,7	8,4	+ 0,7
2		7,1	
3	14,3	7,8	-6,5
4	n.r.	n.r.	
5	26,7	24	-2,7
6	11,5	15	+3,5
7	19,8	14,3	-5,5
8	19,9	16,4	-3,5
9	13	10,6	-2,4
10		13,4	

In folgender Tabelle 30 sind die Zielwerte des Förderschwerpunktes und die Kennwerte der 10 Projekte zusammengefasst. In rot sind diejenigen Kennwerte dargestellt, die die Zielwerte nicht erreicht haben, in grün sind die Kennwerte dargestellt, die den Zielwert erreicht oder überschritten haben. Die Angabe k.A. bedeutet, dass zu diesen Kennwerten keine Angaben vorliegen.

Für die Projekte sind möglichst alle Kennwerte eingetragen, auch wenn die Umsetzung der Maßnahme nicht auf alle Kennwerte einen Einfluss hatte.

Tabelle 30: Vergleich Kennwerte mit den Zielwerten des Förderschwerpunktes

	Kurzzeichen	Einheit	ZW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Anzahl erreicht
Wärmepumpen	COP	-	4,5				3,7							0
Gesamter spez. Stromverbrauch	$e_{ges}$	kWh/(E*a)	18	19,4	20,8	19,8	n.r.	40 <sup>28</sup>	35,8	37,5	58,4	32	31,4	3 von 9
Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel}$	kWh/(E*a)	10	8,4	7,1	7,8 <sup>29</sup>	n.r.	24	15	14,3	16,4	10,6	13,4	4 von 9
Faulgasproduktion	$V_{Faulgas} * E$	l/(E*d)	30	21,3	24,3	22	n.r.	n.r.	39	20,6	70,6 (38)	41	k.A.	3 von 7
Grad der gesamten Faulgasnutzung	Faulgasnutzung	%	100	100	100	100	n.r.	n.r.	100	100	100	100	k.A.	6 von 7
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung	$\eta_{elek}$	%	38	39,5	28	28,2	n.r.	n.r.	29	27,3	28,2	33	k.A.	1 von 7
Eigenversorgungsgrad Wärme	$EV_{th}$	%	100	100	100	100	n.r.	n.r.	> 100	100	100	100	k.A.	7 von 8
Eigenversorgungsgrad Strom	$EV_{elek}$	%	100 <sup>30</sup>	>100	66 (72,2 <sup>31</sup> )	73	n.r.	n.r.	70	35,6	86,4	83	24,8	0 von 3
Anzahl erreichte Ziele				5	3	4	0	1	3	2	3	4	0	

Rote Kennwerte: Zielwert nicht erreicht; grüne Kennwerte: Zielwert erfüllt, schwarz Kennwerte: Zielwert nicht relevant

<sup>28</sup> Zielwert von 82 kWh/(EW\*a), da Membranbelebung

<sup>29</sup> Inkl. Stoßbelüftung für die Umwälzung

<sup>30</sup> Bei Anlagen mit Co-Vergärung

<sup>31</sup> Wenn Störzeitraum Faulturm rausgerechnet wird

Lediglich das Projekt „Wiesental (4)“ konnte keines der Förderkriterien erreichen, wobei hier zu beachten ist, dass es sich bei diesem Projekt um die Wärmerückgewinnung aus einem Abwasserkanal handelt und hierfür lediglich die Leistungszahl als Förderkriterium vorgeben ist.

Die Kennwerte der Kläranlagen erreichen zwischen 1 und 5 der Förderkriterien. Beim Projekt Nordkanal (Nr. 5), welches das Förderkriterium für den Gesamtstromverbrauch deutlich unterschritten hat, gibt es, da es sich um eine Membrankläranlage handelt, zum einen ein anderes Förderkriterium für den Gesamtstromverbrauch, zum anderen sind die Förderkriterien für die Gaserzeugung und Gasverwertung nicht relevant, da der Klärschlamm simultan aerob stabilisiert wird.

Tabelle 31: Änderung des Eigenversorgungsgrades für Wärme

Projektname	EV <sub>th</sub> vorher	EV <sub>th</sub> nachher	Einsparung [kWh <sub>th</sub> ]
Jena		100 %	
Weilerbach	0	100 %	
Blümeltal	99 %	99 %	0
Wiesental			1.394.000
Nordkanal	0	0	0
Schwalmstadt	94%	>100%	140.000
Oderaue	100		
Schlitz	0		34.000 <sup>32</sup>
Lingen	94	>100	Mind. 120.000, Fernwärmemenge nicht angegeben
Isselburg	k.A.	k.A.	

<sup>32</sup> Unter Berücksichtigung der Daten aus dem störungsfreien Betrieb 01.10.-31.12.2016

### 13 Ergebnisse Expertenworkshop bei der KfW

Schlussfolgerungen (nicht nur aufgrund der UIP-Projekte)		
	B.R.B.	Ausland/KfW
<p>größte Einsparpotenziale liegen im Bereich der Faulgaserzeugung und –verwertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung</li> <li>• Steigerung der Faulgaserzeugung</li> <li>• Nutzung der Abwärme</li> <li>• Optimierung der Faulgasverwertung</li> </ul>		
<p>Austausch von ineffizienten Aggregaten und Anlagenteilen (Belüfter, Rührwerke, Pumpen) hat meist größere Wirkung als Optimierung der Steuerung/Automatisierung (sofern a.a.R.d.T. bereits umgesetzt sind)</p>		
<p>Unterschiedliche Abwasserqualitäten und Randbedingungen zwingen zur Einzelfallbetrachtung und erschweren die Übertragbarkeit von Innovationen</p>		
<p>Wegen Unwägbarkeiten/Unsicherheiten und teils unerklärlichen Schwankungen in den Datengrundlagen (EW-Werte/Abwasserqualität) sind absolute Kenn- und Zielwerte problematisch, besser sind anlagenspezifische Kennwerte</p>		
<p>Überwindung von Systemgrenzen/Änderung der Organisationsstruktur (IKZ, Industrieabwasserbehandlung, Klärschlammverwertung) bieten große Einsparpotenziale, sind aber aus organisatorischen und rechtlichen Gründen schwierig umzusetzen</p>		
<p>Innovativer Charakter der Projekte liegt eher in der geschickten Kombination von bekannten Technologien/Anlagenteile und/oder deren guten Anpassung an örtliche Besonderheiten als in technischen Neuerungen</p>		
<p>Externe Faktoren (insbesondere gesetzliche Vorgaben) beeinflussen massiv die Rentabilität von Energieeinsparmaßnahmen</p>		
<p>Kurzfristige und häufige Änderungen der Randbedingungen durch Gesetzesänderungen (z.B. EEG/KWK) oder Schwankungen der (Industrieabwasser) Abwasserqualität und Menge beeinträchtigen langfristige Rentabilität und Bewertung von Maßnahmen</p>		
<p>Örtliche Besonderheiten (z.B. vorhandene Bauwerke, Abwasserqualität, geografische Situation) haben dominanten Einfluss auf Energieoptimierung als allgemeine Regeln der Technik</p>		

### Marktpotenzial/Demonstrationscharakter

Welcher Projektansatz hat größtes Potenzial und könnte vielfach umgesetzt werden

1	Umstellung von simultaner aerober Stabilisierung auf anaerobe Stabilisierung	USA, Ost Europa, L.A., All. Deutschland
2	Hochlastfaulung	
3	Energieeffizientere Bemessung von Anlagenteilen	L.A.
4	Deammonifikation im Teilstrom (Trübwasser)	
5	Deammonifikation im Hauptstrom	
6	Separate (Vor-)Behandlung von Industrieabwasser/Konzentraten	Peru, einige Projekte weltweit
7	Abtrennung von Konzentraten und Mitbehandlung im Faulturm	
8	Austausch ineffizienter Anlagenteile	
9	Bessere Steuerung der Belüftung (= Hauptverbraucher)	USA, Ost Europa, Peru, land sektor überregional
10	Externe Nutzung von überschüssiger Wärme	
11	Abwärmennutzung für externe Abnehmer	
12	Nutzung KA-Gelände für PV (In-+Ausland)	
13	Einfache Systeme f. Biogasreinigung + -nutzung	L.A.
14	Optimierung von HASB inkl. Gasfassung	Brasilien
15	<b>SCHLÄMMVERBRENNUNG ≤ 250.000 t/a</b>	Europa
16	Energie orientierte Technologiewahl (z.B. Tropfenkörper, WASD, Trick-BK)	
17	Technologien im Bereich DWW (olive Mill Waste)	

*Handwritten note on a yellow sticky note:*  
 Anreize schaffen (Finanzierung, Subventionen)