

BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

*Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung
KfW-Az MBc3 - 001907*

Zuwendungsempfänger/-in

Stadt Lingen (Ems)

Umweltbereich

Wasser/Abwasser

Laufzeit des Vorhabens

27.09.2011 bis 31.07.2018

Autoren

*Laurenz Hüer – Stadtentwässerung Lingen
Sebastian Siemen – Stadtentwässerung Lingen
Dr.-Ing. Julia Kopp – Kopp Kläranlagenberatung
Florian Lehnert – Kopp Kläranlagenberatung
Dr. Marianne Buchmüller – ELIQUO STULZ GmbH
Ulrich Knörle – ELIQUO STULZ GmbH*

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

04.10.2018

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.: KfW-Az MBc3 - 001907
Titel des Vorhabens: Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung	
Autor/-en (Name, Vorname): Laurenz Hüer Sebastian Siemen Dr. Julia Kopp Dr. Marianne Buchmüller Ulrich Knörle	Vorhabenbeginn: 27.09.2011
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.07.2018
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Stadt Lingen Waldstraße 31 49808 Lingen (Ems)	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 83
Gefördert aus Mitteln des BMUB-Umweltinnovationsprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	
Kurzfassung: Ziel des Projektes war es, die Kläranlage der Stadt Lingen (Ems) nicht nur in eine energieautarke Kläranlage (Nullenergie-Kläranlage), sondern in eine Kläranlage mit Energieüberschuss (Plus-Energie-Kläranlage) umzuwandeln. Dies sollte vor allem durch Maßnahmen erreicht werden, die die Faulgaserzeugung und Faulgasnutzung verbessern. Des Weiteren sollten 30% des Phosphors aus dem Zulauf zur Abwasseranlage zurückgewonnen werden. Es erfolgte im Wesentlichen eine Verfahrensumstellung in der Schlammfäulung mit Implementation einer Anlage zur maschinellen Primärschlammeindickung, einer LysoTherm®-Anlage zur thermischen Schlamm-Desintegration, einer EloPhos®-Anlage zur Fällung und Rückgewinnung von Phosphat aus dem ausgefauten Schlamm, einer Zentrifuge zur Faulschlamm-Desintegration und von neuen BHKWs mit höherem elektrischen Wirkungsgrad.	
Schlagwörter: Energieeffizienz, Klärschlamm-Desintegration, Phosphorrückgewinnung, Plus-Energie-Kläranlage	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 10 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project–No.: KfW-Az MBc3 - 001907
Report Title: Plus-Energy Wastewater Treatment Plant with Phosphorus Recovery	
Author/Authors (Family Name, First Name): Laurenz Hüer Sebastian Siemen Dr. Julia Kopp Dr. Marianne Buchmüller Ulrich Knörle	Start of project: 27/09/2011 End of project: 31/07/2018
Performing Organisation (Name, Address): City of Lingen Waldstraße 31 49808 Lingen (Ems)	Publication Date: No. of Pages: 83
Funded by the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): Goal of the project was to convert the wastewater treatment plant of the city of Lingen (Ems) not only to an energy autonomous wastewater treatment plan (i.e. to a so-called „Zero-Energy Wastewater Treatment Plant), but to a wastewater treatment plant with an energy surplus (i.e. to a so-called “Plus-Energy Wastewater Treatment Plant”). This should mainly be achieved by measures which increase biogas production during sludge digestion and by measures which optimize the energy recovery from biogas. Finally, 30% of the phosphorous content of the influent waste water should be recovered. The sludge digestion process was modified mainly by implementing mechanical primary sludge thickening, thermal sludge disintegration by LysoTherm®, phosphate precipitation and recovery from digested sludge by EloPhos®, a centrifuge for the dewatering of digested sludge and new CHPs with higher electrical efficiency.	
Keywords: Energy Efficiency, Sewage Sludge Disintegration, Phosphorus Recovery, Plus-Energy Waste Water Treatment Plant	

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen	8
1 Einleitung	9
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens (Geschäftstätigkeit und Projektpartner)	9
1.2 Ausgangssituation	10
2 Vorhabenumsetzung	14
2.1 Ziel des Vorhabens	14
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	15
2.3 Umsetzung des Vorhabens	18
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	23
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	23
2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms	23
2.6.1 Beschreibung des Messprogramms	23
2.6.2 Erfolgskontrolle und Bilanzzeiträume	25
3 Ergebnisse	27
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung.....	27
3.2 Ergebnisse des Messprogramms: Stoffbilanz.....	27
3.2.1 Vorgehensweise / Bearbeitungsumfang	27
3.2.2 Bilanzzeitraum R-0 (Referenz Oktober 2016, ohne thermische Schlamm- desintegration)	29
3.2.3 Bilanzzeitraum R1b Thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung, mit MAP Fällung	33
3.2.4 Bilanzzeitraum R2b Thermische FS-Desintegration mit gemischter Faulung, mit MAP- Fällung	36
3.2.5 Gegenüberstellung der wesentlichen Kenndaten der Bilanzierungszeiträume.....	39
3.2.6 P-Recycling	54
3.3 Ergebnisse des Messprogramms: Energiebilanz.....	56
3.4 Umweltbilanz.....	59
3.4.1 Bilanzierungsdaten.....	59
3.4.2 Substitution fossiler Energieträger.....	59
3.4.3 Verringerter Transportaufwand für die Entsorgung des Faulschlammes.....	61
3.4.4 Vermeidung von Methan-Emissionen bei der Phosphat-Fällung.....	61
3.4.5 Zusammenfassung.....	62
3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse	62
3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	64

4	Übertragbarkeit	70
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	70
4.2	Modellcharakter/Übertragbarkeit	71
5	Zusammenfassung.....	72
6	Summary.....	77
7	Literaturverzeichnis	81
8	Anhang.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fließbild der Kläranlage Lingen, Zustand 2010/2011	11
Abbildung 2: Gegenüberstellung der Verfahrensschemata Ist-Zustand Kläranlage Lingen 2010/2011 und Zielzustand.....	16
Abbildung 3: Realisierte Verfahrensumstellung und Anlagenanpassung der Kläranlage Lingen, hier: Getrennte Faulung von Primär- und Überschussschlamm (LysoGest®)/Desintegration von Überschussschlamm oder von gefaultem Überschussschlamm (loop-Konfiguration)	22
Abbildung 4: Realisierte Verfahrensumstellung und Anlagenanpassung der Kläranlage Lingen, hier: Gemischte Faulung von Primär- und Überschussschlamm/Desintegration von Überschussschlamm oder von gemischtem Faulschlamm (loop-Konfiguration)	22
Abbildung 5: Probenahmestellen Schlammbehandlung KLA Lingen	28
Abbildung 6: Fließbild für Bilanzzeitraum R-0 Referenz Oktober 2016, ohne Thermische Schlamm-desintegration	29
Abbildung 7: Einfluss des Phosphatgehaltes auf die Entwässerbarkeit von Faulschlämmen [Kopp].....	30
Abbildung 8: Fließbild für Bilanzzeitraum R1b (20.03.2017 – 11.05.2017), thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung, mit MAP-Fällung.....	33
Abbildung 9: Fließbild für Bilanzzeitraum R2b (08.01.2018 – 28.02.2018) Thermische FS-Desintegration mit gemischter Faulung, mit MAP Fällung.....	36
Abbildung 10: Gesamte CSB Fracht der KLA Lingen im Zulauf Kläranlage, inklusive Großeinleiter.....	41
Abbildung 11: Belastung der KLA Lingen mit CSB, ausgedrückt in EW_{CSB}	41
Abbildung 12: Primärschlammanfall KLA Lingen in Mg TR/d und Gramm pro Einwohner und Tag	42
Abbildung 13: Glühverlust und organische TR-Fracht im Primärschlamm	43
Abbildung 14: Überschussschlammanfall KLA Lingen im Mg/d und Gramm pro Einwohner und Tag	44
Abbildung 15: Eingesetzte Co-Substrat-Mengen und -Frachten (Mg CSB/d) in den Bilanzzeiträumen	45
Abbildung 16: Schlamm-mengen im Ablauf der Faulung	46
Abbildung 17: Faulzeit und Faulraumtemperatur im Mittel.....	46
Abbildung 18: Organischer Abbaugrad (η_{oTR}) und CSB-Abbaugrad (η_{CSB}) der Faulung	47
Abbildung 19: Gasproduktion und Gasqualität (Methan-Anteil)	48
Abbildung 20: Großtechnische Entwässerungsergebnisse und Kennwerte TR(A) in R0, R1b und R2b.....	49
Abbildung 21: Polymerdosis (kg WS/t TR) und eingesetzte Eisensalzlösung (42%ig, in kg/Mg TR)	49

Abbildung 22: Entsorgte entwässerte Klärschlammmenge (Mg OS) in [Mg/d] und [g/E/d]	50
Abbildung 23: TR-Austrag Entwässerung im zeitlichen Verlauf (01.10. 2016 – 28.02.2018).....	51
Abbildung 24: CSB-Rückbelastung im Schlammwasser der Entwässerung	53
Abbildung 25: Ammonium- und Phosphor-Rückbelastung im Schlammwasser der Entwässerung.....	53
Abbildung 26: Sollwerte der MAP-Fällung auf der KLA Lingen mit dem EloPhos®-Verfahren ..	55
Abbildung 27: Kennwerte der MAP-Fällung durch das EloPhos®-Verfahren auf der KLA Lingen	56
Abbildung 28: LysoTherm®-Anlage auf der KLA Lingen.....	65
Abbildung 29: BHKWs (rechts) mit Thermalöl-System (links)	66
Abbildung 30: EloPhos®-Reaktor mit Vakuum-Entgasung	67
Abbildung 31: Mechanische Primärschlamm-Eindickung	68
Abbildung 32: Entschwefelungsanlage.....	69
Abbildung 33: Luftaufnahme der KLA Lingen nach Umsetzung aller Maßnahmen	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Jahresbetriebsdaten der Kläranlage Lingen für das Jahr 2010.....	12
Tabelle 2: Vergleich des Ist-Zustandes der Kläranlage Lingen mit den Förderkriterien	13
Tabelle 3: Angestrebter Zielzustand	14
Tabelle 4: Probenahmestellen und Analysenumfang des Labors der KLA Lingen	24
Tabelle 5: Theoretische Gasproduktion und Gaszusammensetzung [9].....	32
Tabelle 6: Kenndaten der drei Bilanzzeiträume R0, R1b und R2b	40
Tabelle 7: Belastungen KLA Lingen, ohne Anteil Groöeinleiter	42
Tabelle 8: CSB-Mittelwerte vom Gesamtablauf der KLA Lingen 2010 - 2018	52
Tabelle 9: Analysenergebnisse der Schlammproben, Bilanzzeiträume R0, R1b und R2b	54
Tabelle 10: Stromverbrauch der im Förderprojekt umgesetzten Maßnahmen.....	57
Tabelle 11: Kenndaten der Schlämme zur Bilanzierung	59
Tabelle 12: Detaildaten zur Substitution fossiler Energieträger	60
Tabelle 13: Bilanzdaten für verringerten Transportaufwand.....	61
Tabelle 14: Vermiedene CO ₂ -Äquivalente bei der Phosphat-Fällung	62
Tabelle 15: Jährliche Einsparung durch den Betrieb der Neuanlagen und Betriebskosten	63
Tabelle 16: Erreichte Daten im Vergleich zum Ausgangs- und Zielzustand	75
Table 17: Achieved data in comparison to initial and target state	80

Abkürzungen

Bio-P	Biologische P-Elimination
FB	Faulbehälter
FS	Faulschlamm
KLA	Kläranlage
MAP	Magnesium-Ammonium-Phosphat
OS	Originalsubstanz
PS	Primärschlamm
TR	Trockenrückstand
TR _{entw}	Trockenrückstand im entwässerten Klärschlamm
ÜS, ÜSS	Überschussschlamm
RS	Rohschlamm
GV	Glühverlust
oTR-Fracht	organischer Anteil an der TR-Fracht
TR(A)	Prognosekennwert zur Schlammentwässerung
EW	Einwohnerwert
EW _{CSB}	Einwohnerwert, basierend auf der CSB-Fracht
EW _N	Einwohnerwert, basierend auf der Stickstoff-Fracht
EW _P	Einwohnerwert, basierend auf der Phosphat-Fracht
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
PO ₄ -P,	ortho-P / ortho-Phosphat
P _{gesamt}	Gesamt-Phosphat
TNb	Gesamtstickstoff
CH ₄	Methan
Fe	Eisen
WS	Wirksubstanz
pFM	polymere Flockungsmittel
η_{oTR}	organischer Abbaugrad
η_{CSB}	CSB-Abbaugrad

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens (Geschäftstätigkeit und Projektpartner)

Stadt Lingen
Waldstrasse 31
49808 Lingen (Ems)

für den
Eigenbetrieb Stadtentwässerung Lingen

mit der
Kläranlage Lingen
Langschmidtsweg 17
49808 Lingen (Ems)

Eigenbetrieb Stadtentwässerung Lingen:
Eigenbetrieb der Kommune, 31 Beschäftigte
Aufgaben sind u.a. die Betreuung des Kanalnetzes und der Kläranlage.
Auf der Kläranlage selbst sind permanent ca. 16 Mitarbeiter tätig.

Projektpartner:

ELIQUO STULZ GmbH, Grafenhausen
(ab 2014, vorher in derselben Funktion: STULZ-PLANAQUA GmbH,
Grafenhausen, seit 2014 GmbH i.L.)
Entwickler, Patentinhaber und Lieferant von „LysoTherm®“ und EloPhos®
Gesamtplanung
Anlagenbau-Generalunternehmer

P.C.S. GmbH, Hamburg
LysoGest® und AirPrex® Patent- bzw. Lizenzinhaber und LysoGest®- und AirPrex®-
Verfahrensgeber
Beratungsleistungen im Bereich Schlammbehandlung, begleitende Laborversuche.

1.2 Ausgangssituation

2011 legte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zusammen mit der KfW-Bankengruppe und dem Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms (UIP) ein Förderprogramm mit dem Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen (EAA)“ [1] auf.

Im Rahmen dieses Förderprogrammes wurden zum einen Maßnahmen zur energieeffizienteren Abwasserbehandlung gefördert:

- a. Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauches, insbesondere des Stromverbrauches in der Belüftung
- b. Maßnahmen zur Steigerung der Faulgasausbeute und Faulgasnutzung.

Darüber hinaus wurden zusätzlich auch Maßnahmen zur ressourceneffizienten Klärschlammbehandlung und -verwertung, u.a. Maßnahmen zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm, gefördert.

Die Kläranlage Lingen besitzt eine Ausbaugröße von 195.000 EW.

Die tatsächliche EW-Belastung bezogen auf den CSB lag 2011 bei ca. 150.000 EW und teilte sich auf in ca. 60.000 EW angeschlossene Einwohner und Einleitungen aus Industriebetrieben von ca. 90.000 EW.

Ein Fließbild der Kläranlage Lingen mit dem Ausgangszustand 2010/2011 ist in Abbildung 1 enthalten.

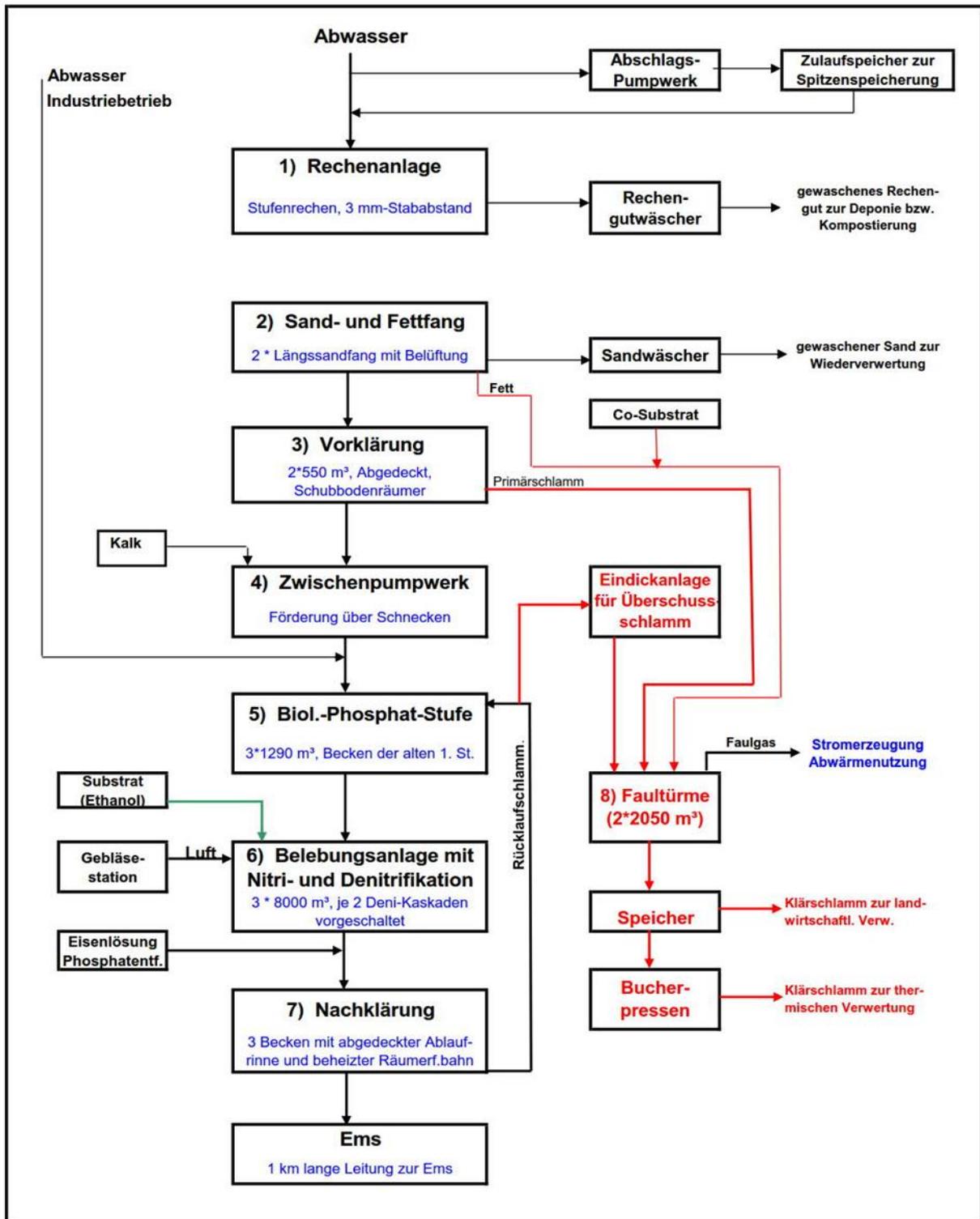


Abbildung 1: Fließbild der Kläranlage Lingen, Zustand 2010/2011

Die Jahresbetriebsdaten der Kläranlage Lingen für 2010, die dem Förderantrag zugrunde gelegt wurden, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tatsächliche Belastung / Frachten

Zulauf Rohabwasser

Jahresabwassermenge:	5.042.938 m ³ /a	
CSB:	1.340 mg/L	→ 6.757 Mg CSB/a
BSB ₅ :	670 mg/L	→ 3.378 Mg BSB ₅ /a (abgeschätzt, CSB / 2)

Zulauf biologischer Teil

CSB:	893 mg/L	→ 4.503 Mg CSB/a
BSB ₅ :	447 mg/L	→ 2.252 Mg BSB ₅ /a (abgeschätzt, CSB / 2)

→ **154.282 EW** (bei 120 g CSB/(EW*d))

→ **89,5 L/EW*d** bzw. **32,7 m³/(EW*a)**

Zulauf Rohabwasser

Ges. N:	141 mg N/L	→ 711 Mg N/a	→ 12,6 g N/(EW*d)
Ges. P:	16,6 mg P/L	→ 84 Mg P/a	→ 1,5 g P/(EW*d)
-> TKN / BSB ₅ = 0,21			

Zulauf biologischer Teil

Ges. N:	121 mg N/L	→ 610 Mg N/a	→ 10,8 g N/(EW*d)
Ges. P:	15,2 mg P/L	→ 77 Mg P/a	→ 1,4 g P/(EW*d)
-> TKN / BSB ₅ = 0,27			

Stromverbrauch (gesamte Kläranlage)

Gesamtstromverbrauch:	3.558.024 kWh	100%	→ 23,1 kWh/(EW*a)
Stromverbrauch Belüftung:	ca. 2.000.000 kWh	56%	→ 13,0 kWh/(EW*a)
Fremdstrombezug:	1.397.775 kWh	39%	
Eigenstromerzeugung:	2.160.249 kWh	61%	

Wärmeverbrauch

Gesamtwärmeverbrauch:	ca. 2.000.000 kWh	100%
Fremdwärmebezug:	ca. 120.000 kWh	6%
Wärmeerzeugung aus Faulgas:	ca. 3.600.000 kWh	180%
Eigenversorgungsgrad Wärme:	100% sollte möglich sein.	

Faulgasproduktion und -verwertung

Faulgasproduktion (62% CH₄):	1.178.874 m ³ /a	100%	→ 20,9 L/(EW*d)
Verluste:	35.000 m ³ /a	3%	
Faulgasverwertung:	1.143.874 m ³ /a	97%	
BHKW (Strom):	1.133.031 m ³ /a	96%	→ $\eta_{el} = 30,8\%$
Gaskessel (Wärme):	10.843 m ³ /a	1%	

Tabelle 1: Jahresbetriebsdaten der Kläranlage Lingen für das Jahr 2010

Aufgrund des hohen Industrierwasseranteils von ca. 60% stellte sich die CSB-Konzentration im Zulauf etwas höher dar als üblich. Der industrielle Anteil des CSB ist vorrangig auf die Einleitung von Abwässern aus der Produktion von Acrylfasern zurückzuführen; dieser CSB ist mit üblicher Anlagentechnik nur zu etwa 50% abbaubar. Aufgrund dessen gilt für die Kläranlage Lingen auch ein CSB-Überwachungswert von 200 mg/L. Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurde der Faulung der Kläranlage Lingen bereits Abwasser aus der Biodiesel-Produktion als Co-Substrat zugeführt.

Die Ausgangslage der Kläranlage im Vergleich zu den Förderkriterien ist nachfolgend in Tabelle 2 zusammengefasst.

Parameter	Einheit	Ist-Zustand	Förderkriterien
Stromverbrauch KLA gesamt	kWh/(EW*a)	23,1	18
Stromverbrauch Belüftung	kWh/(EW*a)	13,0	10
Faulgasproduktion	L/(EW*d)	20,9 (16,4 ^x)	30
Grad der Faulgasnutzung	%	97	100
el. Wirkungsgrad BHKW	%	30,8	38
Eigenversorgung Wärme	%	100	100
Eigenversorgung Strom	%	61 (48 ^x)	100
P-Rückgewinnung	%	0	30

^x) ohne Co-Substrate, abgeschätzter Faulgasanteil aus Co-Substraten wurde herausgerechnet

Tabelle 2: Vergleich des Ist-Zustandes der Kläranlage Lingen mit den Förderkriterien

a. Stromverbrauch:

Der spezifische Gesamtstromverbrauch war mit 23,1 kWh/EW*a relativ gering, hier wurde aber weiteres Einsparpotenzial, vor allem im Bereich der Schlammbehandlung (Faulschlamm-Umwälzung) und der Belebung (Rührwerke), gesehen. Der in Tabelle 2 angegebene Stromverbrauch für die Belüftung war lediglich abgeschätzt.

b. Faulgasausbeute und Faulgasnutzung:

Die Faulgasproduktion war mit 20,9 L/(EW*a) niedrig und ohne Berücksichtigung der Co-Substrate mit 16,4 L/(EW*a) sehr schlecht. Die drei auf der Kläranlage Lingen installierten BHKWs besaßen einen elektrischen Wirkungsgrad von nur knapp unter 31%.

c. Ressourceneffiziente Klärschlammverwertung / Phosphorrückgewinnung:

Der entwässerte Klärschlamm der Kläranlage Lingen wurde in der Mitverbrennung entsorgt. Eine Nutzung als Nährstoffressource erfolgte zum Zeitpunkt der Antragsstellung nicht, bot sich aber an, da die Phosphorelimination der Kläranlage Lingen 2010/2011 bereits zu ca. 65% biologisch erfolgte und dieser Anteil weiter gesteigert werden sollte.

2 Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Der mit dem Projekt angestrebte Zielzustand ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

Parameter	Einheit	Zielzustand
Stromverbrauch KA gesamt	kWh/(EW*a)	21,3 ^{x)}
Stromverbrauch Belüftung	kWh/(EW*a)	11,8
Faulgasproduktion	L/(EW*d)	31
Grad der Faulgasnutzung	%	100
el. Wirkungsgrad BHKW	%	38
Eigenversorgung Wärme	%	100
Eigenversorgung Strom	%	125
P-Rückgewinnung	%	30

^{x)} geschätzter Wert incl. weitere Energiesparmaßnahmen

Tabelle 3: Angestrebter Zielzustand

a. Stromverbrauch

Im Rahmen von Instandhaltungsmaßnahmen, die außerhalb des hier beschriebenen Förderprojektes, aber parallel zu den geförderten Maßnahmen und aus eigenen Mitteln finanziert geplant waren, sollten weitere Stromeinsparpotentiale ausgenutzt werden, unter anderem durch Erneuerung der Rührwerkstechnik in der biologischen Stufe, die Optimierung der Rücklaufschlammförderung und durch die Installation neuer Schlammumwälzpumpen für die Faultürme. Durch diese zusätzlichen Maßnahmen sollte der Stromverbrauch der Kläranlage um weitere ca. 3 kWh/(EW*a) auf ca. 20 kWh/(EW*a) (ohne die zusätzliche Anlagentechnik des Förderprojektes) gesenkt werden. Der Stromverbrauch der Belüftung sollte außerdem erstmals exakt ermittelt werden.

b. Faulgasausbeute und Faulgasnutzung

Eine deutliche Steigerung der Faulgasproduktion auf oberhalb des Zielwertes des Förderprogramms sollte durch Maßnahmen erreicht werden, die es

- erlauben, den anaeroben Abbau in der Faulung zu verbessern und
- die Möglichkeit schaffen, der Faulung mehr Co-Substrat als bisher zuzuführen.

Die Faulgasnutzung sollte durch die Installation neuer BHKWs mit einem elektrischen Wirkungsgrad von mind. 38% verbessert werden.

c. Ressourceneffiziente Klärschlammverwertung / Phosphorrückgewinnung

Sofern möglich, sollten die geplanten Faulungs-Optimierungsmaßnahmen dazu genutzt werden, den sich zum Zeitpunkt der Antragstellung abzeichnenden und jetzt umgesetzten gesetzlichen Anforderungen an die Phosphor-Rückgewinnung Rechnung zu tragen. Angestrebt war außerdem, durch die Phosphor-Elimination aus dem Klärschlamm die Rückbelastung der Kläranlage über das Zentratwasser der Entwässerung zu reduzieren, das Potential für die biologische P-Elimination zu erhöhen und den Chemikalienverbrauch (Eisenlösung zur chemischen P-Fällung) zu reduzieren.

Die Gesamtbetrachtung aller oben beschriebenen Maßnahmen sollte dazu führen, dass der größte Fremdenergieverbraucher der Stadt Lingen (1,4 Mio kWh/a Strombezug) sich zu einem Energielieferanten mit ca. 0,4 Mio kWh/a Strom wandelt. Unter Berücksichtigung des CO₂-Emissionsfaktors des deutschen Strommixes von 2009 [2] errechnete sich hieraus eine CO₂-Emissionsminderung von jährlich ca. 1.000 Mg, und das trotz der zusätzlich angestrebten Rückgewinnung von mindestens 30% Phosphor.

d. Weitere wesentliche Ziele

Aufgrund des hohen Industrieanteils im Abwasser war nicht nur der Grad der Ausfäulung des Schlammes der Kläranlage Lingen schlecht, der ausgefäulte Schlamm war auch schwer zu entwässern. Umfangreiche, aufwändige Entwässerungsversuche im Jahr 2007 hatten dazu geführt, dass letztlich zwei Schlauchfilter-Pressen für die Faulschlammentwässerung installiert wurden. Diese hatten sich damals als am besten geeignet erwiesen. Der ausgefäulte Schlamm der Kläranlage Lingen konnte 2010/2011 damit auf ca. 26% TR entwässert werden, bei allerdings gleichzeitig relativ hohem Polymerverbrauch (ca. 20 kg Wirkstoff/Mg TR) und mit zusätzlicher Eisendosierung (ca. 240 kg/Mg TR).

Alle im Zusammenhang mit der Optimierung der Schlammfäulung und der Phosphorrückgewinnung getroffenen Maßnahmen mussten aus diesem Grunde auch dazu geeignet sein, die Faulschlammentwässerung zu verbessern und den hierfür benötigten Chemikalienverbrauch zu senken.

Angestrebt wurde

- die Erhöhung des Trockenstoffgehalts im entwässerten Schlamm um mind. 3%-Punkte
- die Reduktion des Polymerverbrauchs um etwa 30% auf ca. 14 kg Wirkstoff/Mg TR
- die Reduktion des Verbrauches an Eisensalzlösung von 240 kg/Mg TR auf 0 kg/Mg TR.

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Im Rahmen des Förderprogramms sollte der Zielzustand über eine Verfahrensumstellung der Schlammbehandlung mit Installation neuer Schlammbehandlungstechniken erreicht werden.

Abbildung 2 gibt den Ist-Zustand 2010/2011 und den Zielzustand nach Durchführung der Maßnahmen wieder.

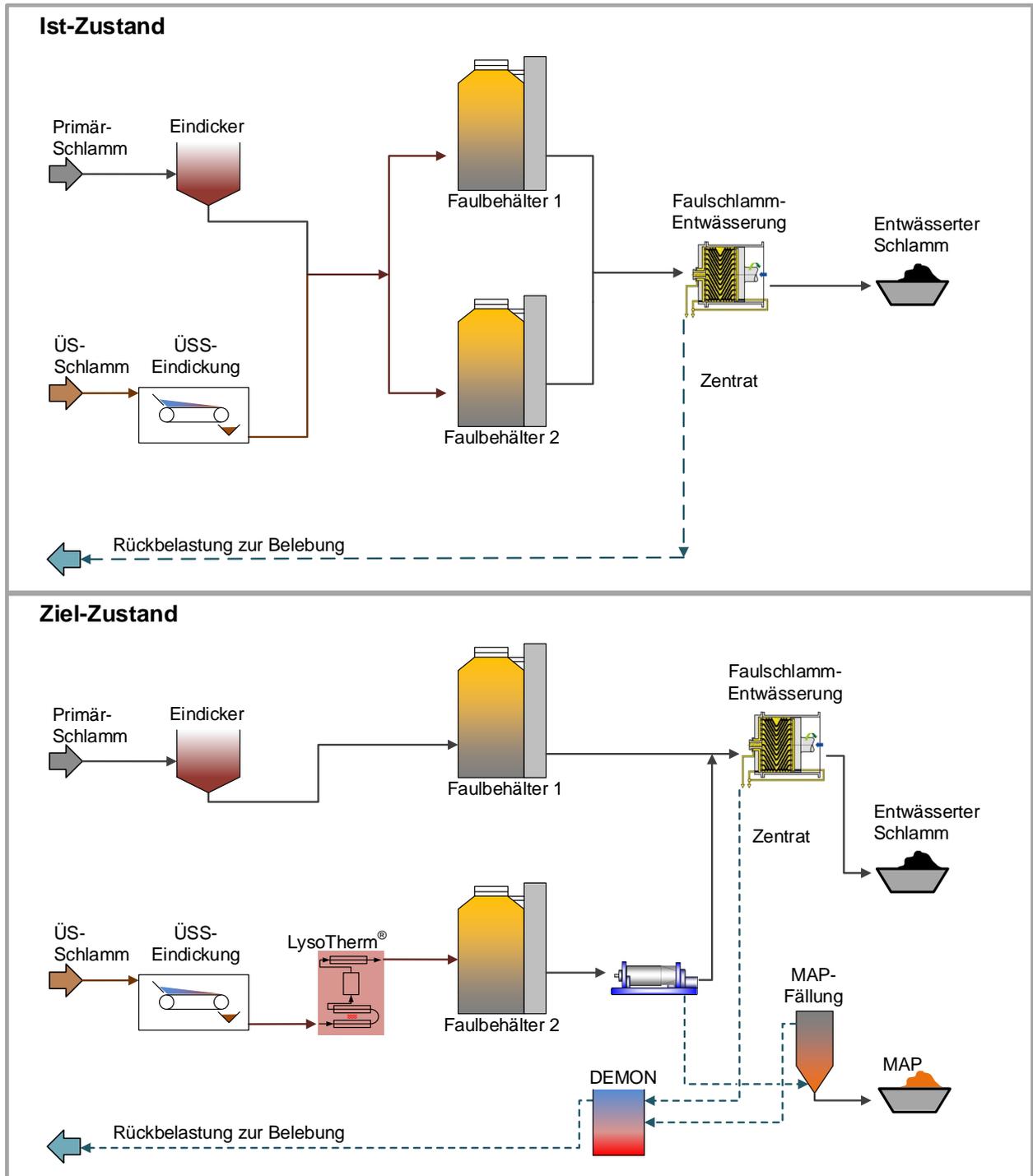


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Verfahrensschemata
Ist-Zustand Kläranlage Lingen 2010/2011 und Zielzustand

Kernstück des Zielzustandes ist das erstmalig großtechnisch eingesetzte Verfahren der separaten thermischen Desintegration und Faulung des Überschussschlammes. Dieses als „LysoGest®“ bezeichnete Verfahren wurde ausführlich im Schlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes AZ 24507-23 beschrieben [3]. Desintegrierter Überschussschlamm und Primärschlamm sollten künftig getrennt in je einem der beiden Faultürme der Kläranlage Lingen ausgefault werden. Hierdurch sollte u.a. die optimale

Anpassung der Biozönose an den jeweiligen Schlammtyp ermöglicht und letztlich optimale Bedingungen für die Schlammfäulung geschaffen werden.

Neuheitswert hatte gleichzeitig der geplante erstmalige großtechnische Einsatz des LysoTherm®-Verfahrens, eines kompakten, kontinuierlich arbeitenden thermischen Schlamm-desintegrationsverfahrens, bei dem der Schlamm indirekt, mit Thermalöl, erhitzt wird. Diese Technik sollte sicherheitstechnisch wesentlich einfacher zu beherrschen und auch deutlich einfacher zu bedienen sein als vergleichbare Schlamm-desintegrationsverfahren, die im Chargenbetrieb arbeiten und auf Direktbeheizung mit Dampf basieren. Aufgrund der kompakten, standardisierten, modularen Bauweise stellt sie insbesondere für Kläranlagen ab ca. 100.000 EW eine Alternative zu anderen thermischen Schlamm-desintegrationsverfahren, die im vergleichbaren Temperaturbereich arbeiten, dar. Das LysoTherm®-Verfahren wurde von der STULZ H+E Gruppe - später „SH+E Gruppe“ - entwickelt und 2014, nach Insolvenz der SH+E Gruppe, von der ELIQUO STULZ GmbH übernommen.

Basierend auf vorangegangenen Laborversuchen mit Schlamm der Kläranlage Lingen konnte bei Einsatz des LysoTherm®-Verfahrens von einer im Mittel 50%igen Zunahme der Gasproduktion aus dem Überschussschlamm ausgegangen werden.

Geprüft werden sollte im Rahmen des Förderprojektes auch, ob mit der getrennten Fäulung aufgrund der besseren Biozönose ein zusätzlicher, über den aufgrund der thermischen Schlamm-desintegration erzielter Mehrgasertrag hinausgehender Mehrgasertrag erreicht werden kann.

Das anfallende Faulgas sollte künftig in neuen BHKWs mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad von mind. 38% verstromt werden. Sie sollten mit einem Thermalöl-Wärmetauscher ausgestattet werden, über den die Abgaswärme (Hochtemperatur-Wärme) der BHKWs der LysoTherm®-Anlage als Prozesswärme zur Verfügung gestellt wird. Die anfallende Motorwärme (Niedertemperatur-Wärme) der BHKWs sollte in ein Nahwärmenetz, über das ein nahegelegenes Wohngebiet und ein Freizeitbad beheizt werden, eingespeist werden.

Durch die Überschussschlamm-Desintegration sollte zusätzlich die Kapazität für die Annahme und die Fäulung von leicht bzw. schnell abbaubaren Co-Substraten erhöht werden: Desintegrierter Überschussschlamm benötigt nur eine Fauldauer von ca. 10 - max. 15 Tagen [3], zur Verfügung stand auf der Kläranlagen Lingen unter den damaligen Voraussetzungen aber eine mittlere Fauldauer für Überschussschlamm-Hydrolysat plus Co-Substrat von 22,5 Tagen. Für die Kläranlage Lingen bedeutete dies letztlich, dass, sofern eine mittlere Fauldauer von - sicherheitshalber - 15 Tagen eingehalten wird, bei Fäulung des Co-Substrates zusammen mit Überschussschlamm zusätzlich weitere ca. 3.000 m³ des bislang bereits eingesetzten, leicht abbaubaren Co-Substrates (Abwasser aus der Biodiesel-Produktion) angenommen werden können.

Zusätzlich war aufgrund der Überschussschlamm-Desintegration zu erwarten, dass sowohl der Anteil an Ammonium wie auch der Anteil an gelösten und damit fällbarem Phosphat im ausgefäulten Schlamm steigen.

Dem gestiegenen Ammonium-Anteil im Schlammwasser und der damit erhöhten Rückbelastung der Belebung der Kläranlage sollte durch Implementation des DEMON®-Verfahrens im Schlammwasser (Teilstrombehandlung mit Deammonifikation) Rechnung getragen werden.

Dieses Verfahren wurde großtechnisch bereits eingesetzt und kann bekanntermaßen den Stromverbrauch für die Stickstoffelimination reduzieren.

Die getrennte Behandlung der beiden Schlammarten ermöglicht gleichzeitig eine Konzentrierung der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor, weil diese hauptsächlich im Überschussschlamm enthalten sind. Das wollte man sich für die Phosphat-Rückgewinnung zunutze machen. Der ausgefaulte Überschussschlamm sollte entwässert, der Feststoffanteil zusammen mit dem Primärschlamm weiterbehandelt und das gelöste Phosphat mit Hilfe des AirPrex®-Verfahrens als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) aus dem Zentrat abgetrennt werden. AirPrex® wurde ursprünglich von den Berliner Wasserbetrieben entwickelt und später exklusiv an die P.C.S. GmbH auslizensiert. 2010/2011 wurde es großtechnisch zwar bereits für die Fällung von gelöstem Phosphat im Faulschlamm von Bio-P-Anlagen sowie zur MAP-Abtrennung eingesetzt, es gab aber keine Erfahrung beim Einsatz in der Behandlung von Schlammwasser.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Das Vorhaben wurde im September 2011 begonnen und wie nachfolgend beschrieben umgesetzt. Änderungen zur ursprünglichen, in Kapitel 2.2 beschriebenen Planung sind in der Beschreibung unter Kapitel 2.3 e aufgeführt.

a. Planung, Installation, Inbetriebnahme und Probetrieb der LysoTherm®-Anlage

Auf der Basis der vorhandenen, vorab verifizierten Anlagendaten wurde die Anlage zur thermischen Desintegration des Überschussschlammes, die LysoTherm®-Anlage, geplant, im Herstellerwerk vorgefertigt, auf der Kläranlage installiert und erstmalig im Februar 2012 in Betrieb genommen. Die Anlage konnte allerdings nicht, wie ursprünglich geplant, im Kellerraum unter den Faultürmen untergebracht werden, sondern wurde - zunächst nur provisorisch eingehaust - daneben platziert. Die provisorische Einhausung wurde später durch eine Halle ersetzt.

Nach der Inbetriebnahme der LysoTherm®-Anlage wurde die Faulung zunächst so weiterbetrieben wie vorher, d.h. der desintegrierte Überschussschlamm und der Primärschlamm wurden zunächst weiterhin gemeinsam ausgefault. Dies diente dazu, die einwandfreie und planmäßige Funktion der thermischen Schlamm-desintegrationsanlage sicherzustellen und deren Einstellungen, insbesondere die Desintegrationstemperatur, anzupassen. Als optimal für Lingen wurde eine Schlamm-Desintegrationstemperatur zwischen 155 °C und 160 °C ermittelt. Diese wurde in der Folge beibehalten.

In dieser Phase wurde die LysoTherm® Anlage auch erstmal in loop-Konfiguration [4] betrieben. In der loop-Konfiguration wird der Frischschlamm der Faulung ohne vorherige thermische Behandlung zugeführt, stattdessen wird Faulschlamm in einer Menge, die in etwa der zugeführten Frischschlammmenge entspricht, der Faulung entnommen, thermisch desintegriert und wieder in die Faulung zurückgeführt. Erste Ergebnisse im Zeitraum von Juli 2013 - Oktober 2013 waren ermutigend: Gasausbeute und Trockenstoffreduktion in der Faulung schienen eher höher zu sein als bei reiner Überschussschlamm-Desintegration, das Verfahren erwies sich außerdem als besonders betriebsstabil. Probleme durch erhöhte Förderdrücke aufgrund schwankender Trockenstoffgehalte im Frischschlamm traten bei diesem Vorgehen nicht auf.

b. Aufteilung der Schlammströme

Nachdem die LysoTherm®-Anlage erfolgreich in Betrieb genommen worden war, wurden die Schlammströme geteilt und das LysoGest®-Verfahren implementiert. Faulbehälter 1 (FB1) wurde ab 04.10.2013 ausschließlich mit Primärschlamm und dem bereits bisher auf der Kläranlage Lingen eingesetzten Co-Substrat (Biodieselabwasser) beschickt, der zweite Faulbehälter (FB2) nur mit desintegriertem Überschussschlamm. Ab 01.09.2014 wurde Faulbehälter 2 wiederum in loop-Konfiguration gefahren, d.h. der Überschussschlamm wurde nicht vor der Zufuhr in den Faulturm desintegriert, sondern es wurde Faulschlamm aus Faulbehälter 2 mit LysoTherm® behandelt und im loop in den Faulturm rücküberführt.

c. Planung / Installation / Inbetriebnahme der BHKWs

2013 wurden die neuen BHKWs ausgeschrieben, beauftragt, installiert und im Juli 2014 in Betrieb genommen. Es wurden 2 BHKW-Module mit je 300 kWel., Fabrikat Senergie, mit Thermalölwärmetauscher zur Auskopplung von Hochtemperaturwärme für die Beheizung der LysoTherm®-Anlage installiert.

d. Begleitende (Pilot-)Versuche

Während des Probetriebs von LysoTherm® und LysoGest® (Pos. a./b.) wurden die folgenden begleitenden (Pilot)Versuche durchgeführt:

- Juli 2012 Versuche mit alternativen Polymeren zur Verbesserung der Schlammmentwässerung, an den Schlauchfilter-Pressen und im Labor

- September 2012 Versuche zur Optimierung der Flockung vor der Entwässerung mit einem Flocformer

- April 2013 Faulschlamm-Entwässerungs-Pilotversuche mit einer Zentrifuge, Fabrikat Centrisys
Begleitende Versuche zur Polymeroptimierung/
TR(A)-Wert Bestimmung

- Mai 2014 - Juli 2014 Pilotversuche zur Phosphat-Fällung als MAP mit einer AirPrex®-Pilotanlage

- Juli 2014 Faulschlamm-Entwässerungsversuche mit einer Zentrifuge, Fabrikat Hiller
Begleitende Versuche zur Polymeroptimierung/
TR(A)-Wert Bestimmungen.

Die Schlammmentwässerungsversuche fanden statt, weil sich herausgestellt hatte, dass der desintegrierte, ausgefautete Schlamm auf den vorhandenen Schlauchfilter-Pressen zwar auf einen höheren Trockenstoff-Gehalt entwässert werden konnte als vor Einsatz von LysoTherm® (Steigerung von ca. 26% TR auf ca. 28% TR), gleichzeitig aber der ohnehin schon hohe Polymerverbrauch weiter gestiegen ist (von 20 kg Wirkstoff/Mg TR auf bis zu 28 kg Wirkstoff/Mg TR).

Die Polymer-Optimierungsversuche wurden von P.C.S. GmbH durchgeführt, die TR(A)-Wert

Bestimmungen erfolgten durch die Firma Kläranlagen-Beratung Kopp.

Die von Februar 2012 bis Ende Juli erhobenen Betriebsdaten und die Ergebnisse der Phosphat-Fällungs- und Faulschlammmentwässerungsversuche wurden sowohl von den Projektpartnern Kläranlage Lingen/ELIQUO STULZ wie auch zusätzlich von der öbuv Sachverständigen, Frau Dr.-Ing. Kopp, Kläranlagen-Beratung Kopp, ausgewertet [5].

e. Anpassungen am Fördervorhaben und Umsetzung

Aufgrund der von Februar 2012 bis Juli 2014 erzielten Ergebnisse wurden die folgenden Anpassungen des geplanten Vorhabens mit dem Fördergeber vereinbart und nach erfolgter Bewilligung sukzessive, zwischen Ende 2014 und Ende 2016, umgesetzt:

e1 - Primärschlammeindickung

Die bestehende Primärschlammeindickung der Kläranlage Lingen war unzureichend. Damit die mit der Schlammdeintegration verbundene Kapazitätserhöhung für die Annahme von Co-Substrat in der Faulung dadurch nicht konterkariert wurde, wurde eine maschinelle Primärschlammeindickung, Fabrikat Huber, installiert.

e2 - LysoTherm®-Anlage

Die LysoTherm®-Anlage wurde mit einer weiteren Überschussschlamm-Vorerwärmungsstufe ausgestattet um sicherzustellen, dass auch Überschussschlamm mit 7 - 7,5% TR störungsfrei behandelt werden kann.

e3 - MAP-Fällung und –Rückgewinnung

Anstatt des ursprünglich vorgesehenen AirPrex®-Verfahrens wurde das von ELIQUO STULZ neu entwickelte EloPhos®-Verfahren [6] installiert.

Die wesentlichen Gründe hierfür waren:

1. Methanemissionen in die Umgebung werden bei EloPhos® im Gegensatz zu AirPrex® vermieden, weil die pH-Wert Anhebung nicht durch Strippung mit Luft, sondern durch Vakuumentgasung mit EloVac® [7] erfolgt. Dazu wird der dem Faulturm entnommene Faulschlamm in einen Edelstahl-Tank geleitet und dort unter ein Vakuum gesetzt. Durch die bei niedrigerem Druck verringerte Löslichkeit (Gesetz von Henry) kommt es zu einer Entgasung. Das entnommene Gas enthält erhebliche Anteile (> 40 Vol.-%) an Methan und wird dem Gasspeicher zugegeben, wo es sich mit dem übrigen anfallenden Gas vermischt und verwertet wird. Methanemissionen in die Atmosphäre werden so wirksam vermieden und das Treibhausgas-Potential der MAP-Fällung drastisch verringert.
2. Ein MAP-Austrag konnte während der 2014 erfolgten Pilotversuche mit AirPrex® nicht erzielt werden. Bei EloPhos® ist die für das Kristallwachstum notwendige Aufenthaltszeit der MAP-Kristalle von der hydraulischen Aufenthaltszeit des Schlammes entkoppelt, die Voraussetzungen für Kristallwachstum und -austrag sind dadurch besser.

Die EloPhos®-Anlage wurde so installiert, dass der ausgefaulte Schlamm und nicht, wie ursprünglich vorgesehen, das Schlammwasser behandelt werden kann. Dies macht das gesamte im Schlamm enthaltene Phosphat für die Fällung und Rückgewinnung

zugänglich und nicht nur einen Teilstrom. Zusätzlich konnten so auch die bekannten positiven Effekte der MAP-Fällung aus dem ausgefauten Schlamm von Bio-P Kläranlagen auf die Entwässerung (= Erhöhung des TR im entwässerten Schlamm, Reduktion der erforderlichen Polymermenge) genutzt werden.

e4 - Gasentschwefelungsanlage

Da das bisher in der Faulung der Kläranlage Lingen eingesetzte Co-Substrat zunehmend, batchweise, hohe Anteile an Schwefel aufweist, musste zum Schutz der BHKWs eine biologische Entschwefelung, Fabrikat TS Umweltsanlagentechnik, eingebaut werden.

e5 - Feststoffabtrennung/Zentrifuge

Aufgrund der hohen Polymerverbräuche auf den Schlauchfilter-Pressen und den Ergebnissen der Entwässerungsversuche im April 2013 und Juli 2014 wurde eine der beiden vorhandenen Schlauchfilter-Pressen durch eine Zentrifuge, Fabrikat Hiller, ersetzt. Diese wurde so ausgelegt, dass nicht nur, wie bisher vorgesehen, der ausgefauter Überschussschlamm, sondern der gesamte Faulschlamm damit behandelt werden kann. Die zweite Schlauchfilter-Pressen soll als Backup-System für die Zentrifuge dienen.

e6 - DEMON®-System

Aufgrund der Reduktion der Schmutzbelastung der KLA Lingen in den Jahren 2012 – 2014 und durch die aufgrund der thermischen Schlamm-Desintegration erzielte Reduzierung der Klärschlammmenge, durch die Fällung von Phosphat als MAP sanken die Ammoniumstickstofffrachten im Schlammwasser. Zusätzlich wurde 2014 die Denitrifikationskapazität der Kläranlage ausgebaut. Deshalb konnte auf die Installation einer DEMON®-Anlage auf der Kläranlage Lingen verzichtet werden.

Die im Zuge des Förderprojektes auf der Kläranlage Lingen realisierte Verfahrens- und Anlagenumstellung ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

Der Primärschlamm geht der Faulung jetzt ebenfalls, wie der Überschussschlamm, nach maschineller Eindickung zu. Mit der installierten Anlagentechnik lässt sich die getrennte Faulung mit vorangegangener Desintegration des Überschussschlammes (LysoGest®) realisieren, die Faulung kann aber auch mit einer Mischung von Primär- und Überschussschlamm betrieben werden. Die LysoTherm®-Anlage kann für die Überschussschlamm-Desintegration oder - alternativ - auch zur Desintegration von Faulschlamm (aus Überschussschlamm oder aus gemischtem Rohschlamm) eingesetzt werden. Die MAP-Fällung erfolgt aus dem ausgefauten Schlamm nach vorangegangener Entgasung (EloPhos®-System mit EloVac® Entgasungseinheit); es kann wahlweise nur ausgefauter Überschussschlamm oder die komplette (Misch-)Schlammmenge behandelt werden. Die Schlamm-Entwässerung kann mit der neuen Zentrifuge erfolgen oder mit der einen, noch vorhandenen Schlauchfilter-Pressen. Letztere bietet sich als Entwässerungsaggregat insbesondere dann an, wenn ausschließlich ausgefauter Primärschlamm entwässert werden soll. Das Biogas geht den neuen BHKWs nach biologischer Entschwefelung zu.

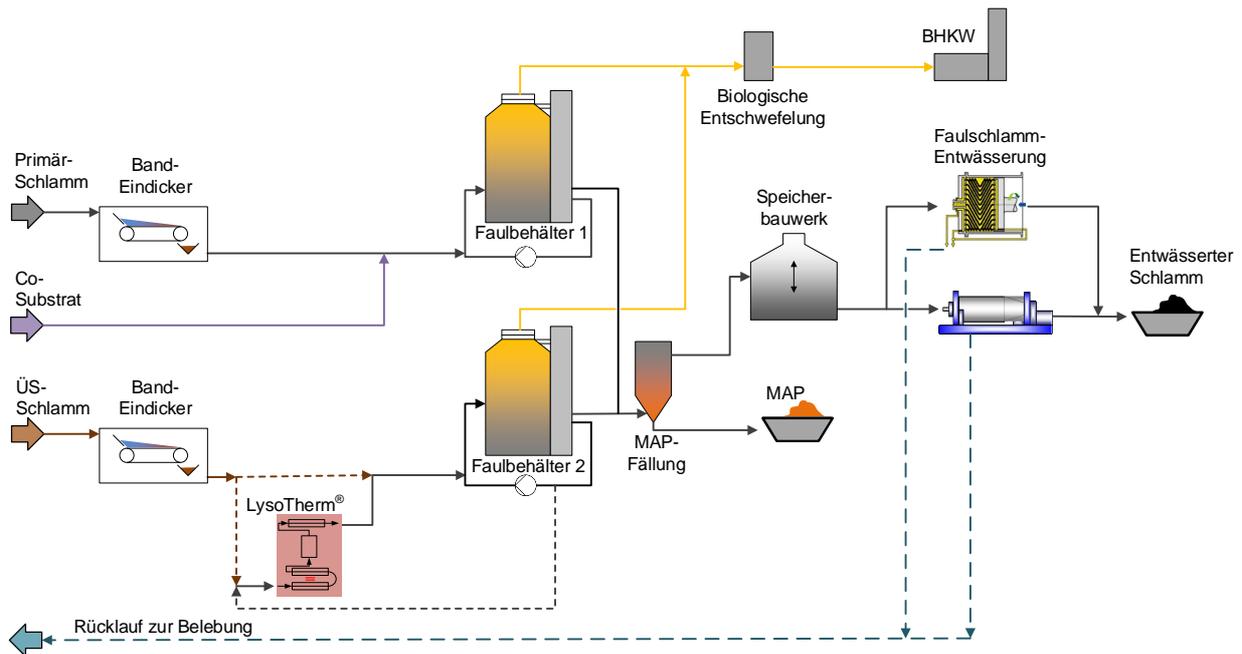


Abbildung 3: Realisierte Verfahrensumstellung und Anlagenanpassung der Kläranlage Lingen, hier: Getrennte Faulung von Primär- und Überschussschlamm (LysoGest®)/Desintegration von Überschussschlamm oder von gefaultem Überschussschlamm (loop-Konfiguration)

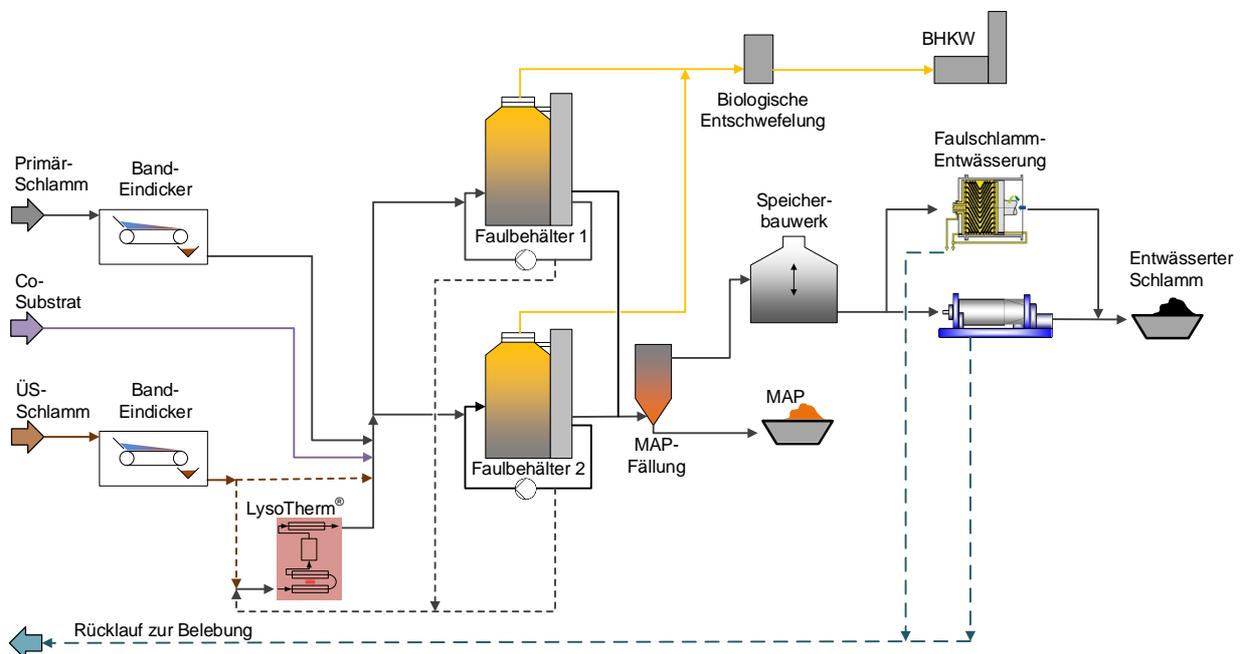


Abbildung 4: Realisierte Verfahrensumstellung und Anlagenanpassung der Kläranlage Lingen, hier: Gemischte Faulung von Primär- und Überschussschlamm/Desintegration von Überschussschlamm oder von gemischtem Faulschlamm (loop-Konfiguration)

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für die Umsetzung der Förderprojektmaßnahmen war keine Änderung der wasserrechtlichen Erlaubnis für die Einleitung von geklärten Abwässern aus der Kläranlage Lingen (Ems) in die Ems notwendig.

Für die baulichen Umsetzungen wurden zwei Bauanträge, am 23.01.2012 für die Errichtung des Fundamentes für die LysoTherm®-Anlage und am 17.09.2015 für die Errichtung der Gebäude und Hallen für die Installation der Förderprojektanlagenteile, gestellt und mit Datum vom 26.04.2012 und 10.11.2015 von der Stadt Lingen genehmigt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Betriebsdaten wurden im Betriebstagebuch der Kläranlage und im Prozessleitsystem erfasst. Sie wurden permanent aufbereitet und ausgewertet. Soweit möglich und sinnvoll, erfolgte die Aufbereitung und Auswertung automatisiert, im Leitsystem. Ein Großteil der das Förderprojekt betreffenden Schlamm- und Abwasseruntersuchungen wurden im Labor der Kläranlage Lingen durchgeführt. Die Messwerte wurden ebenfalls in das LysoTherm®-Betriebstagebuch im Prozessleitsystem eingegeben. Diese Daten wurden wie oben aufbereitet und ausgewertet. Weitere spezielle Untersuchungen der Schlämme und des Klärgases wurden von verschiedenen Fremdfirmen und -laboratorien durchgeführt.

Des Weiteren erfolgte eine erste umfangreiche zusammenfassende Auswertung und Beurteilung im Juli 2014 durch den Projektpartner ELIQUO STULZ und außerdem durch die öbuv Sachverständige, Frau Dr.-Ing. Kopp [5]. Frau Dr.-Ing. Kopp führte auch die Beurteilung der Ergebnisse im Rahmen des Messprogramms durch, das nach vollständiger Umsetzung des Vorhabens ab Oktober 2016 erfolgte.

2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

2.6.1 Beschreibung des Messprogramms

Der Großteil der Messungen wurde vom Laborpersonal der Stadtentwässerung Lingen durchgeführt, die über ein sehr gut ausgestattetes Abwasserlabor mit Zulassung vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) verfügt. Die Durchführung der entsprechenden Analytischen Qualitätssicherung war somit gewährleistet. Die Analysen wurden je nach Anlagenteil ein- bzw. zweimal wöchentlich durchgeführt.

	Probenahmestellen												
	P1	P2	P3	P4	5a/5b	P6	P7	9a/9b	P10a/P10b	P11			
	Primärschlamm (Dünnschlamm)	Primärschlamm (Dickschlamm)	Filtratwasser Primärschlamm	ÜSS-Schlamm (Dickschlamm)	Filtratwasser ÜSS-Schlamm	Co-Substrat	Hydrolysiertes Schlamm	Ablauf Faulturn 1 und 2	Ablauf Elophos® P-Rückgewinnungsanlage	Ablauf Schlamm Speicher (Zulauf Schlamm entwässerung)	Austrag (entw. Schlamm) Bucherpresse/Zentrifuge	Filtrat- und Zentratwasser (Bucherpresse und Zentrifuge)	Faulgas
pH-Wert	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
Leitfähigkeit		X	X	X	X	X	X	X	X			X	
TR	X	X	X			X	X	X	X	X	X		
GV	X	X	X			X	X	X	X	X	X		
abfiltrierbare Stoffe			X	X	X							X	
organische Säuren							X						
CSB gesamt	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
CSB gelöst						X	X	X					
Hydrolysegrad						X							
P gesamt	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
ortho-P						X	X	X				X	
NH ₄ -N		X	X	X	X	X	X	X				X	
TNb						X		X					
Eisen												X	
Magnesium						X	X	X				X	
Chlorid						X		X				X	
Sulfat					X							X	
Methangehalt													X
Kohlendioxidgehalt													X
Schwefelwasserstoffgehalt													X

Tabelle 4: Probenahmestellen und Analysenumfang des Labors der KLA Lingen

Weitere wichtige Betriebsdaten (Mengen, Drücke, Temperaturen) wurden online über das Prozessleitsystem der Kläranlage Lingen im Betriebstagebuch festgehalten.

Folgende Untersuchungen wurden als Fremdarbeiten durchgeführt:

- Beurteilung der Entwässerbarkeit durch die Bestimmung von Entwässerungskennwerten der verschiedenen behandelten Schlämme. Durchführung: Kläranlagen-Beratung Kopp, Lengede.
- Biologische Abbaubarkeitstest (Zahn-Wellens-Test) mit dem Zentrat-/Filtratwässern aus der Schlamm entwässerung. Vergleich „Vorher – Nachher“. Einfluss auf den Gesamtablauf der Kläranlage Lingen. Durchführung: Kläranlagen-Beratung Kopp, Lengede.
- Gesamtanalysen von den verschiedenen Schlämmen (Primärschlamm, Überschussschlamm, hydrolysiertes Schlamm, Ablauf Faulturn 1 und 2, entwässertes Schlamm, MAP) nach Klärschlammverordnung durch die LUFA Nord-West, Institut für Düngemittel und Saatgut, Hameln.

- Gesamtanalysen vom Faulgas durch das SGS Institut Fresenius, Longuich.
- Qualitätsuntersuchungen und Produktbeurteilung des Magnesium-Ammonium-Phosphats (MAP). Durchführung: LUFA Nord-West, Institut für Düngemittel und Saatgut, Hameln.
- Durchführung einer Energieanalyse nach DWA-A 216. Durchführung: WIW (Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH).

Zeitraum des Messprogramms:

01.10.16 – 19.10.16: R0 - Ermittlung des Referenzzustandes („Nullzustandes“)

01.01.17 – 19.03.17: R1a - Einfahrphase „ÜSS-Hydrolyse und Getrennte Faulung“

20.03.17 – 11.05.17: R1b - Messprogramm „ÜSS-Hydrolyse und getrennte Faulung“

16.10.17 – 07.01.18: R2a - Einfahrphase „ÜSS-Hydrolyse und gemischte Faulung“

08.01.18 – 28.02.18: R2b - Messprogramm „ÜSS-Hydrolyse und gemischte Faulung“

Aufgrund eines außerplanmäßigen Stillstandes des größten Industrieinleiters vom 25.07.17 bis zum 16.10.17 musste das Messprogramm in diesem Zeitraum unterbrochen werden. Dadurch bedingt wurde die Messphase R2b um 2 Monate bis zum 28.02.18 verschoben.

2.6.2 Erfolgskontrolle und Bilanzzeiträume

Ausgewertet und bewertet wurden die folgenden Messzeiträume:

- a. R-0 2016 Ermittlung des Referenzzustandes („Nullzustandes“)
01.10.2016 – 19.10.2016

Während dieser Zeit wurde die Faulung als gemischte Faulung betrieben, ohne maschinelle Eindickung des Primärschlammes, ohne LysoTherm® und ohne EloPhos®.

Der ausgefaulte Schlamm wurde mit der Schlauchfilter-Presse entwässert. Die Zentrifuge wurde am 26.10.16 in Betrieb genommen. Die ursprünglich für ca. vier Wochen geplante Messphase musste am 19.10.2016 vorzeitig beendet werden, weil der maßgebliche Industrieabwasser-Einleiter (Abwasser aus der Acrylfaserherstellung) einen Produktionsstillstand meldete.

Die während dieser Messphase ermittelten Daten dienten neben einigen Jahresdaten 2016 (Schlammfrachten, Einwohnerwerte) als Referenzdaten/Bezugswerte bei der Auswertung der Daten aus den Messphasen R1b und R2b. Siehe auch Kapitel 3.2.2 b.

- b. R1b Messphase / Bilanzzeitraum
„Thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung,
mit MAP-Fällung“
20.03.2017- 11.05.2017

Während dieser Zeit wurde lediglich der Überschussschlamm mit LysoTherm® thermisch desintegriert („hydrolysiert“). Der desintegrierte Überschussschlamm und der Primärschlamm wurden getrennt ausgefault (LysoGest®-Verfahren), Co-Substrat wurde

gemeinsam mit dem Primärschlamm im FB 1 gefault. Der thermisch desintegrierte Überschussschlamm wurde nach der Faulung im FB 2 der MAP-Fällung der EloPhos®-Anlage zugeführt und abschließend, gemeinsam mit dem ausgefaulten Primärschlamm, über die neu installierte Zentrifuge entwässert.

- c. R2b Messphase / Bilanzzeitraum
 „Thermische Faulschlamm-Desintegration mit gemischter Faulung,
 mit MAP-Fällung“
 08.01.2018 – 28.02.2018

Während dieser Messphase wurden beide Faulbehälter wiederum parallel und mit identischen Mengen an Überschuss- und Primärschlamm beschickt. Etwa dieselbe Menge Faulschlamm wurde den Faulbehältern kontinuierlich entnommen, mit LysoTherm® desintegriert und in die Faulung zurückgeführt. Der gesamte ausgefaulte Schlamm wurde der MAP-Fällung mit EloPhos® unterzogen und über die Zentrifuge entwässert.

Die Phasen vor R1b und R2b – R1a und R2a – waren Einfahrphasen bis zum Erreichen der Prozessstabilität und wurden bei der Bilanzierung (Kapitel 3.2) nicht berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Das sehr komplexe Vorhaben erwies sich als sehr viel zeitaufwändiger als geplant. Die wesentlichste Terminverschiebung wurde durch die Insolvenz der SH+E Gruppe mit dem ursprünglichen Projektpartner STULZ-PLANAQUA GmbH im Februar 2014 verursacht. Die damit verbundenen Probleme konnten gelöst werden, weil die ELIQUO STULZ die Assets der STULZ-PLANAQUA im Mai 2014 übernahm und anschließend als neuer Partner in das Projekt eintrat. Die ursprünglich geplante Projektdauer mit Abschluss zum 31.12.2015 wurde in Abstimmung mit dem Fördergeber aus dem genannten Grund bis zum 28.02.2018 verlängert.

3.2 Ergebnisse des Messprogramms: Stoffbilanz

3.2.1 Vorgehensweise / Bearbeitungsumfang

Die Auswertung der begleitend erstellten Datengrundlage umfasste die Ermittlung und Bewertung des Zustandes vor Start des Förderprojektes und die Auswertung der Messprogramme im Vergleich mit den Zielkriterien des Förderprojektantrags. Unter anderem sind das:

- Auswertung und Zusammenfassung der Messdaten (Laboranalysen, externe Analysen, Betriebsdaten, Tagebuch, besondere Vorkommnisse usw.)
- Überprüfung der Konformität der Messdaten anhand bilanzieller Betrachtungen (CSB, P, N, TR, o-TR, Schlammanfall, Gasanfall, Co-Substratzugabe) und eigenen ergänzenden Analysen.
- Ermittlung der tatsächlichen Belastung der Kläranlage in EW mit Angabe der aktuell angeschlossenen Einwohner und dem Anteil an Industrie und Gewerbe. Ermittlung des Schlammanfalls der Kläranlage.
- Auswertung der Faulgasproduktion in L/E/a und oTR-Abbaugrad „vorher – nachher“.
- Ermittlung der Rückbelastung infolge der thermischen Hydrolyse (CSB, refraktärer CSB, N, P), Auswirkungen auf den Reinigungsprozess und den Gesamtablauf der KA Lingen.
- Gegenüberstellung und Bilanzierung der Kenngrößen für die Schlammbehandlung (Schlammminimierung, Chemikalienverbräuche, Entwässerungsgrad) und Vergleich „Vorher - Nachher“.

Neben der Auswertung der drei, in Kapitel 2.6.2 beschriebenen Bilanzzeiträume wurde begleitend das Entwässerungs- und Konditionierungsverhalten des Faulschlammes sowie der Anteil an refraktärem (harten) CSB im Schlammwasser (Zentrat) der Schlammmentwässerung mit Hilfe eines modifizierten Zahn-Wellens-Test bestimmt. Dies erfolgte durch die Firma Kläranlagen-Beratung Kopp.

Die wesentlichen Ergebnisse der begleitenden Untersuchungen von Kläranlagen-Beratung Kopp (zusätzlich durchgeführt wurden TR(A)-Analysen, Bestimmung des Polymerbedarfes und modifizierter Zahn-Wellens-Test) wurden in diesen Bericht eingearbeitet. Die Berichte sind wegen des großen Umfangs auf der Kläranlage Lingen einsehbar.

Diese Untersuchungen wurden zum Ende der jeweiligen Bilanzierungszeiträume/Messphasen durchgeführt. Die Probenahme erfolgte durch das Team der KLA Lingen, wie auch der Probentransport zu Kläranlagen-Beratung Kopp nach Lengede.

Die Erstellung der auszuwertenden Datenerfassung während der Einfahrphasen und der jeweiligen Messphasen war Aufgabe des Teams der Kläranlage Lingen.

In der folgenden Abbildung 5 ist ein Fließbild der Schlammbehandlung der KLA Lingen dargestellt, auf dem die Probenahmestellen kenntlich gemacht sind.

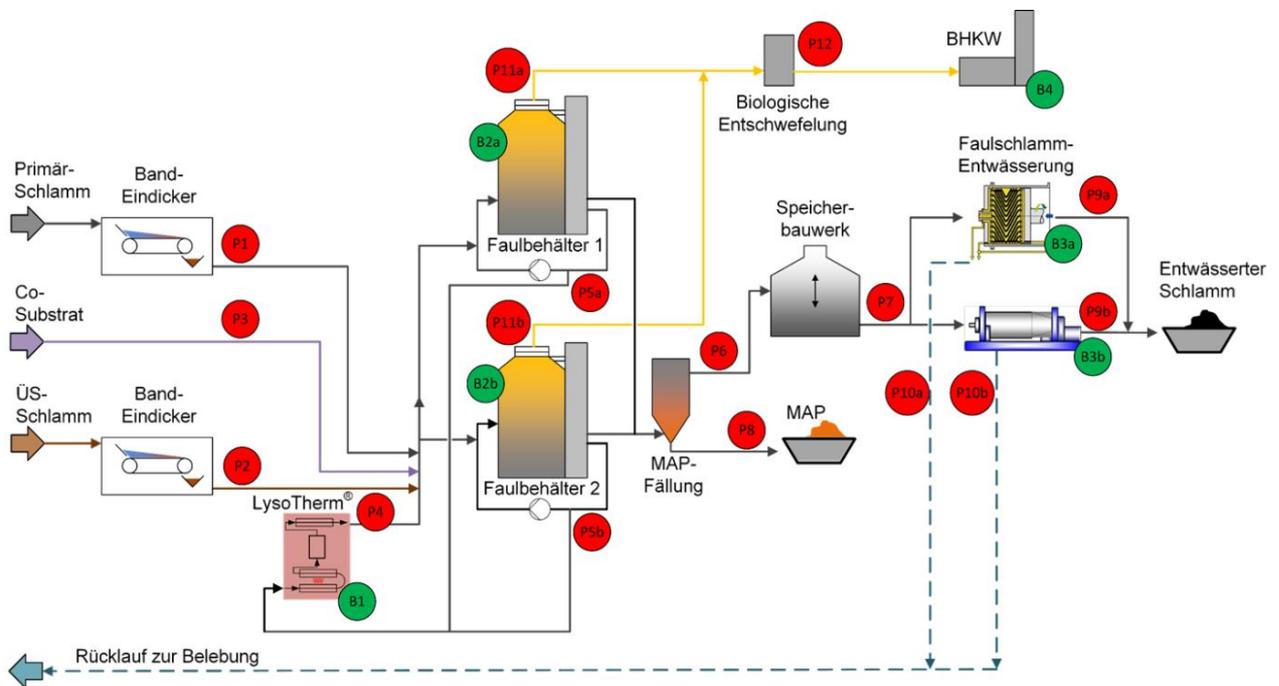


Abbildung 5: Probenahmestellen Schlammbehandlung KLA Lingen
rot: Probenahmestellen **grün:** Anlagenteile

Für alle drei Bilanzzeiträume sind die Kenndaten in einem übersichtlichen Fließbild zusammengestellt worden, die im Folgenden vorgestellt und beschrieben werden.

Dabei werden vor allem die Daten aufgeführt, die auf Plausibilität geprüft wurden, bzw. zu kommentieren sind. Ein Vergleich der Betriebszustände und deren Bewertung folgen im Anschluss daran (siehe Kapitel 3.2.5.)

3.2.2 Bilanzzeitraum R-0 (Referenz Oktober 2016, ohne thermische Schlammdesintegration)

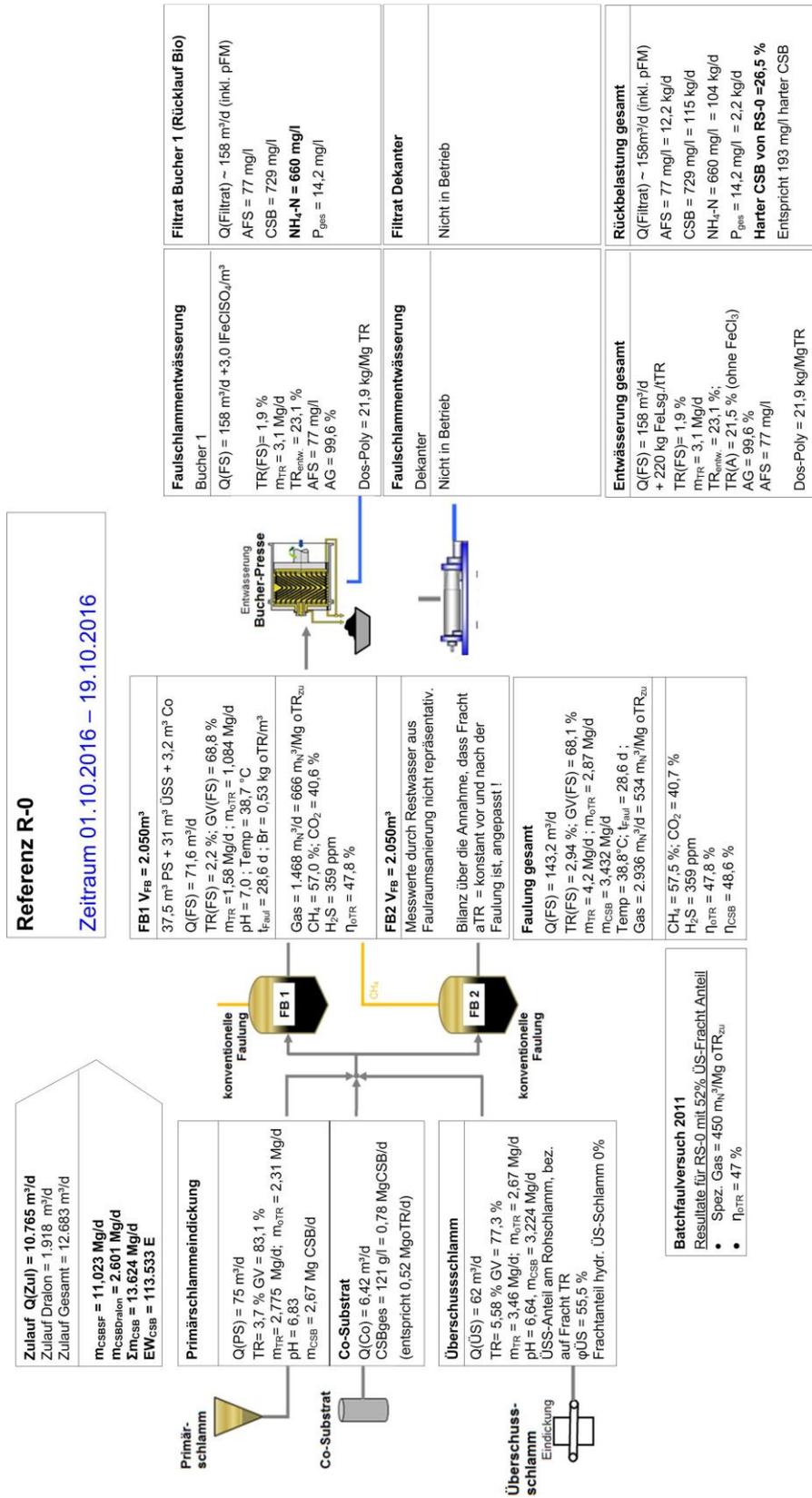


Abbildung 6: Fließbild für Bilanzzeitraum R-0 Referenz Oktober 2016, ohne Thermische Schlammdesintegration

a. Stoff- und Massenströme im Referenzzustand R-0

Abbildung 6 zeigt die Schlammbilanz für den Referenzzeitraum im Oktober 2016. Es fielen 12.683 m³ Abwasser mit einer CSB Fracht von 11 Mg CSB/d (kommunal) und 2,6 Mg CSB/d aus dem Abwasser der Dralon GmbH an, welches einer angeschlossenen Last von 113.533 EW_{CSB} entspricht.

Der Schlammanfall betrug für den Primärschlamm 75 m³/d mit 2,78 Mg TR/d und 2,31 Mg oTR/d. Es fielen 62 m³/d Überschussschlamm, mit einer TR Fracht von 3,46 Mg TR/d und 2,67 Mg oTR/d an. Der Anteil der ÜSS-Fracht an der gesamt anfallenden Schlammfracht lag bei 55% (ohne Co-Substrat). Der ÜSS-Anteil ist für die Bewertung von Bedeutung, da bei der anaeroben Schlammstabilisierung aus ÜSS nur geringe Gasmengen produziert werden können (ca. 250 m_N³/Mg oTR_{zugeführt}) und Überschussschlämme sich nur sehr schlecht maschinell entwässern lassen (16 – 20% TR).

Ursache dafür sind die Proteine, die ca. 40% der Schlammmassen/Bakterienzellen ausmachen. Proteine in Wechselwirkung mit Phosphaten haben eine sehr hohe Wasserbindung [8]. Vor diesen Hintergrund ist die auf der KA Lingen umgesetzte Verfahrenstechnik einer thermischen Hydrolyse mit Phosphatfällung sinnvoll. Durch die thermische Hydrolyse werden Proteine für den anaeroben Abbau zugänglich und durch die Bindung des Phosphates als MAP lässt sich zudem die Entwässerung erhöhen. Dieses wiederum hat einen direkten Einfluss auf die Masse des zu entsorgenden Klärschlammes (Mg OS) und die damit verbundenen Entsorgungskosten.

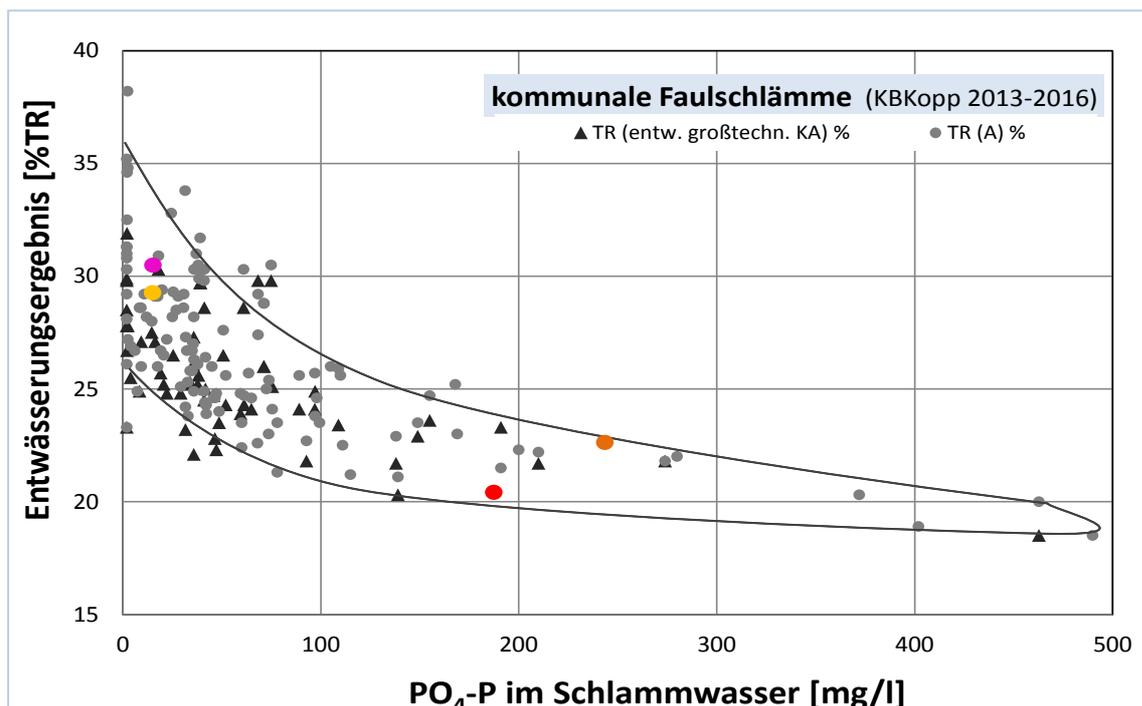


Abbildung 7: Einfluss des Phosphatgehaltes auf die Entwässerbarkeit von Faulschlämmen [Kopp]

- FS KA Lingen, Zeitraum R-0, ● KW22/2017 R1b nach EloPhos
- KW03/2018 R2b vor EloPhos ● KW09/2018 R2b nach EloPhos

Bei der anaeroben Schlammstabilisierung wurde bei einer Faulzeit von 28,6 d bei 38,5 °C ein Abbaugrad der organischen Trockenmassen von 47,8%, bzw. bezogen auf die CSB-Bilanz ein

Abbaugrad von 48,6% erreicht. Die Gasproduktion betrug 2.936 m³/d, bzw. 534 m³/Mg oTR_{zugeführt}, welches eine erhöhte Gasproduktion für eine kommunale Kläranlage ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Mittel 6,4 m³/d an Co-Substrat (Waschwasser aus der Biodiesel-Herstellung) mit 779 kg CSB/d mitbehandelt wurden.

Bei der Entwässerung mussten 158 m³/d Faulschlamm mit einer Fracht von 3,1 Mg TR/d mit 68,8% GV mit einer Schlauchfilter-Presse entwässert werden. Systembedingt, zur Sicherstellung des Ablöseverhaltens, wurde der Faulschlamm mit 3 L/m³ 42%iger Eisenchloridsulfat-Lösung vorkonditioniert. Der Polymerbedarf war ebenfalls systembedingt hoch mit 21,9 kg WS/Mg TR. Das erreichte Entwässerungsergebnis betrug 23,1% TR (Betriebsergebnisse mit Fe-Salz), bzw. 21,5% TR (\triangleq Kennwert TR(A) ohne Fe-Salz) wenn die Eisenmenge nicht berücksichtigt wird. Dieses ist ein sehr geringes Entwässerungsergebnis für einen kommunalen Faulschlamm, jedoch typisch für Faulschlämme mit hohen Phosphatgehalten von ca. 191 mg/L (vgl. Untersuchung der Entwässerbarkeit des FS Lingen vom Oktober 2016, R-0). Der Phosphatgehalt von 191 mg/L wurde in das Diagramm der Abbildung 7 eingetragen und direkt mit den Ergebnissen für R2b vor und nach der MAP Fällung verglichen.

Die Rückbelastung der Kläranlage Lingen lag bei 115 kg CSB/d, 104 kg/d Ammonium und 2,2 kg/d Phosphat infolge der Eisenvorkonditionierung. Die zu entsorgende Schlammmenge betrug 161 g OS/E/d, bzw. es fielen täglich 18,2 Mg entwässerter Klärschlamm mit einem Feststoffgehalt von 23% TR für die Entsorgung an.

b. Anmerkungen zur Auswertung der Datengrundlage Bilanzzeitraum R-0

Für den Referenzzustand im Oktober 2016 lagen nur sehr wenige Daten bzw. Messtage vor. Für eine dezidierte Bilanz der Schlammströme (es liegen nur 19 Datensätze vor vom 01.10.2016 bis 19.10.2016) wurden daher die anfallenden Schlammengen und der Einwohner spezifische Schlammanfall durch eine Mengenkorrektur basierend auf den Jahresdaten 2016 validiert und angepasst.

Generell (also für alle Bilanzzeiträume) sind die gemessenen Gasmengen für Faulturm 1 (FT1) und Faulturm 2 (FT2) meist deutlich geringer als die in den Blockheizkraftwerken (BHKW) verbrauchten Mengen. Eine Korrektur der gemessenen Gasmengen wurde daher durchgeführt. Die im BHKW verbrauchten Gasmengen erscheinen plausibler und passen zu den im Kondensatschacht erfassten Gasmengen, die nach Inbetriebnahme der biologischen Entschwefelung um ca. 10% höher sind, da für den biologischen Entschwefelungsprozess etwa 10% Luft dem Klärgas hinzugefügt wird.

Die Angaben zur entwässerten Faulschlammmenge und den verbrauchten Eisensalzmengen erscheinen plausibel und wurden mit den eingekauften Fällmittelmengen und entsorgten Schlammengen validiert.

Auf der KLA Lingen werden in der Belebungsstufe zur Stützung der Denitrifikation und in der Faulung zur Erhöhung der Faulgasproduktion Co-Substrate (Bio-Diesel-Waschwasser mit ca. 100 – 250 g CSB/L) eingesetzt.

Laut der Betriebsleitung der Kläranlage Lingen (Hr. Hüer, Ergebnis der Bilanzen von 10 Jahren) kann man pro Kilogramm CSB der Co-Substrate von einer produzierten Gasmenge von 0,45 m_N³ Faulgas ausgehen. Es konnte somit eine Netto-Gasproduktion, d. h. ohne Co-Substrate,

ausgewiesen werden. Des Weiteren kann dem Faulgas aus dem Co-Substrat ein Methangehalt von 50% zugeordnet werden, welcher beim anaeroben Abbau von Kohlenhydraten typisch ist.

In Tabelle 5 sind die Zahlen der Faulgasproduktion für die Faulung bestimmter Stoffklassen dargestellt. Fette bzw. Öle liefern die höchste Faulgasproduktion, Eiweißstoffe den höchsten Methangehalt im Faulgas. Der Methangehalt von Kohlenhydraten ist üblicherweise 50%.

Stoffklasse	Spezifisches Faulgasvolumen [m_N³/kg CSB_{abgebaut}]	CH₄-Anteil [Vol.-%]
Kohlenhydrate	0,83	50
Proteine	0,72	71
Fette / Öle	1,43	70

Tabelle 5: Theoretische Gasproduktion und Gaszusammensetzung [9]

c. Anmerkungen zur Betriebsweise Referenzzeitraum R-0

Der Primärschlamm wurde in den Vorklärbeckentrichtern eingedickt und über eine Tauchpumpe abgezogen. Die neue Siebbandanlage zur Primärschlammeindickung konnte Ende Oktober in Betrieb genommen werden. Die anaerobe Schlammstabilisierung lief als gemischte Faulung, ohne Betrieb der LysoTherm®- und der EloPhos®-Anlage. Faulbehälter 2 wurde von Mai – Juli 2016 saniert und umgebaut. Inbetriebnahme und Befüllung mit Wasser erfolgten ab dem 20.07.16, ab dem 11.08.16 wurden Primär- und Überschuss-Schlamm zudosiert. Aufgrund von Restwasseranteilen waren die Messwerte aus FB 2 im Oktober noch nicht repräsentativ. Der ausgefaulte Schlamm wurde mit der Schlauchfilter-Pressen entwässert.

Die ursprünglich für etwa 4 Wochen geplante Messphase musste am 19.10.2016 vorzeitig beendet werden, weil der größte Abwassereinleiter, ein Produzent von Acrylfasern, einen Produktionsstillstand meldete. Für eine dezidierte Bilanz der Schlammströme wurden daher die anfallenden Schlamm-mengen und der Einwohner spezifische Schlammanfall durch eine Mengenkorrektur basierend auf den Jahresdaten 2016 validiert und angepasst.

3.2.3 Bilanzzeitraum R1b

Thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung, mit MAP Fällung

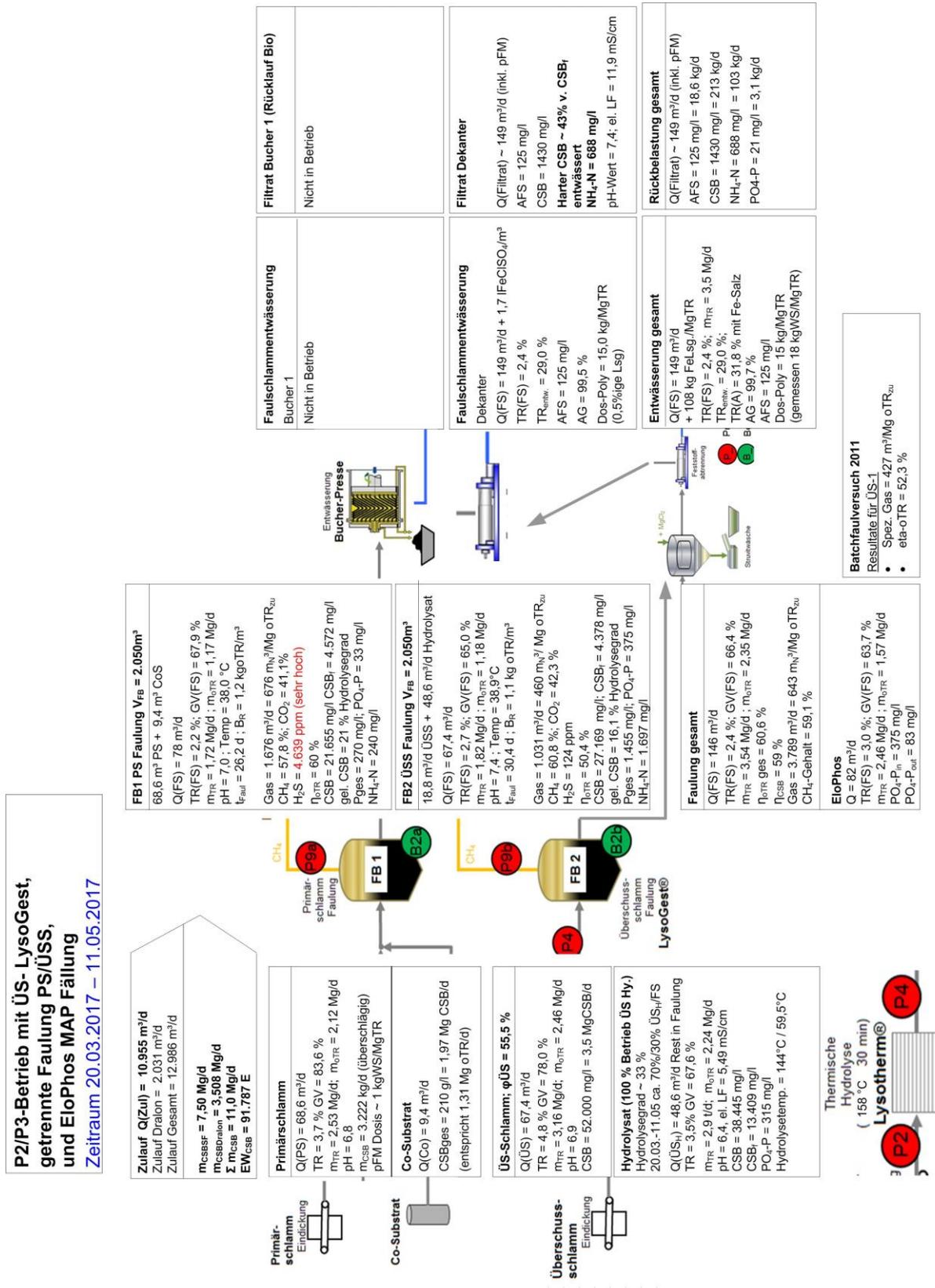


Abbildung 8: Fließbild für Bilanzzeitraum R1b (20.03.2017 – 11.05.2017), thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung, mit MAP-Fällung

a. Stoff- und Massenströme im Bilanzzeitraum R1b

Abbildung 8 zeigt die Schlamm Bilanz für den Referenzzeitraum 20.03.2017 – 11.05.2017 mit Überschussschlamm desintegration und getrennter Faulung. Es fielen 12.986 m³ Abwasser mit einer CSB Fracht von 7,5 Mg CSB/d (kommunal) und 3,5 Mg CSB/d aus dem Abwasser der des Groöeinleiters an, welches einer angeschlossenen Last von 91.787 EW_{CSB} entspricht.

Der Schlamm anfall betrug für den Primärschlamm 69 m³/d mit 2,53 Mg TR/d und 2,12 Mg oTR/d. Es fielen 67 m³/d Überschussschlamm mit einer TR-Fracht von 3,2 Mg TR/d und 2,5 Mg oTR/d an. Der Anteil der ÜSS-Fracht an der gesamt anfallenden Schlammfracht (ohne Co-Substrate) lag bei 55,5%.

Bei der anaeroben Schlamm stabilisierung wurde bei einer Faulzeit von 28,1 d bei 38,0 °C ein Abbaugrad der organischen Trockenmassen von 62%, bzw. bezogen auf die CSB-Bilanz ein Abbaugrad von 59% erreicht. Die Gasproduktion betrug 3.789 m³/d, bzw. 643 m³/Mg oTR_{zugeführt}. Das Schlamm desintegrationsverfahren wirkte sich im Vergleich zur Referenz mit einer Steigerung der Gasproduktion in Höhe von relativ 20,4% aus. Dabei ist wiederum zu berücksichtigen, dass 9,4 m³/d an Co Substrat (Waschwasser aus der Biodieselherstellung) mit 1,97 Mg CSB/d mitbehandelt wurden, die bei der Bewertung der Gasproduktion herausgerechnet wurden.

Bei der Entwässerung wurden täglich 149 m³/d Faulschlamm mit einer Fracht von 3,5 Mg TR/d mit 64% GV organischen Anteil mit der ebenfalls neu installierten Zentrifuge entwässert. Für die Entwässerung mit der Zentrifuge wurde dem Faulschlamm ebenfalls eine Menge von 1,7 L/m³ 42%iger Eisenchloridsulfat-Lösung zugegeben. Der Polymerbedarf nach Eisenvorkonditionierung betrug 15 kg WS/Mg TR. Das erreichte Entwässerungsergebnis betrug 29% TR (betrieblicher Mittelwert mit Fe Salz), bzw. 31,8% TR (Kennwert TR(A) ohne Fe-Salz), wenn die Eisenmenge nicht berücksichtigt wird. Die Verbesserung der Entwässerbarkeit im Vergleich zum Referenzzustand ist signifikant und beträgt 6%-TR-Punkte.

Die Rückbelastung der Kläranlage Lingen lag bei 213 kg CSB/d (+85% relativ Anstieg gegenüber R-0), 103 kg/d Ammonium (-1% relative Abnahme gegenüber R-0) und 3,1 kg/d Phosphat (+40% relativer Anstieg gegenüber R-0) infolge der Eisenvorkonditionierung und der gezielten Phosphatfällung (EloPhos®). Die zu entsorgende Schlammmenge betrug 131 g OS/E/d (d.h. 28,6 g OS/E/d weniger als in R-0) bzw. es fielen täglich 12,1 Mg entwässerter Klärschlamm (33,5% relativ weniger Klärschlamm zur Entsorgung als in R-0) mit einem Feststoffgehalt von 29% TR für die Entsorgung an. Die Reduktion der zu entsorgenden Schlammmasse um ein Drittel ist ein signifikanter Erfolg der neu installierten Verfahrenstechnik.

b. Anmerkungen zur Auswertung der Datengrundlage Bilanzzeitraum R1b

Die aufgezeichneten Schlamm mängen wurden auch für diesen Bilanzzeitraum mit thermischer ÜSS-Desintegration mit den Betriebsdaten 2017 überprüft. Eine genaue messtechnische Erfassung der Primärschlammmenge war aufgrund von Fettanlagerungen in dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID) schwierig. Zudem wurde bei Störungen am Bandeindicker ein Teil des Primärschlammes im Bypass um die mechanische PS-Eindickung geführt. Es wurde die Mengenanpassung basierend auf der Annahme: FS-Input-Menge = FS-Output-Menge getroffen. Die PS-Fracht wurde nochmals kontrolliert und passt zum Zeitraum R-0 2016.

Im Zeitraum R1b 2017 lag ein Ausfall der ÜSS-Desintegration ab dem 11.05.2017 bis 07.06.2017 vor. Ab dem 12.05.2017 wurde mit reiner Faulschlamm-Desintegration gefahren. Der

Bilanzzeitraum für R1b verkürzte sich daher auf 53 Tage auf den Zeitraum 20.03.2017 – 11.05.2017.

Die Angaben zur entwässerten Faulschlammmenge und den verbrauchten Eisensalzmengen erscheinen plausibel (FS Menge Zulauf Zentrifuge = 149 m³/d im Mittel), die Menge an Eisenlösung konnte gegenüber den Betrieb R-0 in 2016 deutlich gesenkt werden.

Der Effekt der MAP-Fällung durch EloPhos® und der thermischen Schlamm-Desintegration ist in den Entwässerungsergebnissen deutlich erkennbar und konnte durch die TR(A) Messungen (siehe Anhang 2) bestätigt werden.

c. Anmerkungen zum Betrieb der ÜSS-Desintegration mit getrennter Faulung im Bilanzzeitraum R1b

Im Bereich der neuen Anlage zum Primärschlamm-Abzug und zur -Eindickung kam es zeitweise zu Verstopfungsproblem in den Saugleitungen und in der Eindickanlage. Daher wurde in diesem Zeitraum mit durchschnittlich 75 m³/d mehr Primärschlamm in den Faulturn 1 gefahren als im Messzeitraum R2b (59 m³/d).

In der Einfahrphase R1a gab es Probleme mit höheren Eingangsdrukken in der Zuführung der LysoTherm®-Anlage, verursacht durch Verzopfungen in den Multitube-Wärmetauschern zur ÜSS-Vorerwärmung. Im Messzeitraum R1b wurde der Wärmetauscher umfahren.

Aufgrund der guten Überschuss-Schlammeindickung kam es kurzzeitig zu hohen Drücken in der LysoTherm®-Anlage, was zu einer Abschaltung der Anlage führte. Durch die Einstellung der Siebbandeindickung auf etwas niedrigere TR-Werte konnten diese Druckprobleme behoben werden.

Der Wärmeverbrauch durch die thermische ÜSS-Desintegration war im Bilanzzeitraum R1b mit ca. 130 kW höher als im Zeitraum R2b.

Der Betrieb der Faulbehälter mit getrennter Faulung war nicht immer stabil, da die Ammonium- und Hydrogencarbonat-Puffer für die anaerobe Schlammstabilisierung zu gering waren. Zur Stützung des pH-Wertes war es teilweise notwendig, Kalkhydrat zu dosieren. In der ÜSS-Faulung bestand aufgrund hoher Phosphat- und Ammonium-Konzentrationen die Gefahr von MAP-Ablagerungen im Überlauf des Faulbehälters sowie in den Wärmetauschern.

Aufgrund von Verzopfungen im Zulaufbereich zur EloPhos®-Anlage kam es einige Male zu kurzzeitigen Abschaltungen dieser Anlage. Zur Behebung dieser Störungen wurden Optimierungs- und Umbaumaßnahmen im Leitungsbereich der Anlage durchgeführt.

a. Stoff- und Massenströme im Bilanzzeitraum R2b

Abbildung 9 zeigt die Schlamm Bilanz für den Referenzzeitraum 08.01.2018 – 28.02.2018 mit Faulschlamm desintegration und gemischter Faulung. Es fielen 15.259 m³ Abwasser mit einer CSB Fracht von 6,65 Mg CSB/d (kommunal) und 3,34 Mg CSB/d aus dem Abwasser der Dralon GmbH an, welches einer angeschlossenen Last von 83.225 EW_{CSB} entspricht. Die zugeleitete CSB-Belastung hat sich um 27% gegenüber dem Referenzzustand vermindert.

Der Schlammanfall betrug für den Primärschlamm 58,5 m³/d mit 2,16 Mg TR/d und 1,8 Mg oTR/d. Es fielen 64,4 m³/d Überschussschlamm, mit einer TR Fracht von 3,31 Mg TR/d und 2,63 Mg oTR/d an. Der Anteil der ÜSS-Fracht an der gesamt anfallenden Schlammfracht lag bei 60,5% und ist damit relativ um 10% im Vergleich zu R1b angestiegen.

Bei der anaeroben Schlammstabilisierung wurde bei einer Faulzeit von 30 d bei 38,0 °C ein Abbaugrad der organischen Trockenmassen von 59,1%, bzw. bezogen auf die CSB-Bilanz, von 63% erreicht. Die Gasproduktion betrug 3.698 m³/d, bzw. 613 m³/Mg oTR_{zugeführt}. Die Auswirkungen der Faulschlamm-Desintegration im Vergleich zur ÜSS- Desintegration wirkte sich im Vergleich zur Referenz mit einer ähnlichen, jedoch geringfügig geringeren Steigerung der Gasproduktion in Höhe von relativ 18% aus. Dabei ist wiederum zu berücksichtigen, dass 13,9 m³/d an Co-Substrat (Waschwasser aus der Biodiesel-Herstellung) mit 2,4 Mg CSB/d mitbehandelt wurden, gegenüber 1,97 Mg CSB/d bei R1b.

Bei der Entwässerung wurden täglich 137 m³/d Faulschlamm mit einer Fracht von 3,4 Mg TR/d mit 64,8% organischen Anteil mit der installierten Zentrifuge entwässert werden. Für die Entwässerung mit der Zentrifuge wurde der Faulschlamm eine Menge von 1,2 L/m³ 42%ige Eisenchloridsulfat-Lösung zugegeben. Insgesamt konnte die Zudosierung an Eisensalzlösung um 60% vermindert werden. Der Polymerbedarf nach Eisenvorkonditionierung betrug 17,6 kg WS/Mg TR. Das erreichte Entwässerungsergebnis betrug 29,2% TR (mittleres Betriebsergebnis mit Fe-Salz), bzw. 29,8% TR (Kennwert TR(A) ohne Fe-Salz), wenn die Eisenmenge nicht berücksichtigt wird. Die Verbesserung der Entwässerbarkeit im Vergleich zum Referenzzustand ist signifikant, beträgt ca. +6% TR-Punkte und ist vergleichbar zur Überschussschlamm-Desintegration.

Die Rückbelastung der Kläranlage Lingen lag bei 159 kg CSB/d (+38% relativ Anstieg gegenüber R-0), 134 kg/d Ammonium (+22,4% relativ Anstieg gegenüber R-0) und 2,0 kg/d Phosphat (-10% relative Verringerung gegenüber R-0) infolge der Eisenvorkonditionierung und der gezielten Phosphatfällung (EloPhos®). Die zu entsorgende Schlammmenge betrug 135 g TS/E/d, d. h. 25,5 g TR/E/d weniger als in R-0), bzw. es fielen täglich 11,2 Mg entwässerter Klärschlamm (-33,5% relativ weniger Klärschlamm zur Entsorgung als in R-0) mit einem Feststoffgehalt von 29,2% TR für die Entsorgung an. Die Reduktion der entsorgten Schlammmenge deckt sich mit den Ergebnissen der ÜSS-Desintegration.

b. Anmerkungen zur Auswertung der Datengrundlage Bilanzzeitraum R2b

Die aufgezeichneten Schlamm mngen = Summe aus ÜSS, PS und Co-Substrat wurden an die Faulschlammmenge analog zum Bilanzzeitraum R1b angepasst. Grund dafür sind

Fehlmessungen der MID durch Fettablagerungen. Dieses ist ein übliches Problem auf kommunalen Kläranlagen.

Auch hier wurde die Annahme getroffen, dass die FS-Input Menge gleich der FS-Output Menge ist. Die aus den Vorklärbecken abgezogene Dünnschlammmenge wurde für die Validierung der Daten herangezogen, so dass die daraus resultierende PS-TR-Fracht von 2,16 Mg TR/d plausibel erscheint.

Im Zeitraum R2b 2018 wurde die LysoTherm®-Anlage ohne Ausfall zur Desintegration des Faulschlammes betrieben.

Der CSB-Abbaugrad in der Faulung deckt sich gut mit dem organischen Abbaugrad.

Die im BHKW verbrauchten Gasmengen sind weiterhin höher als die gemessenen Anfallmengen in FT1 und FT2. Es wurden zur Berechnung des spezifischen Gasanfalles die im Kondensatschacht gemessenen Mengen (Faktor 0,9, da dort ca. 10% der Gasmenge durch die Luftzufuhr in der biologischen Entschwefelung aufgestockt wird) herangezogen.

Der Effekt der MAP-Fällung mit EloPhos® und der thermischen Schlamm-Desintegration ist in den Entwässerungsergebnissen deutlich erkennbar und konnte durch die TR(A) Messungen im Januar und Februar 2018 bestätigt werden (siehe Anhang 2).

Die Angaben zum Polymerverbrauch sind plausibel für das als 0,5%ige Lösung aufbereitete Produkt.

Während der Messphase wurden größere Mengen an Co-Substraten in der Faulung eingesetzt, so dass die Netto-Gasproduktion (ohne Co-Substrat) bei 591 m³/Mg oTR_{zugeführt} lag. Der tatsächliche Faulgas-Anfall mit Co-Substrat betrug 613 m³/Mg oTR_{zugeführt}.

Das Verhältnis der thermisch desintegrierten Faulschlammmenge von 101 m³/d (ohne Rückführung von 16 m³/d) zum gesamten Faulschlamm von 137 m³/d liegt bei 0,74. Die Einfahrphase von ca. 150 Tagen (ab Juni 2017) kann als ausreichend angesehen werden und entspricht einem Zeitraum von mehr als drei Faulzeiten.

c. Anmerkungen zum Betrieb der FS-Desintegration mit gemischter Faulung im Bilanzzeitraum R2b

Die thermische FS-Desintegration mit gemischter Faulung und MAP-Fällung lief im Zeitraum R2b betriebsstabil, die LysoTherm®-Anlage wurde ohne Ausfall betrieben.

Im Bereich der Schlammumwälzung von FB 1 und FB 2 führten Faulschlammverzopfungen zur Reduzierung der Förderleistung der Umwälzpumpen. Durch das Umschalten auf die Reservepumpen war eine gleichbleibend hohe Förderleistung sichergestellt. Die verstopften Pumpen mussten entsprechend gereinigt werden.

In der Einfahrphase R2a wurde aufgrund von Schaumentwicklung in beiden Faultürmen über einen Zeitraum von etwa 4 Wochen Entschäumer in die Schlammumwälzleitung dosiert.

3.2.5 Gegenüberstellung der wesentlichen Kenndaten der Bilanzierungszeiträume

Im nächsten Abschnitt erfolgt die Gegenüberstellung der wesentlichen Kenndaten der drei Bilanzierungszeiträume (Tabelle 6).

Zunächst werden die Kenndaten im Input der Faulung und Kläranlage aufgeführt, d.h. die CSB-Fracht im Zulauf der Kläranlage und die Einwohnergleichwerte. Diese waren in der Projektlaufzeit stark rückläufig und wirken sich somit auf den Schlammanfall aus. Zur Aufrechterhaltung der Faulgasmenge wurde die Co-Substratmenge gesteigert.

Entscheidend für die Bewertung der installierten neuen Verfahren zur Klärschlammbehandlung sind die Kenngrößen:

- Faulgas Gasproduktion [$\text{m}^3/\text{Mg oTR}_{\text{zugeführt}}$]
- Abbaugrad der organischen Trockenmasse org. Abbaugrad [%]
- Entwässerung TR (%) und Beurteilung der Entwässerbarkeit mit TR(A) [%]
- Masse entwässerter Klärschlamm Mg OS [Mg/d]
- Verbrauch an Konditionierungsmitteln
- Rückbelastung der Kläranlage [CSB, NH_4N und Phosphat]

Kenndaten Bilanzzeiträume	R0 2016	R1b 2017	R2b 2018
Input	Referenz Oktober 2016	ÜSS Hydr. + MAP 20.03.2017 - 11.05.2017	FS Hydr. + Vac & MAP 08.01.18- 28.02.18
CSB Fracht [Mg/d] Summe Dralon + kommunal	13,6	11,0	10,0
E_{CSB}	113.533	91.787	83.225
PS Menge [m^3/d]	75	68,6	58,5
PS TR Fracht [Mg TR/d]	2,78	2,53	2,16
PS-Anfall spezifisch [gPS/E/d]	24,4	27,6	26,0
GV PS [%]	83,1	83,6	83,1
PS oTR Fracht [Mg oTR/d]	2,31	2,12	1,79
ÜS Menge [m^3/d]	62,0	67,4	64,6
ÜS TR Fracht [Mg TR/d]	3,46	3,16	3,31
ÜS-Anfall spezifisch [gÜS/E/d]	30	34	40
GV ÜSS [%]	77,2	77,8	79,5
ÜS oTR Fracht [Mg oTR/d]	2,67	2,46	2,63
Menge Co-Substrat [m^3/d]	6,42	9,4	13,9
CSB Fracht Co-Substrat [Mg/d]	0,779	1,97	2,40
oTR-Fracht Co-Substrat	0,52	1,31	1,60
gesamte TR Fracht RS [Mg/d]	6,75	7,00	7,07
gesamte oTR Fracht RS [Mg/d]	5,49	5,89	6,03
Raubelastung [$\text{kg oTR}/\text{m}^3\text{xd}$]	1,08	1,44	1,47

Kenndaten Bilanzzeiträume	R0 2016	R1b 2017	R2b 2018
Faulzeit bei $V = 2 \times 2.050 \text{ m}^3$	28,6	28,1	30,0
Faulraumtemperatur [°C]	38,8	38,0	38,0
Output	Referenz Oktober 2016	ÜSS Hydr. + MAP 20.03.2017 - 11.05.2017	FS Hydr. + Vac & MAP
FS Menge [m³/d]	143	146	137
FS-Anfall spezifisch [gTR/E/d]	37,1	38,1	39,5
oTR Fracht FS [Mg/d]	2,87	2,32	2,46
Gasproduktion [m³/Mg oTR _{zugeführt}]	534	643	613
Gasprod. netto [m³/Mg oTR _{zugeführt}]	519	634	591
Gasprod. [l CH ₄ /E/d] ohne Co-Sub	13,3	19,6	19,9
CH ₄ -Gehalt (Messwert KA Lingen)	57,5	59,1	59,4
CH ₄ -Gehalt netto (ohne Co-Sub)	58,5	63,0	63,3
org. Abbaugrad η_{oTR} [%]	47,8	60,6	59,1
Abbaugrad CSB η_{CSB} [%]	48,6	58,9	63,0
TR _{entw} [% TR] mit Fe-Salz Betrieb	23,1	29	29,2
TR(A) [%] ohne Fe-Salz optimal	21,5	31,8	29,8
entw. Klärschlamm Mg OS [Mg/d]	18,2	12,1	11,2
entw. Klärschlamm Mg OS [g/EW/d]	160,1	131,5	134,6
pFM Dosis [kgWS/MgTR]	21,9	15,0	17,6
pFM Verbrauch [kgWS/d]	92	53	58
Fe-Lösung [kg/MgTR]	220	108	68
Verbrauch Fe-Lösung [l/d]	480	266	162
Rückbelastung in [kg/d] für :			
CSB [kg/d]	115	213	159
CSB _{hart} [kg/d]	30	85	111
NH ₄ -N [kg/d]	104,0	103,0	134,0
PO ₄ -P [kg/d]	2,2	3,1	2,0

Tabelle 6: Kenndaten der drei Bilanzzeiträume R0, R1b und R2b

a. Belastung der KLA Lingen

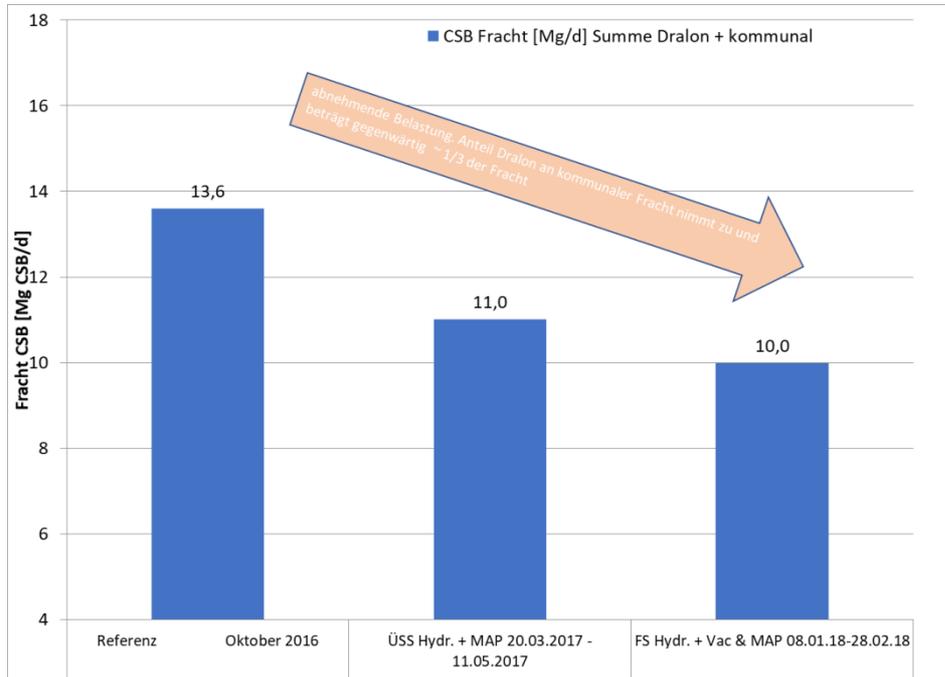


Abbildung 10: Gesamte CSB Fracht der KLA Lingen im Zulauf Kläranlage, inklusive Grobseinerleiter

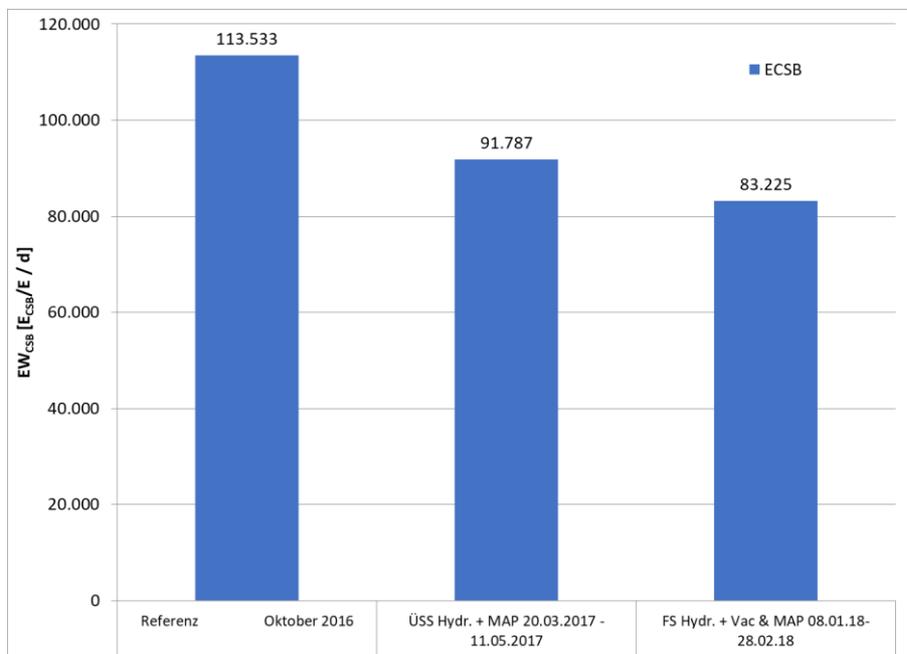


Abbildung 11: Belastung der KLA Lingen mit CSB, ausgedrückt in EW_{CSB}

	EW Ref 2016	EW R1b 2017	EW R2b 2018
EW _{CSB}	91.858	62.500	55.411
EW _{Pges}	94.500	61.810	55.675
EW _{gesN}	118.273	100.465	77.808

Tabelle 7: Belastungen KLA Lingen, ohne Anteil Groeinleiter

Der Anteil der Belastung des Groeinleiters (Hersteller von Acrylfasern) betrug im Referenzzeitraum ca. 2,6 Mg CSB/d, in den nachfolgenden Bilanzierungszeitrumen 3,5 Mg CSB/d, bzw. 3,3 Mg CSB/d. Die Belastung des Groeinleiter-Abwassers mit Ammonium-Stickstoff und Phosphor ist zu vernachlässigen und wurde in den Abwasserdaten nicht erfasst. Der organische Stickstoff im Abwasser des Groeinleiters ist jedoch sehr hoch. So liegt der Anteil des Gesamt-Stickstoffs am Gesamtzulauf im Mittel bei 25%.

Die in der Tabelle 7 dargestellten Belastungsdaten der KLA Lingen ohne Groeinleiter spiegeln sehr gut die abnehmende Belastung der KLA Lingen wieder, die bereits über die abnehmenden CSB-Frachten seit dem Referenzzustand abzulesen war. Werden die P-Frachten in Einwohnerngleichwerte umgerechnet, liegen nahezu identische Einwohnerwerte für CSB und P in den jeweiligen Bilanzierungszeitrumen vor. Die Messwerte für Stickstoff TNb liegen ca. 40% darüber, wodurch sich die Notwendigkeit zur Dosierung ext. C-Quellen in die Denitrifikation erklärt.

b. Primrschlammanfall KLA Lingen

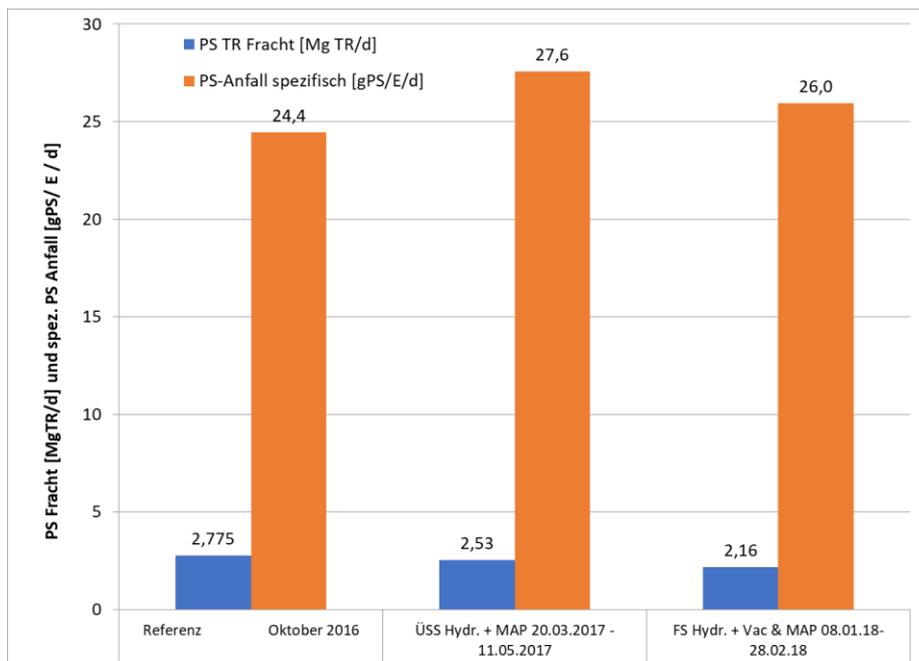


Abbildung 12: Primrschlammanfall KLA Lingen in Mg TR/d und Gramm pro Einwohner und Tag

Entsprechend der abnehmenden Belastung seit dem Referenzzeitraum sinkt auch die absolute TR- und oTR-Fracht des Primärschlammes von 2,8 Mg TR/d (Referenz) auf 2,2 Mg TR/d (R2b). Der spez. PS-Anfall ist erwartungsgemäß relativ konstant bei ca. 26 g PS/E/d. Wird der Primärschlammfall mit den Angaben des DWA M-368 „Schlammstabilisierung“ Tabelle 3 verglichen, ist der Primärschlammfall geringer als für eine hydraulische Verweilzeit von 1,0 h mit 35 g PS/EW/d. Die PS-Fracht absolut nimmt aufgrund der abnehmenden Belastung der KLA Lingen ab. Das Vorklärvolumen ist durchgängig gleich geblieben. Die hydraulische Verweilzeit in der Vorklärung mit 1 x 550 m³ Becken in Betrieb lag bei ~ 70 min. Ab Ende Oktober 2016 erfolgte die Eindickung des PS maschinell (Siebband) mit Polymerunterstützung.

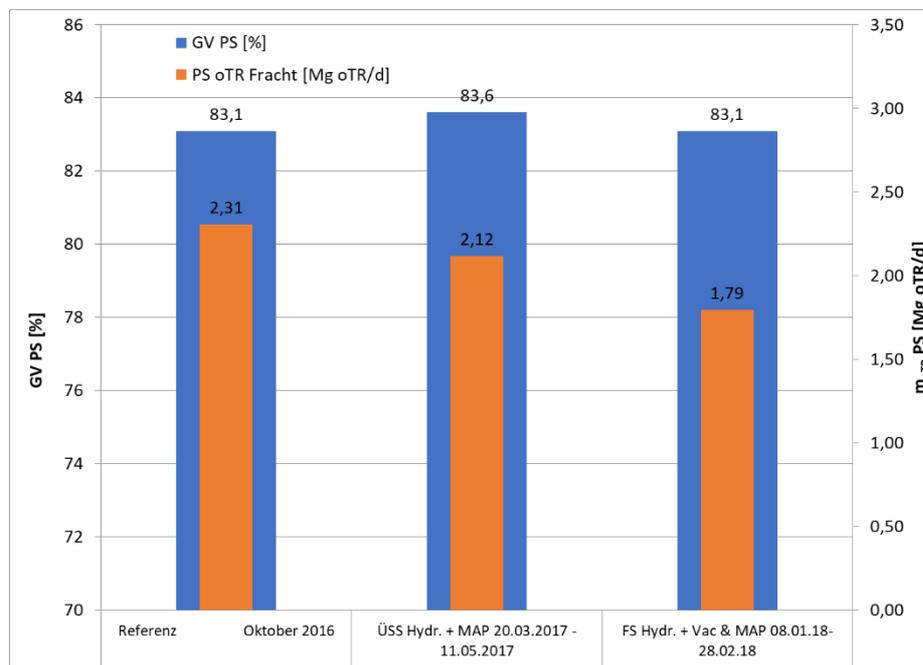


Abbildung 13: Glühverlust und organische TR-Fracht im Primärschlamm

c. Überschussschlammanfall KLA Lingen

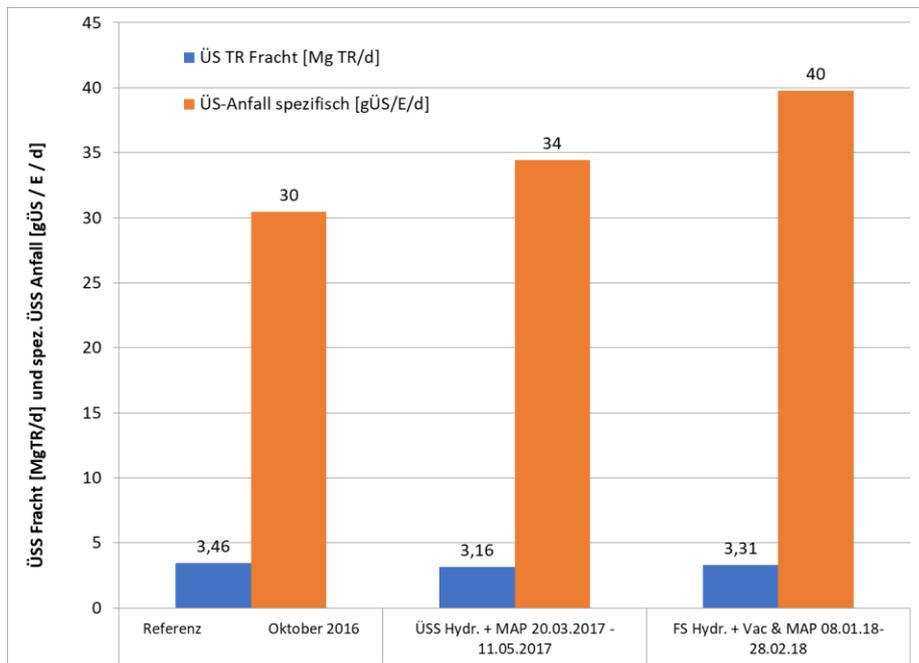


Abbildung 14: Überschussschlammanfall KLA Lingen im Mg/d und Gramm pro Einwohner und Tag

Es ist zu erkennen, dass der ÜSS-Anfall im Referenz-Zeitraum geringer (30 g ÜSS/E/d) ausfällt als in den übrigen Messphasen. Im Zeitraum R2b 2018 wurde aufgrund erhöhter externer Kohlenstoffdosierung deutlich mehr Überschussschlamm produziert (40 g ÜSS/E/d).

Wird der Überschussschlammanfall mit den Angaben des DWA M-368 „Schlammstabilisierung“ Tabelle 3 verglichen, ist der Schlammanfall ebenfalls geringer als für eine hydraulische Verweilzeit von 1,0 h und einem Schlammalter mit ~ 15 d von 34,8 g ÜS/EW/d. Auch hier zeigt sich deutlich der Einfluss des industriellen Einleiters.

Vom Team der KLA Lingen wurden die Mengen ermittelt, die als Kohlenstoff zur Stützung der Denitrifikation in die biologische Stufe dosiert wurden, und festgestellt, dass im Januar und Februar 2018 (R2b) gut doppelt so viel CSB (525 kg/d) dosiert wurde wie im Zeitraum April/Mai 2017 (R1b) und sich der zusätzlich ÜSS-Anfall von 6 g ÜSS/E/d dadurch plausibel erklären lassen. Eingesetzt wurde eine Ethanol-Lösung bzw. eine Mischung aus Glycerin und freien Fettsäuren mit einem CSB von 100 - 250 g/L in die Deni-Zonen der beiden Belebungsstraßen.

d. Co-Substrat-Zugabe Faulung KLA Lingen

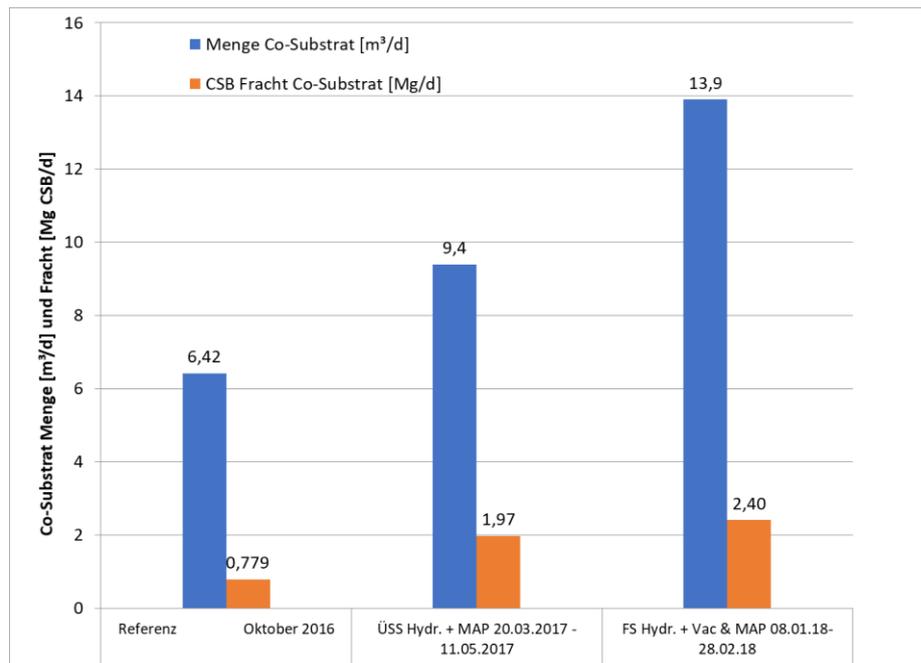


Abbildung 15: Eingesetzte Co-Substrat-Mengen und -Frachten (Mg CSB/d) in den Bilanzzeiträumen

Die Co-Substrat-Mengen, die in der Faulung zugesetzt werden, waren in den einzelnen Bilanzzeiträumen nicht konstant. Es erfolgte jeweils eine Umrechnung über den gemessenen CSB in die CSB-Fracht. Für die Ermittlung des organischen Abbaugrades wurde die oTR-Fracht mit $0,67 \times \text{CSB}$ berechnet. Bei dem Co-Substrat handelt es sich um fast feststofffreies Washwasser aus der Biodiesel-Herstellung. Es enthält u. a. Glycerin, Methanol ($< 2\%$) und freie Fettsäuren und hat einen CSB ca. 100 - 250 g/L. Das Washwasser ist als leicht abbaubar einzustufen und weist bei der Co-Vergärung in der Faulung eine Gasproduktion von ca. 450 L/kg CSB auf (Angabe KLA Lingen, s. Kapitel 3.2.2, Seite 31).

e. Kennwerte der Faulung

Das Volumen der beiden Faulbehälter beträgt $V_{\text{FB}} = 2 \times 2.050 \text{ m}^3 = 4.100 \text{ m}^3$.

Dargestellt ist in Abbildung 17 die mittlere Faulzeit, die sich als Quotient aus $V_{\text{FB}} / (\text{FS Menge} / \text{d})$ ergibt. Im Mittel betrug die Faulzeit demnach zwischen 28 und 30 Tagen und ist als ausreichend zu bewerten. Während der Faulschlamm-Desintegration wurde Faulschlamm über die thermische Desintegrationsanlage im Kreislauf gefahren, wodurch sich die Faulzeit rechnerisch auf 17,2 d verkürzt ($4.100 \text{ m}^3 / (137 \text{ m}^3/\text{d} \text{ Beschickung FB} + 101 \text{ m}^3/\text{d} \text{ Hydrolysat})$) wird. Die Mindest-Aufenthaltszeit von 15 d für eine stabile Methanogenese ist damit weiterhin gegeben.

Die mit $137 \text{ m}^3/\text{d}$ etwas geringere Menge für R2b lässt sich durch die stabilere, störungsfreiere maschinelle Primärschlammverdickung (seit September 2017) erklären.

Die Faulraumtemperatur lag im Mittel bei ca. $38 \text{ }^\circ\text{C}$ im mesophilen Bereich, mit nur sehr geringen Abweichungen.

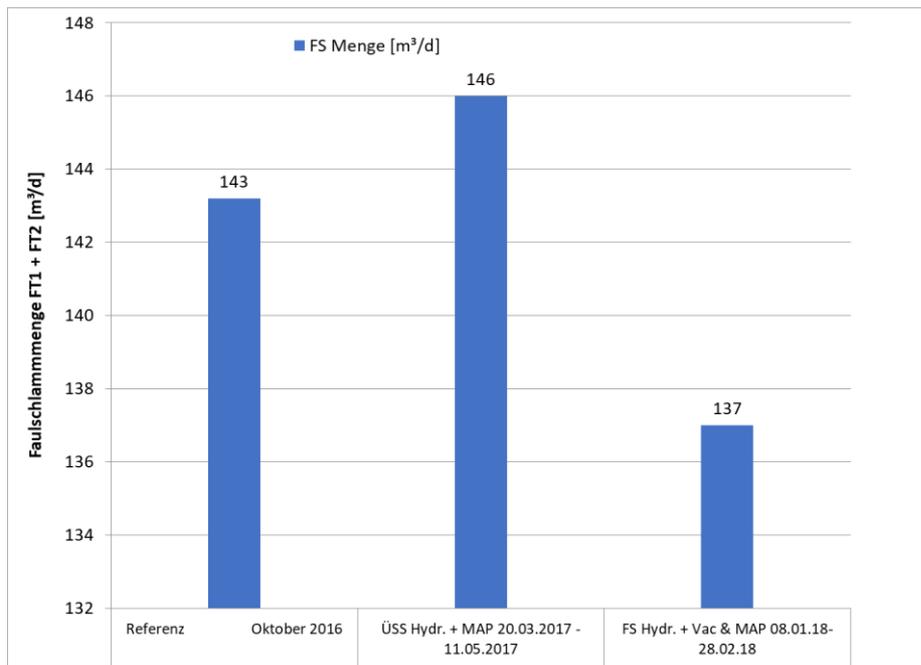


Abbildung 16: Schlammengen im Ablauf der Faulung

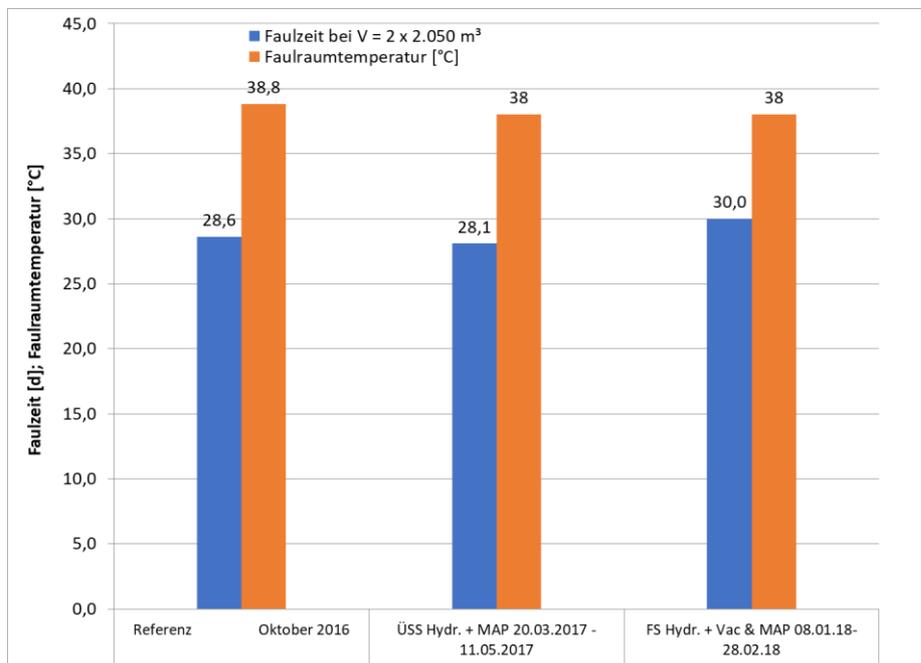


Abbildung 17: Faulzeit und Faulraumtemperatur im Mittel

f. Gasproduktion und Abbaugrad Schlammfäulung

Bei der Bilanzierung der Schlammfäulung ist jeweils die gesamte CSB-Fracht, bzw. oTR-Fracht im Eingang und Ausgang der Faulbehälter berücksichtigt worden. Für das feststofffreie Co-Substrat erfolgte eine Umrechnung der CSB-Fracht in die oTR-Fracht (= 0,67 x CSB-Fracht).

Der organische Abbaugrad der organischen Trockenmasse (η_{oTR}) sowie der erreichte CSB-Abbaugrad (η_{CSB}) steigern sich durch die ÜSS-Desintegration und die Faulschlamm-Desintegration von ca. 48% auf 59,1% – 62,0% signifikant.

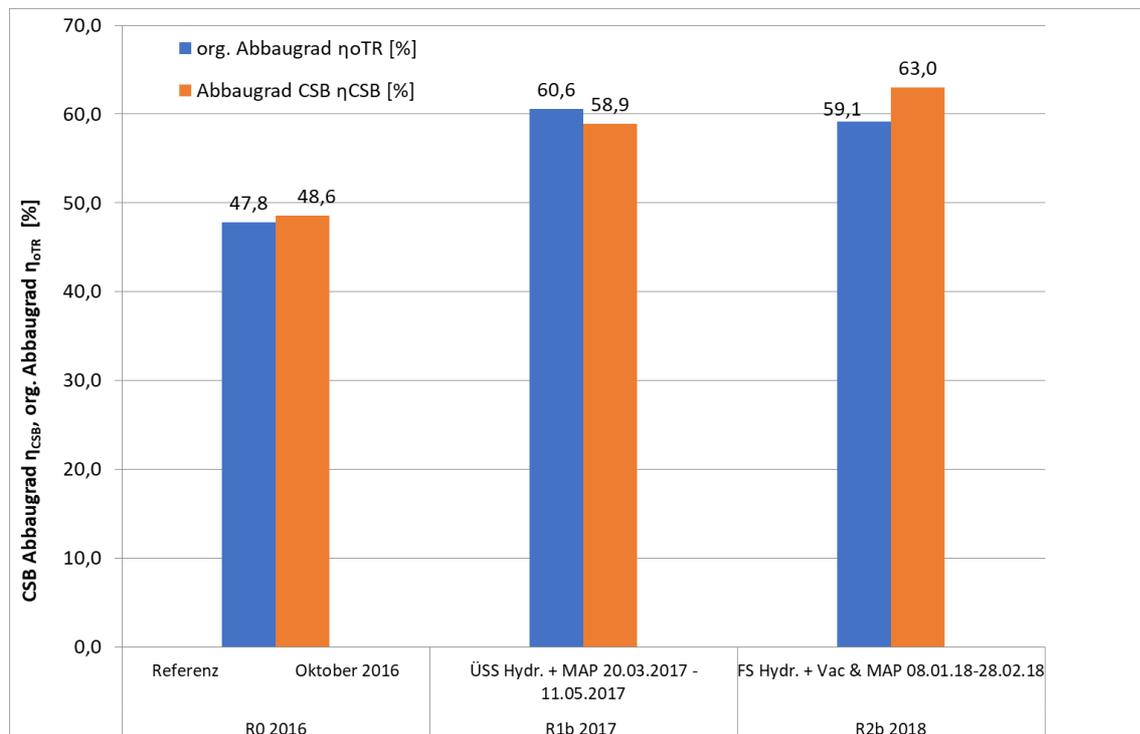


Abbildung 18: Organischer Abbaugrad (η_{oTR}) und CSB-Abbaugrad (η_{CSB}) der Fäulung

Die Gasproduktion und der organische Abbaugrad verhalten sich plausibel zueinander.

Die Gasproduktion konnte durch die thermische Schlamm-Desintegration im Vergleich zum Referenzzustand mit etwa 20% deutlich gesteigert werden. Hier konnte durch die thermische Desintegration der Gasanfall im Faulbehälter 2 um etwa 100% gesteigert werden.

Wird die Steigerung der Faulgasproduktion mit Literaturwerten des DWA M-302 „Klärschlamm-Desintegration“ (2016) verglichen liegt das Ergebnis im Erwartungsbereich von 20% (Tab. 14) bis 30% (Anhang B – Kopmann 2012, ÜS-Hydrolyse nach dem Cambi-Verfahren).

Die Netto-Gasproduktionen (ohne den Anteil produzierten Gases aus Co-Substrat) zeigen, dass bei Betrieb der Faulschlammhydrolyse die Gasproduktion im Vergleich zur ÜSS-Hydrolyse geringfügig abgenommen hat. Im Bilanzzeitraum R2b 2018 lag ein ÜSS-Anteil von 60% am Rohschlamm vor, also höher als in den beiden Bilanzzeiträumen davor (ca. 55% jeweils). Eine

Veränderung des Überschussschlammanteiles ist sowohl für die Entwässerung als auch Faulgasproduktion signifikant, da ÜSS sowohl deutlich weniger Faulgas produziert und sich schlechter entwässern lässt.

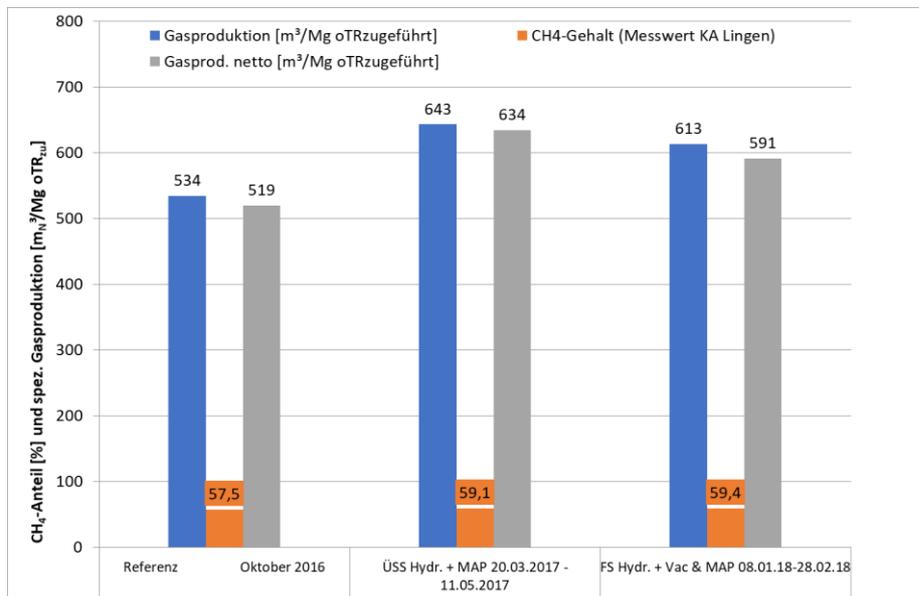


Abbildung 19: Gasproduktion und Gasqualität (Methan-Anteil)

Die Netto-Gasproduktion (ohne Anteil an Co-Substraten) ausgedrückt in L CH₄/E/d betrug im Referenzzeitraum 13,3 L CH₄/E/d und konnte deutlich durch die ÜSS-Hydrolyse auf 19,6 L CH₄/E/d gesteigert werden. Mit Faulschlammhydrolyse betrug die Gasproduktion 19,9 L CH₄/E/d. Hierbei ist ebenfalls berücksichtigt, dass der gemessene Methangehalt (z.B. 59,1% für R1b) bei Elimination des Gasanteils aus Co-Substrat auf 63,0% CH₄ ansteigt, da für den Methangehalt des Gases aus Co-Substrat mit 50% CH₄-Gehalt gerechnet werden kann.

g. Einfluss auf die Entwässerbarkeit/Konditionierung



Abbildung 20: Großtechnische Entwässerungsergebnisse und Kennwerte TR(A) in R0, R1b und R2b

Es konnte im Vergleich zum Referenzzeitraum Oktober 2016 jeweils eine deutliche Verbesserung der Entwässerbarkeit (+ 6 bis +7% TR Punkte) durch die ÜSS-/FS-Desintegration und gezielte MAP-Fällung festgestellt werden. Gegenüber 23% TR im Referenzzeitraum konnte das großtechnische Entwässerungsergebnis auf über 29% TR gesteigert werden. Die Verbesserung der Entwässerbarkeit wirkt sich signifikant auf die Entsorgungskosten aus.

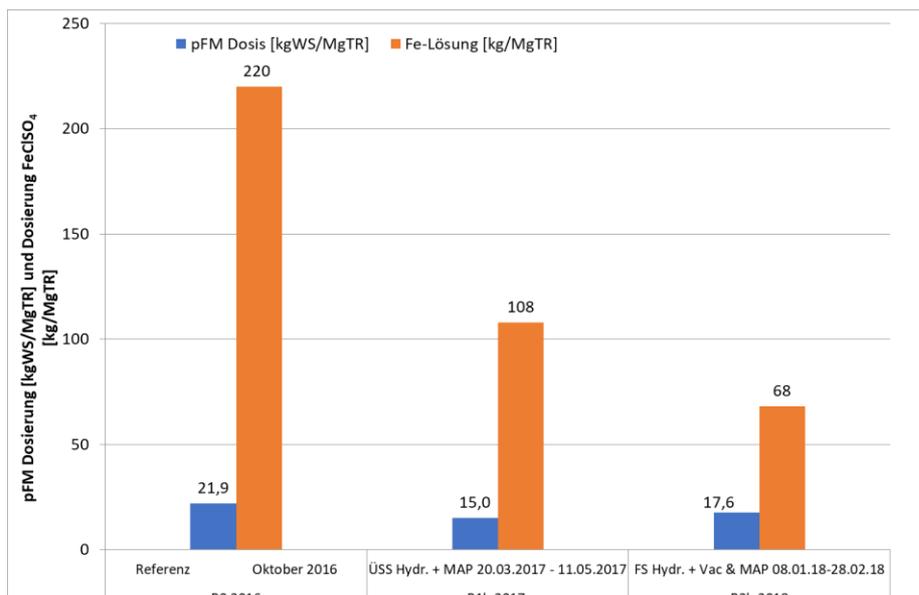


Abbildung 21: Polymerdosis (kg WS/t TR) und eingesetzte Eisensalzlösung (42%ig, in kg/Mg TR)

Zusätzlich zu einer verbesserten Entwässerbarkeit ist bei Betrieb mit Schlamm-Desintegration und anschließender gezielter Phosphatfällung der Bedarf an polymerem Flockungsmittel um 20 - 30%, auf 15 kg WS/Mg TR (- 7 kg WS/Mg TR in R1b), bzw. auf 17,6 kg WS/Mg TR in R2b) reduziert worden. Ebenfalls verringerte sich die eingesetzte Menge an Fe-Salz bei Betrieb der Faulschlammhydrolyse um 70% im Vergleich zum Referenzzeitraum.

Bezogen auf Einwohner und Tag, stellte sich die Variante mit ÜSS-Desintegration im Hinblick auf den spez. Schlammanfall (entwässerter Klärschlamm in Mg OS/E/d) am günstigsten, jedoch vergleichbar mit der Faulschlamm-Desintegration, dar. Im Vergleich zur Referenz fallen bei R1b und R2b ca. 20% weniger Schlamm pro E/d an, absolut gesehen reduziert sich die zu entsorgende Klärschlammmenge um ein Drittel. Der Schlammanfall Mg OS (entwässerter Klärschlamm) war bei dem Betrieb mit der thermischen ÜSS-Desintegration am geringsten.

Im zeitlichen Verlauf, dargestellt über den gesamten Versuchszeitraum Oktober 2016 bis Februar 2018, ist die Verbesserung der Entwässerbarkeit deutlich erkennbar (siehe [Abbildung 23](#)). Zur Faulschlamm-entwässerung kam im Referenzzeitraum die Schlauchfilter-Pressen (Bucher) zum Einsatz und erreichte im Mittel 23,1% TR, danach wurde mit dem ebenfalls installierten Dekanter (Hiller Decapress) entwässert. Die Grafik macht deutlich, dass im Jahresgang, vor allem in den Sommermonaten (Juli bis September), Entwässerungsergebnisse von über 30% TR nach thermischer Schlamm-Desintegration mit LysoTherm® und MAP-Fällung mit EloPhos® zu erwarten sind.

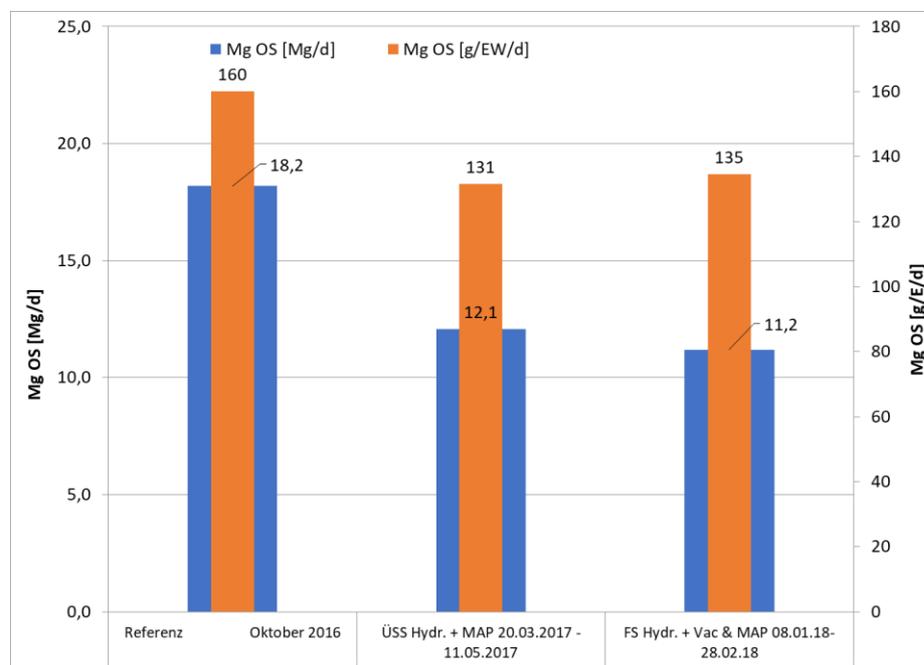


Abbildung 22: Entsorgte entwässerte Klärschlammmenge (Mg OS) in [Mg/d] und [g/E/d]

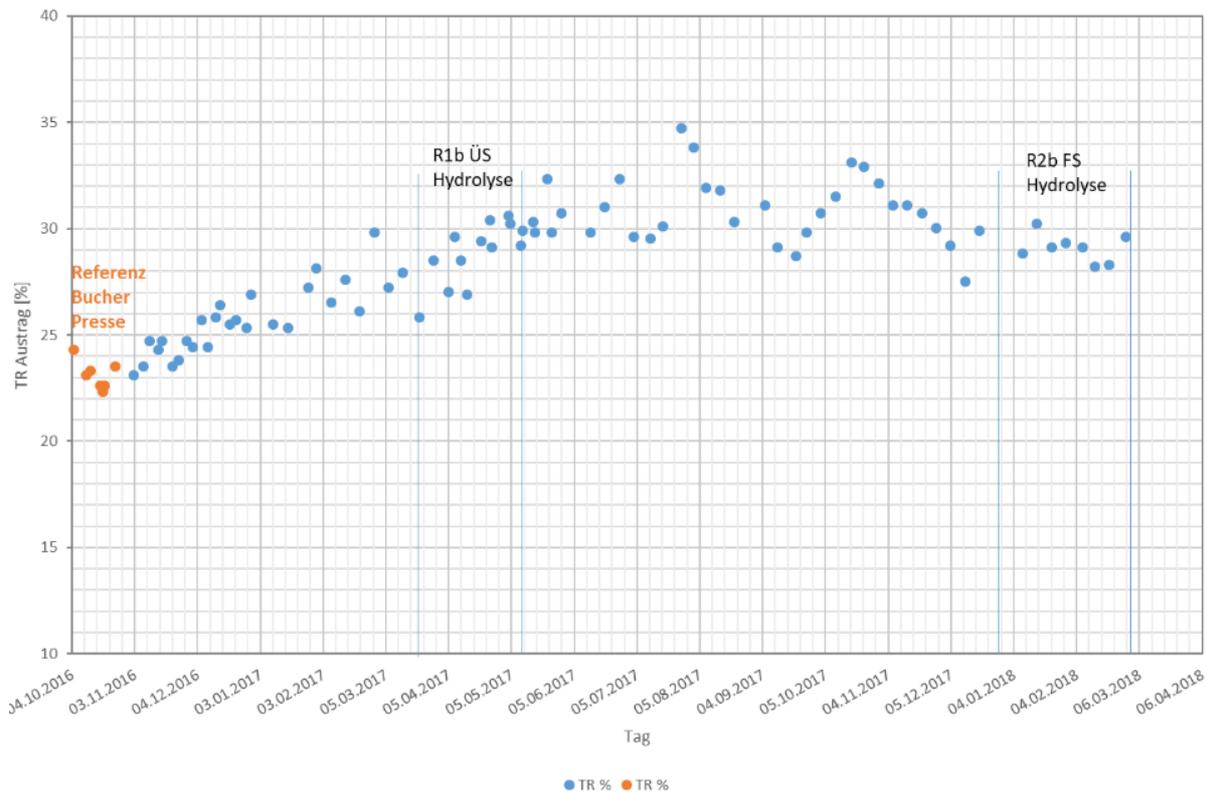


Abbildung 23: TR-Austrag Entwässerung im zeitlichen Verlauf (01.10. 2016 – 28.02.2018)

An dieser Stelle sei angemerkt, dass bei der derzeitigen Entsorgungssituation (Monoverbrennung von Klärschlämmen) die Verbrennungsanlagen TR-Gehalte im Klärschlamm $> 20\%$ TR in Hinblick auf die Förderfähigkeit fordern. Zu beachten ist jedoch, dass ebenfalls ein TR $> 30\%$ TR nicht erwünscht ist im Hinblick auf die Kosten der Ascheentsorgung und den Wärmekonzepten der Verbrennungsanlagen. Eine noch weitere Steigerung der Entwässerungsergebnisse ist vor diesem Hintergrund und im Hinblick auf die derzeitige Entsorgungssicherheit nicht zielführend.

h. Rückbelastung aus der Schlammentwässerung

Durch das Schlammdeintegrations-Verfahren, das in Lingen mit einer Temperatur von 158°C gefahren wird, ist eine Zunahme der refraktären CSB-Verbindungen im Schlammwasser, insbesondere bei Betrieb der Faulschlammdeintegration, feststellbar. Die Erhöhung der Rückbelastung mit hartem CSB um ca. 55 - 80 kg/d entspricht rechnerisch einer Erhöhung des Ablaufwertes von 4 - 6 mg CSB/L wenn die CSB-Fracht auf die Abwassermenge umgerechnet wird. Ursache dafür sind thermische Veränderungen von Proteinen (Maillard-Reaktion). Mit steigender Behandlungstemperatur und Zeit nimmt der Anteil zu. Der Anstieg ist vergleichbar mit dem anderer thermischer Schlammdeintegrationsverfahren bei ähnlichen Betriebstemperaturen [10].

Auf der Kläranlage Lingen ist ein Überwachungswert von 200 mg/L für den CSB und 16 mg/L für den anorganischen Stickstoff (Summe Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) im Ablauf einzuhalten. Diese Werte sind deutlich höher als bei typischen kommunalen Kläranlagen aufgrund des Einflusses/unvollständigen Abbaus des Abwassers des Grobeinleiters, der Acrylfasern herstellt. In Tabelle 8 sind die mittleren CSB-Ablaufwerte gegenübergestellt. Betrieblich wird ein CSB-Ablaufwert von 140 - 150 mg/L, je nach Zulaufbelastung des

Großeinleiters angestrebt. Die Erhöhung des CSB-Ablaufwertes um die oben berechneten 4 bis 6 mg/L konnte nicht in den Betriebsdaten wiedergefunden werden. Dieses wird auf betriebliche und jahreszeitliche Schwankungen und darauf zurückgeführt, dass ein Teil der refraktären CSB-Verbindungen womöglich am Belebtschlamm adsorbiert.

Jahr	CSB-Ablauf (Jahresmittelwert) mg/L	Bemerkungen
2010	157	
2011	129	
2012	135	
2013	155	
2014	149	
2015	142	
2016	136	
2017	117	dreimonatiger Stillstand des Großeinleiters
2018	141	01.01.18 – 30.06.18

Tabelle 8: CSB-Mittelwerte vom Gesamtablauf der KLA Lingen 2010 - 2018

Die Phosphor-Rückbelastung (als Fracht) ist zu vernachlässigen, da durch das EloPhos®-Verfahren gezielt und effektiv Phosphor eliminiert wird.

Die Ammonium-Rückbelastung (als Fracht) erhöht sich durch die Schlammintegration um etwa 30 kg/d. Sie liegt bei etwa 15% der Ammonium-Zulauf-Fracht zur KLA Lingen (im Vergleich zu R0, d. h. vorher 12%).

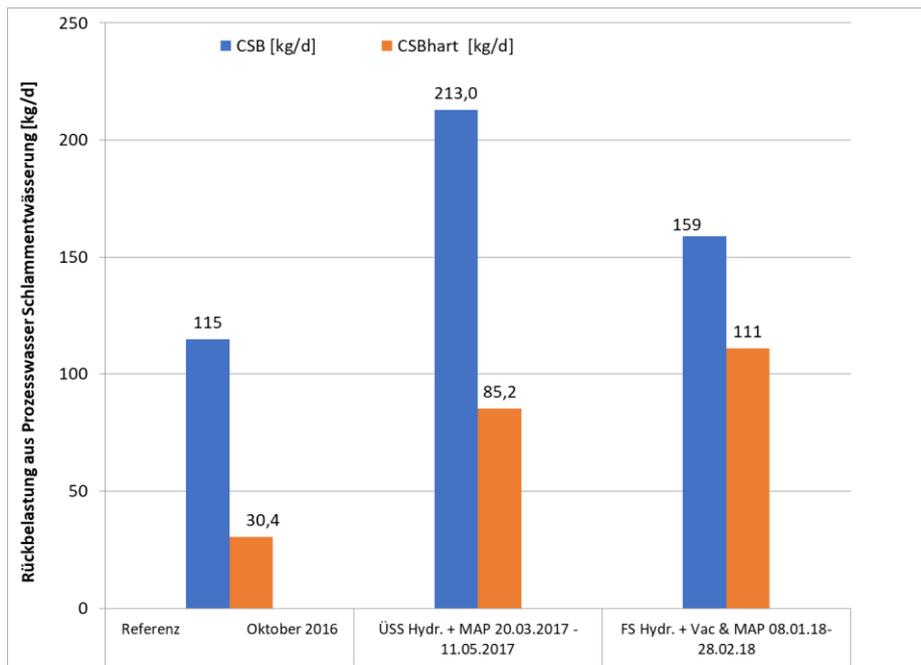


Abbildung 24: CSB-Rückbelastung im Schlammwasser der Entwässerung

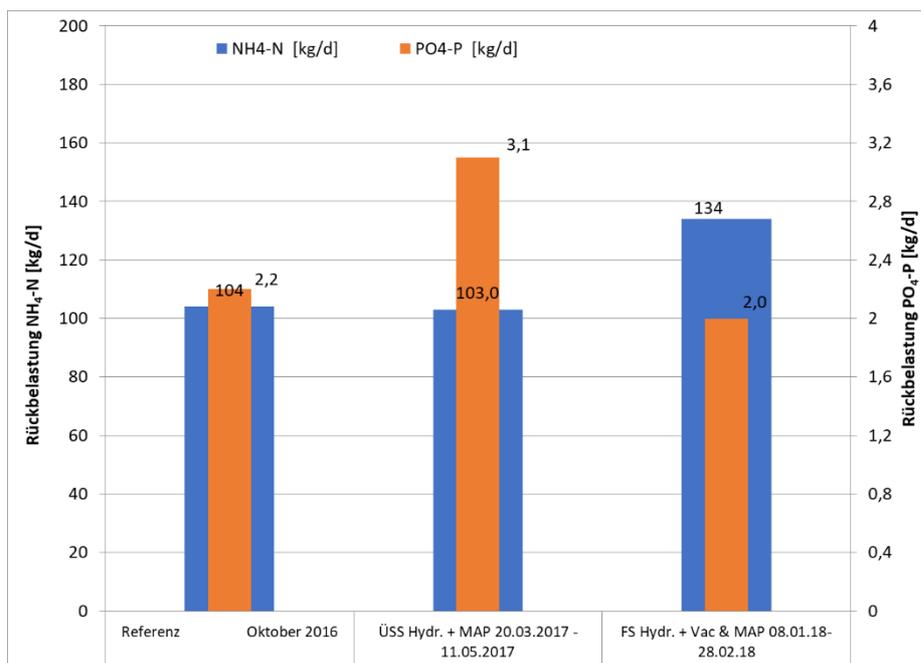


Abbildung 25: Ammonium- und Phosphor-Rückbelastung im Schlammwasser der Entwässerung

i. Analysenergebnisse der Schlammproben

Zum Ende der Bilanzzeiträume R0, R1b und R2b wurden vom Primär-, Überschuss-, dem Ablauf der Faultürme oder der EloPhos-Anlage und dem entwässerten Klärschlamm Proben gezogen und von der LUFA Nordwest in Hameln unter anderem auf Nährstoffparameter, Schwermetalle, AOX, PFT und PCB analysiert. Eine Übersicht der LUFA-Analysen ist in der folgenden Tabelle 9 für ausgewählte Parameter zusammengefasst. Es wird deutlich, dass es durch die neu eingebundene Verfahrenstechnik der thermischen Desintegration und der MAP-Fällung zu keiner

Erhöhung an Schwermetallen oder organischen Schadstoffen kommt, bei fast allen Schwermetallen aus R1b und R2b liegen die Konzentrationen unter den Werten aus dem Bilanzzeitraum R0 bzw. 2016. Ausnahme ist der höhere Wert beim Parameter Blei im Messzeitraum R1, welche durch eine externe Einleitung verursacht wurde.

Der P-Gehalt im Primärschlamm liegt mit durchschnittlich 6 kg P/Mg TR weit unter dem des Überschussschlammes mit 36 kg P/Mg TR. Bei den Gesamtstickstoffgehalten verhält es sich ähnlich, 26 kg N/Mg TR im Primärschlamm zu 83 kg N/Mg TR.

Parameter	Einheit	Grenzwerte		Mittelwert aus (R0+R1b+R2B)	Mittelwert aus (R0+R1b+R2B)	Referenz R0	ÜSS - Hydrolyse	FS - Hydrolyse	ÜSS - Hydrolyse	FS - Hydrolyse	Elophos
		AbfKlärV	DüMV	Primärschlamm (einged.)	Überschussschlamm	Faulschlamm R0 2016	Faulschlamm R1b 2017	Faulschlamm R2b 2018	entw. Klärschl. R1b	entw. Klärschl. R2b	MAP
TR	%			4,69	5,39	2,17	2,75	2,42	29,5	30,8	62,0
oTR	%			4,28	4,27	1,50	1,86	1,61	21,0	21,9	19,4
GV	%			90,8	79,2	69,2	67,8	66,2	71,2	71,1	30,2
pH	%			5,97	6,43	7,20	7,40	7,45	8,40	7,70	7,50
N _{ges}	%			25,9	83,3	88,9	81,8	111	60,2	63,5	85,8
P ₂ O ₅	kg/t TM			13,5	82,7	83,4	73,2	84,8	78,8	79,5	453
P _{ges}	kg/t TM			5,91	36,1	36,4	32,0	37,0	34,4	34,7	198
MgO	kg/t TM			3,89	10,4	12,6	13,3	10,8	22,2	25,6	246
Arsen (AS)	mg/kg TM		40	5,02	0,78	8,31*	8,70	11,2	9,95	8,62	0,48
Blei (Pb)	mg/kg TM		150	15,2	72,9	141*	162	91,7	194	99,1	84,3
Cadmium (Cd)	mg/kg TM		1,5	0,21	0,57	0,97*	0,67	0,83	0,88	0,85	
Chrom (Cr)	mg/kg TM			16,9	23,3	46,7*	38,0	34,1	41,7	38,4	24,5
Chrom VI	mg/kg TM		2						<1	<1	
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	900		88,9	230	321*	260	292	323	300	22,5
Nickel (Ni)	mg/kg TM		80	16,6	11,1	28,5*	23,0	19,8	25,4	21,6	8,6
Quecksilber (Hg)	mg/kg TM		1	0,24	0,23	0,62*	0,44	0,46	0,49	0,49	0,52
Zink (Zn)	mg/kg TM	4000		289	287	636*	568	502	607	520	31,0
Thallium (Tl)	mg/kg TM		1	0,06	0,26	0,63*	0,74	0,34	0,97	0,34	0,03
PCB 180	mg/kg TM	0,1							<0,01	<0,01	
WHO-TEQ PCDD/F und dl-PCB	mg/kg TM		30		3,40		3,85	4,34	3,70	5,29	1,88
PFT (Summe PFOA + PFOS)	mg/kg TM		0,1		0,10		0,01	0,03	0,03	0,03	
AOX als Cl	mg/kg TM	400		176,0	240	264*	204	210	254	204	83,4

* Aus der Lufa-Analyse vom 28.06.16 (Klärschlamm-flüssig)

Tabelle 9: Analysenergebnisse der Schlammproben, Bilanzzeiträume R0, R1b und R2b

3.2.6 P-Recycling

In Hinblick auf die Bewertung des P-Recycling wurde die eingesetzte Menge an Magnesiumchlorid betrachtet und die Analysen der LUFA zusammenfassend bewertet. Die EloPhos®-Anlage wurde mit einem β -Wert von 1,5 voreingestellt in Bezug auf die gelöste Phosphatkonzentration im Faulschlamm. Die vorhandene Magnesiumkonzentration im Faulschlamm wurde nicht berücksichtigt. Die folgende Abbildung 26 zeigt die Sollwerte der MAP-Fällung.

Sollwerte MgCl ₂ -Dosierung		
Formel für Sollwertberechnung:		
$V_{MgCl_2} = V_{Faulschl.} \times \frac{C_{PO_4-P}}{C_{MgCl_2}} \times \frac{95}{31} \times \frac{\beta}{p}$		+27,4 l/h
Faulschlammmenge [KA-PR-MF-101]	$V_{Faulschl.}$	+7,7 m ³ /h
PO ₄ -P im Faulschlamm	C_{PO_4-P}	+300,0 mg/l
Massenkonzentration MgCl ₂	C_{MgCl_2}	+0,3 kg/kg
Dichte der MgCl ₂ -Lösung	p	+1300 kg/m ³
β-Faktor für MgCl ₂ -Dosierung	β	+1,5
maximaler MgCl ₂ -Dosiersollwert		+30,0 l/h
minimaler MgCl ₂ -Dosiersollwert		+5,0 l/h
Max-Alarmgrenzwert MgCl ₂ -Behälter		+100,0 %
Vollgrenzwert MgCl ₂ -Behälter -> Nachf.warn. Aus		+30,0 %
Leergrenzwert MgCl ₂ -Behälter -> Nachf.warn. Ein		+20,0 %
Min-Alarmgrenzwert MgCl ₂ -Behälter		+5,0 %
Rücksalthyst. Min/Max-Alarm - MgCl ₂ -Behälter		+0,1 %
		+90,2 %

Abbildung 26: Sollwerte der MAP-Fällung auf der KLA Lingen mit dem EloPhos®-Verfahren

Das eingesetzte MgCl₂ ist als 30%ige Lösung mit einer Dichte von 1,3 g/cm³ vorhanden. Aus den Betriebsdaten (Datensammlung Lysotherm_Lingen_Phase_3_17-08-31) wurde der β-Wert für die P-Fällung mit MgCl₂ kontrolliert. Dazu wurde zunächst die PO₄-P-Konzentration des Faulschlammes im Zulauf der EloPhos® berechnet aus den Faulschlammengen Ablauf FT1 und FT2 und den dort gemessenen Phosphat-Konzentrationen. Für R1b sind nur die Messwerte für FT2 relevant, da nur der ausgefaulte Überschussschlamm durch die EloPhos®-Anlage geleitet und behandelt wurde. Das Magnesium im Faulschlamm wird nicht berücksichtigt. Gemäß Aussage des Betriebes [11] konnten bisher keine relevanten Mengen an MAP aus der EloPhos®-Anlage ausgeschleust werden. Die Menge an MAP berechnet aus der Menge MAP-Kristalle, die die vom Hydrozyklon zum Schlamm Speicher gehen, beträgt ca. 82 kg MAP/d (Betrieb Zyklon bei 5 m³/h). Hier steht noch eine verfahrenstechnische Optimierung aus.

Bei der thermischen Faulschlammdeintegration (R2b) lagen die Gesamtphosphat-Gehalte im Schlamm im Ablauf der Faultürme bei durchschnittlich 938 mg Ges-P/l, die ortho-Phosphat-Gehalte bei 327 mg PO₄-P/l. Im Ablauf der EloPhos® stellte sich im Mittel ein ortho-Phosphat-Gehalt von 62 mg PO₄-P/l ein (Abbildung 27). Damit sind etwa 80% als MAP gefällt worden. Technisch möglich ist bei diesen Verfahren derzeit eine Ausschleusung von etwa 35 - 40% der MAP-Kristalle aus dem Klärschlamm, das sind in diesem Fall etwa 14 kg P/d. Bezogen auf die P-Fracht im Zulauf der Kläranlage Lingen bedeutet das eine Rückgewinnungsrate von ca. 13%. Für den Lingener Klärschlamm ergibt sich ein Rückgang von 37 kg P/Mg TR auf 32 kg P/Mg TR.

Eine Rückgewinnungsrate von > 50% bzw. eine Reduzierung auf P-Gehalte < 2% gemäß Forderungen der Klärschlammverordnung von 2017 sind mit der MAP-Fällung nicht darstellbar.

Eine P-Rückgewinnung von mehr als 50% über Fällungsverfahren erfordert grundsätzlich die Umwandlung von gebundenem Phosphor in gelöstes ortho-Phosphat. Nur dieses gelöste Phosphat kann auch gefällt und später aus dem Prozess in Form von Kristallen abgeschieden werden. Der mögliche Grad der Phosphat-Freisetzung ist stark abhängig insbesondere auch von der Betriebsweise der Kläranlage. So ist diese für Kläranlagen mit biologischer Phosphat-Elimination deutlich höher als für Kläranlagen mit chemischer Phosphat-Fällung. Durch

LysoTherm® wird die Phosphat-Freisetzung aufgrund der Auflösung von Zellstrukturen sowie des verbesserten anaeroben Abbaus deutlich erhöht, jedoch ist selbst hier nur eine Phosphat-Freisetzung in Höhe von ca. 30 – 35% des im Faulschlamm enthaltenen Gesamt-Phosphats zu erreichen. Zudem wird in der neuen Klärschlammverordnung der Abreicherungsgrad nicht auf die Fracht, sondern auf die absoluten Konzentrationen (g P/kg TR) bezogen. Bei Einsatz von LysoTherm® zur Thermo-Druck-Hydrolyse wird ein stark verbesserter Abbau erzielt, in dessen Folge die TR-Konzentration des ausgefaulten Schlammes stärker verringert wird als bei einer konventionellen Faulung. Damit kann im Extremfall die absolute P-Konzentration (g P/kg TR) trotz vorheriger P-Abscheidung sogar noch steigen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass nur ca. 30% der gebildeten MAP Kristalle eine ausreichende Kristallgröße für eine Abscheidung aus der Schlammmatrix erreichen.

Signifikant ist die Verbesserung der Entwässerung. Ein P-Recycling wird zukünftig aus den Aschen einer Klärschlamm-Mono-Verbrennung sichergestellt werden.

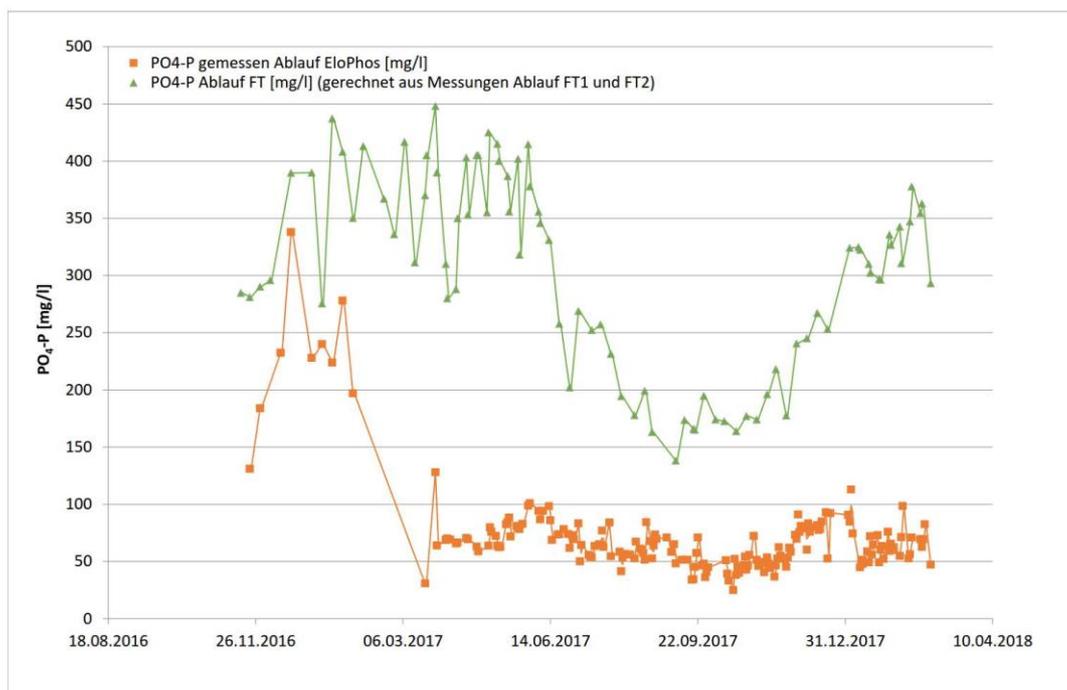


Abbildung 27: Kennwerte der MAP-Fällung durch das EloPhos®-Verfahren auf der KLA Lingen

3.3 Ergebnisse des Messprogramms: Energiebilanz

Im Rahmen des Messprogramms wurde für die Kläranlage Lingen auch eine Energieanalyse gemäß DWA-A 216 durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Anhang 1 detailliert dargestellt.

Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Kläranlage besitzt eine Ausbaugröße von 195.000 EW.

Die auf den CSB bezogene 85%-Perzentil Anschlussgröße beträgt 105.489 EW. Die Auslastung der Kläranlage beträgt somit nur 54%. Die auf den Parameter CSB bezogene mittlere Anschlussgröße beträgt 86.309 EW.

Die TKN-Stickstoffbelastung ist mit im Mittel 139.517 EW deutlich höher. Neben dem angeschlossenen Trennsystem leitet der Industriebetrieb Dralon signifikante Abwassermengen hinter der mechanischen Stufe der Kläranlage ein. Dieses Abwasser zeichnet sich durch schlecht abbaubare Kohlen- und Stickstoffverbindungen aus.

Seit dem Jahr 2011 wurde eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durchgeführt:

- 2011: Außerbetriebnahme einer Beckenstraße
- 2014: Erneuerung der Belüfterelemente
- 2014/2015: Austausch der Rührwerke in der Belebung
- 2016: Austausch eines Turbogebläses der Belebung
- 2016: Sanierung der Faulbehälter

Der absolute Stromverbrauch ist seit 2011 rückläufig. Der Verbrauch ging von 3.439.579 kWh/a auf 2.871.677 kWh/a zurück (Verbrauch inklusive Strombedarf für Fernwärme). Der spezifische Stromverbrauch der Gesamtanlage ist hingegen von 26 kWh/(E·a) (2011) auf 33 kWh/(E·a) (2017) angestiegen (Verbrauch inklusive Strombedarf Fernwärme). Die Verschlechterung des spezifischen Verbrauchs trotz energetischer Optimierung ist darauf zurückzuführen, dass bei einem Rückgang der Kläranlagenbelastung von 2011 bis 2017 um 34% die Abwassermenge weitestgehend konstant geblieben ist. Hinzu kommt, dass der konstante Verbrauch der Kläranlageninfrastruktur (z. B. Abluftbehandlung) und einigen Anlagenteilen (z. B. Schlammumwälzung der Faultürme, Rührwerke der biologischen Stufe) bei rückläufiger Belastung zunehmend ins Gewicht fällt. Darüber hinaus führen die im Rahmen des Förderprojektes umgesetzten Maßnahmen (LysoTherm®, etc.) zwar zu einer Steigerung der Energieproduktion, sind gleichzeitig jedoch auch mit einer Erhöhung des Verbrauchs verbunden – siehe nachfolgende Tabelle 10.

Maßnahmen	spezifischer Verbrauch [kWh/(E*a)]	Absoluter Verbrauch [kWh]
LysoTherm®	2,02	174.002
EloPhos®	0,28	24.134
PS-Eindickung	0,69	59.402
Biogasentschwefelung	0,35	30.279

Tabelle 10: Stromverbrauch der im Förderprojekt umgesetzten Maßnahmen

Der Faulgasanfall beträgt 14,3 m_N³/(E*a); 2,6 m_N³/(E*a) sind dabei auf die thermische Schlammdeintegration zurückzuführen. Der Gasanfall aus der konventionellen

Überschussschlammintegration wird über einen spezifischen Gasertrag von $0,288 \text{ m}_N^3/\text{kg oTR}_{\text{zugeführt}}$ zu $250.000 \text{ m}^3/\text{a}$ berechnet. Bei einer Gesamtgasproduktion des Faulbehälters von $491.000 \text{ m}^3/\text{a}$ beträgt demnach der der Schlammintegration zuzuordnende Faulgasanfall $241.000 \text{ m}^3/\text{a}$. Die oTR-spezifische Gasausbeute aus dem Überschussschlamm wird nach dieser Abschätzung durch die LysoTherm®-Anlage fast verdoppelt.

Die der LysoTherm®-Anlage zuzuordnende Mehrproduktion an Strom beträgt, nach Abzug des Stromverbrauchs der Anlage, $275.000 \text{ kWh}/\text{a}$. Das erzeugte Faulgas wird annähernd zu 100% verstromt. Der Strombedarf der Kläranlage kann zu 83% aus dem erzeugten Faulgas gedeckt werden. Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW beträgt im Betrieb 33%. Der Eigenversorgungsgrad mit Wärme beträgt 100%, zudem wird überschüssige Wärme über ein Fernwärmenetz abgegeben.

Der Strombedarf für die Belüftung der KLA Lingen liegt im Jahr 2017 mit $10,6 \text{ kWh}/(\text{E}^*\text{a})$ nahe am Idealwert von $10,1 \text{ kWh}/(\text{E}^*\text{a})$. Das rechnerische Einsparpotential von $41.000 \text{ kWh}/\text{a}$ zeigt, dass die Turboverdichter und Druckbelüfter energetisch sehr gut optimiert und eingestellt sind. Der einwohnerspezifische Stromverbrauch liegt für die Rechenanlage, die Rührwerke der biologischen Stufe, die Rücklaufschlammförderung und die Klärschlammmentwässerung ebenfalls sehr nah an den Idealwerten.

Durch die Energieanalyse konnte trotz der bereits umgesetzten Optimierungsmaßnahmen ein Einsparpotenzial bei einzelnen Verfahrensstufen aufgezeigt werden. Es wurden Maßnahmen ausgearbeitet, mithilfe derer der Strombedarf der Kläranlage weiter verringert werden kann. Bei einer Umsetzung aller ausgearbeiteten Maßnahmen kann der Gesamtstromverbrauch (exkl. Strombedarf Fernwärme) von $2.801.823 \text{ kWh}/\text{a}$ auf $2.672.841 \text{ kWh}/\text{a}$, bzw. spezifisch von $32 \text{ kWh}/(\text{E}^*\text{a})$ auf $31 \text{ kWh}/(\text{E}^*\text{a})$ reduziert werden. Allerdings liegt die mögliche Reduktion des Gesamtstromverbrauches im Bereich kleiner als 5%, was ein deutlicher Hinweis auf den bereits jetzt weitestgehend energetisch optimierten Betrieb der Kläranlage ist.

Für eine bessere Bilanzierbarkeit des Energiebedarfs wird empfohlen, die vorhandenen Energiezähler, sofern technisch möglich, digital auszulesen und die aufgezeichneten Energiemengen mit in die Monatsberichte aufzunehmen, wie es bei den Gebläsen und der LysoTherm®-Anlage bereits heute erfolgt.

Aus energetischer Sicht wurden die Ziele des Fördervorhabens erreicht.

3.4 Umweltbilanz

3.4.1 Bilanzierungsdaten

Durch die im Förderprojekt durchgeführten Maßnahmen konnte die Umweltbilanz der gesamten Kläranlage erheblich verbessert werden. Diese Verbesserungen resultieren im Wesentlichen aus:

- Einer deutlich höheren Gasproduktion durch den höheren Abbau der organischen Fracht in der Faulung sowie der Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie aus dem Klärgas und damit einhergehender Substitution fossiler Energieträger.
- Der Verringerung des Transportaufwandes für die Entsorgung des entwässerten Faulschlammes durch den höheren Abbau der organischen Fracht in der Faulung und dem höheren Trockenstoff-Gehalt im entwässerten Schlamm.
- Der Vermeidung von Methan-Emissionen durch die Vakuum-Entgasung des Faulschlammes vor der Phosphat-Fällung und –Rückgewinnung.

Die vorstehend genannten Verbesserungen werden in den folgenden Kapiteln unter dem Aspekt der Verbesserung des CO₂-Fußabdruckes der Kläranlage bzw. der Vermeidung von CO₂-Emissionen näher erläutert. Da während der Projektlaufzeit auch die auf der Kläranlage anfallenden Rohschlämme signifikant zurückgegangen sind, werden in den nachfolgenden Erläuterungen die im Endzustand anfallenden Rohschlamm-Mengen und –Frachten für den Vergleich herangezogen. In der nachstehenden Tabelle 11 sind die für die Bilanzierung relevanten Daten wiedergegeben:

Kenndaten	Einheit	Wert
PS TR-Fracht	Mg TR/d	2,16
	Mg TR/a	788
PS oTR-Fracht	Mg oTR/d	1,79
	Mg oTR/a	653
ÜSS TR-Fracht	Mg TR/d	3,31
	Mg TR/a	1.208
ÜSS oTR-Fracht	Mg oTR/d	2,63
	Mg oTR/a	960
Rohschlamm TR-Fracht gesamt, ohne Co-Substrat	Mg TR/d	5,47
	Mg TR/a	1.996
Rohschlamm oTR-Fracht gesamt, ohne Co-Substrat	Mg oTR/d	4,42
	Mg oTR/a	1.613

Tabelle 11: Kenndaten der Schlämme zur Bilanzierung

3.4.2 Substitution fossiler Energieträger

Anhand der nachstehenden Tabelle 12 kann die Berechnung der durch die im Rahmen des Projektes umgesetzten Maßnahmen vermiedenen CO₂-Emissionen nachvollzogen werden. Verglichen werden hier der Ausgangszustand im Bilanzzeitraum R0 mit dem Endzustand im Bilanzzeitraum R2b.

Kenndaten	Einheit	Wert R0	Wert R2b
Rohschlamm oTR-Fracht zur Faulung	Mg oTR/a	1.558	1.558
Spezifische Gasproduktion (ohne Co-Substrat)	m ³ /Mg oTR _{zugeführt}	519	590
Gasproduktion (ohne Co-Substrat)	m ³ /a	808.602	919.220
Mehrgasertrag	m ³ /a		110.618
Unterer Heizwert des Klärgases (58% CH ₄)	kWh/m ³		5,8
Mehrertrag an Primärenergie	MWh/a		642
BHKW-Wirkungsgrad thermisch (@ 100% Last)	-		47,4%
BHKW-Wirkungsgrad elektrisch (@ 100% Last)	-		38,7%
Erzeugbare thermische Energie aus Mehrgasertrag	MWh/a		304
Erzeugbare elektrische Energie aus Mehrgasertrag	MWh/a		248
Spezifische CO ₂ -Emissionen			
- zur Erzeugung thermischer Energie ¹⁾	kg CO ₂ /MWh		393
- zur Erzeugung elektrischer Energie ²⁾	kg CO ₂ /MWh		489
Vermiedene CO ₂ -Emissionen			
- aus der Erzeugung thermischer Energie	Mg CO ₂ /a		119
- aus der Erzeugung elektrischer Energie	Mg CO ₂ /a		121
- GESAMT	Mg CO ₂ /a		240

¹⁾ https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/Nl/kategorie/waerme/auswahl/734-spezifische_co2-emis/, aufgerundet

²⁾ UBA, Strommix berechnet für das Jahr 2017

Tabelle 12: Detaildaten zur Substitution fossiler Energieträger

Aus der Substitution fossiler Energieträger ergeben sich aus dem Mehrgasertrag vermiedene CO₂-Emissionen in Höhe von 240 Mg/a.

3.4.3 Verringerter Transportaufwand für die Entsorgung des Faulschlammes

Nachstehend sind in der Tabelle 13 die der Bilanzierung zugrunde gelegten Daten wiedergegeben:

Kenndaten	Einheit	Wert R0	Wert R2b
Rohschlamm TR-Fracht zur Faulung	Mg TR/a	1.996	1.996
Rohschlamm oTR-Fracht zur Faulung	Mg oTR/a	1.558	1.558
oTR-Abbau in der Faulung	-	48%	63%
	Mg oTR/a	748	982
Faulschlamm oTR-Fracht zur Entwässerung	Mg oTR/a	810	576
Faulschlamm TR-Fracht zur Entwässerung	Mg TR/a	1.248	1.014
Entwässerung	TR(A)	23,1%	29,8%
Filterkuchen	Mg OS/a	5.403	3.403
Reduktion der Filterkuchenmasse	Mg OS/a		2.000
Ladekapazität des Transport-LKWs	Mg	25	25
Anzahl vermiedener LKW-Transporte	-		80
Einfache Transport-Entfernung (Lingen – Ibbenbüren)	km	47	47
Spezifische CO ₂ -Emissionen beim LKW-Transport	kg CO ₂ /Mg/km	0,104	0,104
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	Mg CO ₂ /a		8,3

Tabelle 13: Bilanzdaten für verringerten Transportaufwand

Aus dem verringerten Transportaufwand für die Entsorgung des entwässerten Faulschlammes aufgrund des höheren Abbaus durch die Thermo-Druck-Hydrolyse ergeben sich vermiedene CO₂-Emissionen in Höhe von 8,3 Mg/a.

3.4.4 Vermeidung von Methan-Emissionen bei der Phosphat-Fällung

Methan-Emissionen bei der Phosphat-Fällung werden durch die Vakuum-Entgasung vermieden.

Die Daten zur Berechnung der Vermeidung von Methan-Emissionen und die Verbesserung des CO₂-Fußabdruckes sind in der nachfolgenden Tabelle 14 zusammengefasst:

Kenndaten	Einheit	Wert R2b
Spezifisches Gasvolumen pro m ³ Faulschlamm	m _N ³ /m ³	0,34
Methan-Gehalt des entzogenen Gases	Vol-%	48,7
Dichte	kg/m ³	0,714
Spezifische Methan-Emissionen	kg CH ₄ /m ³	0,12
CO ₂ -Äquivalente von Methan		28
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	kg CO ₂ /m ³	3,3
Produzierte CO ₂ -Emissionen durch Verbrennung von Methan im BHKW	kg CO ₂ /m ³	0,3
Vermiedene CO ₂ -Emissionen (netto)	kg CO ₂ /m ³	3,0
Faulschlamm-Menge	m ³ /d	137
	m ³ /a	50.005
Vermiedene CO ₂ -Äquivalente	Mg CO ₂ /a	150

Tabelle 14: Vermiedene CO₂-Äquivalente bei der Phosphat-Fällung

CO₂-Äquivalente in Höhe von etwa 150 Mg/a werden durch die Vakuumentgasung vor der eigentlichen Phosphat-Fällung vermieden.

3.4.5 Zusammenfassung

Gemäß den vorstehend genannten Zahlen lassen sich durch die umgesetzten Maßnahmen CO₂-Emissionen in Höhe von ca. 400 Mg/a vermeiden. Den größten Anteil daran hat mit 240 Mg/a die Erzeugung regenerativer Energie mithilfe der neuen Blockheizkraftwerke. Einen wesentlichen Anteil leistet jedoch auch die Vakuum-Entgasung, die weitere 150 Mg/a beisteuert. Mit ca. 10 Mg/a fallen hingegen die vermiedenen LKW-Transporte fast nicht ins Gewicht.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

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 Schlamm-Desintegration 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 >= 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 15). Insgesamt wird eine jährliche Gesamteinsparung von 359.000 €/a erreicht.

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
Jährliche Gesamteinsparung	359.000 €/a

Tabelle 15: Jährliche Einsparung durch den Betrieb der Neuanlagen und Betriebskosten

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 im norddeutschen Raum wurden bereits durch Entsorger und Landwirte gekündigt. Die zur Verfügung stehenden thermischen Kapazitäten reichen aktuell 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 Monoverbrennungsanlagen 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.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Gegenüber einer konventionellen Faulung konnte durch das erstmalig großtechnisch eingesetzte LysoTherm®-Verfahren ein deutlich höherer Abbau der organischen Fracht sowie eine entsprechend höhere Gasproduktion erzielt werden. Auch konnte ein deutlich positiver Effekt auf die Schlammentwässerung, d. h. höhere TR-Gehalte im entwässerten Schlamm sowie ein verminderter Verbrauch an polymeren Flockungsmitteln nachgewiesen werden. Die LysoTherm®-Anlage konnte nach anfänglichen Optimierungsmaßnahmen betriebssicher und mit wenig Betreuungsaufwand betrieben werden. Die automatisierte, periodische Spülung und Reinigung der Anlage erwies sich als effizient, so dass weitergehende, manuelle Reinigungsmaßnahmen der Wärmetauscher nahezu vermieden werden konnten.



Abbildung 28: LysoTherm®-Anlage auf der KLA Lingen

Die Bereitstellung der notwendigen thermischen Energie über die Auskopplung der Abgaswärme der beiden neuen Blockheizkraftwerke über ein Thermalöl-System erwies sich für das Betriebspersonal als ein nach entsprechender Schulung gut beherrschbares und wartungsfreundliches System.



Abbildung 29: BHKWs (rechts) mit Thermalöl-System (links)

Die EloPhos®-Anlage zur Phosphat-Fällung und –Rückgewinnung aus dem Faulschlamm konnte nach Optimierungsmaßnahmen relativ stabil betrieben werden. Durch Messungen konnte gezeigt werden, dass durch die Vakuum-Entgasung im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Phosphat-Fällung Methan-Emissionen in deutlich größerem Umfang als ursprünglich angenommen, vermieden werden. Allerdings erwiesen sich die Kristallbildung und das Kristallwachstum in den EloPhos®-Reaktoren als noch nicht ausreichend, sodass der Austrag von Magnesium-Ammonium-Phosphat noch ungenügend war. Dennoch konnte durch die EloPhos®-Anlage ebenfalls ein deutlich positiver Effekt auf die Schlammmentwässerung nachgewiesen werden.



Abbildung 30: EloPhos®-Reaktor mit Vakuum-Entgasung

Die Primärschlamm-Eindickung erforderte einige Optimierungsmaßnahmen, die aufgrund der starken Tendenz zur Zopfbildung des aus der Vorklärung abgezogenen Primärschlammes erforderlich wurden. Durch die höhere Eindickung des Primärschlammes und die damit verbundene Mengenreduzierung konnte das Potential der Faulung zur Vergärung von Co-Substrat in erheblichem Maß gesteigert werden.



Abbildung 31: Mechanische Primärschlamm-Eindickung

Die biologische Entschwefelung des anfallenden Klärgases war insgesamt unproblematisch, wenngleich Optimierungen der Nährstoffzugabe erforderlich waren. Die erzielten Abbaugrade waren bis auf eine ca. einwöchige Ausnahme, in der es aufgrund einer zu geringen Nährstoff-Zugabe zu einem Leistungseinbruch des biologischen Prozesses kam, durchweg deutlich höher als ursprünglich angenommen.



Abbildung 32: Entschwefelungsanlage

Der Vergleich mit einer konventionellen Faulung zeigt deutlich, dass die neuen Verfahren einerseits jedoch einen höheren Personalaufwand und Ausbildungsstand des eingesetzten Personals erfordern, andererseits jedoch die erzielten Ergebnisse den Aufwand rechtfertigen.

4 Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die erstmalige Implementierung und Inbetriebnahme von neuen Anlagenteilen mit Modellcharakter in Deutschland, die LysoTherm®-Anlage im März 2012 und die EloPhos®-Anlage zur Phosphorrückgewinnung im November 2016, sowie die Anlage zur Primärschlamm-Eindickung im November 2016 waren am Anfang mit häufigen Störungen und „Kinderkrankheiten“ verbunden.

Diese Störungen, technischen Hemmnisse der Inbetriebnahmephase und verfahrenstechnischen Optimierungen verursachten in 2012 bei der Inbetriebnahme der LysoTherm®-Anlage und in 2016 bei der Inbetriebnahme der EloPhos®-Anlage und der Primärschlammeindickung einen sehr hohen Personalaufwand, der nur durch die Einsatzbereitschaft des motivierten und qualifizierten Teams der KLA Lingen unter Zurückstellung anderer Aufgaben und durch die gute Unterstützung der projektbeteiligten Firma ELIQUO-STULZ aufgefangen und geleistet werden konnte. Die Beseitigung der Störungen und die Durchführung von Optimierungsarbeiten zeigten aber auch, dass eine gute Schulung des zuständigen Personals für einen geordneten und sicheren Betrieb notwendig ist und fortlaufende weitergehende Schulungen hinsichtlich Betrieb, Verfahrenstechnik und Chemie ebenfalls wichtig sind.

Aufgrund des Modellcharakters und des erstmaligen großtechnischen Betriebes in Deutschland wurde bewusst weitestgehend auf eine Hilfestellung durch Planungs- und Ingenieurbüros verzichtet, was ebenfalls zu einer Mehrarbeit des an dem Projekt beteiligten Personals führte.

Das sehr komplexe Vorhaben erwies sich als sehr viel zeitaufwändiger als geplant. Die wesentlichste Terminverschiebung wurde durch die Insolvenz der SH+E Gruppe mit dem ursprünglichen Projektpartner STULZ-PLANAQUA GmbH im Februar 2014 verursacht. Die damit verbundenen Probleme konnten gelöst werden, weil die ELIQUO STULZ die Assets der STULZ-PLANAQUA im Mai 2014 übernahm und anschließend als neuer Partner in das Projekt eintrat.

Eine weitere längere Terminverschiebung ergab sich dadurch, dass aufgrund der Ergebnisse der begleitenden (Pilot)-Versuche von Juli 2012 bis Juli 2014 (siehe Kap. 2.3 d) Anpassungen des geplanten Vorhabens notwendig waren (siehe Kap. 2.3 e), die mit dem Fördergeber vereinbart und nach erfolgter Bewilligung sukzessive, zwischen Ende 2014 und Ende 2016, umgesetzt wurden. Durch den durch einen Brand verursachten Produktionsausfalls beim industriellen Großeinleiter im Sommer 2017 kam es darüber hinaus zu einer mehrmonatigen Verzögerung des Projektes.

Weiterhin bleibt festzustellen, dass für die Inbetriebnahmephasen der Anlagenteile, die erstmalig großtechnisch installiert wurden, zu kurze Zeiträume angesetzt waren.

Durch eine intensive Schulung und der Motivation der Mitarbeiter/innen die Anlagen nicht nur zu fahren, sondern auch die Prozesse zu verstehen und zu optimieren, einer guten Zusammenarbeit und der guten Unterstützung der projektbeteiligten Firmen bei der weiteren Optimierung des Förderprojektes ist es gelungen, dass die Anlagenteile inzwischen weitgehend betriebsstabil und vollautomatisch laufen. Der MAP-Austrag und die Leitungsführung der EloPhos®-Anlage müssen noch optimiert werden. Die Anlagen sind einfach von Hand und über das Prozessleitsystem zu bedienen.

Ohne die motivierte Mitarbeit des Personals der KLA Lingen wäre die Umsetzung des Förderprojektes nicht möglich gewesen. Rückblickend ist festzustellen, dass die KLA Lingen bei der Umsetzung des Projektes an die Grenzen ihrer Personalstärke gestoßen ist.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass die thermische Desintegration LysoTherm® und die Phosphatfällung EloPhos® auch bei Kläranlagen mittlerer Größe die Wirtschaftlichkeit und die Umweltbilanz erheblich verbessern. Das LysoTherm®-Verfahren lässt sich einfach in den gesamten Schlammbehandlungsprozess integrieren. Die technische und technologische Einfachheit der Anlage sowie der Verzicht auf Dampf als Heizmedium unterstützten die schnelle und leichte Beherrschbarkeit des Systems durch das Betriebspersonal.

Gleiches gilt für das EloPhos®-Verfahren, das nach Optimierungen stabil lief, durch das Betriebspersonal sofort beherrscht wurde und sich durch einen geringen Betriebs- und Wartungsaufwand auszeichnete. Der MAP-Austrag und die Leitungsführung der EloPhos®-Anlage sind noch zu optimieren.

Der Modellcharakter ist aus Sicht der Autoren deshalb gegeben. Die Erfahrungen mit den eingesetzten neuen Verfahren lassen eine Übertragbarkeit auf andere Kläranlage vergleichbarer Größe jederzeit erwarten.

5 Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, die Kläranlage der Stadt Lingen im Emsland nicht nur in eine energieautarke Kläranlage (Null-Energie-Kläranlage), sondern in eine Kläranlage mit Energieüberschuss (Plus-Energie-Kläranlage) umzuwandeln. Dies sollte vor allem durch Maßnahmen erreicht werden, die die Faulgaserzeugung und Faulgasnutzung verbessern. Des Weiteren sollten 30 % des Phosphors aus dem Zulauf zur Abwasseranlage zurückgewonnen werden.

Es erfolgte im Wesentlichen eine Verfahrensumstellung in der Schlammfäulung mit Implementation einer Anlage zur maschinellen Primärschlamm-Eindickung, einer LysoTherm®-Anlage zur thermischen Schlamm-Desintegration, einer EloPhos®-Anlage zur Fällung und Rückgewinnung von Phosphat aus dem ausgefauten Schlamm, einer Zentrifuge zur Faulschlamm-Entwässerung und von neuen BHKWs mit höherem elektrischen Wirkungsgrad.

Die Auswertung der begleitend erstellten Datengrundlage umfasste die Ermittlung und Bewertung des Zustandes der Kläranlage vor dem Start des Förderprojektes und die Auswertung der Messprogramme im Vergleich mit den Zielkriterien. Ausgewertet wurden hierbei die folgenden Messphasen:

- a) R0: Referenzzustand
- b) R1b: Thermische ÜSS-Desintegration mit getrennter Fäulung und mit MAP-Fällung
- c) R2b: Thermische Faulschlamm-Desintegration mit gemischter Fäulung und mit MAP-Fällung

Jeder Messphase vorgeschaltet waren Einfahrphasen bis zum Erreichen der Prozessstabilität.

Die Auswertung der Messdaten ergab folgende Kenndaten „vorher“ – „nachher“:

Fäulung:

vorher	ca. 13 Liter CH ₄ /E/d	534 m ³ /Mg oTR _{zu}	48% oTR-Abbau
nachher:			
ÜSS-Desintegration	ca. 20 Liter CH ₄ /E/d	643 m ³ /Mg oTR _{zu}	62% oTR-Abbau
FS-Desintegration	ca. 20 Liter CH ₄ /E/d	613 m ³ /Mg oTR _{zu}	59% oTR-Abbau

Entwässerung:

vorher	23,1% TR _{entw}	18,2 Mg OS/d	160 g OS/E/d
nachher:			
ÜSS-Desintegration	29,0% TR _{entw}	12,1 Mg OS/d	131 g OS/E/d
FS-Desintegration	29,2% TR _{entw}	11,2 Mg OS/d	135 g OS/E/d

Chemikalien:

vorher	21,9 kg WS/Mg TR Polymer	220 kg/Mg TR Fe-Lösung
nachher:		
ÜSS-Desintegration	15,0 kg WS/Mg TR Polymer	108 kg/Mg TR Fe-Lösung
FS-Desintegration	17,6 kg WS/Mg TR Polymer	68 kg/Mg TR Fe-Lösung

Rückbelastung:

vorher	115 kg CSB/d	30 kg CSB _{hart}	104 kg NH ₄ -N/d	2,2 kg P/d
nachher:				
ÜSS-Desintegration	213 kg CSB/d	85 kg CSB _{hart}	103 kg NH ₄ -N/d	3,1 kg P/d
FS-Desintegration	159 kg CSB/d	111 kg CSB _{hart}	134 kg NH ₄ -N/d	2,0 kg P/d

Die Kenndaten der Schlammbilanzen und auch die Jahres-Vergleichswerte der KLA Lingen aus 2010, 2011 und 2016 (hier jeweils ohne thermische Desintegration und MAP-Fällung) zeigen, dass durch die thermische Desintegration der Schlämme der oTR-Abbau stark gesteigert wird (+25%). Einhergehend damit erhöhte sich die Faulgasproduktion ebenfalls deutlich. Weiterhin wurde durch die thermische Desintegration in Verbindung mit der MAP-Fällung in der EloPhos®-Anlage die Entwässerung stark verbessert. Der TR konnte um 6%-Punkte (+25%) auf dauerhaft $\geq 29\%$ erhöht werden. Das zusammen führt zu einem deutlich verminderten Schlammanfall, die entwässerte Klärschlammfracht konnte um 30% reduziert werden.

Der Polymerverbrauch wurde um 20 - 30% und der Verbrauch an Eisenlösung um 50 - 70% gesenkt. Das zeigt auch, dass die Einbindung der MAP-Fällung nach der Faulung notwendig und erfolgreich war.

Aus verfahrenstechnischer und betrieblicher Sicht wird die Faulschlamm-Desintegration favorisiert, da im Eintrittsbereich der Desintegrations-Anlage eine geringere Viskosität und somit geringe Drücke vorliegen, wodurch diese Variante betriebsstabil gefahren wird. Die bei der Desintegration von ÜSS erreichten Abbaugrade sind nur unwesentlich höher als bei der Faulschlammdesintegration. Weiterhin verbraucht die Faulschlamm-Desintegration im Schnitt ca. 30% weniger Hochtemperaturwärme.

Durch den Betrieb der thermischen Desintegration war die Bildung refraktärer CSB-Verbindungen im Schlammwasser sowie eine erhöhte Rückbelastung an Stickstoff und Phosphor zu erwarten. Eine Erhöhung des CSB-Ablaufwertes um die aus der Fracht des „harten“ CSB's errechneten 4 bis 6 mg/L konnte nicht in den Betriebsdaten wiedergefunden werden. Derzeit ist nicht feststellbar, wieviel dieser refraktären CSB-Verbindungen am Belebtschlamm adsorbiert oder aufgrund der betrieblichen und jahreszeitlichen Schwankungen nicht nachgewiesen werden können. Die Phosphor-Rückbelastung ist zu vernachlässigen, da durch das EloPhos®-Verfahren gezielt und effektiv Phosphor eliminiert und etwas Eisen als Konditionierungsmittel vor der Entwässerung eingesetzt wird. Die Ammonium-Rückbelastung erhöht sich durch die Schlammdesintegration um etwa 30 kg/d. Sie liegt bei etwa 15% der Ammonium-Zulauf-Fracht zur KLA Lingen, wobei dieser Wert vor der Implementierung von LysoTherm® bei 12% lag.

Bezüglich der P-Entfrachtung des Klärschlammes ist derzeit eine Reduzierung von 40 auf 35 kg P/Mg TR möglich. Damit ist man noch weit von den Ziel-/Grenzwerten der neuen Klärschlammverordnung entfernt, die eine Rückgewinnungsrate von $> 50\%$ bzw. eine

Reduzierung auf P-Gehalte < 2% vorgibt. Bezogen auf die P-Fracht im Zulauf der Kläranlage Lingen bedeutet das eine aktuell technisch mögliche Rückgewinnungsrate von ca.13%.

Durch den Mehrgasanfall aufgrund des verbesserten o-TR-Abbaus konnte in Verbindung mit den neuen BHKW`s die Eigenstromerzeugung von 61 auf etwa 83% gesteigert werden. Das Projektziel von 100% wurde aufgrund des Rückgangs der CSB-Konzentration der angelieferten Co-Substrate trotz leicht erhöhter Dosiermengen nicht erreicht. Ziel bleibt es daher, weitere gut verwertbare Co-Substrate aufzunehmen, soweit das technisch und gesetzlich möglich ist und so die Klärgasproduktion weiter zu steigern.

Durch die Energieanalyse konnte trotz der bereits umgesetzten Optimierungsmaßnahmen ein Einsparpotenzial bei einzelnen Verfahrensstufen aufgezeigt werden. Bei vollständiger Umsetzung dieser Maßnahmen könnte der Gesamtstromverbrauch von 32 kWh/(E*a) auf 31 kWh/(E*a) reduziert werden. Die mögliche Reduzierung des Gesamtstromverbrauchs liegt damit im Bereich von weniger als 5%, was ein deutlicher Hinweis auf den bereits jetzt weitestgehend energetisch optimierten Betrieb der Kläranlage ist. Aus energetischer Sicht wurden die Ziele des Fördervorhabens erreicht.

Die LysoTherm®-Anlage auf der KLA Lingen hat in den 6 Jahren Betrieb ihre Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt. Sie läuft betriebsstabil und vollautomatisch. Die EloPhos®-Anlage trägt durch die vorgeschaltete Vakuum-Entgasung und der damit erreichten Vermeidung von Methan-Emissionen in die Atmosphäre erheblich dazu bei, den CO₂-Fußabdruck der Schlammbehandlung auf der KLA Lingen signifikant zu verbessern. Der MAP-Austrag und die Leitungsführung der EloPhos®-Anlage müssen noch optimiert werden.

Sämtliche neu installierten Verfahren wurden bereits nach kurzer Zeit durch das Betriebspersonal beherrscht. Die Anlagen sind einfach von Hand und über das Prozessleitsystem zu bedienen.

Durch die Minimierung der zu entsorgenden Klärschlammfracht, den Einsparungen im Polymer- und Eisensalz-Verbrauch, der Erhöhung der Eigenstrom- und Wärmeerzeugung durch die freigewordene Faulraumkapazität ist die Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens gegeben.

Die auf der KLA Lingen installierte thermische Desintegration LysoTherm® von Faul-/Überschuss-Schlämmen mit anschließender MAP-Fällung ist für mittelgroße Kläranlagen (100.000 bis 800.000 EW) eine sehr gute Verfahrensvariante zur Minimierung der Klärschlamm-mengen und der eingesetzten Chemikalien. Vor dem Hintergrund einer sich aufgrund der neuen Klärschlamm- und Düngeverordnung verschärfenden Situation und den in den nächsten Jahren zu erwartenden stark ansteigenden Kosten für die Klärschlammentsorgung kann die im Projekt erzielte 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.

In der nachfolgenden Tabelle 16 sind die erreichten Daten nochmals vergleichend zum Ausgangs- und Zielzustand zusammengefasst dargestellt.

Anlage/ Anlagenteil	Parameter	Vorher (2010 / R0)	Ziel	Nachher
Kläranlage Lingen insgesamt	Spez. Stromverbrauch e_{ges} (kWh/EW/a)	23,1	21,3	32
	Stromverbrauch der Belüftung (kWh/EW/a)	13,0	11,8	10,6
ABA mit anaerober Schlammstabilisierung	Faulgasproduktion $V_{Faulgas*EW}$ (l/EW/d)	20,9	31	41
	Grad der gesamten Faulgasnutzung (%)	97	100	100
	Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung n_{el} (%)	30,8	38 (100% Last)	38 (100% Last) 33 (60% Last)
	Eigenversorgung Wärme EV_{therm} (%)	100	100	100
	Eigenversorgung Strom EV_{el} (%)	61	125	83
	Abbaugrad (oTR) im Faulturm (%)	48	58	61
Klärschlamm-Entwässerung	Trockenrückstand im entwässerten Schlamm (% TR)	23	29	29,2
	Polymerverbrauch (kg WS/Mg TR)	22	15	16
	Verbrauch an Eisenlösung (kg Lsg/t TR)	220	0	68
Besondere Verfahrensstufen	Phosphorrückgewinnung (%)	0	30	13 (nach Optimierung des MAP-Austrags)

Tabelle 16: Erreichte Daten im Vergleich zum Ausgangs- und Zielzustand



Abbildung 33: Luftaufnahme der KLA Lingen nach Umsetzung aller Maßnahmen

6 Summary

The goal of the project was to convert the wastewater treatment plant of the city of Lingen (Ems) not only to an energy autonomous wastewater treatment plan (i.e. to a so-called „Zero-Energy Wastewater Treatment Plant), but to a wastewater treatment plant with an energy surplus (i.e. to a so-called “Plus-Energy Wastewater Treatment Plant”). This should mainly be achieved by measures which increase biogas production during sludge digestion and by measures which optimize the energy recovery from biogas. Finally, 30% of the phosphorous content of the influent waste water should be recovered.

The sludge digestion process was modified mainly by implementing mechanical primary sludge thickening, thermal sludge disintegration by LysoTherm®, phosphate precipitation and recovery from digested sludge by EloPhos®, a centrifuge for the dewatering of digested sludge and new CHPs with higher electrical efficiency.

The evaluation of the accompanying data basis included the determination and evaluation of the wastewater treatment plant state before the funding project starts and the evaluation of the measurement programs in comparison with the target criteria. The following measurement phases were evaluated:

- a) R0: Reference state
- b) R1b: Thermal disintegration of waste activated sludge with separated digestion and with MAP precipitation
- c) R2b: Thermal disintegration of digested sludge with mixed digestion and with MAP precipitation

Each measuring phase was preceded by a ramp-up phase until a steady state was reached. The evaluation of the measuring data resulted in the following characteristics „before – after“:

Sludge digestion:

Before:	ca. 13 Liter CH ₄ /PE/d	534 m ³ /Mg VDS _{feed}	48% VSR
After:			
WAS ¹⁾ disintegration	ca. 20 Liter CH ₄ /PE/d	643 m ³ /Mg VDS _{feed}	62% VSR
DS ²⁾ disintegration	ca. 20 Liter CH ₄ /PE/d	613 m ³ /Mg VDS _{feed}	59% VSR

¹⁾ WAS = Waste Activated Sludge

²⁾ DS = Digested Sludge

Dewatering:

Before:	23.1% DS _{dewatered}	18.2 Mg OS/d	160 g OS/PE/d
After:			
WAS disintegration	29.0% DS _{dewatered}	12.1 Mg OS/d	131 g OS/PE/d
DS disintegration	29.2% DS _{dewatered}	11.2 Mg OS/d	135 g OS/PE/d

Chemicals:

Before:	21.9 kg AS/Mg DS Polymer	220 kg/Mg DS Fe solution
After:		
WAS disintegration	15.0 kg AS/Mg DS Polymer	108 kg/Mg DS Fe solution
DS disintegration	17.6 kg AS/Mg DS Polymer	68 kg/Mg DS Fe solution

Return load:

Before:	115 kg COD/d	30 kg COD _{non degradable}	104 kg NH ₄ -N/d	2.2 kg P/d
After:				
WAS disintegration	213 kg COD/d	85 kg COD _{non degradable}	103 kg NH ₄ -N/d	3.1 kg P/d
DS disintegration	159 kg COD/d	111 kg COD _{non degradable}	134 kg NH ₄ -N/d	2.0 kg P/d

The key numbers of the sludge balances and the annual comparison data of the wastewater treatment plant Lingen from 2010, 2011 and 2016 (all without thermal disintegration and MAP precipitation) show, that by thermal sludge disintegration the VSR was heavily increased (+25%). This was accompanied with a remarkably increased biogas production.

Furthermore the dewatering was improved substantially by the impact of the thermal disintegration along with the EloPhos® MAP precipitation. The DS concentration of the dewatered sludge could be increased by 6%-points (+25%) to sustained >29%. This altogether results in a substantially reduced sludge amount and the dewatered sewage sludge load could be reduced by 30%.

The polymer consumption for the sludge dewatering was decreased by 20 – 30% and the consumption of iron solution for the sludge conditioning prior the dewatering was reduced by 50 – 70%. This also shows, that the integration of the MAP precipitation after the digestion was necessary and successful.

From a process technological and operational point of view the disintegration of digested sludge will be favored. On the feed side of the disintegration plant lower viscosity can be observed which results in lower pressures, whereby this process variant can be operated stable. The volatile solids reduction achieved in waste activated sludge disintegration are just slightly higher than at digested sludge disintegration. Furthermore on average the digested sludge disintegration consumes ca. 30% less high temperature heat on average.

By the operation of the thermal disintegration the formation of persistent COD in the sludge liquor and a higher return load of nitrogen and phosphorous was expected. The increase of the COD in the treated effluent water was calculated to be 4 – 6 mg/L. But this cannot be found in the operational data. Currently it cannot be identified, how much of these persistent COD is adsorbed at the activated sludge or due to operational or seasonal variations cannot be detected.

The return load of phosphorous is negligible, since by EloPhos® phosphorous is eliminated effectively and furthermore some iron for the sludge conditioning prior the dewatering is used. The ammonia load in the return is increased by the thermal disintegration by ca. 30 kg/d. The ammonia return load amounts to approx. 15% of the ammonia in the inflow of the wastewater treatment plant Lingen, whereas this value was approx. 12% before LysoTherm® was implemented.

Currently a phosphorous depletion of the sewage sludge from 40 to 35 kg P/Mg DS is possible. This is far away from the target value and the limits of the new sewage sludge directive, which defines a recovery rate of > 50% and a reduction to P concentrations < 2%. That means, related to the P load in the inflow of the wastewater treatment plant Lingen, currently a P recovery rate of ca. 13% is technically possible.

Additional gas was produced due to an improved VSR. In conjunction with the new CHPs the electrical power self-supply could be increased from 61 to 83%. The project goal of 100% self-supply was not achieved, since lower COD concentrations of the co-substrate resulted in lower gas production. This could not be compensated despite higher dosing rates. Hence, it remains as a goal for the future to take easily degradable co-substrates, as far as it is technically and legally possible, and thus to further increase the biogas production.

By means of the energy analysis a certain degree on savings at the individual process steps was identified. If all proposed measures will be completely implemented, the total consumption of electrical energy might be reduced from 32 kWh/E/a to 31 kWh/E/a. Thus the possible reduction of the total electrical energy consumption is in a range of less than 5%, which is a clear sign for an already achieved optimized operation of the wastewater treatment plant. From a technical point of view, the goals of the funding project were achieved.

The LysoTherm® plant at the wastewater treatment plant in Lingen has proven its practicability in the six years of operation. It runs reliably and fully automatically. With upstream vacuum degassing, the EloPhos® system helps to prevent methane emissions into the atmosphere. This significantly improves the carbon footprint of the sludge treatment in the wastewater treatment plant in Lingen. The discharge of the MAP and pipe routing still need to be optimized.

Already after a short period all new installed processes were mastered by the staff. The plants can be operated manually or via the process control system.

By minimizing the sewage sludge load to be disposed of, the savings in polymer and iron salt consumption, the increase in the generation of electricity and heat by released digester capacity, the economy of the overall process is given.

The thermal disintegration LysoTherm® installed at the wastewater treatment plant Lingen for digested sludge and waste activated sludge with downstream MAP precipitation is a very good process variant for mid-sized wastewater treatment plants(100,000 to 800,000 PE) to minimize the sewage sludge amount and the consumed chemicals. Against the background of a worsening situation due to the new sewage sludge and fertilizer directives, higher sewage sludge disposal costs can be expected. Thus the reduction of the sewage sludge amount achieved in the project cannot be estimated high enough.

From today's perspective with beginning of 2019 the amount of co-substrate can be increased in that way, that an electrical energy self-supply degree of 90 – 95% might be possible. On long term basis, further similar co-substrates shall be co-processed to achieve a 100% self-supply in 2020.

The following table 17 compares the achieved results with the initial and the target state.

Plant//plant section	Parameter	Before (2010 / R0)	Target	After
WWTP Lingen total	Spec. el. energy consumption e_{ges} (kWh/PE/a)	23.1	21.3	32
	El. energy consumption of the aeration (kWh/EW/a)	13.0	11.8	10.6
WWTP with anaerobic sludge stabilization	Biogas production $V_{Bioagas*PE}$ (l/PE/d)	20.9	31	41
	Degree on biogas utilization (%)	97	100	100
	El. efficiency of biogas utilization n_{el} (%)	30.8	38 (100% Last)	38 (100% Last) 33 (60% Last)
	Heat self-supply EV_{Heat} (%)	100	100	100
	El. power self-supply EV_{el} (%)	61	125	83
	VSR in digesters (%)	48	58	61
Sewage sludge dewatering	DS in dewatered sludge (% DS)	23	29	29.2
	Polymer consumption (kg AS/Mg DS)	22	15	16
	Iron solution consumption (kg Solution/Mg DS)	220	0	68
Special process steps	Phosphorous recovery degree (%)	0	30	13 (after optimization of MAP discharge)

Table 17: Achieved data in comparison to initial and target state

7 Literaturverzeichnis

- [1] „Förderprogramm mit Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen (EAA)““.
- [2] „<http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>,“ [Online]. [Zugriff am 02.08.2018].
- [3] C. I. G. PCS GmbH, „Auswirkungen der thermischen Klärschlammhydrolyse und der prozessintegrierten Nährstoffrückgewinnung auf die Stoffstrom- und Energiebilanzen auf Kläranlagen,“ 2009.
- [4] *Technologiebeschreibung LysoTherm® V03, ELIQUO STULZ.*
- [5] J. Dr. Kopp, *Bilanzierung von Betriebsdaten zur Bewertung des LysoTherm Verfahrens der KA Lingen*, 2015.
- [6] *Technologiebeschreibung EloPhos® V02, ELIQUO STULZ.*
- [7] *Technologiebeschreibung EloVac® V01, ELIQUO STULZ.*
- [8] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. , „Merkblatt DWA-M 383 Kennwerte der Klärschlammmentwässerung,“ DWA, Hennef, 2008.
- [9] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., „Merkblatt DWA-M 368 Biologische Stabilisierung von Klärschlamm,“ DWA, Hennef, 2014.
- [10] J. Kopp, „Impact of Phosphate in Sludge Dewatering and Improvement by thermal disintegration,“ University of Surrey, Surrey, UK, 2016.
- [11] S. Siemen, *E-Mail vom 11.06.2018.*

8 Anhang

1 - Energieanalyse für die Kläranlage Lingen, WIW Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft, 07.05.2018



Energieanalyse für die Kläranlage Lingen



im Auftrag der Stadtentwässerung Lingen



Dr.-Ing. G. Kolisch

Wuppertal, im Juli 2018

Bearbeitung der Energieanalyse durch:

M.Sc. Philipp Pyro

ppo@wupperverband.de

Tel.: 0202-583-109

Dr.-Ing. Gerd Kolisch

kol@wupperverband.de

Tel.: 0202-583-292

WiW - Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH

Untere Lichtenplatzer Str. 100

42289 Wuppertal

Inhalt

1.	Ausgangssituation und Zielsetzung	1
2.	Ist-Zustand	2
2.1	Beschreibung der Kläranlage	2
2.2	Angeschlossene Einwohnerwerte als Bezugsbasis für Kennwerte	6
2.3	Organische Schlammfracht und Gasausbeute	8
2.4	Energieverbrauch und Kosten	10
2.4.1	Faulgaseinsatz und Stromerzeugung	10
2.4.2	Energetischer Fremdenergiebezug	10
2.4.3	Wärmeproduktion und –bedarf auf der Kläranlage Lingen	11
2.5	Energiebilanz der Kläranlage Lingen	13
2.6	Entwicklung des Stromverbrauchs von 2011 bis 2017	13
2.7	Anlagendaten	17
3.	Bewertung des energetischen Zustands	18
3.1	Anlagenspezifische Idealwerte für die Kläranlage Lingen	18
3.2	Kennzahlenvergleich (Energiecheck)	22
3.3	Energieverbrauchermatrix	27
3.4	Bewertung der Verbrauchergruppen	27
4.	Nachbemessung der biologischen Stufe	33
5.	Untersuchungen und Maßnahmen zur Energieeinsparung	34
5.1	Bereits umgesetzte Maßnahmen	35
5.2	Sofortmaßnahmen	35
5.2.1	Anpassung der Rücklaufschlammmenge (S1)	35
5.2.2	Betrieb der Sandfänge mit nur einem Sandfanggebläse (S2)	38
5.3	Kurzfristige Maßnahmen	38
5.3.1	Optimierung der Belüftung der Belebungsbecken (K1)	38
5.3.2	Austausch der Rezirkulationspumpen (K2)	40
5.3.3	Füllstandsabhängige Regelung des Zwischenpumpwerks mittels FU (K3)	42
5.4	Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahmen	43
6.	Zusammenfassung	44
7.	Literatur	46
8.	Anhang	47
8.1	Verbraucherliste	47

8.2	Nachbemessung nach DWA-A 131	54
8.3	Rezirkulationspumpe RZP 60	57

1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphorrückgewinnung“ wird auf der Kläranlage Lingen eine ressourceneffiziente Klärschlammbehandlung einschließlich Klärschlammverwertung untersucht. Der Schlamm wird dabei thermisch desintegriert, um die Faulgasausbeute zu steigern. An die Faulung anschließend wird aus dem Faulschlamm ein Phosphordünger in Form von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) gewonnen. Im Rahmen des Vorhabens wurde zudem eine maschinelle Primärschlammverdickung installiert, um durch eine Volumenreduktion des Primärschlammes freie Kapazitäten in den Faulbehältern zu schaffen. Darüber hinaus wurden die alten Blockheizkraftwerke durch neue, energieeffizientere Aggregate ersetzt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist eine Energieanalyse nach DWA-A 216 durchzuführen. Die Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH (WiW) wurde mit der Durchführung der Energieanalyse beauftragt, wobei der energetische Zustand dieser Anlage analysiert und soweit möglich verbessert werden soll.

Über Betriebsstunden und Wirkleistungsmessungen wird eine Verbrauchermatrix erstellt, in der jeder Verfahrensstufe ihr Stromverbrauch zugeordnet wird. Ausgehend von der Verbrauchermatrix werden die einzelnen Verfahrensgruppen bzw. -aggregate auf mögliche Einsparpotenziale und Maßnahmen zur Energieeinsparung bewertet.

Die Maßnahmen werden auf ihre Wirtschaftlichkeit anhand eines Kosten-Nutzen-Verhältnisses überprüft. Dabei erfolgt eine Unterteilung nach Sofort-, kurzfristigen und abhängigen Maßnahmen.

Hinweis:

Es wird darauf hingewiesen, dass die Einheit [kWh], wenn nicht anders vermerkt als elektrische Kilowattstunde zu verstehen ist, während die thermische Kilowattstunde mit einem Index [kWh_{th}] versehen ist.

Da die Energieanalyse für das laufende Betriebsjahr 2017 erstellt wird, werden die Daten des ersten Halbjahres bilanziert und auf ein Jahr hochgerechnet (z.B. kWh/(E·a)). Die aufgestellten Bilanzen gelten daher nur für den Zeitraum Januar bis einschließlich Juni 2017

2. Ist-Zustand

2.1 Beschreibung der Kläranlage

Die Kläranlage Lingen ist für eine Ausbaugröße von 195.000 EW genehmigt und für eine anaerobe Schlammstabilisierung ausgebaut. Das angeschlossene Kanalnetz ist als Trennsystem ausgeführt. Der Großteil des Abwassers muss zunächst nicht gehoben werden. Das auf dem Kläranlagengelände befindliche Pumpwerk 1 hebt das Abwasser eines Teileinzugsgebietes sowie das auf der Kläranlage anfallende Prozesswasser aus der Schlammeindickung und -entwässerung in die mechanische Reinigung. Ca. 30 % des vom Pumpwerk 1 geförderten Abwasserstroms sind dabei dem Prozesswasser zuzuordnen. Neben kommunalem Abwasser wird auf der Kläranlage Lingen auch industrielles Abwasser gereinigt. Hervorzuheben ist dabei der Abwasserstrom der Firma Dralon (Herstellung von Polyacryl-Fasern). Dieser Abwasserstrom wird hinter der mechanischen Reinigungsstufe eingeleitet und zeichnet sich durch eine hohe CSB- und Stickstoffbelastungen aus, wobei nur etwa 50% des CSB und des Stickstoffs abbaubar sind. Durch den hohen Zufluss an inertem CSB bedingt ist der Überwachungswert des Parametes CSB mit 200 mg/l sehr hoch. Die einzuhaltenden Überwachungswerte sind nachfolgend aufgelistet:

- CSB: 200 mg/l
- NH₄-N: 10 mg/l
- N_{anorg}: 16 mg/l
- P_{ges}: 1,0 mg/l

Tabelle 2.1: Allgemeine Angaben zu Kläranlage

Objektdaten	
Objekt	Kläranlage Lingen
Betreiber	Stadtentwässerung Lingen
Adresse	Langschmidtsweg 17 49808 Lingen
Baujahr/Ausbau	Inbetriebnahme: 1952
Kontaktpersonen	Herr Hüer (Betriebsleiter) 0591 / 96344-10

Der Aufbau der Kläranlage ist in Bild 2.1 skizziert und wird nachfolgend beschrieben.

Zwischenpumpwerk

Hinter der mechanischen Reinigung wird der Abwasserstrom der Firma Dralon dem Hauptstrom zugeleitet und das Abwasser gehoben. Das Zwischenhebwerk besteht aus 5 Schneckenpumpen (3+2 Ersatzschnecken) mit einer maximalen Förderleistung pro Schnecke von je 500 m³/h. Die maximal geförderte Abwassermenge beträgt somit 1.500 m³/h, wobei Q_M 1.100 m³/h beträgt und über Q_M hinausgehende Wassermengen in den Zulaufspeicher (4.000 m³) abgeschlagen werden. Im Normalbetrieb der Anlage laufen zwei Schneckenpumpen durchgehend. Die Förderhöhe beträgt rund 2,15 m. Im Zulauf des Zwischenpumpwerks erfolgt die Dosierung von Kalk zur Aufhärtung des Abwassers. Das Zwischenpumpwerk fördert das mechanisch vorgereinigte Abwasser zur biologischen Stufe. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, in einen Tagesausgleichsspeicher zu fördern.

Biologische Reinigungsstufe

Das über das Zwischenpumpwerk angehobene Abwasser wird der biologischen Stufe zugeleitet. Diese besteht aus drei baugleichen, parallel durchströmten Rechteckbecken (jeweils 8.000 m³) mit vorgeschalteter Denitrifikation. Die Deni-Zonen teilen sich in jeweils zwei Kammern pro Beckenstraße auf. Pro Straße ist zudem ein Bio-P-Becken mit einem Volumen von 1.290 m³ vorgeschaltet, in welches der Rücklaufschlamm gefördert wird. Seit Mai 2011 sind aufgrund der zurückgegangenen Belastung nur zwei der drei Beckenstraßen in Betrieb.

Die Nitrifikationszonen der Belebungsbecken werden durchgehend belüftet. Die Becken sind 6,5 m tief, wobei die effektive Einblastiefe etwa 6,25 m beträgt. Es werden Rohrbelüfter mit Silikonmembranen der Firma Ott (Typ Magnum) verwendet. Die Belüfter wurden im Jahr 2014 erneuert. Die notwendigen Luftmengen werden durch vier Turboverdichter (1 x Sulzer, 150 kW mit FU; 1 x HST, 190 kW; 2 x HST, je 83 kW) mit gemeinsamer Luftleitung bereitgestellt.

Im Ablauf der Belebungsbecken erfolgt die Dosierung eines Fällmittels (Eisenlösung) für die chemische Phosphorelimination. Das Abwasser wird im Anschluss an die Belebungsbecken drei runden Nachklärbecken zugeleitet. Der Rücklaufschlamm wird über drei Schneckenpumpen (2 + 1. Ersatzschnecke) mit einer Förderleistung von je 1.000 m³/h um ca. 3,4 m gehoben. Der Überschussschlamm wird über eine Überschussschlammpumpe der mechanischen Überschussschlammeindickung zugeführt.

Das gereinigte Abwasser wird über eine 1 km lange Leitung der Ems zugeleitet.

Schlammbehandlung

Der Primärschlamm wird seit September 2016 über einen Bandeindicker eingedickt. Die maschinelle Überschussschlammendickung erfolgt ebenfalls über einen Bandeindicker. Das bei der Eindickung anfallende Schlammwasser fließt im freien Gefälle dem Pumpwerk 1 zu. Die anaerobe Stabilisierung des eingedickten Schlammes erfolgt in zwei Faulbehältern mit einem Volumen von je 2.050 m³. Für die Entwässerung des ausgefaulten Schlammes stehen eine Zentrifuge und eine Bucherpresse zur Verfügung, wobei im Jahr 2017 nur die Zentrifuge genutzt wurde. Das bei der Entwässerung anfallende Filtrat kann in einem Prozesswasserspeicher gespeichert, direkt dem Zulauf der Kläranlage oder dem Zulauf der biologischen Stufe zugeleitet werden. Bei der Einleitung in den Kläranlagenzulauf wird das Filtrat über das Pumpwerk 1 angehoben.

Die Schlammbehandlung wurde 2017 im ersten und im zweiten Halbjahr im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens unterschiedlich betrieben:

1. Halbjahr:

Nach der Eindickung wurde der Überschussschlamm über eine sogenannte LysoTherm-Anlage (Fa. Eliquo Stulz) thermisch desintegriert, um die anaerobe Abbaubarkeit der organischen Substanz zu erhöhen. Desintegrierter Überschussschlamm und voreingedickter Primärschlamm (+ Co-Substrat) wurden getrennt in je einem Faulbehälter anaerob behandelt (FB1: Primärschlamm + Co-Substrat; FB2: Desintegrierter Überschussschlamm). Der ausgefaulte Überschussschlamm wurde anschließend zur Phosphorrückgewinnung der EloPhos-Anlage (Fa. Eliquo Stulz) zugeführt. Anschließend wurden die zwei Schlammströme wieder zusammengeführt und über die Zentrifuge entwässert.

2. Halbjahr:

Im zweiten Halbjahr wurden die Faulbehälter weiterhin parallel betrieben, allerdings wurden Primär- und Überschussschlamm sowie das Co-Substrat vermischt. Aus den Umwälzkreisläufen der beiden Faulbehälter wurde im Wechsel ein Teilstrom entnommen (ca. 5,5 m³/h), in der LysoTherm-Anlage desintegriert und anschließend wieder in die Faulung zurückgeführt (sogenannte Faulschlamm-Desintegration mit Mischschlamm). Der Faulschlamm wurde nach der Faulung der Phosphorrückgewinnung zugeführt und anschließend über die Zentrifuge entwässert.

Gasnutzung

Das anfallende Faulgas wird einer biologischen Entschwefelung zugeführt (seit September 2016) und anschließend in zwei baugleichen BHKW verwertet. Die wesentlichen Nenn-Kenn-daten je BHKW sind:

- Brennstoffleistung: 785,5 kW
- Elektrische Leistung: 300,0 kW
- Wärmeleistung: 340,9 kW
- Elektrischer Wirkungsgrad: 38,2 %
- Thermischer Wirkungsgrad: 43,4 %
- Gesamtwirkungsgrad: 81,6 %

2.2 Angeschlossene Einwohnerwerte als Bezugsbasis für Kennwerte

Die Energieanalyse wurde für das Betriebsjahr 2017 durchgeführt. Da die Bearbeitung der Energieanalyse im laufenden Jahr 2017 begonnen wurde, wurde festgelegt, dass die Belastungs- und Verbrauchsdaten aus dem ersten Halbjahr verwendet und für ein Jahr hochgerechnet werden. Als Bezugsgröße für die Berechnung von einwohnerspezifischen Energieverbräuchen wird gemäß dem DWA-Arbeitsblatt A 216 der auf den Parameter CSB bezogene mittlere angeschlossene Einwohnerwert (EW_{CSB}) ermittelt. In Tabelle 2.2 sind die mittleren Frachten aufgeteilt nach dem Zulauf der kommunalen Abwassers und dem Zulauf der Firma Dralon für das Jahr 2017 zusammengestellt. Der mittlere angeschlossene Einwohnerwert errechnet sich zu **86.309 E**. Der über die TKN-Fracht bestimmte Einwohnerwert ist mit 139.516 E deutlich höher. Somit liegt ein sehr ungünstiges Verhältnis von Stickstoff- zu Kohlenstoffbelastung vor. Die auf den CSB bezogene Anschlussgröße, berechnet aus der 85 %-Perzentilfracht im Betrachtungszeitraum, beträgt 105.489 E. Die Anlage war somit bezogen auf die Ausbaugröße nur zu 54 % ausgelastet.

Tabelle 2.2: Mittlere Belastung in 2017

		Mittlere Konzentration [mg/l]	Mittlere Fracht [kg/d]	Einw.-spez. Fracht [g/(E·d)]	EW [E]
CSB	Ablauf Sandfang	664	7.416	120	61.803
	Zulauf Dralon	1.460	2.941	120	24.506
	Summe	-	10.357	120	86.309
TKN	Ablauf Sandfang	94	1.080	11	98.162
	Zulauf Dralon	225	455	11	41.355
	Summe	-	1.535	11	139.517
P _{ges}	Ablauf Sandfang	10	107	1,8	59.194
	Zulauf Dralon	0,2	0,4	1,8	219
	Summe	-	107	1,8	59.413

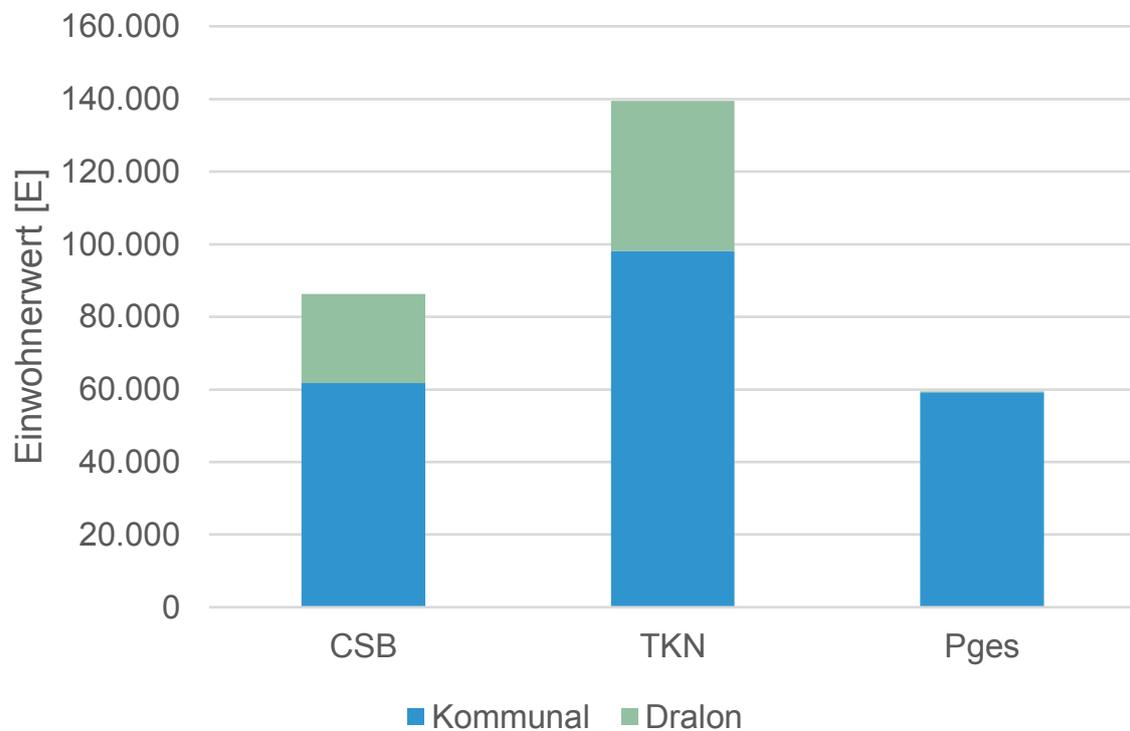


Bild 2.2: Mittlere Belastung 2017

2.3 Organische Schlammfracht und Gasausbeute

In Bild 2.3 ist die Schlamm- und Gasbilanz für die Kläranlage Lingen dargestellt.

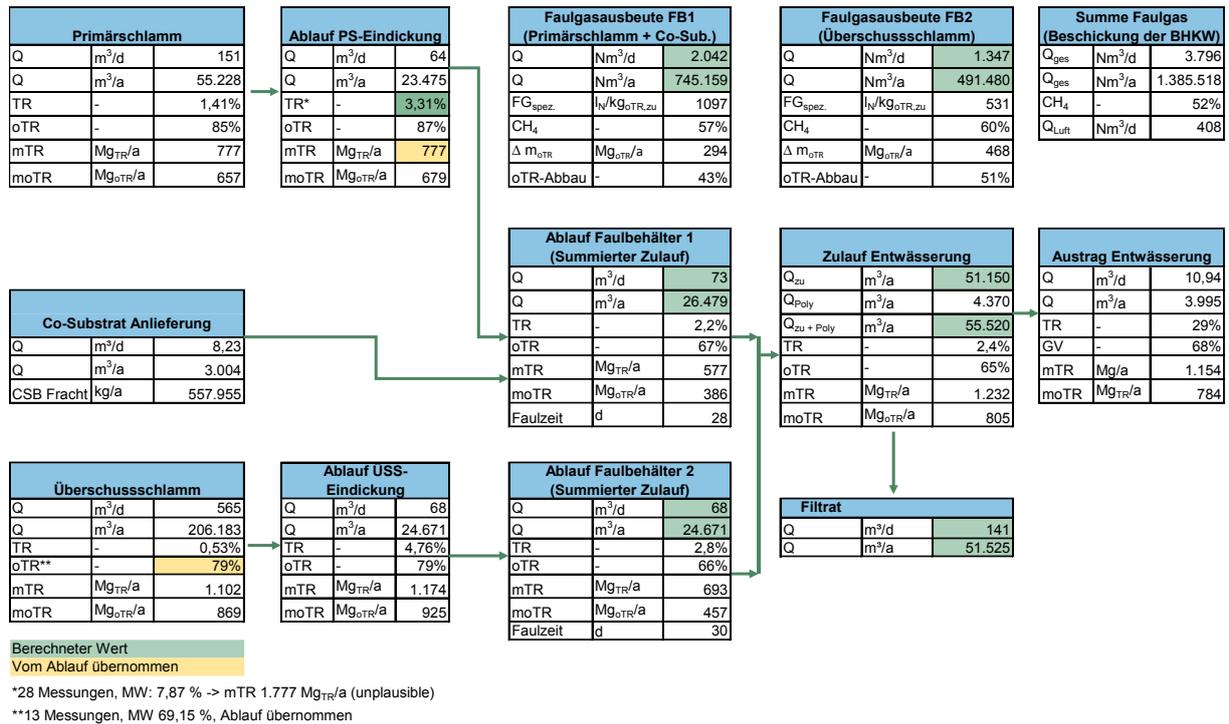


Bild 2.3: Schlamm- und Gasbilanz der KA Lingen mit Gasproduktion

Das mittlere Schlammalter in den Belebungsbecken beträgt 21 Tage. Die Gasmenge wird jeweils an beiden Faulbehältern, am Kondensatschacht und an den BHKW gemessen. Die Messungen an den Faulbehältern weisen zum Teil deutliche Differenzen zu den übrigen Messungen auf. Die Fackelverluste werden nicht aufgezeichnet, sind aber laut Betrieb vernachlässigbar. Der Abgleich der hinter dem Kondensatschacht aufgezeichneten Gasmengen mit den an den BHKW aufgezeichneten Gasmengen bestätigt dies. Eine Faulgasverwertung in der Heizungsanlage hat im Untersuchungszeitraum laut Aufzeichnungen nicht stattgefunden. Die Gasmengen- und Qualitätsmessungen werden über die produzierten Strom und Wärmemengen plausibilisiert. In Bild 2.4 sind die zur Verfügung gestellten Mengmessungen dargestellt. Es ist erkennbar, dass der relative Verlauf der dargestellten Kurven ähnlich ist, die an den Faulbehältern gemessene Menge jedoch den Großteil der Zeit rund 1.000 Nm³/d geringer ist. Ab Juli 2017 weisen alle Kurven einen ähnlichen absoluten Verlauf auf.

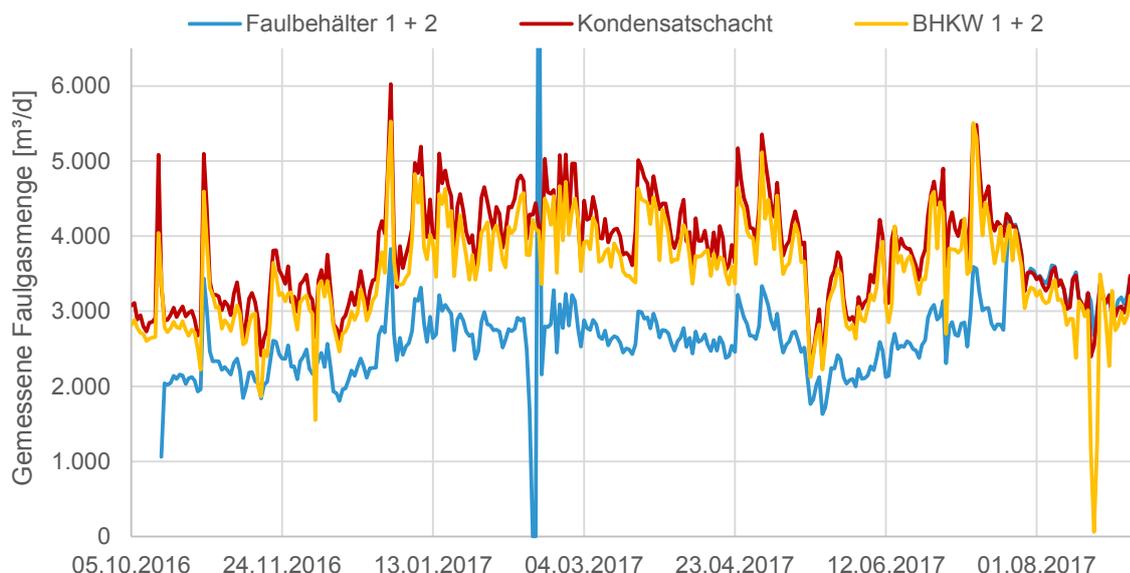


Bild 2.4: Aufgezeichnete Faulgasmengen (2016-2017)

Die im Untersuchungszeitraum an den Faulbehältern gemessene Faulgasmenge beträgt $2.670 \text{ Nm}^3/\text{d}$ bei einem mittleren Methananteil von 58 %. Der Primärenergiegehalt lässt sich daraus zu rund $15.560 \text{ kWh}/\text{d}$ berechnen. Die gemessene mittlere Stromproduktion der BHKW beträgt $6.550 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{d}$, die gemessene Wärmeproduktion der BHKW $9.330 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d}$. Wird mit Hilfe der Primärenergie der Gesamtwirkungsgrad der BHKW bestimmt, so errechnet sich ein Wirkungsgrad von 103 %, welcher nicht plausibel ist. Wird die Berechnung mit der an den BHKWs gemessenen Gasmenge und –qualität durchgeführt, errechnet sich ein Gesamtwirkungsgrad von 81 %, welcher etwa dem Nennwirkungsgrad entspricht. Aus diesem Grund wird für die Bilanzierung der Gasmengen die an den BHKW gemessene Gasmenge angesetzt.

Tabelle 2.3: Plausibilisierung der Gasmengenmessungen

Überprüfung der Mengenmessungen		
Stromproduktion	6.550	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{d}$
Wärmeproduktion	9.330	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{d}$
Messung Faulbehälter		
Messung Faulbehälter 1 + 2	2.670	Nm^3/d
Methangehalt	58%	-
Primärenergie	15.560	$\text{kWh}_{\text{pe}}/\text{d}$
Rechnerischer Wirkungsgrad	102%	-
Messung BHKW		
Messung BHKW 1 + 2	3.790	Nm^3/d
Methangehalt	52%	-
Primärenergie	19.700	$\text{kWh}_{\text{pe}}/\text{d}$
Rechnerischer Wirkungsgrad	81%	-

Zwischen den Messungen des Faulgases an den Faulbehältern und dem Kondensatschacht (respektive den BHKW) verringert sich der Methangehalt von 58 % auf 52 %. Dies ist auf die biologische Faulgasentschwefelung zurückzuführen. Bei diesem Prozess wird dem Faulgas Luft beigemischt, sodass der Methananteil im Gasvolumenstrom sinkt. Über die Reduzierung des Methananteils lässt sich der Faulgasanfall in den Faulbehältern mithilfe der nachstehenden Formel berechnen:

$$Q_{FB} = Q_{BHKW} \left(1 - \frac{c_{CH_4,FB} - c_{CH_4,BHKW}}{c_{CH_4,FB}} \right) = 3.790 \frac{Nm^3}{d} \left(1 - \frac{58\% - 52\%}{58\%} \right) = 3.380 \frac{Nm^3}{d}$$

Der so berechnete Gasanfall wird anteilig den Faulbehältern zugeordnet und so die produzierte Gasmenge der einzelnen Faulbehälter berechnet. Dabei wird angenommen, dass das Verhältnis der Gas Mengen aus den Faulbehältern 1 und 2 korrekt ist und nur die absoluten Mengen fehlerhaft aufgezeichnet werden. Der Luftanteil in der Gasmenge zu den BHKW beträgt 11 % (410 Nm³/d).

2.4 Energieverbrauch und Kosten

2.4.1 Faulgaseinsatz und Stromerzeugung

Im Untersuchungszeitraum wurden 1.237.000 Nm³ Faulgas mit einem mittleren Methananteil von 58 % produziert. Dies entspricht 7.203.000 kWh Primärenergie. Das Gas wurde nahezu vollständig in den BHKW verwertet. Mit der BHKW-Anlage wurden 2.392.000 kWh an Strom produziert. Dem gegenüber steht ein Stromverbrauch von 2.802.000 kWh, sodass bilanziell eine 85-prozentige Eigenversorgung erreicht wurde. 80.000 kWh wurden in das örtliche Stromnetz eingespeist und 2.312.000 kWh auf der Kläranlage genutzt, sodass real eine 83-prozentige Eigenversorgung vorliegt.

2.4.2 Energetischer Fremdenenergiebezug

Der Bezug an elektrischer Energie beträgt gemäß EVU-Abrechnung im Untersuchungszeitraum rund 556.000 kWh/a. Der mittlere Bruttostrompreis lag für das Jahr 2017 bei 21 Ct/kWh, damit sind insgesamt Stromkosten in Höhe von rund 119.000 € angefallen. Die Zusammensetzung des Strompreises ist in Bild 2.5 dargestellt.

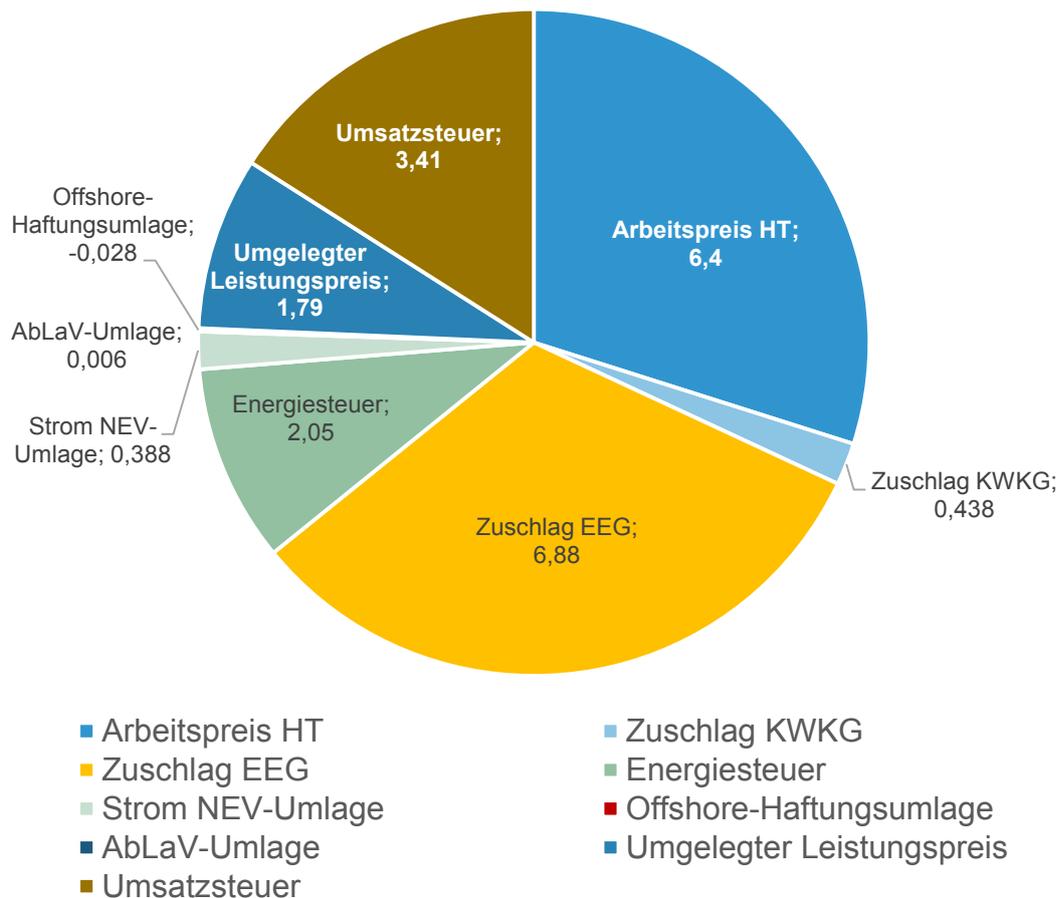


Bild 2.5: Zusammensetzung des Strompreises [Ct/kWh]

2.4.3 Wärmeproduktion und –bedarf auf der Kläranlage Lingen

Der Wärmebedarf der Kläranlage setzt sich im Wesentlichen aus dem Wärmebedarf für die Schlammwärmehaltung auf die im Faulbehälter notwendige Temperatur von im Mittel 39 °C, dem Ausgleich der Transmissionsverluste der Faulbehälter, dem Wärmebedarf der thermischen Schlammwärmehaltung sowie dem Wärmebedarf der Betriebsgebäude zusammen. Wärmeüberschüsse werden entweder in das Fernwärmenetz eingespeist oder über Notkühler an die Umwelt abgegeben.

In Tabelle 2.4 sind der rechnerisch ermittelte Wärmebedarf von Faulung und Betriebsgebäude und die gemessene Verteilung der produzierten Wärme zusammengestellt. Von den rund 3.404.000 kWh Wärme werden 2.164.000 kWh auf der Kläranlage genutzt. Der Wärmeüberschuss von 1.239.000 kWh wird zu 54 % (671.000 kWh/a) in das Fernwärmenetz eingespeist und zu 46 % (568.000 kWh/a) über die Notkühler abgeführt. Die der LysoTherm-Anlage zugeführte Wärmemenge beträgt 911.000 kWh. Davon werden 606.000 kWh/a, also 2/3, für die Aufheizung des Faulschlammes genutzt. Die Ergebnisse aus dem zweiten Halbjahr (Faulschlammwärmehaltung mit Mischschlamm) ergeben einen geringeren Wärmebedarf der LysoTherm-Anlage.

Tabelle 2.4: Nutzung der BHKW Abwärme auf der KA Lingen

Wärmebedarf Schlammaufheizung	
Schlamm	51.150 m ³ /a
Dichte Schlamm	998 kg/m ³
spez. Wärmekapazität Rohschlamm	1,16 Wh/(kg·K)
Temp. Faulschlamm	38,7 °C
Temp. Rohschlamm	16,7 °C
ΔT	22,0 °C
	1.301.946 kWh/a

Transmissionswärmeverluste des Faulbehälters	
Annahme: 20 % des Gesamtbedarfs	371.985 kWh/a

Wärmebedarf Betriebsgebäude	
Annahme: 10 % des Gesamtbedarfs	185.992 kWh/a

Summe rechnerischer Wärmebedarf "konventionelle" Anlagenteile	
Rechnerischer Wärmebedarf "konventionell"	1.859.923 kWh/a

Wärmeverteilung BHKW	
Produzierte Wärmemenge BHKW	3.403.876 kWh/a
Gesamtwärmebedarf KA	2.164.489 kWh/a
Wärmeüberschuss BHKW	1.239.387 kWh/a
Notkühlung BHKW	568.472 kWh/a
Abgabe ins Fernwärmenetz BHKW	670.914 kWh/a

Wärmebedarf Lysotherm	
Gemessene Wärmemenge LysoTherm	910.986 kWh/a
Rechnerischer Wärmebedarf für LysoTherm	304.567 kWh/a
Rechnerische Wärmemenge LysoTherm → Faulung	606.420 kWh/a

Auf der KA Lingen ist eine Heizungsanlage vorhanden, die zur Klärgasverwertung bei Ausfall der BHKW genutzt werden kann (wurde 2017 allerdings nicht genutzt) und für die Speisung des angeschlossenen Fernwärmenetzes genutzt wird. Reicht der Wärmeüberschuss der BHKW nicht aus, wird im Kessel Erdgas eingesetzt, um den Wärmebedarf des Fernwärmenetzes zu decken.

Insgesamt wird die anfallende Wärme auf der Kläranlage effizient genutzt, übermäßige Wärmeverluste sind nicht erkennbar. Die über die Notkühler abgeführten Wärmemengen lassen sich auf die grundsätzliche Problematik zurückführen, dass der Wärmeüberschuss von Faulungsanlagen mit BHKW Betrieb in der Regel bei höheren Außentemperaturen anfällt, in denen auch der Wärmebedarf des Fernwärmenetzes geringer ist.

2.5 Energiebilanz der Kläranlage Lingen

Aus den in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Energiedaten ergibt sich die in Bild 2.6 dargestellte Energiebilanz.

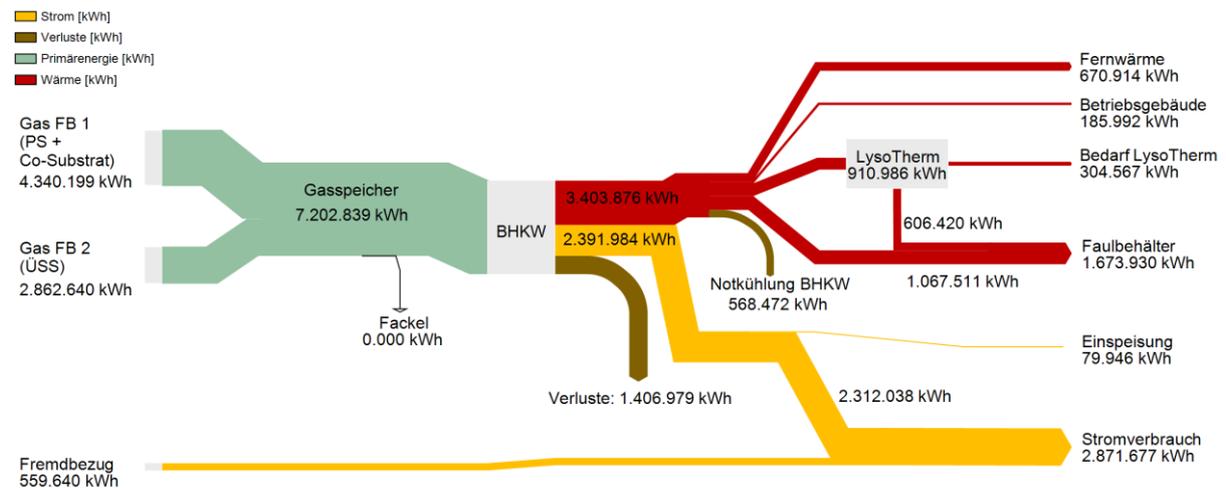


Bild 2.6: Energiebilanz der KA Lingen

2.6 Entwicklung des Stromverbrauchs von 2011 bis 2017

In Bild 2.7 sind die Entwicklung des Stromverbrauchs [kWh/a] und der Anlagenbelastung [E] sowie der aus beiden Größen berechnete einwohnerspezifische Verbrauch [kWh/(E·a)] für die Jahre 2011 bis 2017 dargestellt. Der Verbrauch der LysoTherm-Anlage ist gesondert dargestellt. Darüber hinaus ist unter „Sonstiges“ der Verbrauch der Aggregate und Verfahrensstufen zusammengefasst, welche im Jahr 2017 gegenüber dem Jahr 2016 zusätzlich betrieben worden sind (EloPhos-Anlage, maschinelle Primärschlammeindickung, Faulgasentschwefelung und zweiter Faulbehälter).

Insgesamt ist ein Rückgang des absoluten Stromverbrauchs festzustellen. Parallel sinkt allerdings auch die Belastung der Kläranlage. Der spezifische Stromverbrauch steigt dadurch von 26 kWh/(E·a) (2011) auf 32 kWh/(E·a) (2017) an.

2. Ist-Zustand

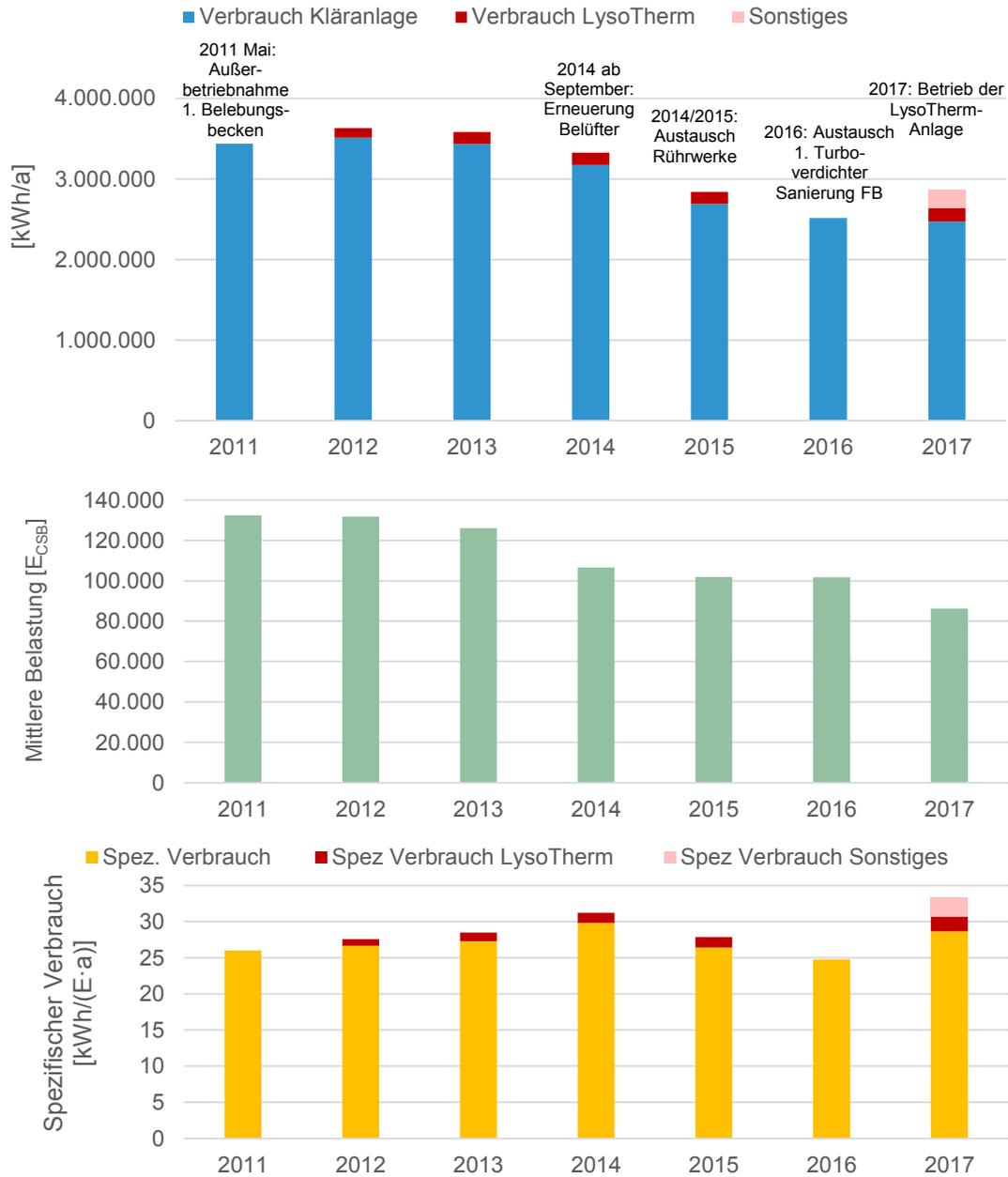


Bild 2.7: Entwicklung des Stromverbrauchs und der Anlagenbelastung 2011 bis 2017

Tabelle 2.5: Entwicklung Stromverbrauch und Anlagenbelastung 2011 bis 2017

Jahr	Verbrauch Kläranlage [kWh/a]	Verbrauch LysoTherm [kWh/a]	Sonstiges [kWh/a]	Spez. Verbrauch [kWh/(E·a)]
2011	3.439.579	0	0	26
2012	3.512.312	120.000	0	28
2013	3.435.282	150.000	0	28
2014	3.176.721	150.000	0	31
2015	2.690.476	150.000	0	28
2016	2.517.828	0	0	25
2017	2.473.218	174.002	224.457	33

Bei einem Rückgang der Belastung sinkt üblicherweise der absolute Strombedarf. Der Rückgang ist primär auf einen geringeren Bedarf an Belüftungsenergie zur biologischen Oxidation von Kohlenstoffverbindungen zurückzuführen. Die Belüftung der KA Lingen weist im Jahr 2017 einen Wert von 11 kWh/(E·a) auf, was für Druckbelüftungssysteme ein guter Wert ist.

Bei einer Vielzahl von Verbrauchern ist der Stromverbrauch bei sinkender CSB-Belastung weitestgehend konstant (beispielsweise Rührwerke und Abluftbehandlung), oder der Verbrauch ist weniger an die auf den CSB bezogene Belastung sondern primär an die behandelte Abwassermenge gekoppelt (z. B. Pumpwerke). In Bild 2.8 sind die mittlere Belastung und die jährliche Abwassermenge über die Jahre 2011 bis 2017 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Belastung kontinuierlich fällt, wohingegen die Wassermenge auf dem gleichen Niveau bleibt und relativ geringe Schwankungen aufweist. Bei einem Rückgang der CSB-Belastung von 2011 bis 2017 um 35 % ist die Abwassermenge lediglich um 7 % gesunken.

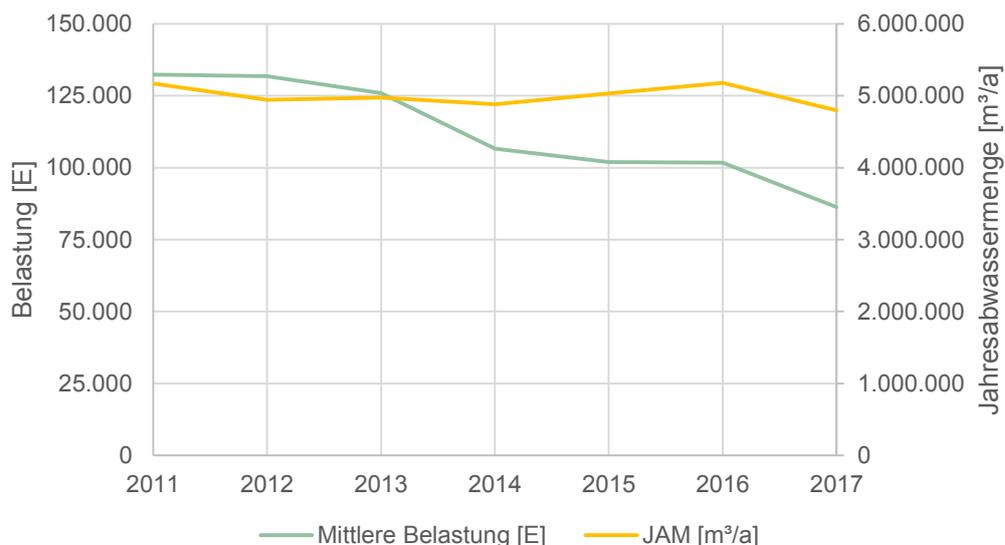


Bild 2.8: Belastung und Jahresabwassermenge (JAM) 2011 bis 2017

Die dargestellten Zusammenhänge erklären, warum der spezifische Verbrauch der Kläranlage trotz Energiesparmaßnahme angestiegen ist. Auf der Kläranlage Lingen ist insbesondere die geringe Auslastung der Kläranlage von 54 % der Grund für den hohen spezifischen Verbrauch. Wird der spezifische Verbrauch mit der behandelten Abwassermenge an Stelle der Belastung als Bezugsgröße berechnet, zeigt sich im Vergleich 2011 zu 2017 ein Rückgang des spezifischen Verbrauchs von 0,67 kWh/m³ auf 0,60 kWh/m³.

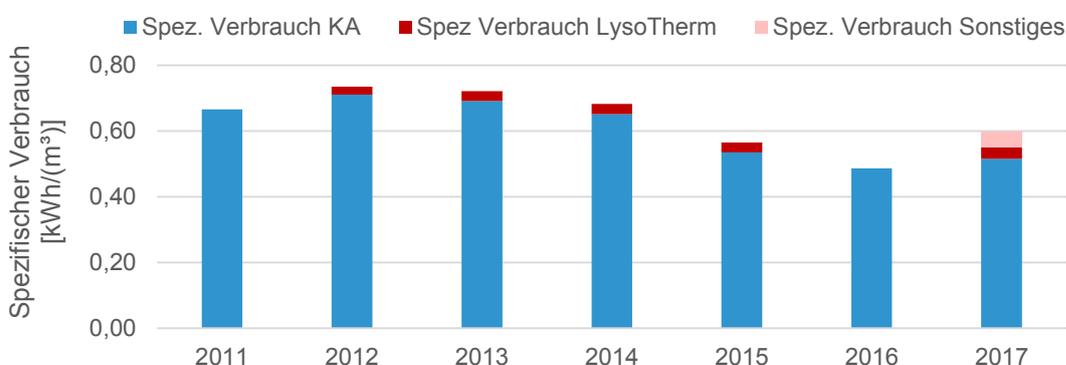


Bild 2.9: Spezifischer Verbrauch 2011 – 2017 (auf Jahresabwassermenge bezogen)

Anmerkung: Bei den in diesem Kapitel dargestellten Daten zum Stromverbrauch wurde der Stromverbrauch der Fernwärmepumpen (2017: Rund 70.000 kWh) nicht herausgerechnet, da dieser in den zurückliegenden Jahren nicht bekannt ist. Der Einfluss auf den Gesamtverbrauch von rund 2,8 Mio. kWh/a und somit die errechneten Kennzahlen ist allerdings weitestgehend vernachlässigbar.

2.7 Anlagendaten

Die in den vorangegangenen Kapitel vorgestellten Daten sind nachfolgend zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2.6: Anlagendaten

Anlagendaten KA Lingen	
Betriebsjahr	1. Halbjahr 2017
Ausbaugröße	195.000 [E]
CSB-Ist (mittlere Fracht Zulauf Sandfang + Zulauf Dralon)	10.357 [kg/d]
Mittlerer CSB-Einwohnerwert (Bezugswert Energieanalyse)	86.309 [E _{CSB}]
85 %-Perzentil CSB-Einwohnerwert (Anschlussgröße)	105.489 [E _{CSB}]
Förderhöhe Zwischenpumpwerk	2,2 [m _{FH}]
Abwasseranfall (Ablaufmessung)	4.879.443 [m ³ /a]
Rohschlammanfall (PS+ÜS)	48.146 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	1.951 [t TR/a]
Organischer Anteil Rohschlamm	1.605 [t oTR/a]
Co-Substrat	3.004 [m ³ /a]
Faulgasproduktion gesamt	1.385.518 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung Kessel (Heizung)	0 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung BHKW	1.380.518 [Nm ³ /a]
Abfackelung Faulgas	5.000 [Nm ³ /a]
Wärmeproduktion aus Biogas (Heizung, BHKW)	3.403.876 [kWh _{th} /a]
Elektrizitätsproduktion aus Faulgas	2.391.984 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätseinspeisung in das Stromnetz	79.946
Einkauf Elektrizität von EVU	559.640 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätsverbrauch Belebung (E _{BB})	1.255.608 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätsverbrauch Belüftung (E _{Bel})	916.301 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätsverbrauch KA ohne Fernwärme	2.801.823 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätsverbrauch der nicht zuzuordnen ist	117.547 [kWh _{el} /a]
Elektrizitätsverbrauch Fernwärme	-69.855 [kWh _{el} /a]

3. Bewertung des energetischen Zustands

3.1 Anlagenspezifische Idealwerte für die Kläranlage Lingen

Nachfolgend werden anlagenspezifische Idealwerte des einwohnerspezifischen Verbrauchs auf Grundlage der lokalen Randbedingungen der KA Lingen berechnet.

Idealwert für den Rechen:

Es werden 0,05 kWh/(E·a) gemäß A-216 angesetzt.

Idealwert für den Sandfang:

Der Idealwert für Räumern und sonstige Aggregate wird entsprechend dem Energiehandbuch mit 0,2 kWh/(E·a) angesetzt. Bei einem Gesamtvolumen der Sandfänge von 157 m³ und einem spezifischen Lufteintrag nach A-216 von 1,3 m³/(m³_{SF}·h) lässt sich die benötigte Luftmenge berechnen. Bei einem Wirkungsgrad der Sandfanggebläse von 55 % und dem Druck in der Luftleitung von 2,4 mWS errechnet sich hiermit der Idealwert für die Belüftung zu:

$$2,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) / 55\% \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m}^3/(\text{m}^3_{\text{SF}} \cdot \text{h}) \cdot 157 \text{ m}^3_{\text{SF}} \cdot 8760 \text{ h/a} / 86.309 \text{ E} /$$

$$1.000 \text{ Wh/kWh} = 0,25 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Der Gesamt-Idealwert für den Sandfang beträgt somit 0,2 kWh/(E·a) + 0,25 kWh/(E·a) = 0,45 kWh/(E·a)

Idealwert für die Vorklämung:

Im Untersuchungszeitraum war ein Vorklämbecken in Betrieb. Hauptverbraucher ist der Räumern, die Primärschlammumpen werden der Primärschlammmeindickung zugerechnet. Für den Vorklämbeckenräumern (Dauerläufer) wird gemäß DWA-A 216 eine Leistung von 1,0 kW angesetzt. Der Idealwert errechnet sich so zu 0,12 kWh/(E·a).

$$(1.000 \text{ W} \cdot 8.760 \text{ h/a}) / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh/kWh}) = 0,12 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für die Belüftung:

Der mittlere stündliche Sauerstoffbedarf (OV_h) wurde nach DWA-A 131 zu 262 kg O₂/h berechnet (siehe Anhang 8.2). Der anlagenspezifische Idealwert der Belüftung wird über die Sauerstoffkonzentration, die Beckentiefe, den Standard Sauerstofftrag (SAE) und den gewählten Alpha-Wert berechnet. Es errechnet sich ein Idealwert von 10,1 kWh/(E·a).

Tabelle 3.1: Berechnung Idealwert Belüftung

Belüftung			
OV _h	261,7	kg O2/h	Stündlicher Sauerstoffbedarf
h _d	6,25	m	Mittlere Einblastiefe
f _d	1,30	-	1+h _{BB} /20,7 für DB
α	0,75	-	Grenzflächenfaktor, Alpha-Wert
β	1	-	Salzgehalt
C _{S,20}	9,1	mg O2/l	O ₂ -Sättigungskonzentration bei 20°C
C _X	2	mg O2/l	O ₂ -Gehalt im belüfteten Teil des Belebungsbeckens
C _{S,T}	9,52	mg O2/l	O ₂ -Sättigungskonzentration bei mittlerer Temperatur
T _{aM}	17,76	°C	Temperatur im Belebungsbecken (Jahresmittel)
SOTR	419,57	kg O2/h	Standard-Sauerstoffzufuhr in Reinwasser
	10.070	kg O2/d	OVh * f _d * C _{S,20} / [(f _d * C _{S,T} - C _X) * 1,024 ^(1-ZU) * α]
Belüftete Zeit	8.760	h/a	
SAE (nach DWA M 216)	4,2	kg O2/kWh	Standard-Sauerstofftrag
E = SOTR * t/SAE	875.107	kWh/a	Energieverbrauch
e _{Bel,Idealwert}	10,1	kWh/(E*a)	E/EW _{CSB}

Idealwert für die Umwälzung:

Die Belebungsbecken bestehen aus zwei vorgeschalteten Denitrifikationskammern, einer Nitrifikationszone und einer Zehrungszone beim Beckenablauf. Die Rührwerke in den Deni-Kammern und in der Zehrungszone werden durchgehend betrieben. Pro Becken ist zudem je ein mit Rührwerken durchmischtes Anaerobbecken (1.290 m³) vorgeschaltet. Im Arbeitsblatt DWA-A 216 ist der spezifische Leistungsbedarf für die Durchmischung für verschiedene Beckengrößen angegeben. Die Größe der Deni-Kammern wird aus den Planunterlagen mit 1.333 m³/Kammer und die Zehrungszone mit 320 m³/Belebungsbecken abgeschätzt. Mit diesen Größen wird der spezifische Bedarf gemäß A 216 interpoliert. Der Idealwert errechnet sich zu 1,7 kWh/(E·a):

$$(1.333 \cdot \text{m}^3/\text{Kammer} \cdot 2 \text{ Kammern}/\text{Straße} \cdot 1,83 \text{ W}/\text{m}^3 + 320 \text{ m}^3/\text{Straße} \cdot 3,4 \text{ W}/\text{m}^3 + 1.290 \text{ m}^3/\text{Straße} \cdot 1,86 \text{ W}/\text{m}^3) \cdot 2 \text{ Straßen} \cdot 8760 \text{ h/a} / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh}/\text{kWh}) = 1,70 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für die Rezirkulation:

Als Förderhöhe wird die Höhe während der Leistungsmessung (0,45 m) angesetzt. Als Wassermenge wird die aus der Pumpenkennlinie abgelesene max. Fördermenge von 1.350 m³/h pro Pumpe angesetzt (= 23.652.000 m³/a). Der Idealwert errechnet sich mit einem angenommenen Pumpenwirkungsgrad von 65 % zu 0,51 kWh/(E·a):

$$2,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}_{\text{FH}}) / 65 \% \cdot 23.652.000 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 0,45 \text{ m}_{\text{FH}} / 86.309 \text{ E} / 1.000 \text{ Wh}/\text{kWh} = 0,51 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für das Rücklaufschlammwerk:

Im Jahr 2017 sind 4.879.443 m³ Abwasser durch die Kläranlage geflossen. Mit einem angenommenen Rücklaufverhältnis von 100 % ergibt sich eine zu fördernde Rücklaufschlammmenge von 4.879.443 m³/a. Die Förderhöhe der Rücklaufschlamm pumpen wurde aus den Plä-

nen des Rücklaufschlammumpwerks mit ca. 3,4 m abgelesen. Mit einem angenommen Wirkungsgrad der Rücklaufschlammumpen von 60 % ergibt sich ein Idealwert von 0,86 kWh/(E·a):

$$2,7 \cdot \text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}_{\text{FH}}) / 60 \% \cdot 4.879.443 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 3,4 \text{ m} / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh}/\text{kWh}) \\ = 0,86 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für die Nachklärung:

Im Untersuchungszeitraum waren drei Nachklärbecken in Betrieb. Hauptverbraucher sind die Räumler, die Überschussschlammumpen werden der Überschussschlammeindickung zugerechnet. Für die Räumler (Dauerläufer) wird gemäß DWA-A 216 eine Leistung von 1 kW angesetzt. Der Idealwert errechnet sich so zu 0,3 kWh/(E·a):

$$1000 \text{ W}/\text{Becken} \cdot 3 \text{ Becken} \cdot 8.760 \text{ h}/\text{a} / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh}/\text{kWh}) = 0,3 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für den Schlamm Speicher

Der Schlamm Speicher hat ein Volumen von 550 m³. Bei Annahme eines spezifischen Leistungsbedarfs von 20 W/m³ für die Durchmischung des Schlamms errechnet sich bei einer Laufzeit von rund 7.000 Stunden pro Jahr ein Idealwert von 0,9 kWh/(E·a):

$$20 \text{ W}/\text{m}^3_{\text{Speicher}} \cdot 550 \text{ m}^3_{\text{Speicher}} \cdot 7.000 \text{ h}/\text{a} / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh}/\text{kWh}) = 0,9 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für die Primärschlammeindickung:

Der Primärschlamm (55.352 m³/a) wird vor der Faulung über einen Bandeindicker voreingedickt. Nach DWA-A 216 wird ein spezifischer Stromverbrauch des Bandeindickers von 0,2 kWh/m³ angesetzt. Der Literaturwert ist allerdings für die Überschussschlammeindickung mit Bandeindicker angegeben, der spezifische Bedarf für die Primärschlammeindickung kann davon abweichen. Zusätzlich werden bei der Berechnung des Idealwertes die Primärschlammumpen (Dünn- und Dickschlamm) mit berücksichtigt. Es errechnet sich ein Idealwert von 0,19 kWh/(E·a):

$$(2,7 \cdot \text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}_{\text{FH}}) / 50 \% \cdot (55.228 \text{ m}^3_{\text{Dünn.}}/\text{a} \cdot 3 \text{ m}_{\text{FH}} + 23.475 \text{ m}^3_{\text{Dick.}}/\text{a} \cdot 35 \text{ m}_{\text{FH}}) \\ / (1.000 \text{ Wh}/\text{kWh}) + 0,2 \text{ kWh}/\text{m}^3 \cdot 55.228 \text{ m}^3/\text{a} / 86.309 \text{ E} = 0,19 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$$

Idealwert für die Überschussschlammeindickung:

Der Überschussschlamm (176.000 m³/a) wird vor der Faulung über einen zweiten Bandeindicker voreingedickt. Nach DWA-A 216 wird ein spezifischer Stromverbrauch des Bandeindickers von 0,2 kWh/m³ angesetzt. Zusätzlich werden bei der Berechnung des Idealwertes die Überschussschlammumpen (Dünn- und Dickschlamm) mitberücksichtigt. Es errechnet sich ein Idealwert von 0,47 kWh/(E·a):

3. Bewertung des energetischen Zustands

$$\begin{aligned} & (2,7 \cdot \text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}_{\text{FH}}) / 50 \% \cdot (175.734 \text{ m}^3_{\text{Dünn.}}/\text{a} \cdot 1 \text{ m}_{\text{FH}} + 24.671 \text{ m}^3_{\text{Dick}}/\text{a} \cdot 35 \text{ m}_{\text{FH}}) \\ & / (1.000 \text{ Wh/kWh}) + 0,2 \text{ kWh}/\text{m}^3 \cdot 175.734 \text{ m}^3/\text{a} / 86.309 \text{ E} \\ & = 0,47 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Idealwert für die Faulung:

Der Stromverbrauch der Faulung wird durch die Umwälzung dominiert. Nach dem Arbeitsblatt A 216 beträgt der spezifische Leistungsbedarf bei Behältern dieser Größe für außenliegende Umwälzpumpen etwa $7 \text{ W}/\text{m}^3_{\text{FB}}$. Der Idealwert berechnet sich so zu $2,91 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$:

$$\begin{aligned} & 7 \text{ W}/\text{m}^3 \cdot 2.050 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 8.760 \text{ h}/\text{a} / 86.309 \text{ E} / (1.000 \text{ Wh/kWh}) \\ & = 2,91 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Idealwert für die Entwässerung:

Im Untersuchungszeitraum erfolgte die Entwässerung über eine Zentrifuge. Die ebenfalls vorhandene Bucherpresse wurde nicht genutzt. Für die Zentrifuge wird gemäß dem Arbeitsblatt A 216 ein spezifischer Verbrauch von $2,2 \text{ kWh}/\text{m}^3$ angesetzt. Der Idealwert errechnet sich so zu $1,42 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$:

$$\begin{aligned} & 2,2 \text{ kWh}/\text{m}^3 \cdot 55.520 \text{ m}^3/\text{a} / 86.309 \text{ E} \\ & = 1,42 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Idealwert für die Betriebswasseranlage:

Die Betriebswasseranlage besteht aus zwei getrennten Systemen. Die Grundwasserpumpen fördern auf einen Druck von 8 bar ($29.545 \text{ m}^3/\text{a}$), die Grauwasserpumpen auf 7 bar ($41.802 \text{ m}^3/\text{a}$). Da das Rohrleitungssystem und die anfallenden Verluste nicht bekannt sind, wird der Idealwert über die Kennzahlen des Energiehandbuchs 2.0 abgeschätzt. Der spezifische Verbrauch wird dort mit $0,25$ bis $0,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ angegeben. Mit den oben angegebenen Mengen errechnet sich der anlagenspezifische Idealwert so zu $0,4 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$:

$$\begin{aligned} & (29.545 \text{ m}^3/\text{a} + 41.802 \text{ m}^3/\text{a}) \cdot 0,5 \text{ kWh}/\text{m}^3 / 86.309 \text{ E} \\ & = 0,41 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

3.2 Kennzahlenvergleich (Energiecheck)

In der nachfolgenden Tabelle sind die Kennzahlen des Energiechecks nach DWA-A 216 aufgeführt, welche im Folgenden kurz erläutert werden.

Tabelle 3.2: Energiecheck 2017

Energiecheck KA Lingen		Einheit	Ist-Zu-stand	Idealwert
e_{ges}	Spez. Stromverbrauch Gesamt	[kWh/(E·a)]	32	27
e_{Bel}	Spez. Stromverbrauch Belüftung	[kWh/(E·a)]	11	10
Y_{FG}	Spez. Faulgasproduktion FB 1 (Gesamt)	[l _N /kg oTR]	1.097	457
Y_{FG}	Spez. Faulgasproduktion FB 1 (PS)	[l _N /kg oTR]	727	700
Y_{FG}	Spez. Faulgasproduktion FB 1 (Co-Substrat)	[l _N /kg CSB]	450	500
Y_{FG}	Spez. Faulgasproduktion FB 2 (ÜSS)	[l _N /kg oTR]	531	288
Y_{FG}	Spez. Faulgasproduktion Ges. (ÜSS + PS ohne Co.)	[l _N /kg oTR]	614	457
e_{FG}	Spez. Faulgasproduktion gesamt	[l _N /(E·d)]	39	24
N_{FG}	Grad der Gasumwandlung in Elektrizität	[%]	33	40
EV_{el}	Eigenversorgungsgrad Elektrizität	[%]	83	100
$e_{th,ext}$	Spez. Externer Wärmebezug	[kWh _{th} /(E·a)]	0	0
$e_{PW,ZP}$	Spez. Stromverbrauch Zwischenhebewerk	[Wh/(m ³ ·m)]	7,9	4,5 bis 5,4
$e_{PW,RLS}$	Spez. Stromverbrauch Rücklaufschlammhebewerk	[Wh/(m ³ ·m)]	4,6	3,9 bis 4,7

Gesamtstromverbrauch

Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage (ausschließlich des Stromverbrauchs der Fernwärme) berechnet sich zu 32 kWh/(E·a). Der spezifische Verbrauch ist damit 5 kWh/(E·a) größer als der anlagenspezifische Idealwert von 27 kWh/(E·a). Gegenüber dem Idealwert ergibt sich somit ein rechnerisches Einsparpotenzial von rund 478.000 kWh/a.

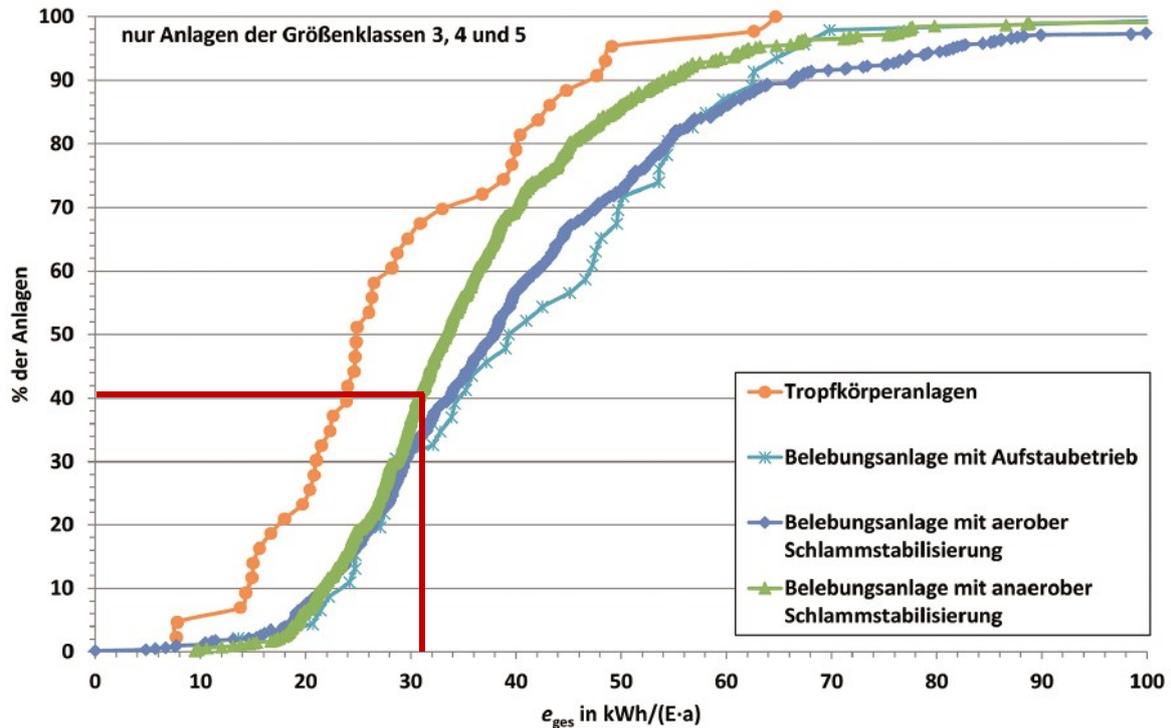


Bild 3.1: Spezifischer Stromverbrauch der KA im Vergleich zu KA nach DWA-A 216

Energieverbrauch Belüftung

Die Belüftung ist mit einem jährlichen Stromverbrauch von rund 916.000 kWh der größte Stromverbraucher. Im Vergleich mit den im A 216 dargestellten Verbrauchswerten ist der spezifische Verbrauchswert bereits als sehr gut zu bezeichnen. Eine mögliche Ursache hierfür besteht neben den vergleichsweise neuen Belüftungselementen in der niedrigen Auslastung der Kläranlage. Niedrigere Luftbedarfswerte sind so mit einem besseren SSOTR-Wert und einem niedrigeren Energieverbrauch der Belüftung verbunden.

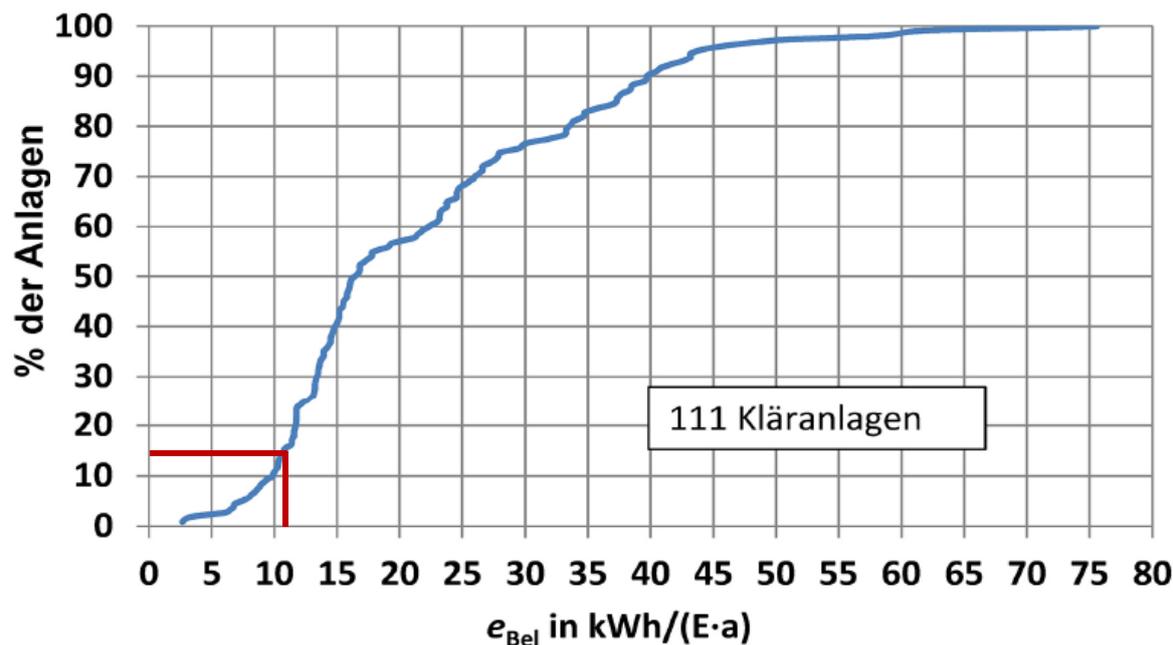


Bild 3.2: Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung im Vergleich zu KA nach DWA-A 216

Spezifische Faulgasproduktion

Die spezifische Faulgasproduktion wird getrennt für den Faulbehälter 1 (Primärschlamm und Co-Substrat) und Faulbehälter 2 (Überschussschlamm) angegeben. Als Idealwerte wurden die Angaben aus (MLU MV, 2013) übernommen, da die spezifische Faulgasmenge der Primärschlammfäulung gut mit den dort angegebenen Mengen übereinstimmt. Die Literaturwerte nach DWA-M 368 sind nachfolgend ebenfalls angegeben.

Tabelle 3.3: Spezifische Gasproduktion nach (MLU MV, 2013) und DWA-M368

Schlammfraktion	Einheit	MLU MV 2013	DWA-M 368
Rohschlamm	[l _N /kg oTR]	457	440
Primärschlamm	[l _N /kg oTR]	700	570
Überschussschlamm	[l _N /kg oTR]	288	330

Die Produktion der Faulbehälters 1 beträgt 1.073 l_N/kg_{oTR} und ist somit gegenüber dem Idealwert von 700 l_N/kg_{oTR} stark erhöht. Aufgrund der Verwendung von Co-Substrat (Waschwasser aus der Biodieselherstellung) ist die produzierte Gasmenge ohne eine signifikante Steigerung der organischen Trockenmasse erhöht. Die über das Co-Substrat angelieferte CSB-Fracht beträgt rund 558.000 kg/a. Der Faulgasanfall des Co-Substrates beträgt laut Betrieb 0,45 m³/kg_{CSB}, sodass sich ein zusätzlicher Faulgasanfall durch das Co-Substrat von rund

251.000 m³/a errechnet. Wird diese Gasmenge für die Berechnung der spezifischen Produktion von der Faulgasmenge abgezogen, errechnet sich eine spezifische Produktion von 727 l_N/kg_{oTR}, was in etwa dem Idealwert von 700 l_N/kg_{oTR} nach (MLU MV, 2013) entspricht.

Die spezifische Faulgasproduktion aus Überschussschlamm beträgt 531 l_N/kg_{oTR} und ist damit 84 % größer als der Idealwert von 288 l_N/kg_{oTR}. Hier wird der Einfluss der LysoTherm-Anlage mit einem erhöhten Aufschluss der organischen Substanz ersichtlich.

Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität

Da im Untersuchungszeitraum keine signifikanten Mengen an Faulgas abgefackelt oder in der Heizungsanlage eingesetzt worden sind, entspricht der Grad der Faulgasumwandlung dem elektrischen Wirkungsgrad der BHKW. Dieser beträgt rechnerisch 33 %. Der elektrische Nennwirkungsgrad beträgt 38 %. Der schlechtere Wirkungsgrad ist vermutlich auf den häufigen Betrieb der BHKW bei Teillast (60 %) zurückzuführen.

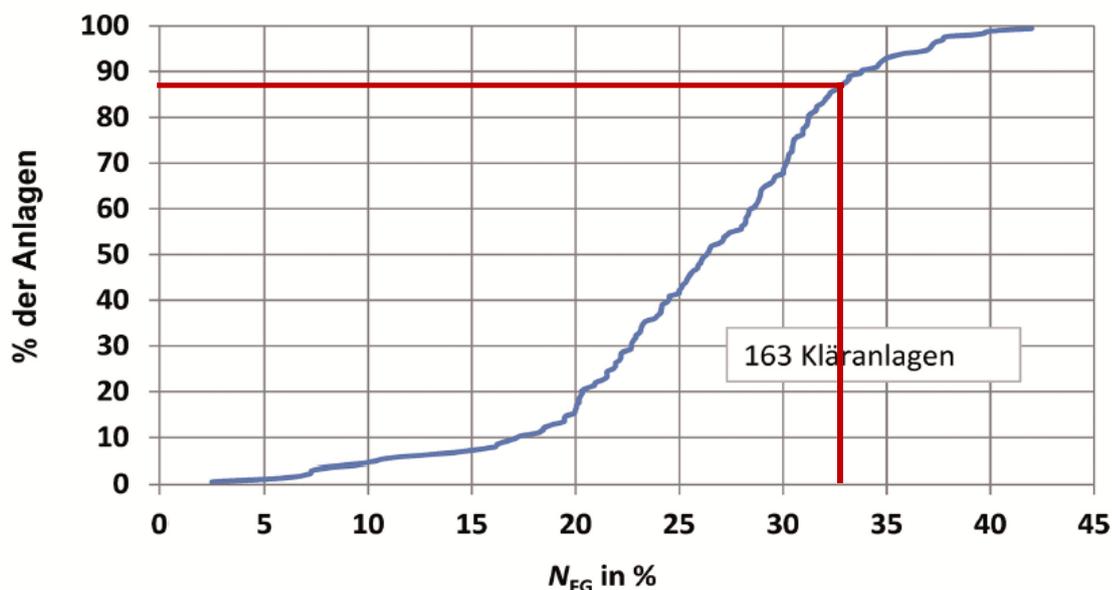


Bild 3.3: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität im Vergleich zu KA nach DWA-A 216

Eigenversorgungsgrad

Der Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie beträgt 83 % (siehe auch Kapitel 2.4.1) und damit unter dem angestrebten Idealwert von 100%. Teilweise liegt dies im Rückgang der Anlagenbelastung begründet. Durch den Rückgang verringert sich die verwertbare Schlammmasse, der Energiebedarf für die Infrastruktur und insbesondere der Abwasserpumpen (nahezu konstante Wassermenge) bleibt jedoch nahezu konstant.

Der Eigenversorgungsgrad an Wärme liegt bei 100 % und damit beim Idealwert. Überschüssige Wärme wird bereits im Ist-Zustand an das Fernwärmenetz abgegeben.

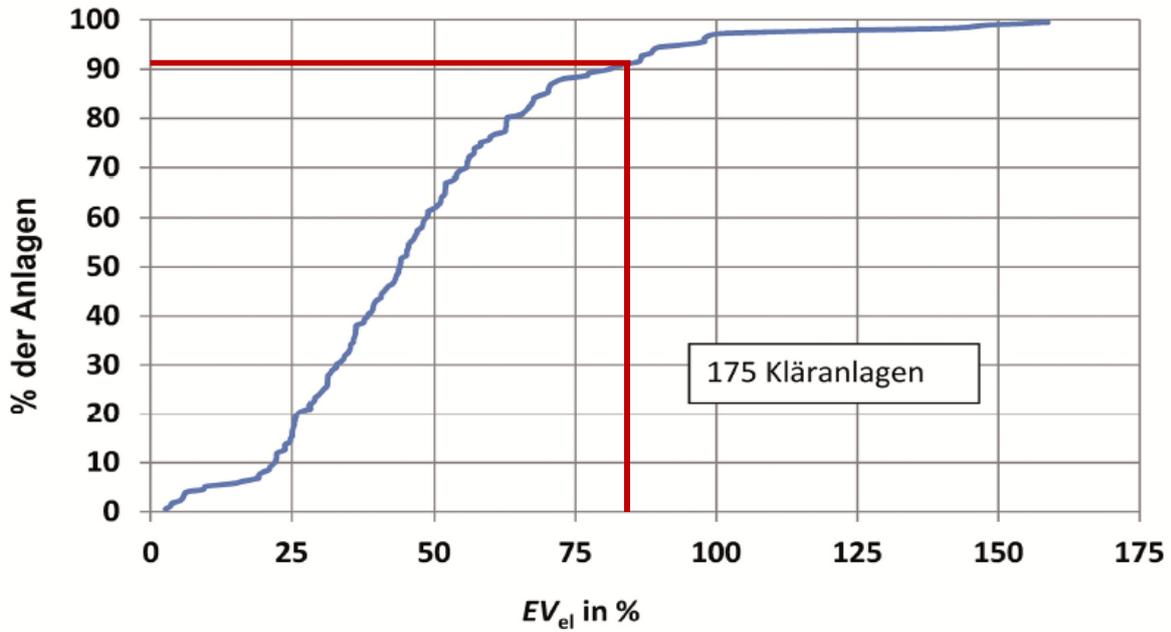


Bild 3.4: Eigenversorgungsgrad im Vergleich zu KA nach DWA-A 216

Stromverbrauch der Pumpwerke

Der spezifische Verbrauch des Rücklaufschlammhebewerks liegt im Bereich des Idealwertes. Bezüglich des Zwischenhebewerks lässt sich sowohl im Vergleich zum Idealwert als auch bei dem Vergleich mit anderen Anlagen ein Einsparpotential erkennen.

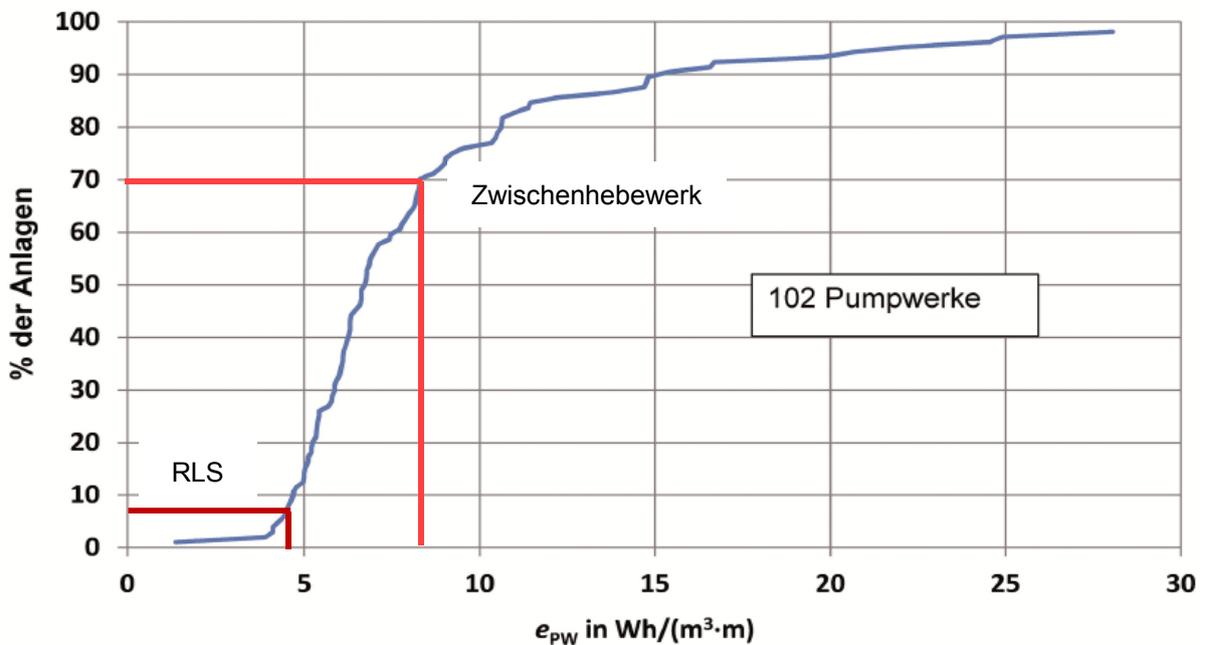


Bild 3.5: Spezifischer Stromverbrauch der Pumpwerke im Vergleich zu KA nach DWA-A 216

3.3 Energieverbrauchermatrix

In Tabelle 3.4 sind die Ist-Verbräuche, die Idealwerte und das rechnerische Einsparpotential der Verbraucher der KA Lingen unterteilt nach Verfahrensstufen aufgelistet. In grün hinterlegt sind die Verbraucher mit einem erkennbaren Einsparpotenzial. Für die Verfahrensstufen LysoTherm, EloPhos und Biogasentschwefelung wurden aufgrund fehlender Erfahrungswerte keine Idealwerte berechnet und in der entsprechenden Spalte die Ist-Werte übernommen, damit die Summenbildung über alle Verfahrensstufen ein sinnvolles Ergebnis liefert.

Tabelle 3.4: Energieverbrauchermatrix

Bereich	[%-Anteil]	Verbrauch [kWh _{el} /a]	EW-spez. Verbrauch [kWh _{el} /(E·a)]	Idealwert anlagenspez. [kWh _{el} /(E·a)]	Spezifische Abweichung [kWh _{el} /(E·a)]	Rechnerisches Einsparpotenzial [kWh _{el} /a]
Zulaufspeicher	1,5%	39.138	0,45	0,45	0,00	0
Hochwasserpumpwerk	0,0%	0	0,00	0,00	0,00	0
Mechanik						
Rechen	0,2%	5.178	0,06	0,05	0,01	0
Sandfang	1,9%	49.923	0,58	0,45	0,13	11.403
Vorklärung	0,9%	24.383	0,28	0,12	0,16	13.834
Zwischenhebewerk	3,0%	80.924	0,94	0,64	0,30	25.652
Industrieabwasserspeicher (Speicherkomplex)	0,1%	2.534	0,03	0,03	0,00	0
Kalkdosierung	0,3%	6.868	0,08	0,08	0,00	0
Biologische Stufe / Belebung						
Umwälzung	3,8%	102.877	1,19	1,70	-0,51	0
Rücklaufschlammhebewerk	3,1%	83.826	0,97	0,86	0,11	9.390
Interne Rezirkulation	4,0%	107.302	1,24	0,51	0,73	63.091
Belüftung	34,1%	916.301	10,62	10,14	0,48	41.294
Nachklärung	1,7%	45.301	0,52	0,30	0,22	19.021
Schlamm-Behandlung						
Schlamm Speicher (Speicherkomplex)	3,8%	100.699	1,17	0,89	0,27	23.611
PS-Voreindickung (inkl. PS-Pumpen)	2,2%	59.402	0,69	0,19	0,50	43.025
ÜSS-Voreindickung (inkl. ÜSS-Pumpen)	2,7%	73.752	0,85	0,47	0,38	32.993
LysoTherm	6,5%	174.301	2,02	2,02	0,00	0
Faulung	8,2%	221.283	2,56	2,91	-0,35	0
EloPhos	0,9%	24.134	0,28	0,28	0,00	0
Biogasentschwefelung	1,1%	30.279	0,35	0,35	0,00	0
Entwässerung	4,4%	117.367	1,36	1,42	-0,06	0
Prozesswasserspeicher (Speicherkomplex)	0,5%	12.463	0,14	0,14	0,00	0
Infrastruktur						
Betriebswasser	2,7%	73.108	0,85	0,41	0,43	37.435
Abluftbehandlung	4,8%	129.755	1,50	0,60	0,90	77.969
Druckluft	0,8%	21.024	0,24	0,24	0,00	0
Betriebsgebäude + Pumpwerk 1	2,5%	65.927	0,76	0,76	0,00	0
Sonstiges	1,5%	41.490	0,48	0,48	0,00	0
"Zählerdifferenz BHKW Gebäude"	2,8%	74.737	0,87	0,87	0,00	0
Summe	100,0%	2.684.276	30,6	26,9		
Stromverbrauch EVU + Eigenstrom - Fernwärme	104,4%	2.801.823	32			
Stromproduktion		2.391.984				
Stromeinspeisung		-79.946				
Eigenstromnutzung		2.312.038				
Strombedarf Fernwärme		69.855				
Strombezug (laut EVU)		559.640				
Einsparpotential vorhanden						

3.4 Bewertung der Verbrauchergruppen

Rechen

Der spezifische Verbrauch des Rechens entspricht dem Idealwert, es ist kein Einsparpotential zu erkennen.

Sandfang

Der spezifische Verbrauch des Sandfangs liegt in der Nähe des Idealwertes, es ist allerdings ein geringes Einsparpotenzial zu erkennen. Der Sandfang wird hinsichtlich möglicher Optimierungen untersucht.

Vorklärung

Der spezifische Verbrauch der Vorklärung ist deutlich höher als der Idealwert. Der Verbrauch wird hauptsächlich durch den dauerhaft betriebenen Räumerverursacht. Der Räumermotor hat eine Nennleistung von 3 kW und eine gemessene aufgenommene Wirkleistung von 2,5 kW. Im Arbeitsblatt DWA-A 216 ist pro Becken eine Räumerverleistung von 1 kW angegeben, sodass es zu der Abweichung zwischen Ideal- und Ist-Wert kommt. Die Dimensionierung des Räumermotors ist damit der Anknüpfungspunkt für mögliche Energieeinsparungen.

Zwischenhebewerk

Der spezifische Verbrauch des Zwischenhebewerks ist 0,3 kWh/(E·a) höher als der Idealwert. Das rechnerische Einsparpotenzial beträgt rund 26.000 kWh/a. Da die Pumpen des Hebewerks bisher ungeregelt betrieben werden, ist der Einsatz von Frequenzumrichter für den höhenstandgesteuerten Betrieb (ähnlich wie beim Rücklaufschlammumpwerk) möglicher Anknüpfungspunkt für Energieeinsparungen.

Speicherkomplex

Die einzelnen Bestandteile des sogenannten Speicherkomplexes (Industrieabwasser-, Prozesswasser und Schlamm Speicher) wurden in der Verbrauchermatrix getrennt betrachtet und den zutreffenden Verfahrensgruppen zugeordnet. Die Stromverbräuche des Industrieabwasser- und des Prozesswasserspeichers sind sehr gering, dort ist kein Optimierungspotenzial vorhanden.

Der Stromverbrauch des Rührwerks im Schlamm Speicher beträgt rund 100.000 kWh/a (3,7 % des bilanzierten Stromverbrauchs der Kläranlage). Beim Abgleich des spezifischen Verbrauchs mit dem Idealwert lässt sich ein Einsparpotenzial von 0,9 kWh/(E·a) bzw. 24.000 kWh/a erkennen. Es wird daher empfohlen, die Dimensionierung des Rührwerks zu überprüfen und das Aggregat gegebenenfalls auszutauschen.

Kalkdosierung

Der Stromverbrauch der Kalkdosierung ist vernachlässigbar gering, die Kalkdosierung wird daher nicht weiter untersucht.

Umwälzung-Belebungsbecken

Der spezifische Stromverbrauch der Umwälzung ist geringer als der Idealwert. Es ist kein Optimierungspotenzial erkennbar.

Rücklaufschlammhebewerk

Die Abweichung zwischen spezifischem Ist-Verbrauch und Idealwert beträgt 0,1 kWh/(E·a), das Optimierungspotential ist damit relativ gering. Da die Optimierung allerdings verhältnismäßig einfach durchgeführt werden kann, wird eine mögliche Maßnahme untersucht.

Interne Rezirkulation

Der spezifische Verbrauch der Rezirkulation beträgt 1,24 kWh/(E·a) bei einem Idealwert von 0,51 kWh/(E·a). Das rechnerische Einsparpotential beträgt rund 63.000 kWh/a. Die Rezirkulation wird auf mögliche Optimierungsmaßnahmen untersucht.

Belüftung

Der spezifische Verbrauch weist eine Abweichung zum Idealwert von 0,5 kWh/(E·a) auf, was einem theoretischen Einsparpotenzial von rund 44.000 kWh/a entspricht. Die Belüftung wird aus diesem Grund weitergehend untersucht.

Nachklärung

Der spezifische Verbrauch der Nachklärung ist größer als der Idealwert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Idealwert die notwendige Fahrbahnheizung nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund wird die Leistung der verbauten Fahrbahnheizung mit der theoretisch benötigten Leistung abgeglichen (siehe Tabelle 3.5). Es zeigt sich, dass die Fahrbahnheizung nicht zu großzügig dimensioniert ist, an dieser Stelle ist demnach kein Optimierungspotential erkennbar.

Tabelle 3.5: Überprüfung Fahrbahnheizung

Leistungsbedarf NKB Heizung		
	Spez. Bedarf	90 W/m _{Umfang}
NKB 1	Durchmesser	34 m
	Umfang	107 m _{Umfang}
	Rechn. Bedarf	10 kW
	Verbaute Leistung	8 kW
NKB 2	Durchmesser	34 m
	Umfang	107 m _{Umfang}
	Rechn. Bedarf	10 kW
	Verbaute Leistung	8 kW
NKB 3	Durchmesser	32 m
	Umfang	101 m _{Umfang}
	Rechn. Bedarf	9 kW
	Verbaute Leistung	7 kW

Neben der verbauten Leistung wird der Betrieb der Fahrbahnheizung überprüft. Zu diesem Zweck werden die Außentemperatur im Tagesmittel und die Laufzeit der Fahrbahnheizung pro

Tag miteinander abgeglichen. In Bild 3.6 sind beide Größen für die 2. Jahreshälfte 2017 abgebildet. Es ist erkennbar, dass die Fahrbahnheizung ab etwa 4 °C in Betrieb genommen wird. Auch an dieser Stelle ist demnach kein Optimierungspotential zu erkennen.

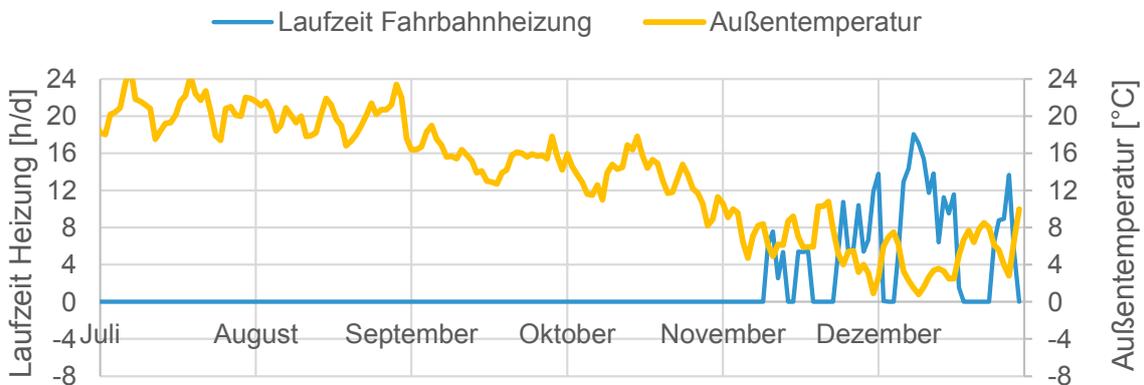


Bild 3.6: Betrieb der Fahrbahnheizung 2. Halbjahr 2017

Aufgrund der beschriebenen Überprüfung der Fahrbahnheizungen ist bei den Nachklärbecken kein Optimierungspotenzial abzuleiten.

Primärschlamm-Voreindickung (inkl. PS-Pumpen)

Die Primärschlammeindickung hat einen spezifischen Verbrauch von 0,69 kWh/(E·a) bei einem Idealwert von 0,19 kWh/(E·a). Das rechnerische Einsparpotential beträgt rund 43.000 kWh/a. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Idealwertberechnung auf Literaturwerten für die Überschussschlammeindickung per Bandeindicker basiert, da für die Primärschlammeindickung über Bandeindicker keine Erfahrungswerte vorliegen. Fast 50 % des Energiebedarfs werden von der durchgehend betriebenen Spülpumpe (Nennleistung: 4 kW) des Eindickers verbraucht. Energieeinsparmaßnahmen sollten dort ansetzen. Die Erfahrungen des Betriebs zeigen allerdings, dass eine intensive Reinigung des Bandes bei der Nutzung zur Primärschlammeindickung notwendig ist.

Bei den übrigen Aggregaten der Verfahrensstufe ist kein Einsparpotential erkennbar.

Überschussschlammeindickung

Die Überschussschlammeindickung hat einen spezifischen Verbrauch von 0,85 kWh/(E·a) bei einem Idealwert von 0,47 kWh/(E·a). Das rechnerische Einsparpotential beträgt rund 33.000 kWh/a. Ähnlich wie bei der Primärschlammeindickung ist unter energetischen Gesichtspunkten die Spülpumpe als Dauerläufer mit relativ großer Nennleistung (7,5 kW) von besonderer Bedeutung.

Faulung

Der spezifische Verbrauch der Faulung ist geringer als der Idealwert. Es ist kein Einsparpotential zu erkennen.

Entwässerung

Der spezifische Stromverbrauch der Entwässerung liegt mit 1,4 kWh/(E·a) am Idealwert von 1,4 kWh/(E·a). Einsparpotential ist nicht erkennbar.

Abluftbehandlung

Die Abluftbehandlung stellt mit einem Verbrauch von rund 130.000 kWh einen der größten Verbraucher der Kläranlage dar. Es ergibt sich eine Abweichung vom Idealwert von 0,9 kWh/(E·a), allerdings wurde der Idealwert nicht anlagenspezifisch berechnet, sondern aus dem Energiehandbuch übernommen. Auf der KA Lingen kommt der Abluftbehandlung aufgrund der Nähe zur Wohnbebauung eine besondere Bedeutung zu. Aus diesem Grund sind die Vorklärung und die Anaerobbecken vollständig abgedeckt und die Abluft wird abgesaugt. Es wird empfohlen, den Betrieb der Abluftbehandlung zu überprüfen und die Abluft möglichst bedarfsgerecht abzusaugen.

Betriebswasser

Die Verbrauchergruppe Betriebswasser weist einen spezifischen Verbrauch von 0,9 kWh/(E·a) bei einem Idealwert von 0,4 kWh/(E·a) auf. Das rechnerische Einsparpotenzial beträgt 37.000 kWh. Es sind zwei getrennte Anlagen vorhanden (Grundwasser und Grauwasser), deren Anlagenkennlinien nicht bekannt sind. Aus diesem Grund wurde für die Berechnung des Idealwertes der im Energiehandbuch 2.0 angegebene Verbrauch pro Kubikmeter Betriebswasser angesetzt. Beide Systeme werden mit relativ hohen Drücken von 8 bar (Grundwasser) und 7 bar (Grauwasser) betrieben. Es sollte geprüft werden, ob eines der Systeme bei einem niedrigeren Druck von 3-4 bar betrieben werden kann.

Druckluft

Der Strombedarf der Druckluftanlage ist mit 0,8 % der Gesamtmenge von untergeordneter Bedeutung. Ein Optimierungspotenzial ist nicht erkennbar.

LysoTherm-Anlage

Für die Bewertung der LysoTherm-Anlage wird der Gasanfall, der auf die thermische Schlamm-Desintegration zurückzuführen ist, berechnet. Die Gasmenge aus dem Faulbehälter 2 wird zu diesem Zweck in die Fraktionen „konventionell“, also der Teil, der dem für Überschussschlammfaulung üblichen Gasanfall entspricht, und „LysoTherm“, also der Teil des Gasertrags, der auf die Überschussschlamm-Desintegration zurückzuführen ist, unterteilt. Der Gasanfall aus der konventionellen Überschussschlammfaulung wird über einen spezifischen Gasertrag von $288 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{oTR}}$ (MLU MV, 2013) zu $266.000 \text{ m}^3/\text{a}$ berechnet. Bei einer Gesamtgasproduktion des Faulbehälters von $491.000 \text{ m}^3/\text{a}$ beträgt demnach der der Desintegration zuzuordnende Faulgasanfall $225.000 \text{ m}^3/\text{a}$. Die oTR-spezifische Gasausbeute aus dem Überschussschlamm wird nach dieser Abschätzung durch die LysoTherm-Anlage um 84 % gesteigert.

Über den gemessenen Methangehalt und den berechneten Wirkungsgrad der BHKW berechnet sich eine auf den Betrieb der LysoTherm-Anlage zurückzuführende Stromproduktion von 531.000 kWh . Der Stromverbrauch der Anlage beträgt etwa $174.000 \text{ kWh}/\text{a}$, sodass die Mehrproduktion nach Abzug des Eigenverbrauchs rund $275.000 \text{ kWh}/\text{a}$ beträgt.

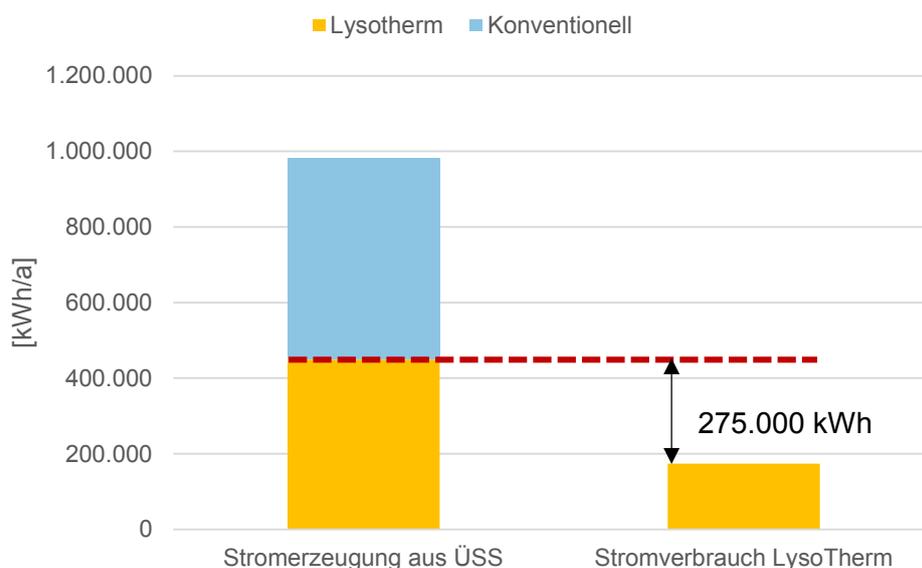


Tabelle 3.6: Stromerzeugung und Verbrauch durch LysoTherm

4. Nachbemessung der biologischen Stufe

Die detaillierte Nachbemessung ist Anhang 8.2 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Nachbemessung sind in Bild 4.1 dargestellt. Var. 1 wurde berechnet, um den mittleren O_2 -Bedarf der Anlage zu bestimmen und die Betriebsdaten zu plausibilisieren, daher wurde das 2017 real betriebene mittlere Schlammalter von 21 Tagen in die Berechnung mit aufgenommen. Var. 2 zeigt das Ergebnis der Nachbemessung für die 85 %-Perzentilbelastung mit dem rechnerisch erforderlichen Schlammalter von 16 Tagen. Die Dosierung der C-Quelle wurde so angesetzt, dass das erforderliche Beckenvolumen mit dem betriebenen Volumen von $16.000 \text{ m}^3_{\text{BB}}$ übereinstimmt. Die notwendige Dosiermenge von $125 \text{ kg}_{\text{CSB}}/\text{d}$ entspricht etwa der realen, den Belebungsbecken zugeleiteten Substratmenge von etwa $104 \text{ kg}_{\text{CSB}}/\text{d}$. In Var. 3 wurde die Dosierung der C-Quelle rechnerisch auf $2.000 \text{ kg}_{\text{CSB}}/\text{d}$ erhöht, sodass sich ein $V_{\text{DN}}/V_{\text{BB}}$ -Verhältnis von 0,34 errechnet, welches etwa dem betriebenen Verhältnis entspricht. Dabei zeigt sich eine deutliche Reduzierung des erforderlichen Beckenvolumens. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit sinkendem notwendigem Denitrifikationsanteil der Anteil des aeroben Schlammalters am Gesamtschlammalter steigt. Hierdurch sind geringere Beckenvolumina für das Einhalten des für die Bemessung maßgebenden aeroben Schlammalters erforderlich.

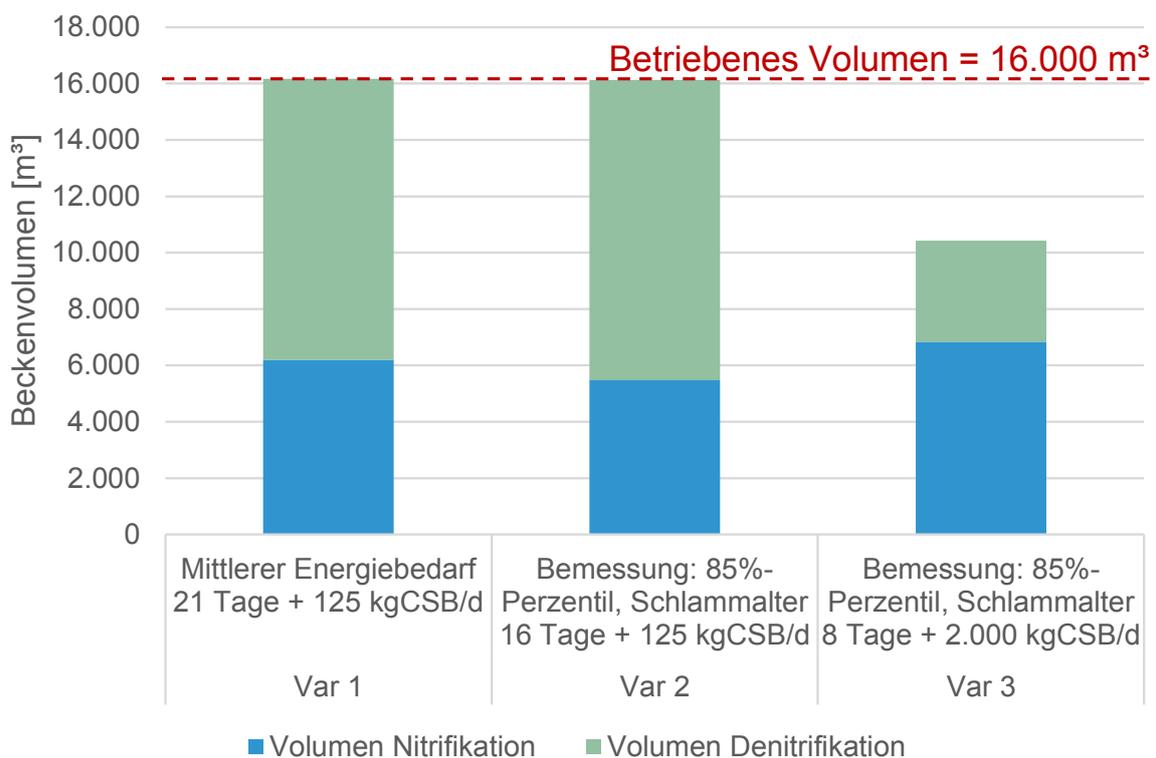


Bild 4.1: Ergebnis der Nachbemessung

5. Untersuchungen und Maßnahmen zur Energieeinsparung

Nachfolgend werden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz entwickelt und beschrieben. Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden anhand eines Kosten-Nutzen-Faktors auf ihre Wirtschaftlichkeit beurteilt. Dabei werden die gesamten jährlichen Kosten (Kapitalisierung der energetisch bedingten Zusatzinvestitionen zzgl. evtl. zusätzlicher Unterhaltskosten) durch den gesamten jährlichen Nutzen (Einsparung von Energiekosten und evtl. weiterer Betriebskosten) dividiert. Ein Kosten / Nutzenverhältnis $< 1,0$ bedeutet, dass die Maßnahme wirtschaftlich ist.

Die Kapitalkosten werden mit einem Zinssatz von 2,5 % in Jahreskosten umgerechnet. Die Nutzungsdauer wird, wenn nicht anders beschrieben, pauschal mit 10 Jahren angesetzt. Für die Berechnung der Energiekosten wird ein Strompreis von 21 Ct/kWh_{el} angesetzt.

Die Maßnahmen werden in die folgenden Kategorien unterteilt:

Bereits umgesetzte Maßnahmen (U):

Maßnahmen, die bereits vor Beginn der Energieanalyse durchgeführt wurden und eine Veränderung der energetischen Situation im Vergleich zum Betrachtungszeitraum darstellen, werden als bereits umgesetzte Maßnahmen beschrieben.

Sofortmaßnahmen (S):

Für Sofortmaßnahmen ist ein Realisierungshorizont von bis zu 2 Jahren vorgesehen. Sofortmaßnahmen sind sehr rentabel, erfordern geringe Investitionen und können auf Grund der technischen und/oder betrieblichen Randbedingungen sofort realisiert werden.

Kurzfristige Maßnahmen (K):

Kurzfristige Maßnahmen sind in der Regel insgesamt wirtschaftlich, sie sind aber mit entsprechenden Investitionen verbunden und müssen zumindest bei größeren Maßnahmen in einer Ausführungsplanung präzisiert werden (Realisierungshorizont: 2-5 Jahre).

Abhängige Maßnahmen (A):

Abhängige Maßnahmen sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So kann z.B. ein hocheffizienter Motor in der Regel erst nach Ende der Nutzungsdauer des alten Motors eingesetzt werden. Abhängige Maßnahmen können vielfach erst mittel- und langfristig realisiert werden (Realisierungshorizont: Bis zu 10 Jahre).

5.1 Bereits umgesetzte Maßnahmen

Seit 2011 wurde eine Reihe an Maßnahmen zur energetischen Optimierung durchgeführt:

- 2011: Außerbetriebnahme einer Belebungsbeckenstraße
- 2014: Austausch der Belüfterelemente in den Belebungsbecken
- 2014/15: Austausch der Rührwerke in den Belebungsbecken
- 2016: Umbau der Faulbehälter, Erneuerung der Umwälzung
- 2016: Austausch eines Turboverdichters

5.2 Sofortmaßnahmen

5.2.1 Anpassung der Rücklaufschlammmenge (S1)

Beschreibung:

Die Förderung des Rücklaufschlammes erfolgt über eine per FU über den Höhenstand im Pumpensumpf geregelte Schneckenpumpe. Insgesamt sind 3 Schneckenpumpen vorhanden, allerdings reicht eine Pumpe für die Förderung der eingestellten Menge aus. Die dem Pumpwerk aus den Nachklärbecken zufließende Rücklaufschlammmenge wird über motorisierte Schieber eingestellt. Die Rücklaufschlammförderung wird mit einem konstanten Wert von ca. 15.000 m³/d unabhängig von der in der Anlage behandelten Abwassermenge betrieben (siehe Bild 5.1).

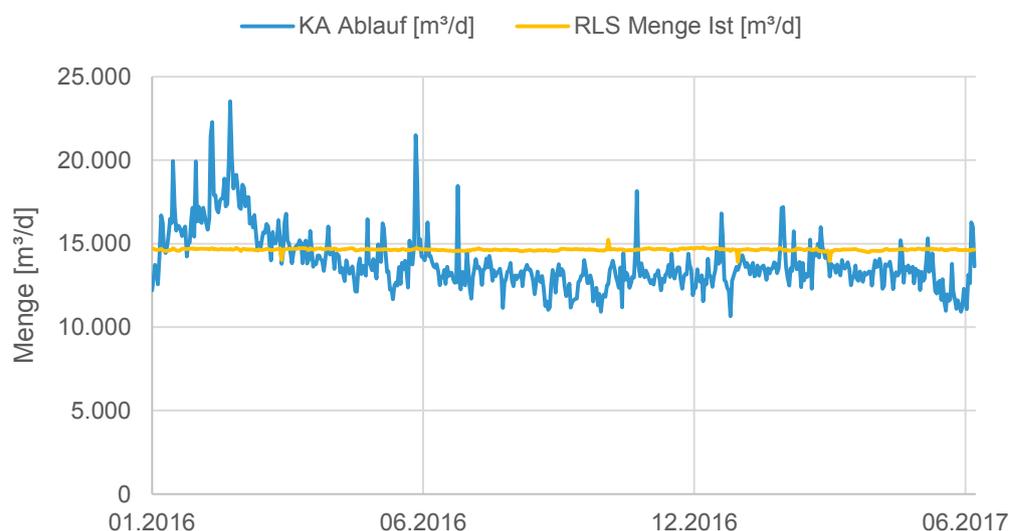


Bild 5.1: Abwasser- und Rücklaufschlammmenge 2016 bis Ende Juni 2017

Aufgrund der beschriebenen Förderung ergibt sich, wie in Bild 5.2 dargestellt, nahezu konstant ein Rücklaufverhältnis ($RV = \text{Rücklaufschlammmenge} / \text{Abwassermenge}$) größer 1. Bei erhöhtem Abwasserzufluss verringert sich das RV auf etwa 0,75.

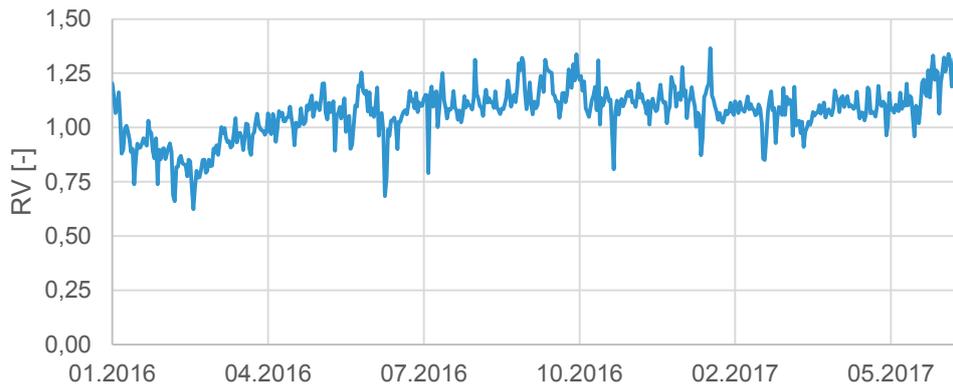


Bild 5.2: Betriebenes Rücklaufverhältnis (RV)

Zur Reduzierung des Energiebedarfs der Rücklaufschlammförderung wird eine dynamische Anpassung der Rücklaufschlammmenge an den Abwasserdurchfluss gemäß der Vorgaben des DWA-Arbeitsblattes A 131 empfohlen. Hierbei ist jedoch die Wechselwirkung mit der Stickstoffelimination aufgrund der dann verringerten Nitrat-Rückführung in die vorgeschaltete Denitrifikation zu beachten.

Umsetzung

Für den zulaufproportionalen Betrieb ist die Regelung der Schieber zum RLS-Pumpensumpf anzupassen. Nach den Vorgaben der Arbeitsblattes DWA-A131 ist bei zulaufproportionalem Betrieb eine minimale Fördermenge in Höhe des 0,75 bis 1-fachen Trockenwetterzuflusses im Jahresmittel ($Q_{T,aM}$) nicht zu unterschreiten. Aus der Betriebsdatenauswertung der Jahre 2016 bis 2017 errechnet sich ein $Q_{T,aM}$ von $567 \text{ m}^3/\text{h}$ ($=158 \text{ l/s}$). Die maximale Schlammmenge ist auf die maximale Fördermenge der Schneckenpumpen zu begrenzen, damit dem Pumpwerk nur die Menge zufließt, die gefördert werden kann.

- $Q_{RLS,min} = 567 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1 = 567 \text{ m}^3/\text{h} = 158 \text{ l/s} = 13.609 \text{ m}^3/\text{d}$

Zwischen den min.- und max.-Werten ist die RLS-Menge in Abhängigkeit vom Anlagenzulauf mit einem Rücklaufverhältnis von 0,75 einzurichten. Insgesamt werden durch die Umstellung 372.000 m^3 Schlamm pro Jahr (d.h. rund 7 % bezogen auf den Ist-Zustand) weniger gefördert. In Bild 5.3 ist die Änderung der geförderten Schlammmenge nach Umsetzung der Maßnahme dargestellt.

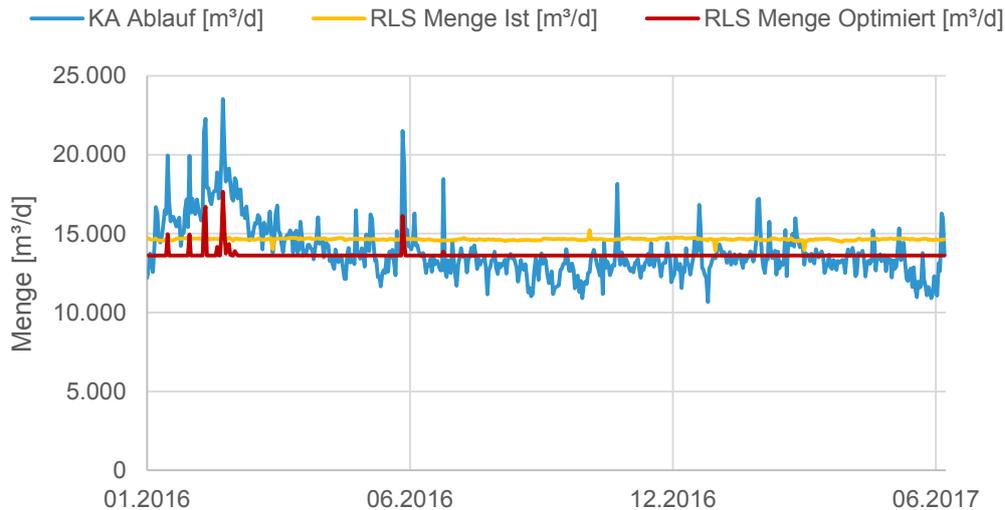


Bild 5.3: Änderung der Rücklaufschlammmenge durch die Optimierung

Zur Umsetzung ist die Programmierung der Schieberregelung notwendig. Der Arbeitsaufwand für die Programmierung wird mit einem Tag abgeschätzt.

Bei Umsetzung der Maßnahme ist zu beachten, dass über die RLS-Förderung auch Nitrat in die Belebungsbecken zurückgeführt wird. Um eine gleichbleibende Qualität der Denitrifikation zu gewährleisten, sollte die Menge, die bei der RLS-Förderung eingespart wird, über die Re-zirkulation kompensiert werden. Aufgrund der geringeren Förderhöhe bei der internen Re-zirkulation ist diese energetisch günstiger als die Rücklaufschlammförderung. Insgesamt muss die Fördermenge der Re-zirkulationspumpen in Summe um 43 m³/h gesteigert werden.

Wirtschaftlichkeit

Die Einsparungen werden anteilig zur Reduzierung der Schlammmenge mit 7 % des Energiebedarfs des Rücklaufschlamm-pumpwerks im Ist-Zustand angenommen. Damit errechnet sich eine jährliche Einsparung von 5.845 kWh bzw. 1.247 €/a. Bei einem Tagessatz für die Programmierung von 750 € und einem geschätzten Zeitaufwand von einem Tag errechnen sich Kapitalkosten von 86 €/a. Um die Qualität der Denitrifikation nicht zu beeinträchtigen ist es notwendig, die Re-zirkulation entsprechend der Reduzierung der Rücklaufschlammförderung zu erhöhen. Die zusätzlichen Kosten für die Erhöhung der Re-zirkulationsmenge belaufen sich auf etwa 166 €/a. Bei der Berechnung der Kosten für die Re-zirkulation wurde eine Optimierung der Re-zirkulationspumpen vorausgesetzt, siehe Kapitel 5.3.2. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis beträgt damit 0,2 sodass die Maßnahme wirtschaftlich ist.

5.2.2 Betrieb der Sandfänge mit nur einem Sandfanggebläse (S2)

Beschreibung

Es sind zwei belüftete Sandfänge vorhanden, die parallel betrieben werden. Die Luft wird über zwei durchgehend betriebene Gebläse mit gemeinsamer Luftleitung bereitgestellt. Die Luftmenge pro Aggregat beträgt laut Typenschild $2,17 \text{ m}^3/\text{min}$, sodass bei Betrieb beider Gebläse in Summe $260,4 \text{ m}^3/\text{h}$ Luft gefördert werden. Das Sandfangvolumen beträgt laut den zur Verfügung gestellten Unterlagen $157 \text{ m}_{\text{SF}}^3$. Die spezifische Luftmenge beträgt somit $1,66 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{SF}}^3 \cdot \text{h})$. Nach (DWA, 2008) ist eine spezifische Luftmenge von $0,5$ bis $1,3 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{SF}}^3 \cdot \text{h})$ ausreichend. Bei Außerbetriebnahme eines der Gebläse beträgt die spezifische Luftmenge $0,8 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{SF}}^3 \cdot \text{h})$, sodass die Bemessungsgrenzen eingehalten werden.

Umsetzung

Bei der Außerbetriebnahme eines der Gebläse sind die Auswirkungen auf die Sandabscheidung zu beobachten. Ein Betrieb mit einem Gebläse kann nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn sich die bereitgestellte Luftmenge gleichmäßig auf beide Sandfänge aufteilt.

Wenn der Betrieb mit einem Gebläse erfolgreich umgesetzt werden kann, sollten beide vorhandenen Aggregate im Wechsel betrieben werden, um eine gleichmäßige Abnutzung zu erzielen.

Wirtschaftlichkeit

Die Sandfanggebläse inkl. Lüfter haben in Summe einen Stromverbrauch von rund 39.000 kWh/a . Es wird angenommen, dass sich der Stromverbrauch bei Betrieb von nur einem Aggregat halbiert, sodass 19.500 kWh/a eingespart werden. Dies entspricht einer monetären Einsparung von 4.158 €/a . Da für die Umsetzung der Maßnahme keine Kosten entstehen, ist die Maßnahme wirtschaftlich und sollte möglichst zeitnah getestet und umgesetzt werden.

5.3 Kurzfristige Maßnahmen

5.3.1 Optimierung der Belüftung der Belebungsbecken (K1)

Wie in Kapitel 3.4 beschrieben wurde, ist der spezifische Energieverbrauch der Belüftung der biologischen Stufe größer als der anlagenspezifische Idealwert. Auch wenn die Belüftung heute schon in einem sehr guten Bereich arbeitet, so ist aufgrund des dominierenden Verbrauchsanteils hier ein theoretisches Einsparpotenzial gegeben.

Die mittlere geförderte Luftmenge des Jahres 2017 beträgt rund $100.000 \text{ Nm}^3/\text{d}$. In Bild 5.4 ist der Wirkungsgrad der Belüftung in Abhängigkeit von der geförderten Luftmenge dargestellt. Es ist erkennbar, dass die eingesetzten Aggregate, insbesondere bei mittlerem Luftbedarf, mit einem sehr guten Wirkungsgrad arbeiten. Bei den eingesetzten Turboverdichtern ist daher kein Optimierungspotenzial erkennbar.

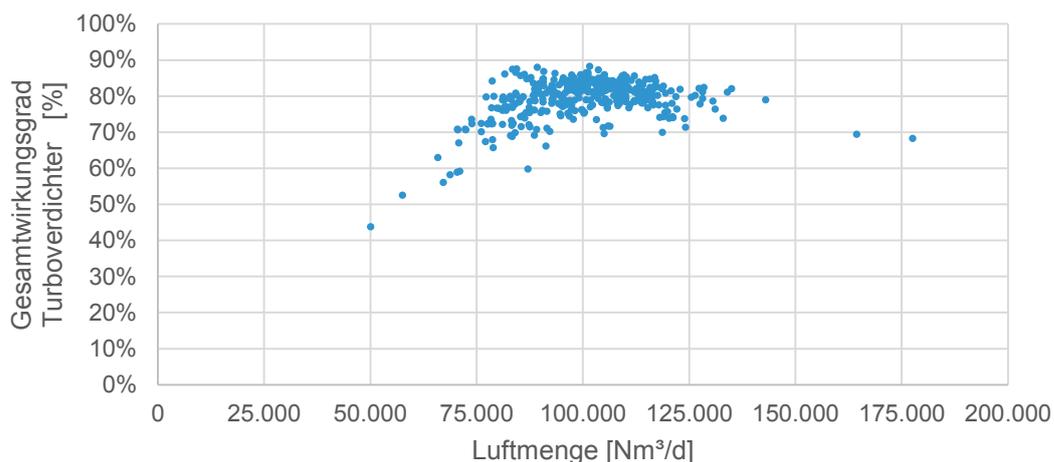


Bild 5.4: Wirkungsgrad der Belüftung in Abhängigkeit von der geförderten Luftmenge

In Bild 5.5 ist die in der Nitrifikation des Belebungsbeckens 3 gemessene Sauerstoffkonzentration dargestellt. Es zeigt sich, dass der Sauerstoffsollwert von 2 mg/l nahezu ganzjährig überschritten wird. Das sehr hohe Konzentrationsniveau (5 mg/l bis 8 mg/l) im Zeitraum Ende Januar/ Anfang Februar ist auf sehr hohe Ammoniumstickstoffkonzentrationen zurückzuführen, bei denen die Belüftung vermutlich auf Handbetrieb betrieben wurde. Von diesem Zeitraum abgesehen, beträgt die Sauerstoffkonzentration in der Regel 2,5 mg/l bis 4 mg/l, womit sich das rechnerische Einsparpotenzial erklären lässt. Hier ist zu beachten, dass aufgrund der kinetischen Zusammenhänge Sauerstoffgehalte größer 2 mg/l nur noch eine untergeordnete Steigerung der Nitrifikationsrate bewirken. Demgegenüber sind sie jedoch mit einer deutlich höheren Sauerstoffverschleppung über die Rezirkulation in die vorgeschaltete Denitrifikation verbunden (teilweise kompensiert durch die vorhandenen Zehrungszonen).

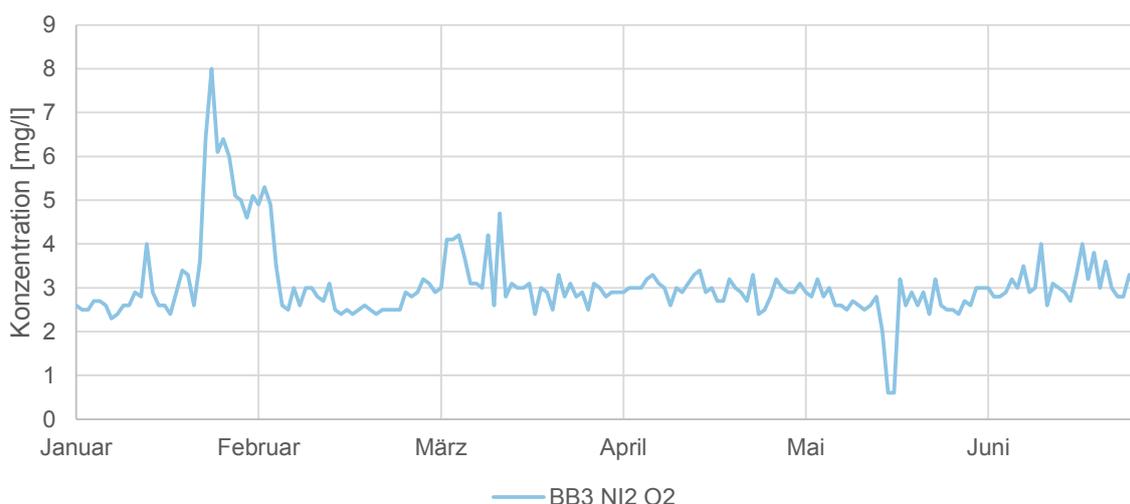


Bild 5.5: Sauerstoffkonzentration BB3 Nitrifikation (hinterer Beckenbereich) 2017

Mithilfe der Differenz von anlagenspezifischem Idealwert und spezifischem Verbrauch im Ist-Zustand wird das Einsparpotenzial zu 44.369 kWh/a bzw. 9.466 €/a errechnet. Bei einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren und mit dem angesetzten Zinssatz von 2,5 % errechnet sich bei einem ausgeglichenen Kosten/Nutzen-Verhältnis von 1 eine mögliche Investition für die Optimierung von bis zu maximal 82.846 €. Mögliche Ansatzpunkte für eine Optimierung sind die Umstellung der vorhandenen Konstantdruckregelung auf Gleitdruckregelung und die Anpassung der Grenzen der betriebenen Öffnungsgrade der Blendenregulierschieber.

5.3.2 Austausch der Rezirkulationspumpen (K2)

Beschreibung

Die Rezirkulation aus dem Ablauf der Belebungsbecken in den Belebungsbeckenzulauf erfolgt pro Beckenstraße über je eine Propellerpumpe (Fa. Wilo, RZP 50). Die Motoren sind mit Frequenzumrichtern ausgestattet und werden in Abhängigkeit vom Nitratgehalt am Ende der Denitrifikationszone mit 30 oder 60 Hz betrieben. Laut Betrieb überwiegt der Betrieb bei 60 Hz. Anhand der Strommessung lässt sich die Wirkleistungsaufnahme der Rezirkulationspumpen bei 60 Hz zu 6,24 kW berechnen. Aus der Dokumentation des Pumpenherstellers lassen sich bei dieser Leistung und einem Betrieb bei 60 Hz eine geförderte Wassermenge von 1.350 m³/h und eine manometrische Förderhöhe von 0,45 m ablesen (=geodätische Höhe + Verlusthöhe). Der Gesamtwirkungsgrad der Pumpe berechnet sich damit zu:

$$\eta_{ges} = \frac{2,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})}{\left(\frac{6.240 \text{ Wh}}{1.350 \text{ m}^3 \cdot 0,45 \text{ m}}\right)} = 26 \%$$

Nach Aussage der Firma Wilo sind mit einer größeren Pumpe (RZP 60) bessere Wirkungsgrade und geringere hydraulische Verluste möglich. Anhand der Pumpenkennlinie lässt sich z.B. für eine Pumpe des Typs RZP 60 für eine Förderhöhe von 0,45 m eine Leistungsaufnahme von 3,2 kW mit einem Fördervolumen von 1.530 m³/h bei 45 Hz ablesen. Damit errechnet sich an diesem Betriebspunkt ein Wirkungsgrad von:

$$\eta_{ges} = \frac{2,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})}{\left(\frac{3.200 \text{ Wh}}{1.530 \text{ m}^3 \cdot 0,45 \text{ m}}\right)} = 58 \%$$

Somit kann der Wirkungsgrad mehr als verdoppelt werden. Der jährliche Verbrauch der neuen Pumpen errechnet sich über die Verbesserung des Wirkungsgrades zu 48.000 kWh/a, sodass rund 59.000 kWh/a eingespart werden können.

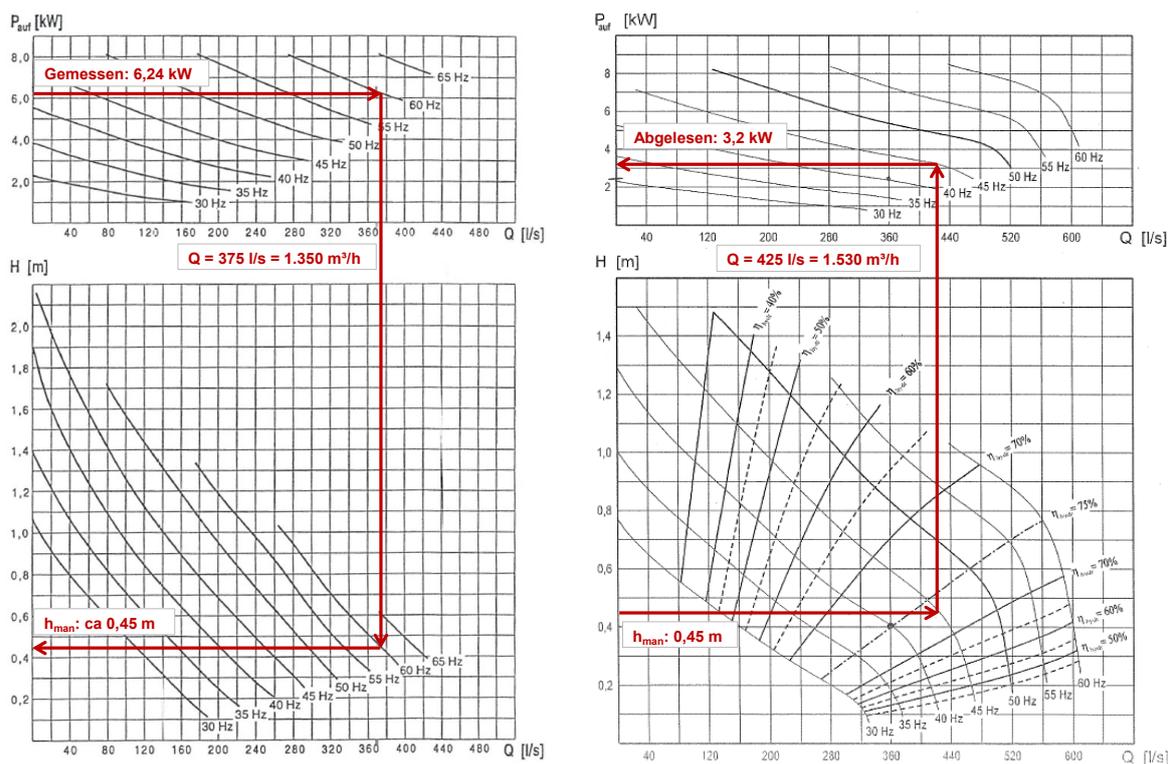


Bild 5.6: Pumpenkennlinie der aktuellen Pumpe (RZP 50, links) und des größeren Modells (RZP60, rechts)

Umsetzung

Es wird empfohlen, die Rezirkulationspumpen RZP 50 gegen Pumpen des Typs RZP 60 oder technisch vergleichbare Pumpen auszutauschen. Die Nennleistung der Motoren bleibt dabei in etwa gleich. Anhand der Pumpenkennlinie ist erkennbar, dass für die Förderung von $1.350 \text{ m}^3/\text{h}$ (in etwa die aktuell maximal geförderte Menge) der Betrieb bei einer Frequenz zwischen 40 Hz und 45 Hz notwendig ist. Bei Einsatz dieser Pumpen kann demnach über eine Steigerung der Frequenz bis 60 Hz die Fördermenge noch erhöht werden, falls dies notwendig ist. Für den Einbau der Pumpen ist laut der vorliegenden Unterlagen des Herstellers eine Kernbohrung DN 600 notwendig. Laut den Plänen der Belebungsbecken ist diese bereits vorhanden. Ob die vorhandene Absenkvorrichtung der Pumpen weiter genutzt werden kann, ist mit dem Pumpenhersteller abzuklären.

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für die neuen Pumpen wurden von der Fa. Wilo mitgeteilt. Die vorhandene Aufhängung kann unter Umständen weiter genutzt werden. Für den Umbau werden pauschal 20 % der Kosten für die Pumpen angesetzt. Die Investitionskosten ergeben sich somit wie nachfolgende aufgeführt zu 28.560 €, was Kapitalkosten von 3.263 €/a entspricht.

Tabelle 5.1: Kosten neue Rezirkulationspumpen

Beschreibung	Anzahl	Stückpreis	Gesamtpreis
Rezipumpe (RZP 60)	2	10.000 €	20.000 €
Umbaukosten (20 %)	2	2.000 €	4.000 €
Zwischensumme			24.000 €
<u>Bruttokosten für 2 Pumpen</u>			<u>28.560 €</u>
KFAKR-Faktor (10a, 2,5 %/a)			0,1143
<u>Kapitalkosten</u>			<u>3.263 €/a</u>

Über die jährlichen Einsparungen von 59.000 kWh/a lässt sich eine monetäre Einsparung von 12.646 €/a berechnet. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis beträgt damit 0,26. Damit ist die Maßnahme sehr wirtschaftlich und sollte nach Rücksprache mit dem Pumpenhersteller umgesetzt werden.

5.3.3 Füllstandsabhängige Regelung des Zwischenpumpwerks mittels FU (K3)

Beschreibung

Die Schneckenpumpen des Zwischenhebewerks werden unregelt betrieben. Im Normalbetrieb laufen zwei Pumpen durchgehend, da die mittlere Wassermenge die Fördermenge einer Pumpe geringfügig übersteigt. Wird nur eine Pumpe durchgehend betrieben und die zweite füllstandsabhängig zugeschaltet, kommt es zu häufigen Schaltvorgängen mit einem hohen Verschleiß der Aggregate. Zur Optimierung des Betriebs des Zwischenpumpwerks wurde vom Betriebspersonal bereits testweise ein FU-geregelter Betrieb der Schneckenpumpen gefahren, wobei nur eine Schnecke lief, allerdings statt bei Netzfrequenz von 50 Hz bei 60 Hz. Der dann erhöhte Förderstrom ist nach dem Testbetrieb ausreichend, um das häufige Schalten der zweiten Schnecke zu vermeiden.

Umsetzung

Bei Regelung der Pumpen per FU sollte überprüft werden, wie weit der Pumpensumpf des Zwischenhebewerks eingestaut werden kann. Durch ein höheres Einstauen verbessert sich bis zum Füllpunkt der Schnecken zum einen der hydraulische Wirkungsgrad, zum anderen wird Förderhöhe eingespart.

Es wird darüber hinaus empfohlen, mit dem Hersteller zu klären, ob die verwendeten Pumpen für einen dauerhaften Betrieb bei 60 Hz geeignet sind, da durch die höhere Leistung beim 60 Hz-Betrieb auch die absoluten Wärmeverluste erhöhen, die abgeführt werden müssen.

5.4 Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahmen

In Tabelle 5.2 sind die Änderungen der Verbrauchermatrix nach Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen zusammengestellt. Der Gesamtverbrauch der Kläranlage reduziert sich von 2.801.0 kWh/a um 126.000 kWh/a auf 2.676.000 kWh/a, sodass sich der spezifische Verbrauch von 32 kWh/(E·a) auf 31 kWh/(E·a) verringert.

Tabelle 5.2: Verbrauchermatrix nach Umsetzung der Maßnahmen

Bereich	Maßnahme	Ist-Zustand [kWh _{el} /a]	S [kWh _{el} /a]	K [kWh _{el} /a]	A [kWh _{el} /a]	Optimierter Zustand [kWh _{el} /a]
Zulaufspeicher		39.138				39.138
Hochwasserpumpwerk		0				0
Rechen						
Rechen		5.178				5.178
Sandfang	S2	49.923	19.490			30.433
Vorklärung		24.383				24.383
Zwischenhebewerk	K3	80.924		n.b.		80.924
Industrieabwasserspeicher (Speicherkomplex)		2.534				2.534
Kalkdosierung		6.868				6.868
Umwälzung						
Umwälzung		102.877				102.877
Rücklaufschlammhebewerk	S1	83.826	5.845			77.981
Interne Rezirkulation	K2	107.302		59.277		48.024
Belüftung	K1	916.301		41.294		875.007
Nachklärung		45.301				45.301
Schlamm- und Flüssigwasserbehandlung						
Schlammspeicher (Speicherkomplex)		100.699				100.699
PS-Voreindickung (inkl. PS-Pumpen)		59.402				59.402
ÜSS-Voreindickung (inkl. ÜSS-Pumpen)		73.752				73.752
LysoTherm		174.301				174.301
Faulung		221.283				221.283
EloPhos		24.134				24.134
Biogasentschwefelung		30.279				30.279
Entwässerung		117.367				117.367
Prozesswasserspeicher (Speicherkomplex)		12.463				12.463
Betriebswasser						
Betriebswasser		73.108				73.108
Abluftbehandlung		129.755				129.755
Druckluft		21.024				21.024
Betriebsgebäude + Pumpwerk 1		65.927				65.927
Sonstiges		41.490				41.490
"Zählerdifferenz BHKW Gebäude"		74.737				74.737
Summe		2.684.276	25.335	100.571		2.558.369
Stromverbrauch EVU + Eigenstrom - Fernwärme		2.801.823				2.675.916
Stromproduktion		2.391.984				2.391.984
Stromeinspeisung		-79.946				-79.946
Eigenstromnutzung		2.312.038				2.312.038
Strombedarf Fernwärme		69.855				69.855
Strombezug (laut EVU)		559.640				433.733

6. Zusammenfassung

Die Kläranlage Lingen besitzt eine Ausbaugröße von 195.000 E. Die auf den CSB bezogene 85%-Perzentil Anschlussgröße beträgt 105.489 E. Die Auslastung der Kläranlage beträgt somit nur 54 %. Die auf den Parameter CSB bezogene mittlere Anschlussgröße beträgt 86.309 E. Die TKN- Stickstoffbelastung ist mit im Mittel 139.517 E, deutlich höher.

Neben dem angeschlossenen Trennsystem leitet der Industriebetrieb Dralon signifikante Abwassermengen hinter der mechanischen Stufe der Kläranlage ein. Dieses Abwasser zeichnet sich durch schlecht abbaubare Kohlen- und Stickstoffverbindungen aus.

Die Kläranlage Lingen wurde in der vorliegenden Energieanalyse gemäß DWA-A 216 untersucht. Seit dem Jahr 2011 wurde eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durchgeführt:

- 2011:Außerbetriebnahme einer Beckenstraße
- 2014: Erneuerung der Belüfterelemente
- 2014/2015: Austausch der Rührwerke in der Belebung
- 2016: Austausch eines Turbogebläses der Belebung
- 2016: Sanierung der Faulbehälter

Der absolute Stromverbrauch ist seit 2011 rückläufig. Der Verbrauch ging von 3.439.579 kWh/a auf 2.871.677 kWh/a zurück (Verbrauch inklusive Strombedarf Fernwärme). Der spezifische Stromverbrauch der Gesamtanlage ist hingegen von 26 kWh/(E·a) (2011) auf 33 kWh/(E·a) (2017) angestiegen (Verbrauch inklusive Strombedarf Fernwärme). Die Verschlechterung des spezifischen Verbrauchs trotz energetischer Optimierung ist darauf zurückzuführen, dass bei einem Rückgang der Kläranlagenbelastung von 2011 bis 2017 um 34 % die Abwassermenge weitestgehend konstant geblieben ist und so der Energiebedarf für das Heben des Abwassers ebenfalls konstant geblieben ist. Hinzu kommt, dass der konstante Verbrauch diverser Anlagenteile (z.B. Abluftbehandlung, Rührwerke, Umwälzpumpen) bei rückläufiger Belastung zunehmend ins Gewicht fällt. Darüber hinaus führen die im Rahmen des Forschungsprojektes umgesetzten Maßnahmen (LysoTherm, etc.) zwar zu einer Steigerung der Energieproduktion, sind gleichzeitig jedoch auch mit einer Erhöhung des Verbrauchs verbunden.

Tabelle 6.1: Verbrauch der im Forschungsprojekt umgesetzten Maßnahmen

Maßnahmen	spezifischer Verbrauch [kWh/(E·a)]	Absoluter Verbrauch [kWh]
LysoTherm	2,02	174.002
EloPhos	0,28	24.134
PS-Eindickung	0,69	59.402
Biogasentschwefelung	0,35	30.279

Der Faulgasanfall beträgt $14,3 \text{ Nm}^3/(\text{E}\cdot\text{a})$. $2,6 \text{ Nm}^3/(\text{E}\cdot\text{a})$ sind dabei auf die thermische Desintegration zurückzuführen. Die der LysoTherm-Anlage zuzuordnende Mehrproduktion an Strom beträgt, nach Abzug des Stromverbrauchs der Anlage, 275.000 kWh/a . Das erzeugte Faulgas wird zu $99,6 \%$ verstromt. Der Strombedarf der Kläranlage kann zu 83% aus dem erzeugten Faulgas gedeckt werden. Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW beträgt im Betrieb 33% . Der Eigenversorgungsgrad mit Wärme beträgt 100% , darüber hinaus wird 20% der von den BHKW produzierten Wärme an ein Fernwärmenetz abgegeben.

Durch die Energieanalyse konnte trotz der bereits umgesetzten Optimierungsmaßnahmen ein Einsparpotenzial bei einzelnen Verfahrensstufen aufgezeigt werden. Es wurden Maßnahmen ausgearbeitet, mithilfe derer der Strombedarf der Kläranlage weiter verringert werden kann. Bei Umsetzung aller ausgearbeiteten Maßnahmen kann der Gesamtstromverbrauch um rund 126.000 kWh/a , bzw. spezifisch von $32 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a})$ auf $31 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a})$ reduziert werden (Kennzahl exklusive Verbrauch Fernwärme).

Für eine bessere Bilanzierbarkeit des Energiebedarfs wird empfohlen, die vorhandenen Energiezähler, sofern technisch möglich, digital auszulesen und die aufgezeichneten Energiemengen mit in die Monatsberichte aufzunehmen, wie es bei den Gebläsen und der LysoTherm-Anlage bereits heute erfolgt. Aus energetischer Sicht wurden die Ziele des Forschungsvorhabens erreicht.

7. Literatur

ASUE (2011): BHKW-Kenndaten 2011. Module, Anbieter, Kosten. ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.) und Energiereferat der Stadt Frankfurt, Kaiserslautern und Frankfurt.

ATV (1999): Leitfaden: Senkung des Energiebedarfs auf Kläranlagen. ATV Landesgruppe Baden-Württemberg

ATV-DVWK (2000): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 ‚Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen‘. ATV-DVWK-Fachausschüsse KA 5 und KA 6, Hennef

DWA (2013): Arbeitsblatt DWA-A 216 ‚Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen‘, Gelbdruck, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

DWA (2014): Merkblatt DWA-M 368 ‚Biologische Stabilisierung von Klärschlamm‘, Gelbdruck, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

MUNLV NRW (1999): Handbuch ‚Energie in Kläranlagen‘. Ministerium für Umweltschutz, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

MULNV NRW (2018): ‚Energie in Abwasseranlagen‘. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

MLU MV (2013): Zukunftsfähige Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz MV, Ministerium für Wirtschaft, Bau und Tourismus MV, Schwerin

UBA (2006): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Umweltbundesamt, Dessau

8. Anhang

8.1 Verbraucherliste

Bezeichnung	FU geplant	Nennleistung										Wirkleistung Berechnet [kW]	Wirkleistung Geschätzt [kW]	Betriebsstunden [h/a]	Stromverbrauch [kWh/a]	Anmerkung	
		[kW]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]						[A]
Rechen																	
=KA-RE-FR-101		0,75	400	2,1	0,75	#NV	70%	1,60	0,83			943	784	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-RE-FR-201		0,75	400	2,1	0,75	#NV	70%	1,70	0,88			940	830	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-RE-HS-001		1,00	400	2,5	0,83	#NV	70%	1,80	1,04			461	477	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-RG-RW-001		5,50	400	7,0	0,85	#NV	133%	4,10	2,41			461	1.113	Annahme Laufzeit = Laufzeit Förderschnecke			
=KA-SF-RP-003		0,37	400	1,1	0,72	#NV	65%	0,90	0,45			461	207	Annahme Laufzeit = Laufzeit Förderschnecke			
=KA-FA-PD-001		7,50	400	15,2	/	0,85	#NV	11,50	6,77			261	1.766	Messung im Leerlauf, Laufzeit geschätzt mit 5h/Woche			
Sand- und Fettfang																	
=KA-SF-GB-001		2,10	400	/	/	0,85	#NV	4,80	2,83			8.760	24.762	Dauerläufer			
		0,03	230	0,2	/	#NV	#NV	0,20	0,05			8.760	403				
=KA-SF-GB-002		2,10	400	/	/	0,85	#NV	2,60	1,53			8.760	13.413				
		0,03	230	0,2	/	#NV	#NV	0,20	0,05			8.760	403				
=KA-SF-RP-004		0,37	400	1,3	/	0,85	#NV	0,75	0,44			3.057	1.350	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-SF-PD-001		1,50	400	3,6	0,80	#NV	74%	/	#NV	1,20		2.190	2.628	Geschätzt			
		1,30	400	3,4	/	0,85	#NV	2,70	1,59			2.190	3.482	Geschätzt			
		1,30	400	3,4	/	0,85	#NV	2,70	1,59			2.190	3.482	Geschätzt			
=KA-SF-LS-001		0,09	400	0,6	/	0,85	#NV	/	#NV	0,09							
=KA-SF-LS-002		0,09	400	0,6	/	0,85	#NV	/	#NV	0,09							
		1,50	400	3,8	0,75	#NV	76%	/	#NV	1,20			0	Vernachlässigbar			
		1,50	400	3,8	0,75	#NV	76%	/	#NV	1,20			0	Vernachlässigbar			
		0,18	400	0,6	/	0,85	#NV	/	#NV	0,14							
Vorklärbcken																	
=KA-VK-HA-012		1,1	400	2,7	0,80	#NV	74%	2,40	1,33			1.700	2.261	Stromzähler vorhanden, Wandlerverhältnis aufgrund Energieanalyse angepasst			
=KA-VK-HA-022		1,1	400	2,7	0,80	#NV	74%	2,40	1,33								
=KA-VK-HA-011		3,0	400	6,5	0,81	#NV	82%	4,50	2,53			8.760	22.122				
=KA-VK-HA-021		3,0	400	6,5	0,81	#NV	82%	4,50	2,53								
=KA-VK-LS-004		0,4	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV								
=KA-VK-LS-005		0,4	400	1,7	0,58	#NV	59%	/	#NV								
Biofilter																	
=KA-AR-VV-101		x	15,0	400	29,2	0,85	#NV	87%	15,50	9,13		8.748	42.389	Summe über FU ermittelt: rund 130.000 kWh			
=KA-AR-PL-001			2,2	400	4,8	0,90	#NV	74%	3,90	2,43		8.748	21.273	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-AR-VV-201			18,5	400	32,4	0,90	#NV	92%	20,40	12,72		8.744	48.071	FU			
=KA-AR-PL-002			2,2	400	4,8	0,85	#NV	78%	3,50	2,06		8.744	18.023	Betriebsstunden vorhanden			
=KA-AR-PT-001			1,8	400	5,0	/	0,85	#NV	/	#NV							
=KA-AR-PT-002			1,8	400	5,0	/	0,85	#NV	/	#NV							
Kalksilo																	
		0,3	400	1,1	/	0,85	#NV	/	#NV				0	Vernachlässigbar			
=KA-SO-XZ-001		0,6	400	1,4	0,78	#NV	72%	/	#NV	0,44		8.760	3.854	Dauerläufer			
		0,2	400	0,7	0,64	#NV	60%	/	#NV	0,14		8.760	1.261	Dauerläufer			
		0,3	400	0,8	0,77	#NV	60%	/	#NV	0,20		8.760	1.752	Dauerläufer			
Zulaufspeicher																	
=KA-SP-PT-001		16	400	33,5	0,86	#NV	80%	/	#NV	12,80	2,071		26.508	Infos Hr. Pleus			
=KA-SP-PT-002		16	400	33,5	0,86	#NV	80%	/	#NV								
=KA-SP-RT-101		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV	1,60	2,682		4.291	Infos Hr. Pleus			
=KA-SP-RT-102		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV	1,60	5,211		8.337	Infos Hr. Pleus			
=KA-SP-RT-103		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV								
=KA-SP-RT-104		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV								
=KA-SP-RT-105		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV								
=KA-SP-RT-106		2	400	4,6	0,83	#NV	76%	/	#NV								
=KA-SP-RT-001		5,5	400	11,0	0,85	#NV	85%	/	#NV								
=KA-SP-RT-002		5,5	400	11,0	0,85	#NV	85%	/	#NV								
=KA-SP-XW-001		1,5	400	3,3	0,83	#NV	79%	/	#NV								
=KA-SP-XW-002		1,5	400	3,3	0,83	#NV	79%	/	#NV								
=KA-SP-LS-003		0,75	400	1,8	0,8	#NV	75%	/	#NV								
=KA-SP-LS-004		0,75	400	1,8	0,8	#NV	75%	/	#NV								
=KA-SP-LS-005		0,75	400	1,8	0,8	#NV	75%	/	#NV								
Zwischenpumpwerk																	
=KA-ZP-PF-001		7,50	400	15,6	0,86	#NV	81%	8,70	5,18				80.924	Mittlere 2017 geförderte Menge x spezifische Förderenergie von 17 Wh/m³			
=KA-ZP-PF-002		7,50	400	15,6	0,86	#NV	81%	8,70	5,18								
=KA-ZP-PF-003		7,50	400	15,6	0,86	#NV	81%	8,70	5,18								
=KA-ZP-PF-004		7,50	400	15,6	0,86	#NV	81%	/	#NV								
=KA-ZP-PF-005		7,50	400	15,6	0,86	#NV	81%	/	#NV								
=KA-ZP-LS-001		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV								
=KA-ZP-XW-001		0,55	400	1,5	0,75	#NV	71%	/	#NV								
=KA-ZP-XW-002		0,55	400	1,5	0,75	#NV	71%	/	#NV								
Stromzähler vorhanden, spezifischen Verbrauch bestimmt und auf geförderte Wassermenge hochgerechnet																	

8. Anhang

 Bezeichnung		FU geregelt											[kWh/a] Stromverbrauch	Anmerkung	
		Nennleistung [kW]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Nenn-cos φ	cos φ geschätzt	Berechneter Motorwirkungsgrad	Strommessung	Wirkleistung Berechnet [kW]	Wirkleistung Geschätzt	Betriebsstunden				
ÜSS Schacht															
=KA-RS-XW-001	Überschußschlamm-Wehr 1	0,37	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV						
=KA-RS-XW-002	Überschußschlamm-Wehr 2	0,37	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV						
												73.752	Stromzähler (7) vorhanden		
ÜSS Eindickung															
	Schieber vor Dünnschlammpumpe	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-ÜS-PE-101	ÜSS Dünnschlammpumpe	X 11,00	400	21,0	0,85	#NV	89%	7,00	4,12						FU Betrieb
	Rührwerk Poly Behälter 1	0,90	400	3,8	0,72	#NV	48%	/	#NV						
	Rührwerk Poly Behälter 2	0,90	400	3,8	0,72	#NV	48%	/	#NV						
=KA-ÜS-PE-103	ÜSS Umfüllpumpe	2,20	400	5,4	0,75	#NV	78%	/	#NV						
=KA-ÜS-PE-104	ÜSS Flockmittelpumpe	0,75	400	3,1	0,75	#NV	47%	/	#NV						
=KA-ÜS-PE-105	ÜSS Schmutzwasserrückföhrpumpe	X 2,20	400	8,1	0,79	#NV	50%	2,80	1,53						FU Betrieb 28Hz
=KA-ÜS-PK-101	ÜSS Spülwasserpumpe	7,50	400	13,8	0,89	#NV	88%	13,70	8,45						
=KA-ÜS-YM-101	ÜSS Stammspitzrohr	0,18	400	1,8	0,68	#NV	21%	/	#NV						
=KA-ÜS-HF-101	ÜSS Drain-Belt Antrieb	X 0,75	400	3,5	0,76	#NV	41%	0,38	0,20						FU Betrieb 17Hz
=KA-ÜS-PE-106	ÜSS Dickschlammpumpe	X 5,50	400	11,4	0,81	#NV	86%	3,80	2,13						FU Betrieb 22Hz
	Schieber nach Dickschlammpumpe	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
Speicherkomplex															
=KA-SK-RT-301	Speicher 3 Rührwerk 1	5,5	400	17,0	/	0,85	#NV	/	#NV	4,40	288	1.267			RW Dralon Speicher, Betriebsstunden auf 12 x 24h/a geschätzt
=KA-SK-RT-302	Speicher 3 Rührwerk 2	5,50	400	17,0	/	0,85	#NV	/	#NV	4,40	288	1.267			RW Dralon Speicher, Betriebsstunden auf 12 x 24h/a geschätzt
=KA-SK-RT-201	Speicher 2 Rührwerk 1	10,00	400	29,0	/	0,85	#NV	/	14,37		867	12.463			Prozesswasserspeicher: Betriebsstunden geschätzt anhand Schlamm Speicher und Verhältnis der absoluten Betriebsstunden
=KA-SK-RT-101	Speicher 1 Rührwerk 1	10,00	400	29,0	/	0,85	#NV	24,40	14,37		7.008	100.699			Schlamm Speicher: Betriebsstunden geschätzt auf 80 % der Zeit; Strommessung impliziert sehr hohe Wirkleistung
=KA-SK-LS-001	Schieber FWL Druckleitung	0,18	400	0,7	0,60	#NV	62%	/	#NV						
=KA-SK-LS-002	Schieber FWL DL Abzweig	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-301	Schieber Speichereventierung 3	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-201	Schieber Speichereventierung 2	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-101	Schieber Speichereventierung 1	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-006	Schieber Speichereventierung zum RLS-PW	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-005	Schieber Abzweig SW-Kanal	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-003	Schieber Annahmekupplung	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
=KA-SK-LS-004	Schieber Entleerung Annahmleitung	0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV						
FeCISO4-Dosierstation															
=KA-FM-PD-001	Dosierpumpe 1 BB G	0,18	230	1,6	0,86	#NV	33%	1,30	0,26						
=KA-FM-PD-002	Dosierpumpe 2 BB S	0,18	230	1,6	0,86	#NV	33%	/	0,26		8.760	2.253			Geschätzt
=KA-FM-PD-003	Dosierpumpe 3 BB Res.	0,18	230	1,6	0,86	#NV	33%	/	0,26		8.760	2.253			Geschätzt
Dosierstation Belebung															
=KA-BD-PD-001	Dosierpumpe 1	X 0,37	400	2,0	0,81	#NV	33%	1,30	0,73						FU Betrieb 12Hz
Rücklaufschlamm															
=KA-RS-PF-001	Rücklaufschlamm Schnecke 1 (Stufe 1)	16,00	400	30,5	0,86	#NV	88%	/	#NV						
=KA-RS-PF-001	Rücklaufschlamm Schnecke 1 (Stufe 2)	16,00	400	30,5	0,86	#NV	88%	/	#NV						
=KA-RS-PD-001	Rücklaufschlamm Fettpumpe 1	0,05	230	0,2	0,70	#NV	77%	/	#NV	0,04	8.760	315			Geschätzt
=KA-RS-PF-002	Rücklaufschlamm Schnecke 2 (FU)	X 16,00	400	30,5	0,86	#NV	88%	16,00	9,53		8.760	83.511			Zur Zeit nur diese Pumpe in Betrieb; FU Betrieb Messung: 35Hz, 16 A im Durchschnitt (E-Mail Hr. Pleus 29.9.2017)
=KA-RS-PF-003	Rücklaufschlamm Schnecke 3 (Stufe 1)	16,00	400	30,5	0,86	#NV	88%	/	#NV						
=KA-RS-PF-003	Rücklaufschlamm Schnecke 3 (Stufe 2)	16,00	400	30,5	0,86	#NV	88%	/	#NV						
=KA-RS-PD-003	Rücklaufschlamm Fettpumpe 3	0,05	230	0,2	0,70	#NV	77%	/	#NV						
=KA-RS-LS-001	RLS Zulauf-Wehr 1	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-002	RLS Zulauf-Wehr 2	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-003	RLS Zulauf-Wehr 3	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-004	RLS Ablauf-Wehr BB 1	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-005	RLS Ablauf-Wehr BB 2	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-006	RLS Ablauf-Wehr BB 3	0,75	400	2,5	0,64	#NV	68%	/	#NV						
=KA-RS-LS-007	Überschußschlamm-Schieber 1	0,18	400	0,9	0,50	#NV	58%	/	#NV						
=KA-RS-LS-008	Überschußschlamm-Schieber 2	0,18	400	0,9	0,50	#NV	58%	/	#NV						
Belebung DN/AN															
=KA-BB-RP-101	BB1 Propeller-Rührwerk 1 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	5,10	2,93						
=KA-BB-RP-102	BB1 Propeller-Rührwerk 2 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	5,20	2,99						
=KA-BB-RP-201	BB2 Propeller-Rührwerk 1 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV						
=KA-BB-RP-202	BB2 Propeller-Rührwerk 2 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV						
=KA-BB-RP-301	BB3 Propeller-Rührwerk 1 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV						
=KA-BB-RP-302	BB3 Propeller-Rührwerk 2 (AN) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV						Außer Betrieb

8. Anhang

Bezeichnung		FU geregelt											Anmerkung
		Nennleistung [kW]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Nenn- $\cos \varphi$ [-]	$\cos \varphi$ geschätzt [-]	Berechneter Motorwirkungsgrad [-]	Strommessung [A]	Wirkleistung Berechnet [kW]	Wirkleistung Geschätzt	Betriebsstunden [h/a]	Stromverbrauch [kWh/a]	
=KA-BB-RP-202	BB2 Propeller-Rührwerk 2 (AN) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,50	1,16		8.760	10.166	Dauerläufer
=KA-BB-RP-302	BB3 Propeller-Rührwerk 2 (AN) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,30	1,07		8.760	9.352	Dauerläufer
Belegung 1 (DN/Ni) (Außer Betrieb)													
=KA-BB-RP-103	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 1)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	5,00	2,88				
=KA-BB-RP-104	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 1)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	5,10	2,93				
=KA-BB-RP-105	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 2)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-RP-106	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 2)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-RP-107	Propeller-Rührwerk 1 (ZE)	1,5	400	3,3	0,83	#NV	79%	/	#NV				Dauerläufer
=KA-BB-LS-101	Blendenregulierschieber (BB1 DN/Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-102	Blendenregulierschieber (BB1 DN/Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-103	Blendenregulierschieber (BB1 Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-104	Blendenregulierschieber (BB1 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-105	Blendenregulierschieber (BB1 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LK-101	Luftklappe (BB1 DN/Ni1)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-102	Luftklappe (BB1 DN/Ni2)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-110	Luftklappe (BB1)	0,37	400	2,1	0,72	#NV	35%	/	#NV				
=KA-BB-RP-101	Rezirkulations-Pumpe (BB1)	6,5	400	13,3	0,85	#NV	83%	/	#NV				
=KA-BB-LS-110	Zulauf-Absperschieber	0,8	400	2,5	0,80	#NV	54%	/	#NV				
Belegung 2 (DN/Ni)													
=KA-BB-RP-203	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 1) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV		108.063		Außer Betrieb
=KA-BB-RP-204	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 1) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV		107.049		
=KA-BB-RP-205	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 2) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV		105.038		
=KA-BB-RP-206	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 2) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV		105.018		
=KA-BB-RP-207	Propeller-Rührwerk 1 (ZE) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV		109.452		
=KA-BB-LS-201	Blendenregulierschieber (BB2 DN/Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-202	Blendenregulierschieber (BB2 DN/Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-203	Blendenregulierschieber (BB2 Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-204	Blendenregulierschieber (BB2 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-205	Blendenregulierschieber (BB2 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LK-201	Luftklappe (BB2 DN/Ni1)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-202	Luftklappe (BB2 DN/Ni2)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-203	Luftklappe (BB2 Ni2)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-210	Luftklappe (BB2)	0,37	400	2,1	0,72	#NV	35%	/	#NV				
=KA-BB-RP-201	Rezirkulations-Pumpe (BB2)	X 6,50	400	13,3	0,85	#NV	83%	10,20	6,01		8.760	52.619	FU Betrieb 60Hz
=KA-BB-LS-210	Zulauf-Absperschieber	0,75	400	2,5	0,80	#NV	54%	/	#NV				
Belegung 3 (DN/Ni)													
=KA-BB-RP-203	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 1) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,20	1,02		8.760	8.946	Dauerläufer
=KA-BB-RP-204	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 1) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,10	0,97		8.760	8.539	Dauerläufer
=KA-BB-RP-205	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 2) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,10	0,97		8.760	8.539	Dauerläufer
=KA-BB-RP-206	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 2) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,10	0,97		8.760	8.539	Dauerläufer
=KA-BB-RP-207	Propeller-Rührwerk 1 (ZE) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,10	0,97		8.760	8.539	Dauerläufer
=KA-BB-RP-208	Propeller-Rührwerk 1 (Ni2) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,20	1,02		13		
=KA-BB-RP-209	Propeller-Rührwerk 2 (Ni2) (neu)	0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,30	1,07		13		
Belegung 3 (DN/Ni)													
=KA-BB-RP-303	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 1) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				Außer Betrieb
=KA-BB-RP-304	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 1) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-RP-305	Propeller-Rührwerk 1 (DN/Ni 2) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-RP-306	Propeller-Rührwerk 2 (DN/Ni 2) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-RP-307	Propeller-Rührwerk 1 (ZE) (alt)	3,0	400	6,6	0,83	#NV	79%	/	#NV				
=KA-BB-LS-301	Blendenregulierschieber (BB3 DN/Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-302	Blendenregulierschieber (BB3 DN/Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-303	Blendenregulierschieber (BB3 Ni1)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-304	Blendenregulierschieber (BB3 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LS-305	Blendenregulierschieber (BB3 Ni2)	0,18	400	0,7	0,70	#NV	53%	/	#NV				
=KA-BB-LK-301	Luftklappe (BB3 DN/Ni1)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-302	Luftklappe (BB3 DN/Ni2)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-303	Luftklappe (BB3 Ni2)	0,05	400	0,4	0,70	#NV	26%	/	#NV				
=KA-BB-LK-310	Luftklappe (BB3)	0,37	400	2,1	0,72	#NV	35%	/	#NV				

8. Anhang

 Bezeichnung		FU geregelt	Nennleistung	Nennspannung	Nennstrom	Nenn- $\cos \varphi$	$\cos \varphi$ geschätzt	Berechneter Motorwirkungsgrad	Strommessung	Wirkleistung Berechnet	Wirkleistung Geschätzt	Betriebsstunden	Stromverbrauch	Anmerkung
			[kW]	[V]	[A]	[]	[]	[]	[A]	[kW]	[kW]	[h/a]	[kWh/a]	
=KA-BB-RP-301	Rezirkulations-Pumpe (BB3)	X	6,50	400	13,3	0,85	#NV	83%	10,60	6,24		8.760	54.683	FU Betrieb 60Hz
=KA-BB-LS-310	Zulauf-Absperrschieber		0,75	400	2,5	0,80	#NV	54%	/	#NV				
=KA-BB-RP-303	Propeller-Rührwerk 1 (DN/N1 1) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,00	0,93	8.760	8.133		Dauerläufer
=KA-BB-RP-304	Propeller-Rührwerk 2 (DN/N1 1) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,00	0,93	8.760	8.133		Dauerläufer
=KA-BB-RP-305	Propeller-Rührwerk 1 (DN/N1 2) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,00	0,93	8.760	8.133		Dauerläufer
=KA-BB-RP-306	Propeller-Rührwerk 2 (DN/N1 2) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,10	0,97	8.760	8.539		Dauerläufer
=KA-BB-RP-307	Propeller-Rührwerk 1 (ZE) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	1,80	0,84	8.760	7.319		Dauerläufer
=KA-BB-RP-308	Propeller-Rührwerk 1 (N12) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,30	1,07				
=KA-BB-RP-309	Propeller-Rührwerk 2 (N12) (neu)		0,9	400	2,7	0,67	#NV	72%	2,30	1,07				
Gebälsestation														
=KA-GS-VG-001	Turboverdichter 1	X	150,0	400	238,0	/	0,85	#NV	136,00	80,09			868.312	FU Betrieb 395HZ
=KA-GS-VG-002	Turboverdichter 2		190,0	400	310,0	/	0,85	#NV	/	#NV			336	
=KA-GS-VG-003	Turboverdichter 3		83,0	400	135,0	/	0,85	#NV	/	#NV			27.947	
=KA-GS-VG-004	Turboverdichter 4		83,0	400	135,0	/	0,85	#NV	/	#NV			22.880	
Trübwasserpumpwerk														
=KA-TP-PT-001	Trübwasserpumpe 1		3,9	400	7,4	0,78	#NV	98%	/	#NV				Nicht in Betrieb
=KA-TP-PT-002	Trübwasserpumpe 2		3,9	400	7,4	0,78	#NV	98%	/	#NV				Nicht in Betrieb
Schlammumpwerk 3														
=KA-KP-PK-001	Befüllpumpe		18,5	400	37,5	/	0,85	#NV	/	#NV				Nicht in Betrieb
=KA-KP-PD-001	Drehkolbenpumpe		22,0	400	43,0	/	0,85	#NV	/	#NV	17,60	100	1.760	Betriebsstunden auf 100h/a geschätzt, zu Faulung gerechnet
Nachklärbecken 1														
=KA-NK-EB-101	Nachklärbecken 1 Räumler		0,25	400	1,0	/	0,85	#NV	0,85	0,50		8.760	4.385	
	Pumpe Schwimmschlamm		2,50	400	5,4	0,83	#NV	81%	4,20	2,42		100	242	
	Fahrbahnheizung			400			0,85		14,00	8,24		1.440	11.872	Leistung geschätzt Hr. Hüer, Laufzeit: Annahme Besprechung 2 Monate durchgehend
Nachklärbecken 2														
=KA-NK-EB-201	Nachklärbecken 2 Räumler		0,25	400	1,0	/	0,85	#NV	0,80	0,47		8.760	4.127	
	Pumpe Schwimmschlamm		2,50	400	5,4	0,83	#NV	81%	4,20	2,42		100	242	
	Fahrbahnheizung			400			0,85		14,00	8,24		1.440	11.872	Leistung geschätzt Hr. Hüer, Laufzeit: Annahme Besprechung 2 Monate durchgehend
Nachklärbecken 3														
=KA-NK-EB-301	Nachklärbecken 3 Räumler		0,25	400	1,0	/	0,85	#NV	0,50	0,29		8.760	2.579	
	Pumpe Schwimmschlamm		2,50	400	5,4	0,83	#NV	81%	4,00	2,30		100	230	
	Fahrbahnheizung			400			0,85		11,50	6,77		1.440	9.752	Leistung geschätzt Hr. Hüer, Laufzeit: Annahme Besprechung 2 Monate durchgehend
Verteilerbauwerk														
=KA-NK-LS-001	NKB 1 Zulauf-Wehr 1		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				Vernachlässigt
=KA-NK-LS-002	NKB 1 Zulauf-Wehr 2		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				
=KA-NK-LS-003	NKB 2 Zulauf-Wehr 1		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				
=KA-NK-LS-004	NKB 2 Zulauf-Wehr 2		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				
=KA-NK-LS-005	NKB 3 Zulauf-Wehr 1		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				
=KA-NK-LS-006	NKB 3 Zulauf-Wehr 2		0,37	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				
	Probenahmepumpe		1,2	230	6,0	1,00		50%	6,00		0,96	8.760	8.410	= Probenahmepumpe Ablauf angesetzt
Ablaufstation														
=KA-HP-LS-001	HPW Schieber 1		0,8	400	2,5	0,62	#NV	70%	/	#NV				
=KA-HP-LS-002	HPW Schieber 2		1,1	400	5,5	0,66	#NV	44%	/	#NV				
	Probenpumpe		1,1	400	2,4	0,87	#NV	76%	/	#NV	0,88	8.760	7.709	Dauerläufer

8. Anhang

 Bezeichnung		FU geregelt											Anmerkung							
		Nennleistung [kW]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Nenn- $\cos \phi$	$\cos \phi$ geschätzt	Berechneter Motorenwirkungsgrad	Strommessung	Wirkleistung Berechnet [kW]	Wirkleistung Geschätzt	Betriebsstunden [h/a]	Stromverbrauch [kWh/a]								
Hochwasserpumpwerk																				
=KA-HP-PP-001	Hochwasserpumpe 1	11,0	400	23,5	0,86	#NV	79%	/	#NV			0	1. Halbjahr 2017 nicht in Betrieb							
=KA-HP-PP-002	Hochwasserpumpe 2	11,0	400	23,5	0,86	#NV	79%	/	#NV			0								
=KA-HP-PP-003	Hochwasserpumpe 3	11,0	400	23,5	0,76	#NV	89%	/	#NV			0								
=KA-HP-LS-003	HPW Schieber 3	1,1	400	5,5	0,66	#NV	44%	/	#NV			0								
Reststoffbehälter																				
=KA-RB-PK-001	RB Reststoffpumpe	4,0	400	7,8	0,88	#NV	84%	/	#NV	3,20	2.920	9.344	Co-Fermente, Schätzung 8h/d							
Rohwasserabschlagspumpwerk																				
=KA-RP-PK-001	Pumpe 1	37,0	400	68,2	0,87	#NV	90%	/	#NV		7		0							
=KA-RP-PK-002	Pumpe 2	37,0	400	68,2	0,87	#NV	90%	/	#NV				0							
=KA-RP-PK-003	Pumpe 3	37,0	400	68,2	0,87	#NV	90%	/	#NV				0							
=KA-RP-PK-004	Entleerungspumpe	2,2	400	4,7	0,83	#NV	83%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-001	Zulaufschieber KA	1,1	400	3,2	0,66	#NV	75%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-002	Zulaufschieber PW	0,4	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-003	Ablaufschieber PW	0,4	400	1,7	0,58	#NV	54%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-004	Schieber Saugleitung Restentleersp.	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-005	Schieber Druckleitung Restentleersp.	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-006	Schieber Saugleitung Pumpe 1	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-007	Schieber Druckleitung Pumpe 1	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-008	Schieber Saugleitung Pumpe 2	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-009	Schieber Druckleitung Pumpe 2	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-0010	Schieber Saugleitung Pumpe 3	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
=KA-RP-LS-0011	Schieber Druckleitung Pumpe 3	0,4	400	1,2	0,72	#NV	62%	/	#NV				0							
											174.002	Zähler 23 Lysotherm + Zähler Thermalöltrack 19								
Lysotherm																				
=KA-FT-BD-100	FT Membranpumpe NaOH	0,12	400	1,2	0,89	#NV	17%	/	#NV											
=KA-FT-BD-200	FT Membranpumpe HNO3	0,12	400	1,2	0,89	#NV	17%	/	#NV											
=KA-FT-PE-001	FT Lysotherm Pumpe	x 22,00	400	42,0	0,82	#NV	92%	21,60	12,27											
=KA-FT-PY-001	FT Heizkreispumpe	x 4,00	400	7,9	0,83	#NV	89%	3,00	1,73											
=KA-FT-RW-001	FT Lysotherm® Rührwerk Vorlagebehälter	1,1	400	2,4	0,80	#NV		1,70												
=KA-FT-ZM-001	FT Lysotherm® ÜSS-Schlamm Zerkleinerer	2,2	400	4,7	0,79	#NV		/												
=KA-FT-PE-020	FT Lysotherm® ÜSS-Schlamm Pumpe zu Vorerwärmung	5,5	400	10,7	0,84	#NV		/												
=KA-FT-PE-020	FT Lysotherm® Heizkreispumpe	3,8	400	7,1	0,89	#NV		/												
=KA-FT-PE-020	FT Lysotherm® Tischkühler	1,8	400	5,1		0,85		/												
Faulturm																				
=KA-FB-PU-101	FB Umwälzpumpe 1 FT 1	15,0	400	27,5	0,87	#NV		19,50			8.760	102.962								
=KA-FB-PU-102	FB Umwälzpumpe 2 FT 1	15,0	400	27,5	0,87	#NV		22,70				0								
=KA-FB-PU-201	FB Umwälzpumpe 1 FT 2	15,0	400	27,5	0,87	#NV		22,40			8.760	118.275								
=KA-FB-PU-202	FB Umwälzpumpe 2 FT 2	15,0	400	27,5	0,87	#NV		21,10				0								
=KA-FB-PK-101	FB Heizpumpe Umwälz.-WT FT 1	0,035-0,8	230	0,3-3,5		#NV		0,18			500	21	Hr. Krummen: Laufen 4/5h pro Monat; Hr. Hüer 500 h/a							
=KA-FB-PK-101	FB Heizpumpe Umwälz.-WT FT 2	0,035-0,8	230	0,3-3,5		#NV		0,22			500	25	Hr. Krummen: Laufen 4/5h pro Monat; Hr. Hüer 500 h/a							
Gasaufbereitung																				
											8.760	2.214								
Biogasentschwefelung Kreislaufpumpe											5,50	400	10,5	0,87			3,0	4.380	13.250	Bh geschätzt, Aufzeichnung = 0
Biogasentschwefelung Spülpumpe											5,50	400	10,5	0,87			3,0	4.380	13.250	Bh geschätzt, Aufzeichnung = 0
Biogasentschwefelung Heizpumpe											0,65	230	3,5				0,4	4.380	1.566	Bh geschätzt, Aufzeichnung = 0
Primärschlamm Pumpwerk																				
=KA-PS-PE-101	PS Dünnschlammpumpe 1	x 2,2	400	4,3	0,83	#NV		2,40			4.380	4.728	Zähler 26 abzüglich Abluftgebläse							
=KA-PS-PE-201	PS Dünnschlammpumpe 2	x 2,2	400	4,3	0,83	#NV		2,30			4.380	4.531	Zähler 26 anteilig über Wirkleistung aufgeteilt							
=KA-PS-ZM-101	PS Zerkleinerer PS-Dünnschlammpumpe 1	2,2	400	4,7	0,79	#NV		3,20			4.380	6.000	Zähler 26 anteilig über Wirkleistung aufgeteilt							
=KA-PS-ZM-201	PS Zerkleinerer PS-Dünnschlammpumpe 2	2,2	400	5,2	0,74	#NV	/	4,10			4.380	7.201	Zähler 26 anteilig über Wirkleistung aufgeteilt							
PR Heizung Magnesiumchloridtank											6,0	230								

8. Anhang

 Bezeichnung		FU geregelt										Anmerkung	
		Nennleistung [kW]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Nenn- $\cos \varphi$	$\cos \varphi$ geschätzt	Berechneter Motorwirkungsgrad	Strommessung [A]	Wirkleistung berechnet [kW]	Wirkleistung geschätzt	Betriebsstunden [h/a]		Stromverbrauch [kWh/a]
Primärschlamm Eindickung													
=KA-PS-PE-102	PS FHM-Konzentratpumpe zu Ansetzstation	0,4	400	1,0	0,78	#NV	/					Vernachlässigt	
=KA-PS-PE-103	PS FHM-Gebrauchtslösungspumpe zu Injektor	X	0,8	400	1,8	0,75	#NV	1,10	0,6		523	Über FU	
=KA-PS-PE-104	PS Dickschlammpumpe	X	2,2	400	4,3	0,83	#NV	2,20	1,3		2.543	Über FU	
=KA-PS-PE-104	PS FHM Rührwerk 1		0,4	400	1,1	0,71	#NV	/				Vernachlässigt	
=KA-PS-PE-104	PS FHM Rührwerk 2		0,4	400	1,1	0,71	#NV	/				Vernachlässigt	
=KA-PS-PK-301	PS Spülpumpe PS-Eindicker		4,0	400	4,2	0,90	#NV	5,80	3,6	7.500	27.124		
=KA-PS-YM-301	PS Bandantrieb PS-ED	X	0,8	400	1,8	0,75	#NV	/	1,20	0,6		1.253	Über FU
=KA-PS-VG-101	PS Eindickhalle Abluftventilator		0,5	230	2,5		#NV	2,50				5.499	Über FU
EloPhos Anlage													
=KA-PR-PD-301	PR Dosierpumpe Entschäumer							/					
=KA-PS-PE-401	PR Dosierpumpe NaOH							0,16					
=KA-PS-PE-501	PR Dosierpumpe Magnesiumchlorid		0,3	230			#NV	/	/				
=KA-PR-PE-101	PR Zulaufpumpe Vakuumentgasung		2,2	400	4,3	0,85	/	0,90		7.556			
=KA-PR-PE-102	PR Zulaufpumpe zum EloPhos Reaktor 1		2,2	400	4,3	0,85	/	0,70		7.556			
=KA-PR-PK-101	PR Hydrozyklon Zulaufpumpe						/	/					
=KA-PR-PK-102	PR Rezirkulationspumpe EloPhos						/	2,90					
=KA-PR-PY-101	PR Vakuumpumpe am Entgaser		5,5	400		0,85	/	1,20		7.556			
=KA-PR-VG-101	PR Abluftventilator Umhausung Vakuumpumpe						/	0,20		7.556			
=KA-PR-VG-101	PS Faulturmhalle Abluftventilator			400			/	2,70					
=KA-PR-WH-100	PR Heizung im Chemiecontainer		1,0	230			#NV	/	/				
=KA-PR-WH-501	PR Heizung Magensiumchloridtank		6,0			0,85	/	/					
Druckluftstation													
= KA-VS-VD-100	FB Druckluftstation DLK 1 Betrieb		3,0			0,85				2,4	8.760	21.024	
= KA-VS-VD-200	FB Druckluftstation DLK 2 Betrieb		3,0			0,85							
= KA-VS-D38	FB Druckluftstation Adsorptionstrockner			400	0,2	0,85							
Schlammwässerung													
=KA-SE-WH-002	SE Waschwasser Boiler		27,00	400		0,85	/	/				115.607	Zähler (4) abzüglich Speicherkomplex und USS-Eindickung
=KA-SE-WH-001	SE Waschwasser Durchlauferhitzer		36,00	400		0,85	/	/					nur bei Bucher Betrieb (max. 1x im Jahr)
=KA-SE-PK-003	SE Waschwasserpumpe		3,00	400	6,7	0,85	#NV	/	/				nur bei Bucher Betrieb (max. 1x im Jahr)
=KA-SE-HS-101	SE Bunkerschneckenförderer 1	X	4,00	400	4,8	0,80	#NV	/	3,80				FU Betrieb 47Hz
=KA-SE-HS-201	SE Bunkerschneckenförderer 2	X	4,00	400	4,8	0,80	#NV	/	2,10				FU Betrieb 47Hz
=KA-SE-PE-101	SE Dünnschlammpumpe 1		18,50	400	19,9	0,91	#NV	/	/				
=KA-SE-PE-201	SE Dünnschlammpumpe 2	X	18,50	400	19,8	0,91	#NV	/	19,00				FU Betrieb 38Hz
=KA-SS-HS-001	Trogförderschnecke Antrieb	X	9,20	400		0,85	/	6,90					FU Betrieb 25Hz
=KA-SE-VD-001	SE Kompressor Steuerluft		0,75	400		0,85	/	/					
=KA-SE-YM-001	SE Hydraulikaggregat		7,50	400	8,4	0,85	#NV	/	5,00				
=KA-SE-RM-101	SE Flockungsmittelmischer 1	X	4,00	400	8,9	0,76	#NV	/	4,00				FU Betrieb 45 Hz (Nur bei Bucher in Betrieb)
=KA-SE-RM-201	SE Flockungsmittelmischer 2	X	4,00	400	8,9	0,76	#NV	/	4,00				FU Betrieb 45 Hz (Nur bei Bucher in Betrieb)
	SE Flockungsmittelpumpe 1		4,0	400	4,8	0,80	#NV	/	/				
= KA- SE-PE-202	SE Flockungsmittelpumpe 1	X	4,0	400	4,8	0,80	#NV	/	4,00				FU Betrieb 15Hz
=KA-SE-PK-001	SE Filtratwasserpumpe 1		7,50	400	13,1	0,92	#NV	/	8,50				
=KA-SE-PK-002	SE Filtratwasserpumpe 2		7,50	400	13,1	0,92	#NV	/	8,50				
=KA-SE-RV-101	SE Flockungsmittel Kammer 1 Rührwerk		0,8	400	2,1	0,75	#NV	/	/				
=KA-SE-RV-201	SE Flockungsmittel Kammer 2 Rührwerk		0,8	400	2,1	0,75	#NV	/	/				
=KA-SE-RV-401	SE Nachreifebehälter Rührwerk		0,8	400	2,1	0,75	#NV	/	2,00				
=KA-SE-PK-001	SE Polymerkonzentratpumpe		0,37	400	2,7	0,78	#NV	/	/				
=KA-SE-YM-102	SE Bucher Rotationsmotor		7,50	400	16,0	0,85	/	8,70					
	SE Bucher Hydraulikmotor		22,00	400	41,0	0,85	/	18,00					
	SE Hiller Trommelantrieb	X	110,00	400	194,0	0,85	/	125,00					
	SE Hiller Schneckenantrieb		37,00	400	69,2	0,83	#NV	/	4,00				

8. Anhang

 Bezeichnung		FU geregelt										Anmerkung
		Nennleistung [kW]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Nenn- $\cos \varphi$ [-]	$\cos \varphi$ geschätzt [-]	Berechneter Motorenwirkungsgrad [-]	Strommessung [A]	Wirkleistung Berechnet [kW]	Wirkleistung Geschätzt [kW]	Betriebsstunden [h/a]	
Betriebswasser												
	Grundwasserpumpe 1	7,50			0,82					6,0	4.260	25.562
	Grundwasserpumpe 2	7,50			0,82					6,0	4.148	24.888
	Grauwasserpumpe 1	X 2,20	400	6,0	0,81					1,76	3.168	5.576
	Grauwasserpumpe 2	X 2,20	400	6,0	0,81					1,76	3.001	5.281
	Grauwasserpumpe 3	X 2,20	400	6,0	0,81					1,76	3.551	6.250
	Grauwasserpumpe 4	X 2,20	400	6,0	0,81					1,76	3.154	5.551
Sonstiges												
	Zähler 8: Betriebsgebäude + PW1											65.927
	Fernwärme BHKW Gebäude (Zähler 20)											14.367
	Fernwärme Rohw. Gebäude (Zähler 21)											55.487
	HTC Versuchsanlage (Zähler 5+6)											11.522
Bei Besprechung am 20.9. geschätzt												
Geschätzt WiW / Anmerkung WiW												

8.2 Nachbemessung nach DWA-A 131

Klärtechnische Berechnung

Kläranlage: Lingen

B Belebung (Bemessung nach DWA-A 131 (Juni 2016))

=Eingabewerte

Varianten	Var 1	Var 2	Var 3	
	Mittlerer Energiebedarf 21 Tage + 125 kgCSB/d	Bemessung: 85%-Perzentil, Schlammalter 16 Tage + 125 kgCSB/d	Bemessung: 85%-Perzentil, Schlammalter 8 Tage + 2.000 kgCSB/d	
B.1 Wassermengen und Schmutzfrachten				
Anschlussgröße (Zulauf Kläranlage)				
Zulaufwassermengen				
maßg. tägl. Abfl. zur Berechnung der Konz.	$Q_{d,Konz}$	= 13.043	15.525	15.525 m ³ /d
Frachten im Zulauf Belebung (inkl. Rückbelastung)				
BSB ₅	$B_{d,BSB,ZB}$	= 2.790		kg/d
CSB	$B_{d,CSB,ZB}$	= 8.059	9.935	9.935 kg/d
TS	$B_{d,TS,ZB}$	= 2.252	2.580	2.580 kg/d
TKN	$B_{d,TKN,ZB}$	= 1.404	1.692	1.692 kg/d
P_{ges}	$B_{d,P,ZB}$	= 104	128	128 kg/d
Konzentrationen im Zulauf Belebung (inkl. Rückbelastung)				
BSB ₅	$C_{BSB,ZB}$	= 214	0	0 mg/l
CSB	$C_{CSB,ZB}$	= 618	640	640 mg/l
TS	$C_{TS,ZB}$	= 173	166	166 mg/l
TKN	$C_{TKN,ZB}$	= 108	109	109 mg/l
N_{org}	$C_{Norg,ZB}$	= 0	0	0 mg/l
NH ₄ -N	$C_{NH4-N,ZB}$	= 0	0	0 mg/l
NO ₃ -N	$C_{NO3-N,ZB}$	= 0	0	0 mg/l
P_{ges}	$C_{P,ZB}$	= 8	8	8 mg/l
B.2 Fraktionierung des CSB und der AFS				
Eingangsdaten				
Ausgangskonzentrationen				
CSB im Zulauf zur Belebung	$C_{CSB,ZB}$	= 618	640	640 mg/l
AFS im Zulauf zur Belebung	$X_{TS,ZB}$	= 173	166	166 mg/l
Abschätzung des inerten Anteils des CSB				
Anteil des inerten, gelösten CSB am gesamten CSB	f_s	= 0,22	0,22	0,22
inertes CSB, gelöst	$S_{CSB,inert,ZB}$	= 134,00	140,79	140,79 mg/l
Anteil des inerten, partikulären CSB am partikulären CSB	f_A	= 0,25	0,25	0,25
inertes CSB, partikulär	$X_{CSB,inert,ZB}$	= 55	53	53 mg/l
inertes CSB, gesamt	$C_{CSB,inert,ZB}$	= 189	194	194 mg/l
Abschätzung des abbaubaren Anteils des CSB				
abbaubarer CSB	$C_{CSB,abb,ZB}$	= 429	446	446 mg/l
Anteil des leicht abbaubaren CSB am abbaubaren CSB	f_{CSB}	= 0,2	0,2	0,2
leicht abbaubarer CSB	$C_{CSB,i.a.,ZB}$	= 86	89	89 mg/l
Fraktionierung der AFS				
Anteil der anorg. Stoffe an den AFS (Glührückstand)	f_B	= 0,2	0,2	0,2
afiltrierbare, anorganische Stoffe	$X_{anorgTS,ZB}$	= 35	33	33 mg/l
afiltrierbare, organische Stoffe	$X_{orgTS,ZB}$	= 138	133	133 mg/l
Abschätzung des partikulären und gelösten Anteils des CSB				
partikulärer CSB	$X_{CSB,ZB}$	= 221	213	213 mg/l
gelöster CSB	$S_{CSB,ZB}$	= 397	427	427 mg/l
Ermittlung der restlichen Fraktionen				
gelöster, abbaubarer CSB	$S_{CSB,abb,ZB}$	= 263	286	286 mg/l
partikulärer, abbaubarer CSB	$X_{CSB,abb,ZB}$	= 166	160	160 mg/l
Fraktionierung				
gesamter CSB	$C_{CSB,ZB}$	= 617,87	639,97	639,97 mg/l
gesamter inertes CSB	$C_{CSB,inert,ZB}$	= 189	194	194 mg/l
gesamter abbaubarer CSB	$C_{CSB,abb,ZB}$	= 429	446	446 mg/l
gesamter leicht abbaubarer CSB	$C_{CSB,i.a.,ZB}$	= 86	89	89 mg/l
gelöster CSB	$S_{CSB,ZB}$	= 397	427	427 mg/l
gelöster, inertes CSB	$S_{CSB,inert,ZB}$	= 134,00	140,79	140,79 mg/l
gelöster, abbaubarer CSB	$S_{CSB,abb,ZB}$	= 263	286	286 mg/l
partikulärer CSB (CSB des org. Feststoffanteils)	$X_{CSB,ZB}$	= 220,99	212,74	212,74 mg/l
partikulärer, inertes CSB	$X_{CSB,inert,ZB}$	= 55	53	53 mg/l
partikulärer, abbaubarer CSB	$X_{CSB,abb,ZB}$	= 166	160	160 mg/l
afiltrierbare Stoffe	$X_{TS,ZB}$	= 173	166	166 mg/l
nicht oxidierbarer anorganischer Feststoffanteil:	$X_{anorgTS,ZB}$	= 35	33	33 mg/l
afiltrierbare, organische Stoffe	$X_{orgTS,ZB}$	= 138	133	133 mg/l

8. Anhang

B.3 Überwachungswerte und Reinigungsziele		Var 1	Var 2	Var 3	
Überwachungswert N _{ges}	S _{anorgN,ÜW} =	16,0	16,0	16,0	mg/l
Überwachungswert NH ₄ -N	S _{NH4,ÜW} =				mg/l
Konzentration im Ablauf NK - NH ₄ -N	S _{NH4,AN} =	1,3	0,0	0,0	mg/l
Konzentration im Ablauf NK - NO ₃ -N	S _{NO3,AN} ≤	11,7	11,7	11,7	mg/l
Konzentration im Ablauf NK - N _{org}	C _{orgN,AN} ≤	21,8	21,8	21,8	mg/l
Überwachungswert P _{ges}	C _{P,ÜW} =	1,0	1,0	1,0	mg/l
Konzentration im Ablauf NK - P _{ges}	C _{P,AN} =	0,6	0,6	0,6	mg/l

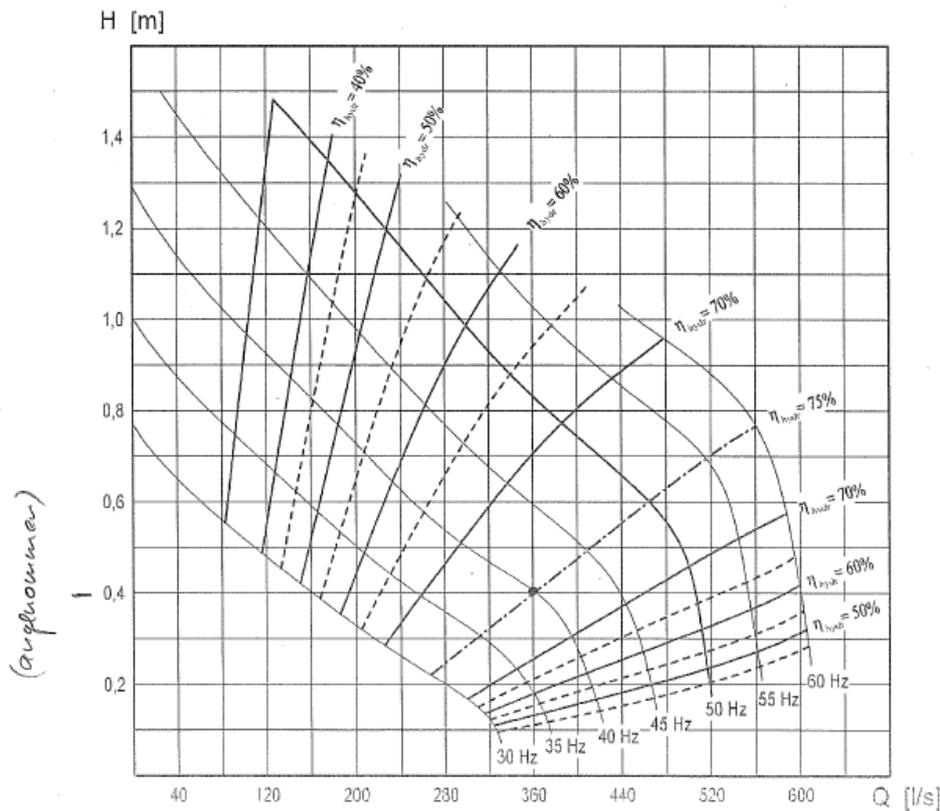
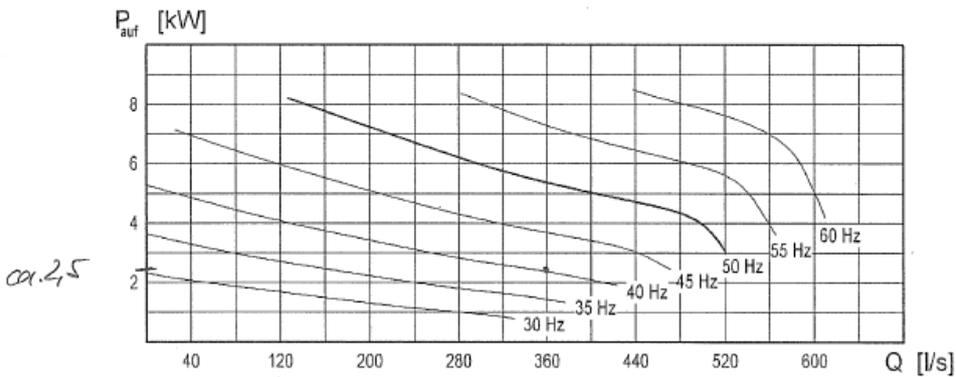
B.4 Bemessung nach DWA-A 131 (CSB-Ansatz)		Var 1	Var 2	Var 3	
Stickstoffbilanz (Berechnung der zu denitrifizierenden NO₃-Konzentration)					
Gesamtstickstoff im Zulauf BB	C _{N,ZB} =	107,6	109,0	109,0	mg/l
TKN im Zulauf BB	C _{TKN,ZB} =	107,6	109,0	109,0	mg/l
N _{org} -Konzentration im Ablauf NK	S _{orgN,AN} =	21,8	21,8	21,8	mg/l
NH ₄ -N-Konzentration im Ablauf NK	S _{NH4,AN} =	1,3	0,0	0,0	mg/l
NO ₃ -N-Konzentration im Ablauf NK	S _{NO3,AN} =	11,7	11,7	11,7	mg/l
in Biomasse eingebauter org. Stickstoff	X _{orgN,BM} =	3,8	5,9	10,6	mg/l
an inerte part. Fraktionen gebundener Stickstoff	X _{orgN,inert} =	3,1	2,9	2,8	mg/l
zu nitrifizierender NH ₄ -Stickstoff	S _{NH4,N} =	82,0	81,4	76,6	mg/l
zu denitrifizierender NO ₃ -Stickstoff	S _{NO3,D} =	66,0	66,8	62,1	mg/l
Volumenanteil für Denitrifikation					
Art der Denitrifikation (v = vorgeschaltet, i = intermittierend, s = simultan)	v	v	v		
Volumenanteil für Denitrifikation	V _D / V _{BB} =	0,62	0,66	0,34	
Phosphorbilanz					
Zulaufkonzentration Phosphor	C _{P,ZB} =	8,0	8,2	8,2	mg/l
Ablaufkonzentration Phosphor	C _{P,AN} =	0,6	0,6	0,6	mg/l
in Biomasse eingebauter Phosphor	X _{P,BM} =	3,1	3,2	3,2	mg/l
bei Bio-P biologisch gebundener Phosphor	X _{P,BioP} =	0,0	0,0	0,0	mg/l
durch Fällung zu eliminierender Phosphor	X _{P,Fall} =	4,3	4,4	4,4	mg/l
Wirksubstanz Fällmittel (Al/Fe)	Fe	Fe	Fe		
Schlammalter					
Bemessungstemperatur	T _{Bem} =	17,76	14,28	14,28	°C
gewählter Prozessfaktor für Nitrifikation (Achtung NEU)	PF =	1,50	1,50	1,50	
aerobes Schlammalter	t _{TS,aerob,Bem} =	3,9	5,5	5,5	d
erf. Schlammalter	t _{TS,Bem} =	10,2	16,1	8,3	d
Schlammalter vorgeben?	0 = Nein; 1 = Ja	0	0	0	
Vorgegebenes Schlammalter	t _{TS,Betrieb} =	21,1	0,0	0,0	
gewähltes Schlammalter	t _{TS} =	21,1	16,1	8,3	d
Dosierung von externem Kohlenstoff					
Aufstockung des CSB durch externen Kohlenstoff	C _{CSB,dos} =	10	8	129	mg/l
Art der C-Quelle	n/a	n/a	n/a		
Ertragskoeffizient für externe Kohlenstoffquelle	Y _{CSB,dos} =	0,45	0,45	0,45	g CSB _{BIM} /g CSB _{abb}
Schlammproduktion					
Temperaturfaktor für endogene Veratmung	F _T =	1,21	0,95	0,95	
Ertragskoeffizient für abbaubaren CSB im Zulauf	Y =	0,67	0,67	0,67	g CSB _{BIM} /g CSB _{abb}
Zerfallskoeffizient	b =	0,17	0,17	0,17	d ⁻¹
CSB der Biomasse	X _{CSB,BM} =	54	84	152	mg/l
int. Anteil des CSB der Biomasse (nach endog. Zerfall)	X _{CSB,inert,BM} =	47	44	41	mg/l
CSB-Konzentration des ÜS (bezogen auf Abwasserzufl.)	X _{CSB,ÜS} =	157	181	246	mg/l
Schlammproduktion aus C-Elimination	ÜS _{d,C} =	2.009	2.653	3.428	kg TS/d
Schlammproduktion aus P-Elimination	ÜS _{d,P} =	379	467	467	kg TS/d
Schlammproduktion gesamt	ÜS _d =	2.388	3.120	3.895	kg TS/d
Volumen des Belebungsbeckens					
erf. Masse der Feststoffe im Belebungsbecken	M _{TS,BB} =	50.453	50.304	32.517	kg TS
TS-Konzentration im Ablauf der Belebung		3,1	3,1	3,1	kg TS/m ³
Mittlere TS-Konzentration in der Belebung	TS _{BB} =	3,1	3,1	3,1	kg TS/m ³
erf. BB-Volumen	V _{BB} =	16.180	16.132	10.428	m ³
Volumen Denitrifikation	V _D =	9.981	10.657	3.592	m ³
Volumen Nitrifikation	V _N =	6.199	5.475	6.837	m ³
BB-Volumen je Einwohner	= #DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		l/E
Raumbelastung	B _R =	0,17	0,00	0,00	kg BSB/(m ³ *d)
Schlammbelastung	B _{TS} =	0,06	0,00	0,00	kg BSB/(kg TS*d)

8. Anhang

B.5 Sauerstoffbedarf		Var 1	Var 2	Var 3	
Sauerstoffbedarf für C-Abbau					
Sauerstoffverbrauch aus Kohlenstoffabbau	OV_C	= 336	326	382	mg/l
Anteil es Sauerstoffbedarfs aus leicht abbaubarem CSB und extern dosiertem CSB:					
vorgeschaltete Denitrifikation	$OV_{C,la,vorg.}$	= 34	34	100	mg/l
intermittierende Denitrifikation	$OV_{C,la,int.}$	= 5	4	71	mg/l
simultane Denitrifikation	$OV_{C,la,sim.}$	= 0	0	0	mg/l
Sauerstoffbedarfsequivalent in der Denitrifikation (über Nitratsauerstoff gedeckter Sauerstoffverbrauch der Kohlenstoffelimination):					
vorgeschaltete Denitrifikation	$OV_{C,D}$	= 189	191	178	mg/l
intermittierende Denitrifikation	$OV_{C,D}$	= 157	163	134	mg/l
simultane Denitrifikation	$OV_{C,D}$	= 156	162	99	mg/l
Vergleich von O ₂ -Verbrauch und O ₂ -Dargebot					
Art der Denitrifikation (v = vorgeschaltet, i = intermittierend, s = simult v					
Sauerstoffangebot aus Nitrat		= 189	191	178	mg/l
Vergleich von O ₂ -Verbrauch und O ₂ -Dargebot	x	= 1,00	1,000	1,000	
Sauerstoffverbrauch					
Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffelimination	$OV_{d,C}$	4.387	5.069	5.930	kgO ₂ /d
Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation	$OV_{d,N}$	4.355	5.237	4.925	kgO ₂ /d
Sauerstoffgewinn aus der Denitrifikation	$OV_{d,D}$	2.461	2.964	2.757	kgO ₂ /d
Stoßfaktor der Stickstoffracht	f_N	1,00	1,50	1,00	-
Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung	f_C	1,00	1,15	1,00	-
Sauerstoffverbrauch (Bezeichnung je nach Lastfall)	OV_h	262	415	337	kgO ₂ /h

8.3 Rezirkulationspumpe RZP 60

Kennlinien für Rezirkulationspumpe REZIJET RZP 60-3.40-4/16 S10				 Heimgartenstraße 1-3 D-95030 Hof/Saale Telefon +49 9281 974-0 Fax +49 9281 96528 www.wilo.com E-Mail: info@wilo.com	
Motortyp:	T 17-4/16R (Ex)				
Motordaten:	Bemessungsleistung [kW]	6,5			
	Leistungsaufnahme [kW]	8,2			
	Bemessungsdrehzahl [U/min]	1400		Polzahl	4
	Bemessungsstrom [A]	13,5		Frequenz [Hz]	50
	max. Schalthäufigkeit [/h]	15		Bemessungsspannung [V]	400
Propellertyp:	Stahl 10°	Anzahl der Flügel		3	
	Durchmesser [mm]	594	Kugeldurchgang [mm]	155	



Technische Änderungen vorbehalten

Toleranz $\pm 10\%$

Datum: 18.01.13 MaK

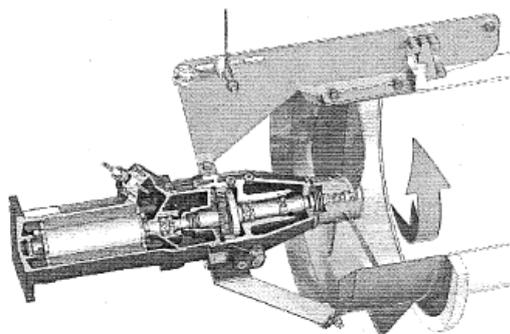
K10034d prt

Pioneering for You

Datenblatt

Wilo-EMU RZP 60-3.40-4/16 S10

Konstruktion / Drehrichtung



Technische Daten	
Aggregat	
Gewicht Aggregat m	164 kg
Schutzart	IP 68
Ex-Schutz <i>(optional)</i>	ATEX, FM
Ex-Klassifizierung ATEX	II 2G EEx d IIB T4
Ex-Klassifizierung FM	CLASS I, DIV. 1, GROUPS C, D; CLASS II, DIV. 1, GROUPS E, F, G; CLASS III
Propeller	
Propellerbauart	3-flügliger Propeller mit selbstreinigender Nabe; rückwärtsgekrümmt, dadurch verzopfungsfrei
Propellernenndurchmesser	600 mm
Propellerdrehzahl n	400 1/min
Getriebeübersetzung	3,6
Füllmengen und -sorten	
Füllung Vorkammer	CLP transmission oil, ISO VG 220
Füllmenge Vorkammer V	1,2 l
Füllung Getriebekammer	CLP transmission oil, ISO VG 220
Füllmenge Getriebekammer V	0,5 l
Füllung Dichtungskammer	Weißöl
Füllmenge Dichtungskammer V	1,1 l

Motordaten	
Motortyp	T 17-4/16R (Ex)
Motorbauart	Tauchmotor nach DIN/VDE 0530 (IEC 34)
Netzanschluss	3-400 V, 50 Hz
Nennstrom I_N	13,5 A
Anlaufstrom - direkt I_A	68 A
Anlaufstrom - Stern dreieck I_A	23 A
Leistungsaufnahme P_1	8,2 kW
Motornennleistung P_2	6,5 kW
Nennrehzahl n	1400 1/min
Wirkungsgrad η_M	80,0 %
Leistungsfaktor $\cos \varphi$	0,87
Medientemperatur T	+3 ... +40 °C
Max. Tauchtiefe	20 m
Isolationsklasse	H
Max. Schalthäufigkeit t	15 /h
Min. Schaltpause t	3 min
Anlaufmoment M	98 Nm
Massenträgheitsmoment	0,0134 kg/m ²
Motorlagerung	1 Rillenkugellager, 1 zweireihiges Schrägkugellager
Werkstoffe	
Motorgehäuse	EN-GJL-250
Motorwelle	1.4021
Getriebegehäuse	EN-GJL 250
Planetenrad	1.7131
Hohlrad	1.5216
Sonnenrad	1.7131
Abtriebswelle	1.4462
Statische Abdichtung	FPM
Gleitringdichtung	SiC/SiC
Abdichtung Getriebe-/Vorkammer	FPM
Abdichtung Getriebe-/Dichtungskammer	SiC/SiC
Abdichtung motorseitig	FPM
Propeller	1.4571
Strömungsgehäuse	1.4571
Getriebe	
Getriebebauart	m 2,0 nach DIN 780/P10 (ISO 54); Sonnen- und Planetenräder einsatzgeartet und geschliffen, Hohlrad gestoßen
Getriebelagerung	3 Nadellager (Planeten), 1 zweireihiges Schrägkugellager und 1 Rillenkugellager (Abtriebswelle)
Lebensdauer L_{H10}	> 100000 Betriebsstunden, ISO 281

Zubehör - Accessories - Accessoires

Rezijet RZP 60-3

AVR 80 - AVRZ 80 - AVRZD 80



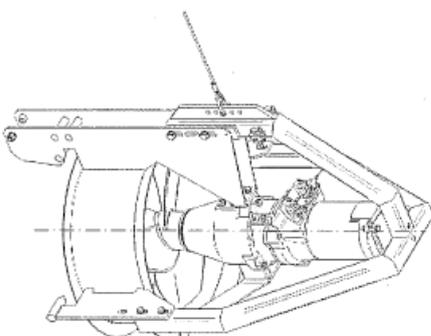
Heimgartenstraße 1-3 D-95030 Hof/Saale
 Telefon +49 9281 974-0 Fax +49 9281 96528
 www.wilo.com E-Mail: info@wilo.com

Kunde _____
 Customer _____
 Client _____

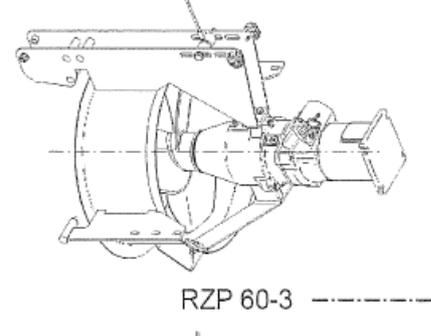
Projekt _____
 Project _____
 Projet _____

Angebot - Quotation - Offre _____
 Auftrag - Order - Commande _____
 Nr. - No.: _____

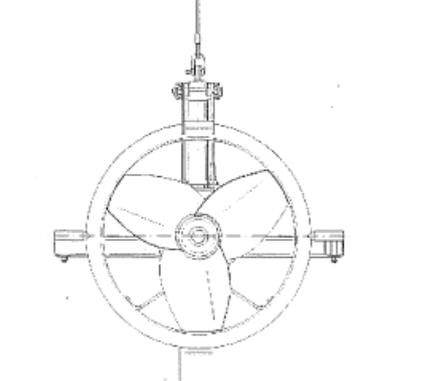
Auftragsbezogene Maße X = _____ mm
 Dimensions acc. to order L = _____ mm
 Dimensions selon commande



RZP 60-3

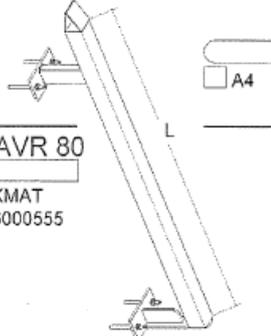


RZP 60-3



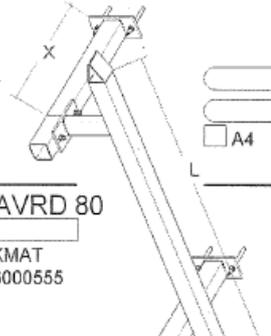
TR 60-3

KMAT 6000257



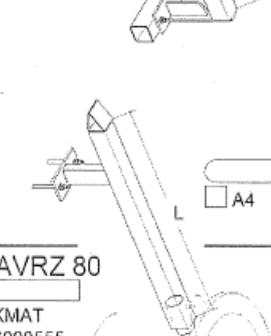
AVR 80

KMAT 6000555



AVRZ 80

KMAT 6000555



AVRZD 80

KMAT 9000553

6011006

A4

6011006

6010965

A4

6011005

A4

6011005

6010964

A4

6010947 Ø10-17

6010946 Ø17-25

6011029 Ø26-36

6010940 Ø10-17

6010939 Ø17-25

6010948 Ø26-35

6004394 E4

6037437

6048172

St 6036030

A4 6060982

A4 6036031

nachrüstbar ab 01/2017
 upgradeable since 2017-01
 extensible dès 2017-01

A4 6070134

E4 = 1.4571 / AISI 316Ti / Z 6 CNDT 17-12
 A2 = 1.4301 / AISI 304 / Z 7 CN 18-09
 St = Stahl / steel / acier
 = Befestigungssatz / fixing elements /
 éléments de fixation