

Abwasserbetrieb der Gemeinde Lotte



Potenzialanalyse gemäß Kommunalrichtlinie 2018 für die Zentralkläranlage Wersen

Dezember 2020

erstellt durch
Dipl.-Biotechnol. Nicole Michalski
Dipl.-Ing. Detlef Wedi

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	4
2	Berücksichtigte Unterlagen und Informationen.....	5
3	Bestandsaufnahme.....	6
3.1	Beschreibung der Anlage	6
3.1.1	Reinigungsverfahren.....	6
3.1.2	Anlagenteile	9
3.2	Belastungs- und Betriebssituation der Kläranlage Wersen.....	10
3.2.1	Belastungen.....	10
3.2.1.1	Abwassermengen	10
3.2.1.2	Temperatur pH-Wert.....	11
3.2.1.3	Schmutzfrachten und Konzentrationen im Zulauf	12
3.2.1.3.1	Organische Belastungen	12
3.2.1.3.2	Stickstoff	13
3.2.1.3.3	Phosphor	14
3.2.1.3.4	Zusammenstellung der Belastungen im Zulauf.....	14
3.2.2	Betriebsparameter	15
3.2.2.1	Temperatur im Belebungsbecken	15
3.2.2.2	Trockensubstanzgehalt und Schlammindex in den Belebungsbecken	16
3.2.2.3	Schlammanfall	17
3.2.2.4	Fällmittelverbrauch	18
3.2.3	Ablaufbeschaffenheit	19
3.3	MSR-Technik	22
3.4	Optimierungsmöglichkeiten für Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik	23
3.5	Personalsituation	23
4	Analyse des Energieverbrauchs	24
4.1	Gesamtenergieverbrauch	24
4.2	Stromverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen.....	24
4.3	Stromerzeugung	28
4.4	Wärmebedarf und Wärmeverbraucher	29
4.4.1	Übersicht Heizungen	29
4.4.2	Energiebedarf zur Gebäudeheizung	30
4.5	Energie- und Treibhausgasbilanz	31
4.6	Energetische Bewertung der Anlage	32
4.6.1	Spezifischer Gesamtstromverbrauch.....	32
4.6.2	Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung.....	33
5	Ermittlung von Einsparpotenzialen / Potenzialanalyse	34
5.1	Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte für den Stromverbrauch.....	34
5.1.1	Hinweise zur Berücksichtigung des Teillastverhaltens	34
5.1.2	Idealwerte einzelner Anlagenteile	35
5.1.3	Zusammenfassung der anlagenbezogenen Idealwerte	37
5.2	Gebäudeheizung	38
5.3	Ermittlung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen	39
5.4	Klimaschutzpotentiale durch Digitalisierung	40

5.5	Einspar- und Versorgungsziele.....	41
5.6	Strategie zur Umsetzung der Ziele	41
6	Optimierungsmaßnahmen und Umsetzungsplanung.....	43
6.1	Bereits umgesetzte Maßnahmen	43
6.2	Weitere Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen.....	43
6.2.1	Einsparpotenzial	43
6.2.2	Beschreibung der Maßnahmen.....	44
6.2.2.1	Einsatz energieeffizienter Pumpen	44
6.2.2.1.1	Allgemeines zur Erneuerung von Pumpen und Motoren	44
6.2.2.1.2	Einsatz energieeffizienter Rücklaufschlammumpen	45
6.2.2.2	Durchmischung Schlammspeicher	47
6.2.2.3	Austausch Rührwerke Hochlastbecken	47
6.2.3	Zusammenfassung	48
6.3	Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Maßnahmen	49
6.4	Umsetzungsfahrplan.....	49
6.4.1	Kurzfristige Maßnahmen.....	49
6.4.2	Mittelfristige Maßnahmen	50
6.4.3	Langfristige Maßnahmen	51
6.5	Zusammenfassung	51
7	Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung	52
7.1	Energetische Optimierung der Abwasser- und Schlammbehandlung	52
7.2	Allgemeines zur Verfahrensumstellung	53
7.2.1	Anaerobe Schlammstabilisierung	53
7.2.2	Bauformen für Anlagen zur anaeroben Klärschlammbehandlung	55
7.2.3	Aufbereitung von Faulgas	61
7.2.4	Verwertung von Faulgas	61
7.3	Maßnahmen zur Verfahrensumstellung auf der KA Wersen.....	62
7.4	Verfahrenstechnische Beschreibung zur Verfahrensumstellung.....	63
7.5	Bauliche Maßnahmen und Investitionskosten	66
7.5.1	Bauwerksanordnungen	66
7.5.2	Kostenschätzung der Verfahrensumstellung	67
7.6	Auswirkungen auf die Energie- und Schlammbilanzen.....	69
8	Zusammenfassung	71

1 Veranlassung

Die Gemeinde Lotte betreibt an den Standorten Wersen und Lotte zwei mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlagen. Die Zentralkläranlage Wersen reinigt die häuslichen Abwässer aus den Ortsteilen Büren, Halen und Wersen. Die Anlage wurde im Jahr 1986/87 für eine Ausbaugröße von 15.600 EW errichtet und ist seither weitgehend unverändert in Betrieb. Der Kläranlage Wersen vorgelagert sind verschiedene Pumpwerke und Druckrohrleitungen.

Anhand einer gemäß den Vorgaben der aktuellen Kommunalrichtlinie vom 01. Januar 2020 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit für strategische Förderschwerpunkte zu erstellenden Potenzialstudie soll der Status des Energiebedarfes der Abwasserförderung sowie der Kläranlage Wersen ermittelt werden.

Die Erstellung der Potenzialstudie wird mit Förderkennzeichen 03K12997 bzw. Schreiben des Projektträgers Jülich vom 17.03.2020 gefördert. Der Antrag beruht auf der Vorhabenbeschreibung für den Förderschwerpunkt 2.6.3 Potenzialstudie zu Abwasserbehandlungsanlagen mit dem Thema "Energetische Optimierung der Zentralkläranlage Wersen sowie der Pumpwerke und Druckrohrleitungen im Einzugsgebiet" vom 25.09.2019.

Mit der Ausarbeitung der Potenzialstudie gem. Hinweisblatt der o. g. Richtlinie und in Anlehnung an das Arbeitsblatt A-216 der DWA wurden die Büros ifa consult GmbH, Suthfeld-Riehe, und ATM Abwassertechnik, Braunschweig, beauftragt. Als Erweiterung zum genehmigten Förderantrag wurde eine Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung für die Kläranlage Wersen aufgenommen.

Ziel der Studie ist es, vor allem im Hinblick auf die Belange des Umweltschutzes und weiter steigende Energiekosten sowie unter Beachtung einer hohen Qualität der Abwasserreinigung die energetischen Einsparpotenziale zur Abwasserbehandlung für die Kläranlage Wersen aufzuzeigen. Im Sinne einer Prioritätenzuordnung sind hieraus entsprechende Maßnahmen abzuleiten und vorzuschlagen, um langfristig einen energie- und kostenoptimierten Betrieb sowie eine Reduktion der Treibhausgasemissionen zu ermöglichen.

2 Berücksichtigte Unterlagen und Informationen

Als Grundlage für die Ausarbeitungen und Bewertungen wurden die im Folgenden aufgeführten Unterlagen und Quellen berücksichtigt:

- ▶ Betriebstagebücher der KA Wersen der Monate Januar 2017 bis Juli 2020
- ▶ Aufzeichnungen über entsorgte Schlamm-mengen der Jahre 2017 - 2020
- ▶ Klärschlamm-analysen der Jahre 2017 - 2020
- ▶ Stromrechnungen der Jahre 2019 bis 2020
- ▶ Wasserrechtlicher Bescheid der Bezirksregierung Münster vom 30.01.2018
- ▶ Liste aller Verbraucher mit Leistungsangaben
- ▶ Zusätzliche Leistungsmessungen für alle relevanten Antriebe
- ▶ Aufzeichnungen über Laufzeiten der verschiedenen Aggregate
- ▶ Aufzeichnungen über Stromverbräuche und -Produktionen der Jahre 2017 - 2020
- ▶ Begehungen der Kläranlage am 08.10. und 18.11.2020
- ▶ Erläuterungen des Betriebspersonals der KA Wersen
- ▶ Bestandspläne
- ▶ Studie zur energetischen Optimierung der Kläranlagen der Gemeinde Lotte des Ing.-Büros ATM, Braunschweig vom April 2014

Zusätzlich wurden folgenden Literaturquellen verwendet:

- ▶ DWA-Arbeitsblatt A-216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef, Dezember 2015
- ▶ MULNV NRW (2018): Energie in Abwasseranlagen – Handbuch NRW – 2. Vollständig überarbeitete Fassung. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, Januar 2018
- ▶ ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, ATV-DVWK - April 2003
- ▶ DWA-Arbeitsblatt A-131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef, Juni 2016
- ▶ DWA-Arbeitsblatt A-268, Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef, August 2016
- ▶ Bauer, T. (2009) Seminar Energieoptimierung auf Kläranlagen 1. Oktober 2009, Berlin, Vortrag Dipl. Ing. Thomas Bauer, Gummersbach
- ▶ Baumann, P., Maurer, P., Roth, M. (2014) Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen - Praxisleitfaden, Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen (Heft 4), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef

3 Bestandsaufnahme

3.1 Beschreibung der Anlage

Die Zentralkläranlage Wersen wurde 1987 in Betrieb genommen und reinigt die Abwässer aus den Ortsteilen Büren, Halen und Wersen.

Die mechanisch-biologische Kläranlage wurde für eine Ausbaugröße von 15.600 EW und folgende Wassermengen ausgelegt:

Tagesabwassermenge: $Q_d = 3.464 \text{ m}^3/\text{d}$

Trockenwetterzufluss: $Q_{TW} = 279,1 \text{ m}^3/\text{h}$

Regenwetterzufluss: $Q_{RW} = 481,7 \text{ m}^3/\text{h}$

Abweichend von den ursprünglichen Entwurfsplanungen für die Zentralkläranlage Wersen von 1985 ergibt sich aufgrund von Änderungen bei den Bemessungsrichtlinien eine Ausbaukapazität der biologischen Reinigungsstufe von lediglich 13.600 EW.

Die biologische Reinigungsstufe ist für simultan-aerobe Schlammstabilisation mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation zu bemessen. Als Bemessungsrichtwert war zurzeit der Entwurfsaufstellung eine Schlammbelastung von $0,05 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS}$ bzw. ein Schlammalter von 20 Tagen einzuhalten. Nach dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131 ist seit Februar 1991 ein Schlammalter von 25 Tagen zur simultan-aeroben Schlammstabilisierung einzuhalten. Die aktuelle Reinigungskapazität der Belebungsanlage beträgt deshalb nur noch: $17.000 \text{ EW} \times 20 \text{ d}/25 \text{ d} = 13.600 \text{ EW}$.

Gemäß dem aktuellen Wasserrechtsbescheid gelten für den Ablauf der Kläranlage Wersen derzeit die in Tabelle 3.1 aufgeführten Grenzwerte.

Tabelle 3.1: Grenzwertvorgaben für den Ablauf der KA Wersen

Parameter	Einheit	Grenzwert
CSB	mg/l	56
NH ₄ -N	mg/l	4
N _{ges} *	mg/l	13
P _{ges}	mg/l	1,5

* für eine Abwassertemperatur > 12°C

3.1.1 Reinigungsverfahren

Das der Kläranlage Wersen zufließende Abwasser wird über drei außerhalb des Kläranlagengeländes liegende Pumpwerke (Büren, Halen und Wersen) in das Zulaufgerinne des Rechens gefördert. Von hier aus durchläuft das Abwasser die gesamte Kläranlage im freien Gefälle.

Die Zentralkläranlage Wersen besteht neben der mechanischen Abwasservorbehandlung mit Rechen und Sandfang aus zwei Belebungsbecken mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation und aeroben Schlammstabilisierung sowie einem Nachklärbecken.

Im Rechengebäude befindet sich ein Filterstufenrechen mit einer Spaltbreite von 3 mm. Das aus dem Abwasser entfernte Rechengut wird in einer Rechengutwaschpresse kompaktiert und anschließend in einen Behälter abgeworfen.

Im belüfteten, maschinell geräumten Langsandfang werden mineralische Inhaltsstoffe und Schwimmstoffe durch Verringerung der Fließgeschwindigkeit abgeschieden und dem Sandwäscher zugeführt. Der gewaschene Sand wird in einen Behälter abgeworfen. Das anfallende Wasser wird dem Zulauf der Kläranlage zugeführt.

Das mechanisch vorbehandelte Abwasser wird in einem Sammelbauwerk mit dem Rücklaufschlamm vermischt und fließt über einen Verteiler den beiden runden Belebungsbecken zu. Der Rücklaufschlamm wird dem Sammelbauwerk über zwei Förderschnecken zugeführt.

Die biologische Reinigungsstufe ist als Belebtschlammanlage mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation und simultan-aerober Schlammstabilisation sowie biologischer Phosphorelimination im Hauptstrom ausgebildet. Das heißt, dass der produzierte Belebtschlamm in den Belebungsbecken so lange belüftet wird, bis eine Stabilisierung (Mineralisierung der organischen Substanz im Belebtschlamm) erreicht ist und keine Geruchsbelästigungen von dem Überschussschlamm mehr ausgehen.

Zur Unterstützung der biologischen Phosphorelimination ist eine Simultanfällungsanlage - bestehend aus Lagertank und Dosiereinrichtung - vorhanden. Zurzeit wird Eisen(III)-Chloridsulfat eingesetzt, wobei die Dosierung aktuell in das Rücklaufschlammumpwerk erfolgt. Alternativ ist eine Dosierung in den Zulauf zur Belebung möglich.

Die Belebungsanlage besteht aus den zwei parallel betriebenen Rundbecken mit innenliegenden Hochlastbecken und einem horizontal durchflossenen Nachklärbecken.

Die Beschickung der Belebungsbecken, die ein Volumen von jeweils 2.550 m³ aufweisen, erfolgt in der Mitte der Becken. Hier befindet sich die sog. Hochlast-Belebung mit einem Volumen von jeweils 50 m³.

Die Abtrennung des Belebtschlamm vom gereinigten Abwasser erfolgt in einem horizontal durchströmten Nachklärbecken mit Schildräumer mit einer Wassertiefe von 3,1 m und einer anrechenbaren Oberfläche von 607 m².

Der aus dem Rücklaufschlamm abgezogene Überschussschlamm wird statisch voreingedickt und in einem Schlamm-speicher gesammelt. Dem Schlamm-speicher wird auch der von der KA Lotte angelieferte Überschussschlamm zugeführt.

Der Schlamm aus dem Schlamm-speicher wird mithilfe einer Schneckenpresse entwässert, auf einem Lagerplatz gesammelt und zur thermischen Verwertung abtransportiert.

Das Prozesswasser aus der Schlamm-entwässerung wird in den Zulauf zum Rechen zurückgeführt.

Der Ablauf des Nachklärbeckens durchläuft vor der Einleitung in den Vorfluter, die Hase, zwei Schönungssteiche.

In Abbildung 3.1 ist der gegenwärtige Verfahrensablauf der gesamten Kläranlage Wersen schematisch dargestellt.

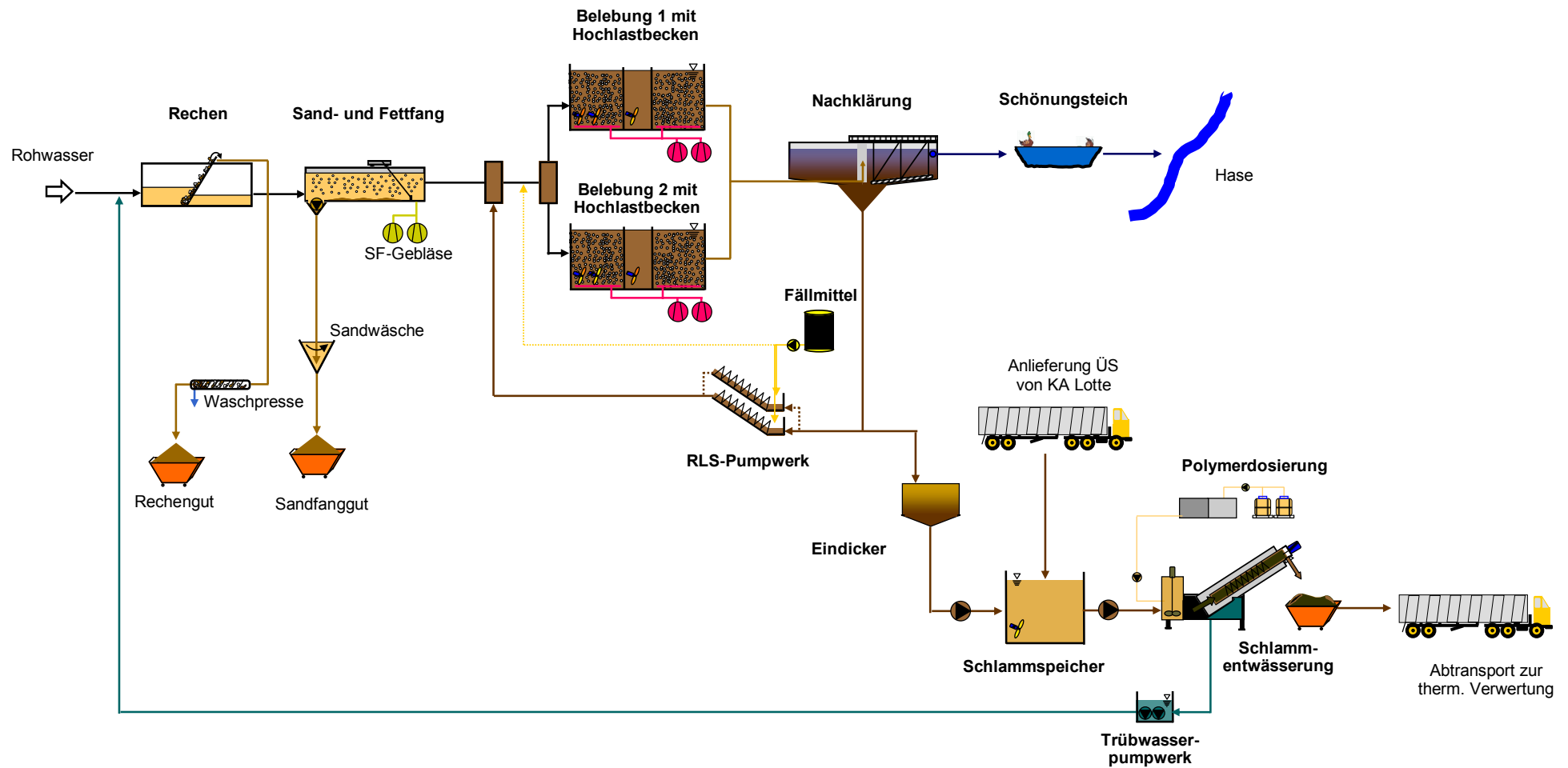


Abbildung 3.1: Verfahrensschema der KA Wersen

3.1.2 Anlagenteile

Die Zentralkläranlage Wersen besteht im gegenwärtigen Ausbauzustand im Wesentlichen aus den in Tabelle 3.2 aufgeführten Anlagenteilen.

Tabelle 3.2: Anlagenteile der KA Wersen

Verfahrensstufe	Anlagenteil
Mechanische Vorreinigung	- Filterstufenrechen (3 mm Spaltweite) mit Rechengutwaschpresse - belüfteter Sandfang (L = 13,20 m; B = 2,0 m; T = 3,40 m) mit Fettfangkammer (B = 2,0 m) und Sandwaschanlage - Sandfanggebläse: 2 Gebläse Aerzen Typ GM 3 S (jeweils 0,70 m³/min)
Biologische Reinigungsstufe	- Verteilerbauwerk - 2 Belebungsbecken mit Hochlastbecken und feinblasiger Druckbelüftung mit Plattenbelüftern (D = 28,0 m; T = 4,30 m; V_{BB} = 2 x 2.550 m³; V_{HB} = 2 x 50 m³) - Gebläsestation: 4 Gebläse Aerzen Typ GM 15 L (jeweils 13,5 m³/min), 2 Gebläse pro Belebungsbecken - Nachklärbecken mit Schildräumer (A = 607 m²; h_{ges} = 3,10 m³) - 2 Rücklaufschlammförderschnecken (dreistufig) (Q = 2 x 55,6 – 75 – 111,2 l/s) - Fällmitteltank und -Dosieranlage für Eisen(III)-Chloridsulfat-Lösung - Ablaufmengenmessanlage mit Probenahmestation - 2 Schönungsteiche (V_I = 1.180 m³; V_{II} = 2.220 m³)
Schlammbehandlung	- Schlammvoreindicker (V = 100 m³) - Schlammpumpe zum Speicher - Schlammspeicher (V = 1.900 m³) - maschinelle Schlammmentwässerungsanlage inkl. FHM-Dosieranlage (Schneckenpresse; Q = 10 m³/h) - Trübwasserpumpwerk (Q = 2 x 50 m³/h) - Schlamlagerplatz I und II (V_I = 382 m³; V_{II} = 744 m³)
Sonstiges	- Rechengebäude - Schlammmentwässerungsgebäude - Trafostation - Betriebsgebäude - Notstromaggregat - PV-Anlage (max. 22 kWp)

3.2 Belastungs- und Betriebssituation der Kläranlage Wersen

Zur Ermittlung der Belastungssituation und Leistungsfähigkeit der Kläranlage Wersen wurden die Betriebstagebücher für den Zeitraum vom 01. Januar 2018 bis zum 31. Juli 2020 detailliert statistisch ausgewertet. Die relevanten Kennzahlen zur Beschreibung der Belastungs- und Betriebssituation wurden abgeleitet und sind im Folgenden tabellarisch sowie graphisch aufgeführt.

3.2.1 Belastungen

3.2.1.1 Abwassermengen

Auf der Kläranlage Wersen wird anstelle des Zulaufs die Ablaufmenge erfasst. In den letzten zweieinhalb Jahren hat sich die der KA Wersen zufließende Abwassermenge nicht nennenswert verändert, Abbildung 3.2. An Trockenwettertagen schwankten die Zuflussmengen in den Sommermonaten zwischen 1.000 m³/d und ca. 1.300 m³/d und in den Wintermonaten bis zu 3.000 m³/d. Bei Regenwetter wurden in der Zeit seit Januar 2018 Zuflüsse bis maximal 3.400 m³/d gemessen.

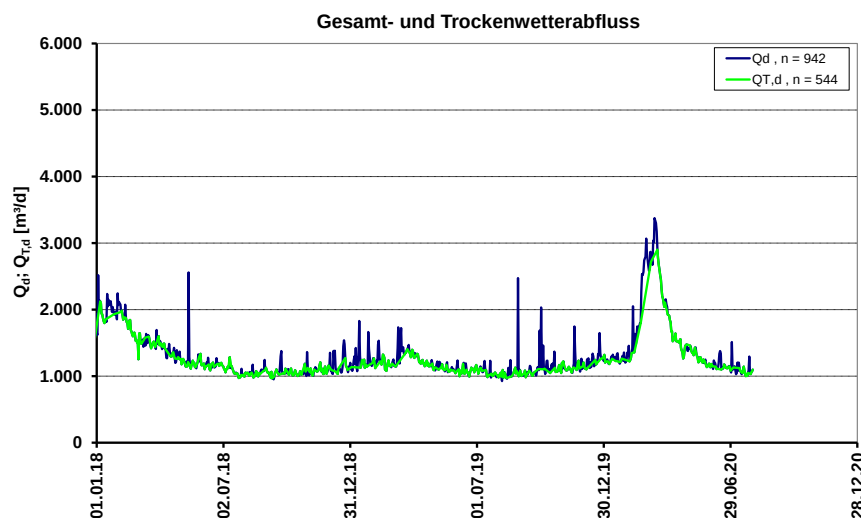


Abbildung 3.2: Gesamt- und Trockenwetterzufluss der Kläranlage Wersen

Der maximale Stundenabfluss lag im Allgemeinen zwischen 60 und 130 m³/h, Abbildung 3.3, und somit unterhalb der Auslegungsgröße von maximal 279 m³/h bei Trockenwetter. Bei Regenwetter war ein Anstieg der Durchflüsse auf maximal 400 m³/h zu beobachten.

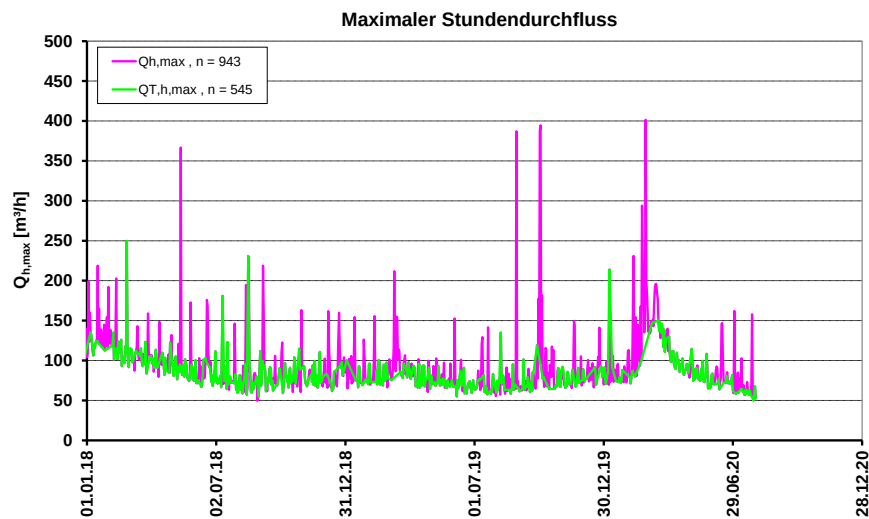


Abbildung 3.3: Maximaler Stundenabfluss der KA Wersen

In Tabelle 3.3 sind die relevanten hydraulischen Belastungen für den Zeitraum Januar 2018 bis Juli 2020 aufgeführt. Der mittlere Zufluss $Q_{T,d}$ lag demzufolge bei Trockenwetter bei 1.237 m³/d und im Mittel Q_d des betrachteten Zeitraumes bei 1.302 m³/d.

Tabelle 3.3: Hydraulische Belastungen der KA Wersen (01/2018 - 07/2020)

Zufluss	Bezeichnung	Einheit	Anzahl	Min	Max	Mittel	Median	85%-Wert
Jahresmenge 2018	Q_a	m³/a	365	473.999				
Jahresmenge 2019	Q_a	m³/a	364	425.300				
Jahresmenge 2020	Q_a	m³/a	213	326.950				
alle Tage	Q_d	m³/d	942	925	3.374	1.302	1.172	1.532
Trockenwettertage	$Q_{T,d}$	m³/d	544	964	2.901	1.237	1.143	1.466
Tagesminima	$Q_{h,min}$	m³/d	k. A.					
Tagesmaxima	$Q_{h,max}$	m³/d	943	50	402	93	82	115
Tagesminima bei Trockenwetter	$Q_{T,h,min}$	m³/d	k. A.					
Tagesmaxima bei Trockenwetter	$Q_{T,h,max}$	m³/d	545	50	250	84	79	101
Temperatur des Rohabwassers	T_z	°C	943	8,0	20,5	14,0	13,4	18,2
pH-Wert im Rohabwasser	pH _z	-	943	6,8	8,5	7,8	7,8	8,0

3.2.1.2 Temperatur pH-Wert

Die Ganglinie der Temperatur des Rohabwassers zeigt einen für diese Region typischen Verlauf mit Temperaturen von etwa 8°C im Winter und bis zu 20°C im Sommer, Abbildung 3.4. Der pH-Wert des Rohabwassers wies im Betrachtungszeitraum mit Werten zwischen 7 und 8,5 keine Besonderheiten auf.

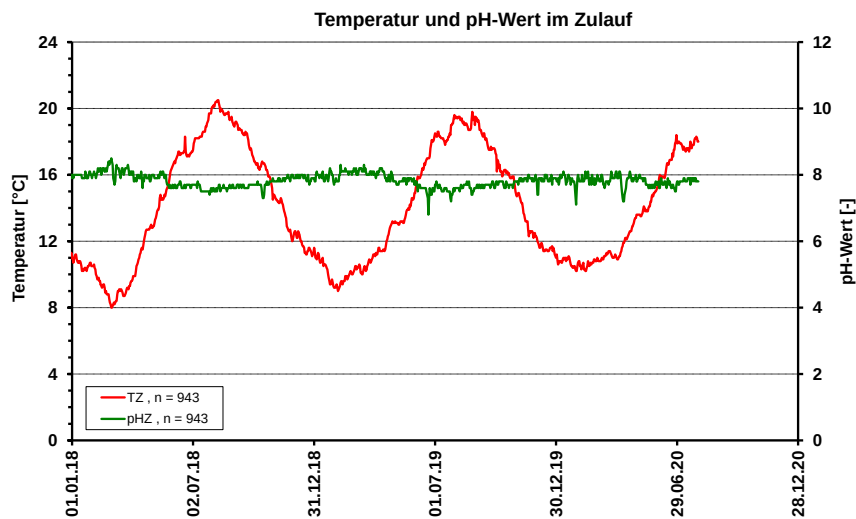


Abbildung 3.4: Temperatur und pH-Wert im Zulauf der Kläranlage

3.2.1.3 Schmutzfrachten und Konzentrationen im Zulauf

3.2.1.3.1 Organische Belastungen

Für die organischen Schmutzfrachten im Zulauf sind im Betrachtungszeitraum kaum Änderungen festzustellen. Die im Rahmen der Eigenüberwachung gemessene CSB-Konzentration schwankte im Betrachtungszeitraum meist zwischen 700 und 1.800 mg/l, Abbildung 3.5, und lag im Mittel bei 1.212 mg/l, Tabelle 3.4.

Die zugehörigen Frachten lagen überwiegend im Bereich von 1.000 und 2.000 kg/d. Für den Zeitraum seit Januar 2018 ergibt sich aus den Messwerten eine mittlere Fracht von 1.386 kg/d. Die 85%-Werte liegen demzufolge bei 1.470 mg/l bzw. 1.749 kg/d.

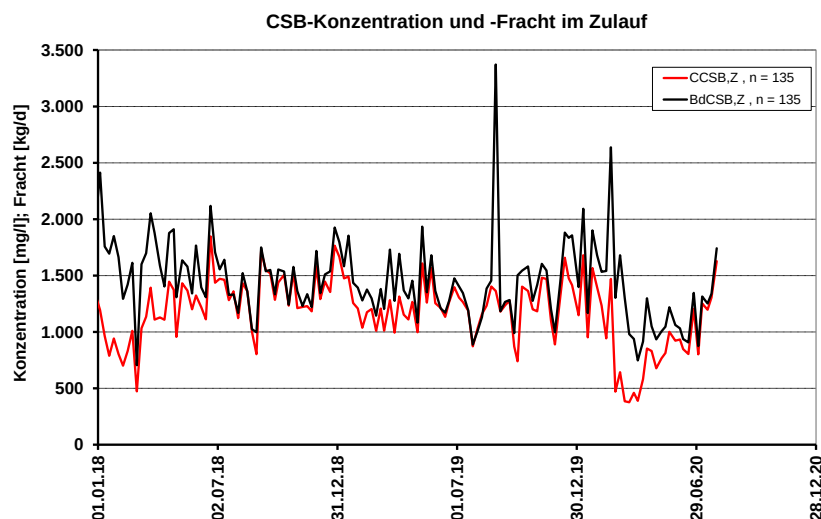


Abbildung 3.5: CSB-Konzentration und -Fracht im Zulauf

Aus den ermittelten Belastungen lässt sich nach Tabelle 3.4 eine mittlere organische Belastung der KA Wersen in Höhe von 11.600 EW und eine Nennbelastung als 85%-Wert von 14.600 EW ableiten.

3.2.1.3.2 Stickstoff

Die gemessenen Ammoniumkonzentrationen im Zulauf lagen im betrachteten Zeitraum in der Regel zwischen 40 und 80 mg/l, die zugehörigen Frachten zwischen 50 und 100 kg/d, Abbildung 3.6.

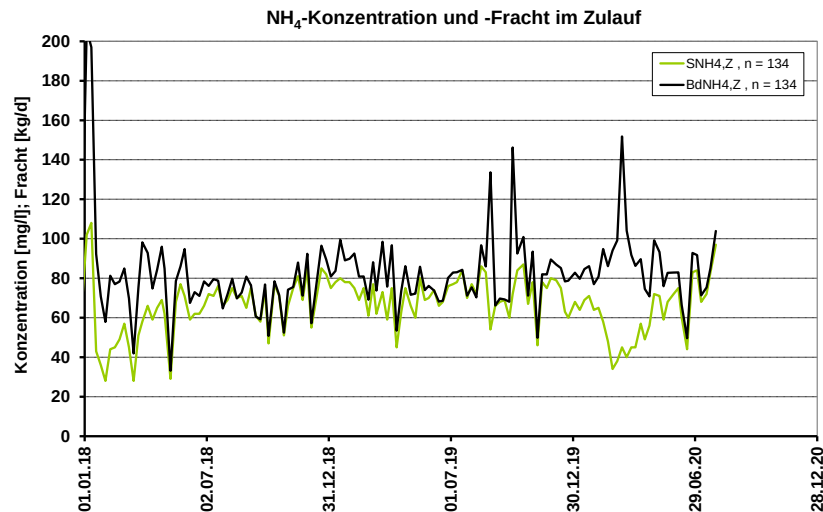


Abbildung 3.6: NH_4 -Konzentration und -Fracht im Zulauf

Die N_{ges} -Konzentrationen schwankten seit Januar 2018 meist zwischen 50 und 140 mg/l und die N_{ges} -Frachten zwischen 90 und 140 kg/d, Abbildung 3.7. Vereinzelt wurden maximale Werte bis zu 250 kg/d gemessen. Die Stickstoffbelastung der KA Wersen blieb somit in den vergangenen Jahren mit mittleren Konzentrationen von 95 mg/l bzw. Frachten von 110 kg/d auf einem relativ konstanten Niveau.

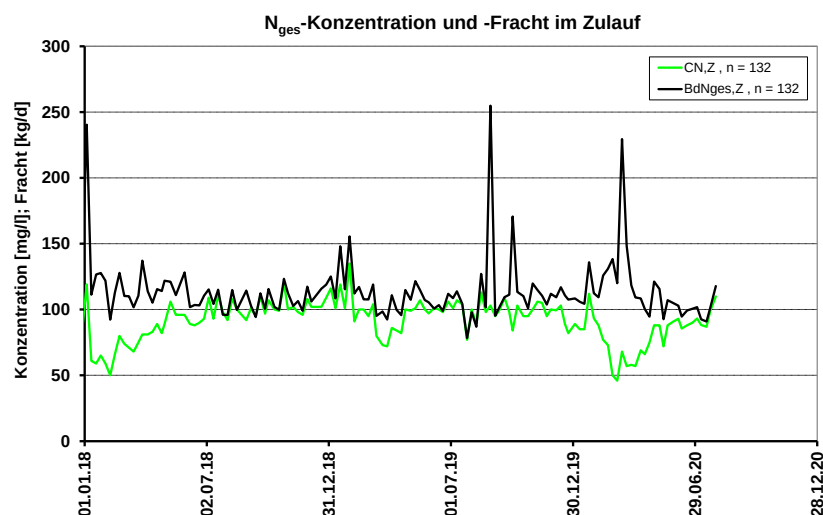


Abbildung 3.7: N_{ges} -Konzentration und -Fracht im Zulauf

3.2.1.3.3 Phosphor

Die Konzentrationen für P_{ges} im Zulauf lagen in der Zeit von Januar 2018 bis Juli 2020 zwischen 10 und 35 mg/l, Abbildung 3.8. Vereinzelt wurden Spitzen bis zu 45 mg/l gemessen. Die zugehörigen Frachten schwankten meist zwischen 15 und 50 kg/d.

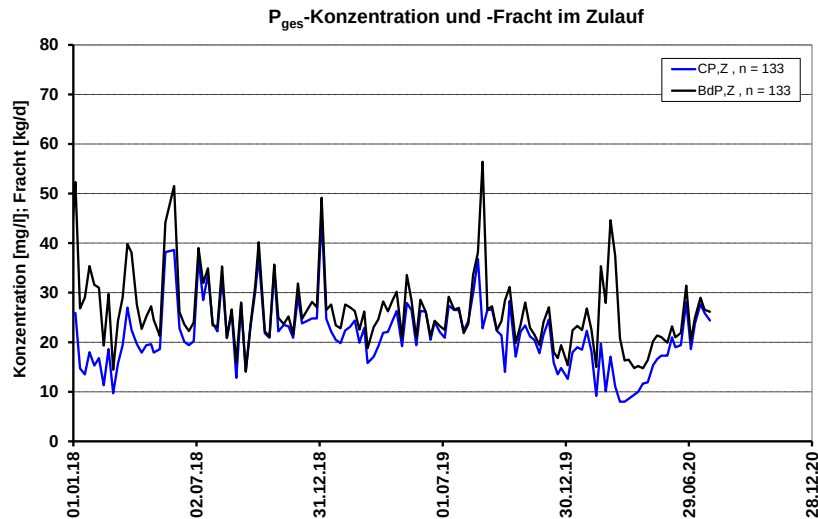


Abbildung 3.8: Phosphorkonzentrationen und –Fracht im Zulauf

3.2.1.3.4 Zusammenstellung der Belastungen im Zulauf

Tabelle 3.4 stellt die Daten der Eigenüberwachung des Zeitraums Januar 2018 bis Juli 2020 dar. In den Messwerten ist das rückgeführte Prozesswasser aus der Schlammwässerung enthalten.

Tabelle 3.4: Belastungssituation im Zulauf der KA Wersen gemäß Eigenüberwachung (01/18 - 07/20), inklusive Prozesswasser

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Anzahl	Min	Max	Mittel	Median	EW ₅₀ *	85%-Wert	EW ₈₅ *
Konzentrationen										
CSB	C _{CSB,Z}	mg/l	135	377	1.848	1.177	1.212		1.470	
abf. Stoffe	X _{TS,Z}	mg/l	k. A.							
N _{ges}	C _{N,Z}	mg/l	132	46	135	91	95		106	
NH ₄ -N	S _{NH₄,Z}	mg/l	134	28	108	66	69		78	
P _{ges}	C _{P,Z}	mg/l	133	8	46	21	21		27	
Frachten										
CSB	B _{d,CSB,Z}	kg/d	135	705	3.372	1.442	1.386	11.600	1.749	14.600
abf. Stoffe	B _{d,TS,Z}	kg/d	k. A.							
N _{ges}	B _{d,N,Z}	kg/d	132	78	255	114	110	10.000	122	11.100
NH ₄ -N	B _{d,NH₄,Z}	kg/d	134	33	206	83	81		94	
P _{ges}	B _{d,P,Z}	kg/d	133	14,1	56,4	26,3	25,0 **	13.900	31,9	17.700

*: gem. ATV A 131; **: Inkl. Rückbelastung durch Prozesswasser

Aus den ermittelten Belastungen lässt sich nach Tabelle 3.4 eine mittlere organische Belastung in Höhe von 11.600 EW und eine Nennbelastung als 85%-Wert von 14.600 EW ableiten. Somit ist die Nenngröße der Zentralkläranlage Wersen mit 17.000 EW zwar noch unterschritten, die Ausbaukapazität der biologischen Reinigungsstufe von 13.600 EW jedoch erreicht.

Folgende charakteristische Kennzahlen zur Abwasserbeschaffenheit lassen sich im Zu-
lauf ableiten, Tabelle 3.5. Es liegt entsprechend dem Einzugsgebiet ein weitgehend ty-
pisch kommunales Abwasser, jedoch mit insgesamt erhöhten Konzentrationen für alle
Parameter, vor.

Tabelle 3.5: Abwassercharakteristika (ermittelt aus Medianwerten)

Verhältnis	gem. DWA	KA Wersen
CSB/abf. Stoffe	1,7	-
CSB/N _{ges}	10,9	12,6
CSB/P _{ges}	66,7	55,4
N _{ges} /P _{ges}	6,1	4,4
NH ₄ /N _{ges}	0,64	0,74
f _{CSB,85/50}	-	1,26
f _{BSB,85/50}	-	-
f _{N,85/50}	-	1,11
f _{P,85/50}	-	1,28

Die Phosphorbelastung ist im Vergleich zu den anderen Parametern darüber hinaus erhöht. Dieses ist vermutlich weitgehend auf die in den Analysen enthaltenen Rückbe-
lastungen aus dem Prozesswasser zurückzuführen. Im Mittel wurden ca. 100 m³/d Pro-
zesswasser mit einer Konzentration von ca. 50 - 60 mg/l zurückgeführt, so dass sich
eine Rückbelastung von rd. 6 kg/d und damit eine P-Fracht im Rohabwasser von im
Mittel rd. 19 kg/d errechnet.

3.2.2 Betriebsparameter

3.2.2.1 Temperatur im Belebungsbecken

Abbildung 3.9 stellt den Verlauf der Temperatur in den beiden Belebungsbecken der
Kläranlage Wersen dar. Die Funktion zeigt einen typischen und sehr gleichförmigen
Verlauf mit Temperaturen von etwa 7°C im Winter und bis zu 24°C im Sommer.

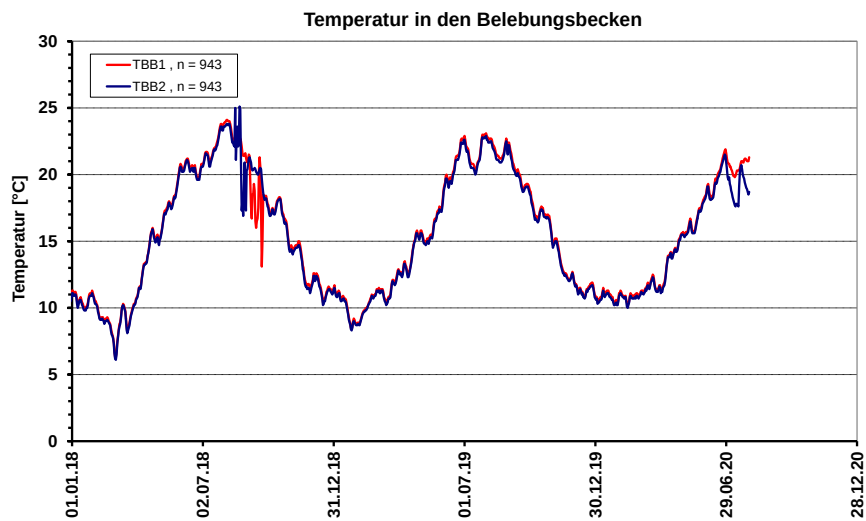


Abbildung 3.9: Verlauf der Temperaturen in den Belebungsbecken der KA Wersen

3.2.2.2 Trockensubstanzgehalt und Schlammindex in den Belebungsbecken

Der Verlauf des Schlammindex weist einen leicht saisonalen Verlauf mit höheren Werten in den Wintermonaten auf, Abbildung 3.10. Im Sommer lag der Schlammindex in den Belebungsbecken in den vergangenen Jahren im Bereich von 80 - 100 ml/g und damit in einem für den Betrieb der Belebungsanlage und speziell der Nachklärung sehr günstigen Bereich. Bei sinkenden Temperaturen im Winter war jeweils ein Anstieg auf 110 - 130 ml/g zu beobachten.

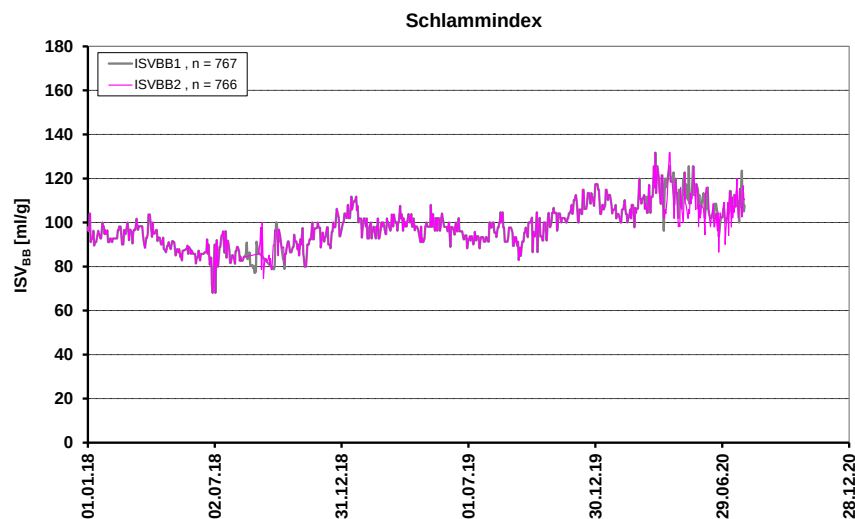


Abbildung 3.10: Entwicklung des Schlammindexes der KA Wersen

Die Belebungsbecken wurden in den vergangenen Jahren mit schwankenden Feststoffgehalten zwischen 4 g/l und 6 g/l betrieben. Im Mittel lag die Feststoffkonzentration bei 5,0 g/l, Abbildung 3.11.

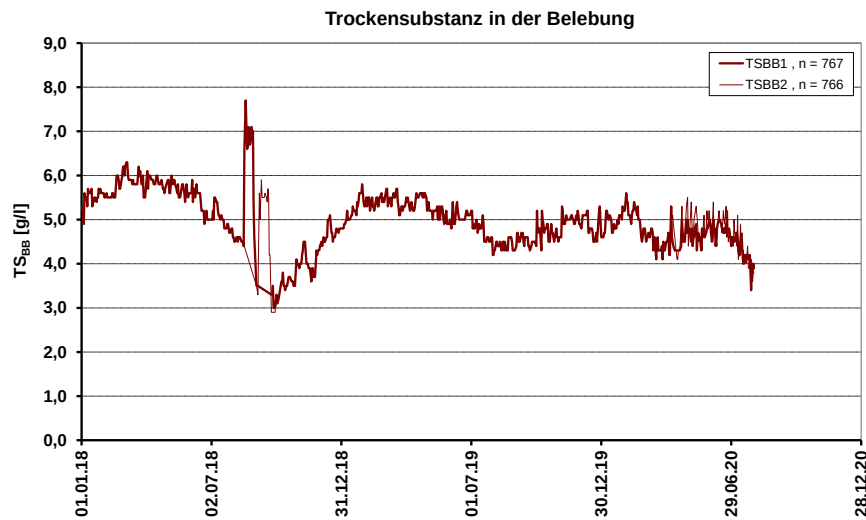


Abbildung 3.11: Trockensubstanzgehalt in der Belebung

Mit einem mittleren TS-Gehalt im Rücklaufschlamm von 9,0 g/l ergibt sich ein Rücklaufschlammverhältnis von 1,3.

3.2.2.3 Schlammmanfall

Die aus den Belebungsbecken der KA Wersen abgezogene Überschussschlammmenge wird nicht separat erfasst. Alle dokumentierten Schlamm-mengen stellen die Summe des Überschussschlammes aus Wersen und Lotte dar.

Die Dünnschlamm-menge zur maschinellen Schlamm-entwässerung lag in den vergangenen Jahren im Mittel bei 35 m³/d, Abbildung 3.12.

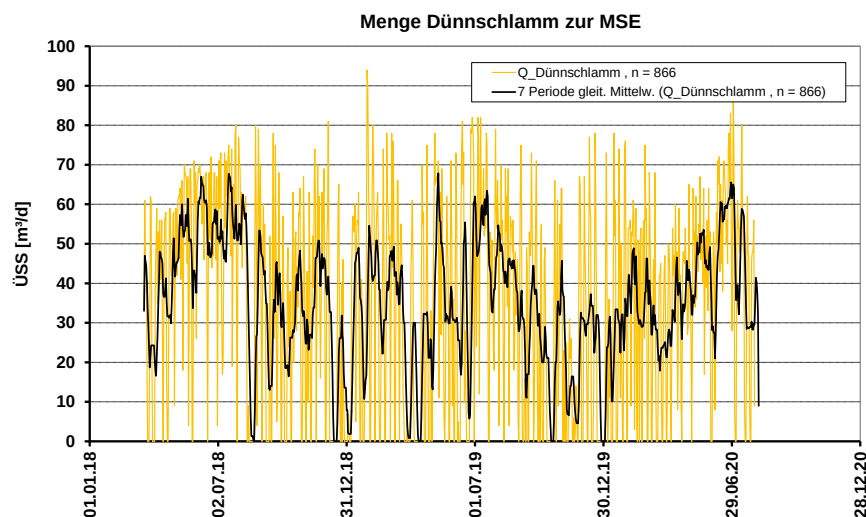


Abbildung 3.12: Schlamm-menge zur maschinellen Entwässerung

Mit einem mittleren Feststoffgehalt von ca. 1,8% ergibt sich die Gesamtmenge zur Entwässerung zu ca. 630 kg/d.

In den Jahren 2017 – 2020 wurden im Mittel jährlich rd. 1.100 t Klärschlamm mit einem Feststoffgehalt im entsorgten Schlamm von im Mittel 21,5% entsorgt. Das entspricht

einer Menge von umgerechnet rd. 650 kg/d. Damit deckt sich die entsorgte Schlammmenge in etwa mit der zur Entwässerung geführten. Für die weiteren Betrachtungen wird ein Schlammanfall von insgesamt 650 kg/d angesetzt.

Von der KA Lotte werden in Mittel ca. 5,6 m³/d mit einem TR-Gehalt von 4,2% entsprechend 235 kg/d angeliefert. Damit errechnet sich der Anteil des in den Belebungsbecken der KA Wersen produzierten Überschussschlamms zu ca. 415 kg/d. Die abgezogene, voreingedickte Schlammmenge ergibt sich zu rd. 29 m³/d mit einem TR-Gehalt von 1,4%.

Mit einem mittleren Feststoffgehalt in den Belebungsbecken von 5 g/l, Abbildung 3.11, ergibt sich hieraus ein hohes mittleres Schlammalter von ca. 61 Tagen. Das hohe Schlammalter führt in den Belebungsbecken der KA Wersen zu einer simultan-aeroben Schlammstabilisierung mit einem vermehrten Abbau der organischen Substanz im Belebtschlamm.

Aus der täglichen Überschussschlammmenge der KA Wersen und Lotte von im Mittel 650 kg/d und der eliminierten P-Fracht von insgesamt rd. 26 kg/d (inkl. ca. 9 kg/d im Schlamm der KA Lotte) lässt sich ein P-Gehalt im entsorgten Schlamm von rd. 4 g P/kg TS ableiten. Dieser Wert liegt leicht oberhalb der Klärschlammanalysen der OWL Umweltanalytik des Jahres 2017 – 2019. Die Analysen der Klärschlammproben ergaben bezogen auf den Feststoffgehalt einen P-Anteil im Klärschlamm zwischen 3,5 und 3,8 g P/kg TS.

Aus der Schlamm- bzw. P-Bilanz ergeben sich somit leichte Diskrepanzen, die aufgrund der begrenzten Anzahl von Messwerten zu Feststoffkonzentrationen und Mengen an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden können.

Insgesamt ist festzustellen, dass sich sowohl für die KA Wersen als auch für die KA Lotte bezogen auf die mittleren Belastungen von 11.600 EW₁₂₀ bzw. 6.100 EW₁₂₀ geringe spezifische Schlammanfälle von lediglich 36 g/(E·a) bzw. 39 g/(E·a) ergeben.

3.2.2.4 Fällmittelverbrauch

In Tabelle 3.6 ist der Verbrauch an Eisen(III)-Chloridsulfat-Lösung für die Jahre 2018 bis Juli 2020 dargestellt. Aus der dosierten Fällmittelmenge von im Mittel 116 l/d und der mittleren P-Fracht im Zulauf ergibt sich ein β -Wert von rd. 0,5, d. h. es wird rechnerisch eine unterstöchiometrische Menge an Fällmittel dosiert. Dass die Ablaufwerte der KA Wersen mit im Mittel 0,4 mg/l aber trotz des geringen Fällmitteleinsatzes relativ niedrig sind, ist auf einen erhöhten Anteil der biologischen P-Elimination zurückzuführen.

Tabelle 3.6: Fällmittelverbrauch

Jahr	Fällmittelverbrauch [m³/a]	Mittlere Dosiermenge [l/d]
2018	38	105
2019	44	120
2020	45*	123
Mittel 2018 - 2020	42	116

* hochgerechnet auf ein Jahr

3.2.3 Ablaufbeschaffenheit

Die Ablaufwerte der KA Wersen unterliegen nur wenigen Schwankungen und haben sich in den letzten Jahren kaum verändert. Die geltenden Überwachungswerte (vgl. Tabelle 3.1) wurden im betrachteten Zeitraum in der Regel unterschritten. Die Daten der Eigenüberwachung für den Zeitraum Januar 2018 bis Juli 2020 sind in Tabelle 3.7 zusammengefasst.

Tabelle 3.7: Ablaufbeschaffenheit KA Wersen (01/2018 - 07/2020)

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Anzahl	Min	Max	Mittel	Median	85%-Wert
pH-Wert im Ablauf	pH _{AN}	-	943	4,7	6,8	5,6	5,6	6,1
Konzentrationen								
CSB	C _{CSB,AN}	mg/l	212	11	34	23	23	25
BSB ₅	C _{BSB,AN}	mg/l	k. A.					
abf. Stoffe	X _{TS,AN}	mg/l	k. A.					
N _{ges}	C _{Nges,AN}	mg/l	54	1,20	6,60	2,20	1,90	2,51
N _{anorg}	C _{Nanorg,AN}	mg/l	228	0,42	10,25	1,35	1,01	1,69
NH ₄ -N	S _{NH4,AN}	mg/l	245	0,02	1,95	0,33	0,24	0,50
NO ₃ -N	S _{NO3,AN}	mg/l	251	0,01	10,20	0,97	0,70	1,10
NO ₂ -N	S _{NO2,AN}	mg/l	229	0,00	0,13	0,03	0,02	0,04
P _{ges}	C _{P,AN}	mg/l	362	0,04	1,25	0,44	0,43	0,66

Die CSB-Konzentration im Ablauf der Nachklärung schwankte in den letzten Jahren meist zwischen 20 und 30 mg/l, Abbildung 3.13.

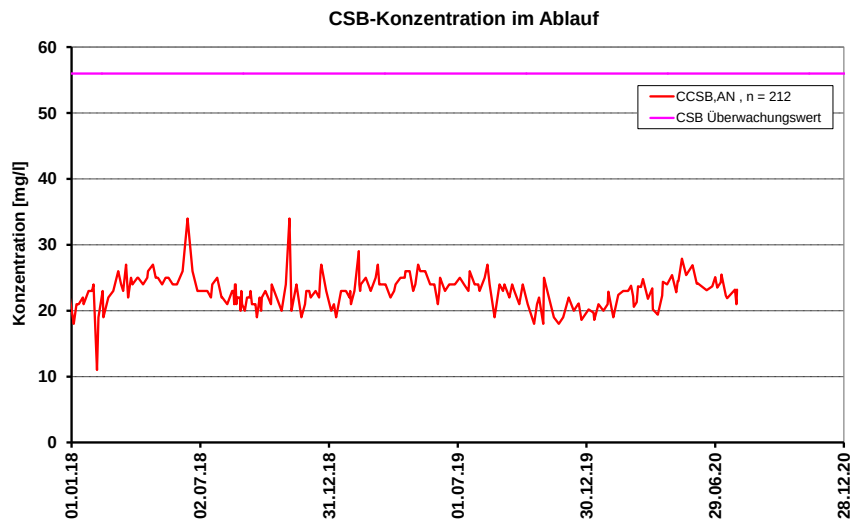


Abbildung 3.13: CSB-Konzentration im Ablauf

Die Ammonium-Ablaufwerte lagen seit Januar 2018 im Allgemeinen unter 1,0 mg/l, Abbildung 3.14. Vereinzelt wurden Werte bis zu 2 mg/l gemessen. Die Nitratkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage lagen in den letzten Jahren von wenigen Ausnahmen abgesehen unter 2,0 mg/l, Abbildung 3.15.

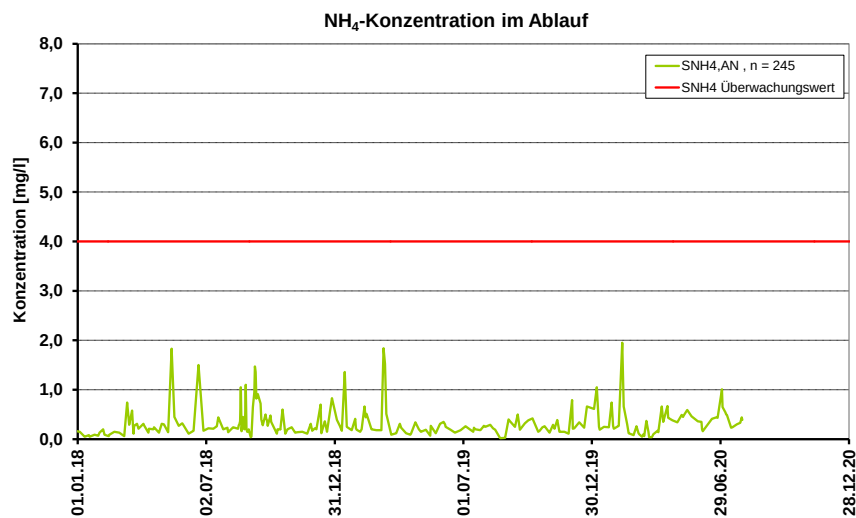


Abbildung 3.14: NH₄-Konzentration im Ablauf

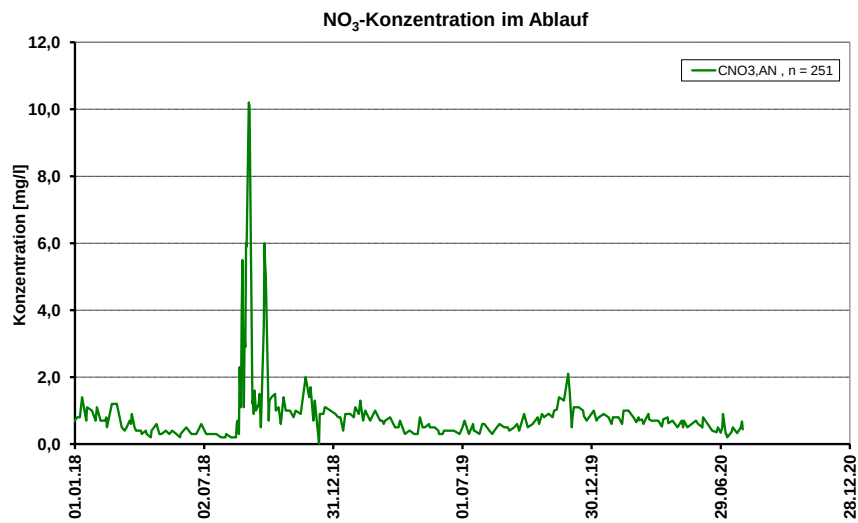


Abbildung 3.15: NO_3 -Konzentration im Ablauf

Die N_{anorg} - bzw. N_{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage schwankten in den Jahren 2018 bis 2020 in der Regel zwischen 1 und 3 mg/l. Im September 2018 wurden aufgrund der erhöhten Nitratkonzentrationen vorübergehend bis zu 10 mg/l gemessen, Abbildung 3.16.

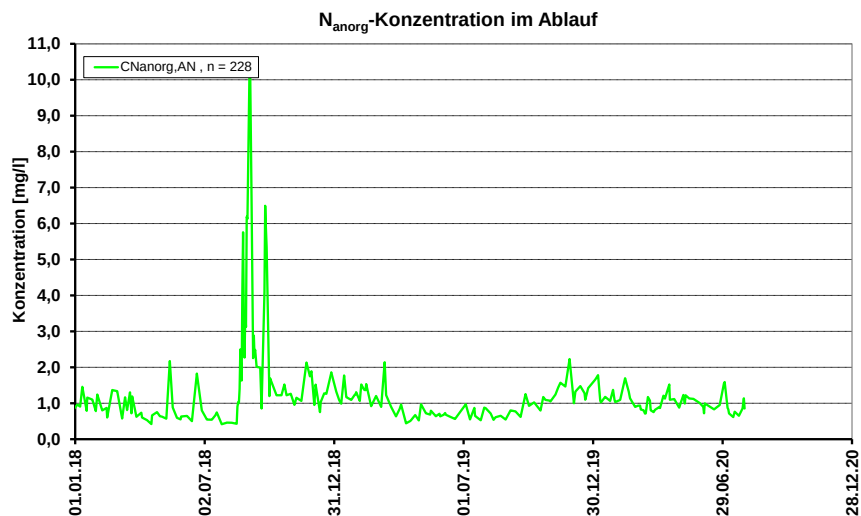


Abbildung 3.16: N_{anorg} -Konzentration im Ablauf

Die Ablaufwerte der KA Wersen für P_{ges} lagen in der Zeit von Januar 2018 bis Juli 2020 bei sehr moderatem Einsatz von Fällmittel (vgl. Kapitel 3.2.2.4) zur chemischen Phosphatelimination von wenigen Messwerten abgesehen unter 1,0 mg/l, Abbildung 3.17.

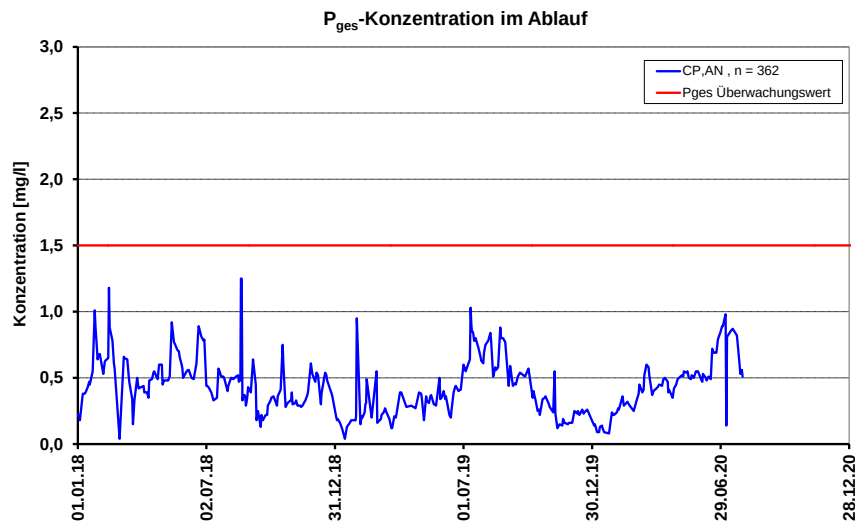


Abbildung 3.17: P_{ges} -Konzentration im Ablauf

3.3 MSR-Technik

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Mess- und Sensortechnik der KA Wersen ist in Tabelle 3.8 dargestellt.

Tabelle 3.8: Mess- und Sensortechnik der KA Wersen

Prozessstufe	Messtechnik	Parameter
Zulauf	Sonde	pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur
	Durchflussmessung	Wassermenge
	Probenehmer 24 h, Laboranalyse	CSB, NH_4 , P_{ges} , TN_b , absetzbare Stoffe
Belebungsbecken	Sonde	O_2 , Temperatur
	Stichprobe, Laboranalyse	TS, SV, ISV, NO_3
Überschussschlamm	Stichprobe, Laboranalyse	TS
Ablauf Nachklärung	Stichprobe, qualifizierte Stichprobe, Laboranalyse, Durchflussmessung	CSB, NH_4 , NO_3 , NO_2 , ortho.P, P_{ges} , TN_b , abs.Stoffe, Sichttiefe
Ablauf Teich	Stichprobe, qualifizierte Stichprobe, Laboranalyse, Durchflussmessung	CSB, NH_4 , NO_3 , NO_2 , ortho.P, P_{ges} , TN_b , abs.Stoffe, Sichttiefe
Schlamm entwässerung	Stichprobe, Laboranalyse	CSB, NH_4 , P_{ges} , TN_b , TS

Derzeit erfolgt der intermittierende Betrieb der Belebungsbecken ausschließlich zeitgetaktet und unabhängig von der Belastung. Während der Belüftungsphasen erfolgt eine Regelung der Gebläse in Abhängigkeit vom O_2 -Gehalt in den Belebungsbecken. Für die Belüftung der Belebungsbecken stehen dabei je Becken 2 Gebläse (Typ GM 15 L, Fa. Aerzen) mit Frequenzumrichter zur Verfügung.

Die Regelung der Belüftung der Belebungsbecken auf der KA Wersen weist nur ein geringes Optimierungspotenzial auf.

Ergänzend zur biologischen P-Elimination erfolgt eine Phosphorfällung mit Eisen(III)-Chloridsulfat in den Rücklaufschlamm. Die Dosierung erfolgt mit festem Sollwert. Eine PO_4 -Messung und eine entsprechende Regelung der Fällmitteldosierung sind nicht vorhanden.

3.4 Optimierungsmöglichkeiten für Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik

Die KA Wersen wurde im Jahr 1986/1987 errichtet. Viele Bauwerke und Anlagenteile sowie Teile der Maschinentechnik sind somit 35 Jahre alt.

Die Anlage ist baulich jedoch insgesamt in einem guten Zustand. Im Hinblick auf die Maschinen- bzw. Verfahrens- und Prozesstechnik wurden in den vergangenen Jahren bereits Anlagenteile ersetzt:

- ▶ Im Jahr 2016 wurde eine Schneckenpresse zur Schlammmentwässerung installiert und der bis dahin betriebene Bandeindicker außer Betrieb genommen. Mithilfe der neu errichteten Schlammmentwässerung wird seitdem auch der angelieferte voreingedickte Überschussschlamm der KA Lotte mit entwässert.
- ▶ Die Belüftungseinrichtungen in den Belebungsbecken wurden im Jahr 2018 erneuert. Dabei wurden die im Becken installierten Rohrbelüfter durch Plattenbelüfter ersetzt.
- ▶ Im Jahr 2016 wurde eine PV-Anlage auf dem Dach des Betriebsgebäudes installiert.

3.5 Personalsituation

Für die Betreuung der Kläranlagen Wersen und Lotte stehen zurzeit insgesamt 5 Mitarbeiter in Vollzeit zur Verfügung, Tabelle 3.9. Die Mitarbeiter sind entsprechend ihren Einsatzbereichen gut ausgebildet. Bei Bedarf erfolgen Weiterbildungsmaßnahmen.

Tabelle 3.9: Personalsituation der Kläranlage Wersen

Position/Tätigkeit	Ausbildungsstand
Abwassermeister	Fachkraft für Abwassertechnik, Abwassermeister
Fachkraft für Abwassertechnik	Fachkraft für Abwassertechnik, KFZ-Mechaniker
Fachkraft für Abwassertechnik, Elektriker	Fachkraft für Abwassertechnik, Elektriker
Fachkraft für Abwassertechnik	Fachkraft für Abwassertechnik
Elektriker	Elektriker, Klärwärter

Es finden ein regelmäßiger Austausch mit Mitarbeitern anderer Kläranlagen sowie entsprechende Leistungsvergleiche mit anderen Kläranlagen statt.

4 Analyse des Energieverbrauchs

4.1 Gesamtenergieverbrauch

Der angegebene Gesamtstromverbrauch umfasst alle Energieverbraucher auf dem Gelände der Kläranlage. Alle außerhalb der Anlage liegenden Pumpwerke sind hier nicht enthalten.

Der monatliche Energieverbrauch schwankte, wie in Abbildung 4.1 zu erkennen, in der Zeit von Januar 2017 bis Mitte 2018 zwischen 27.000 und 35.000 kWh/Monat. Seit der Ertüchtigung des Belüftungssystems auf der Kläranlage im Juli/August 2018 lag der Stromverbrauch im Bereich zwischen 24.000 und 30.000 kWh/Monat.

Für die Auswertungen im Rahmen der folgenden Energieanalyse wird der Zeitraum nach Erneuerung der Belüftung von August 2018 – Juli 2020 berücksichtigt. In dieser Zeit ergab sich ein mittlerer Verbrauch von 884 kWh/d, das entspricht einem Jahresenergieverbrauch von umgerechnet im Mittel 322.660 kWh/a.

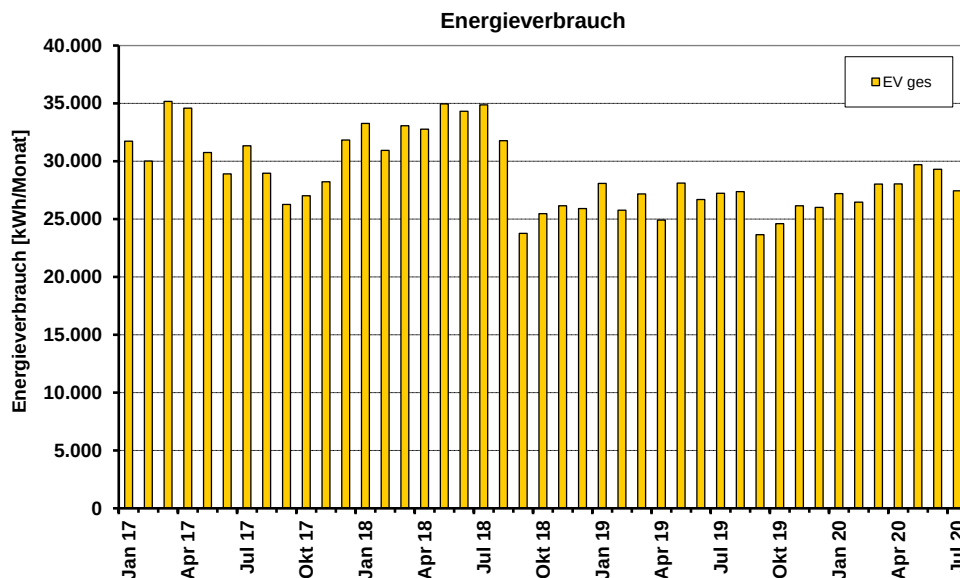


Abbildung 4.1: Gesamtenergieverbrauch der KA Wersen

4.2 Stromverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen

In Tabelle 4.1 sind sämtliche Verbraucher und Antriebe der Kläranlage Wersen aufgeführt. Dabei sind die verschiedenen Aggregate den unterschiedlichen Verfahrensstufen zugeordnet.

An den einzelnen Aggregaten sind keine Strom- bzw. Leistungszähler installiert. Aufgrund dessen kann lediglich eine näherungsweise Berechnung der elektrischen Wirkarbeit E_{el} in Anlehnung an Kapitel 6.3.1 des DWA A-216 anhand der spezifischen Daten der unterschiedlichen Aggregate erfolgen.

Für alle in Tabelle 4.1 aufgeführten Aggregate wurden daher die mittleren Laufzeiten und Strom- bzw. Leistungsaufnahmen ermittelt. Da in der Regel nicht alle Laufzeiten

kontinuierlich dokumentiert oder vom PLS erfasst werden, erfolgte bei einigen Verbrauchern eine Abschätzung der Betriebszeiten in enger Abstimmung mit dem Betriebspersonal. Aus diesen Daten wurde die elektrische Wirkarbeit nach folgenden Ansätzen berechnet:

$$E_{el} = (U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi) \cdot t$$

$$E_{el} = P_{el} \cdot t$$

- mit:
- E_{el} : Energiebedarf/-erzeugung, elektrisch in kWh
 - U : Elektrische Spannung in V
 - I : Elektrische Stromstärke in A
 - $\cos \phi$: Phasenwinkel zwischen den Phasen des Drehstroms
 - t : Laufzeit in h/a
 - P_{el} : Elektrische Wirkleistung in kWh/d

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Aus den Aufzeichnungen des Betriebstagebuches und zusätzlichen Messungen vor Ort konnte ein Gesamtenergieverbrauch von 331.840 kWh/a nachvollziehbar erfasst bzw. beschrieben werden. Damit wurden rd. 103% des lt. Stromabrechnung tatsächlichen Stromverbrauchs von im Jahresmittel 322.660 kWh/a erfasst. Diese Abweichungen von bis zu $\pm 10\%$ sind aufgrund der Methodik zur Ermittlung des Energieverbrauchs vertretbar.

Tabelle 4.1: Antriebe auf der KA Wersen mit Leistungsangaben und Laufzeiten

Verfahrensstufe	Anlagenteil	Bezeichnung des Antriebs	Mittlere Leistung	Laufzeit	Laufzeit	Jahresverbrauch	Verbrauch Verfahrensstufe		
			[kW]	[h/d]	[h/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[%]	
Mechanische Reinigungsstufe	Rechen	Rechen	3,24	1,0	365	1.180	1.180	0,4%	
	Sandfang	Räumerbrücke	1,88	0,87	316	600			
		Sandpumpe	1,65	0,20	73	120			
		Rührwerk Sandwäsche	0,88	0,80	292	260			
		Sandaustragsschnecke	1,77	0,03	11	20			
		Gebläse 1	1,35	11,9	4.344	5.880			
		Gebläse 2	1,41	11,7	4.271	6.040	12.920	3,9%	
Biologische Reinigungsstufe	Belebung	Gebläse BB1 _ 1	14,40	4,7	1.716	24.700			
		Gebläse BB1 _ 2	17,10	4,7	1.716	29.340			
		Gebläse BB2 _ 1	13,00	5,3	1.935	25.150			
		Gebläse BB2 _ 2	15,20	5,3	1.935	29.400			
		Rührwerk BB1 _ 1	2,53	14,1	5.147	13.030			
		Rührwerk BB1 _ 2	2,30	15,2	5.548	12.740			
		Rührwerk BB1 _ 3 (Hochlast)	2,06	11,8	4.307	8.880			
		Rührwerk BB2 _ 1	2,30	14,4	5.256	12.070			
		Rührwerk BB2 _ 2	2,36	15,2	5.548	13.070			
		Rührwerk BB2 _ 3 (Hochlast)	2,06	11,8	4.307	8.880			
		Dosieranlage Fällmittel mit Umwälzpumpe	0,29	2,0	730	220			
		Dosieranlage Fällmittel ohne Umwälzpumpe	0,12	22,0	8.030	950	178.430	53,8%	
		Rücklaufschlammumpen	Rücklaufschlamm-schnecke 1	3,89	12,0	4.380	17.030		
	Rücklaufschlamm-schnecke 2		3,89	12,0	4.380	17.030	34.060	10,3%	
	Nachklärung	Räumerbrücke	0,47	24,0	8.760	4.130			
		Reinigungsbürste Ablaufgerinne	1,30	3,0	1.095	1.420	5.550	1,7%	
	Schlammbehandlung	Schlammspeicher	Rührwerk	15,2	11,0	4.015	61.000		
			Pumpe	1,20	2,0	730	880	61.880	18,7%
		Schlamm entwässerung	Dünnschlamm-pumpe	1,20	13,0	4.745	5.690		
			Schnecken-presse	3,40	13,0	4.745	16.130		
FHM-Dosierung			s. Presse						
Austrag			s. Presse				21.820	6,6%	
Trübwasserpumpe		Trübwasserpumpe	3,00	2,0	730	2.190			
	Trübwasserpumpe	2,94	2,0	730	2.150	4.340	1,3%		
Sonstiges	Brauchwasser	Brauchwasserpumpe 1	5,59	0,4	146	820			
		Brauchwasserpumpe 2	5,77	0,4	146	840	1.660	0,5%	
	Infrastruktur	Betriebsgebäude, Maschinengebäude				9.000			
		Beleuchtung				1.000	10.000	3,0%	
Ermittelter Stromverbrauch aus Einzelverbrauchern:							331.840		
Verbrauch lt. Stromabrechnung:							322.660		
Wiederfindungsrate:							102,8%		

Werden die Energieverbrauchsdaten aus Tabelle 4.1 für die einzelnen Verfahrensstufen zusammengefasst, ergibt sich die in Abbildung 4.2 dargestellte Verteilung des Gesamtverbrauchs auf die verschiedenen Verfahrensstufen. Nicht berücksichtigt ist dabei der Energieverbrauch der Abwasserpumpwerke, die außerhalb des Kläranlagengeländes liegen.

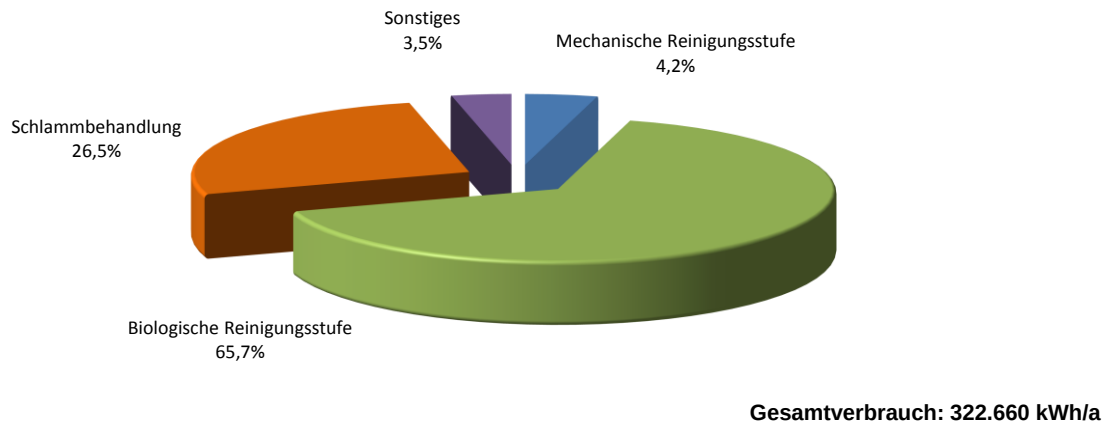


Abbildung 4.2: Verteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Verfahrensstufen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die biologische Reinigungsstufe mit rd. 66% bzw. rund 218.000 kWh/a den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch aufweist. In dieser Stufe sind die Energieverbräuche der Belebungsbecken (Belüftung und Umwälzung), der Nachklärung, der Fällmitteldosierung sowie der Rücklaufschlammförderung zusammengefasst.

In der biologischen Stufe stellen die Gebläse zur Belüftung der Belebungsbecken mit anteilig 50% bezogen auf die biologische Stufe bzw. 33% des Gesamtenergieverbrauchs den mit Abstand größten Anteil, Abbildung 4.3.

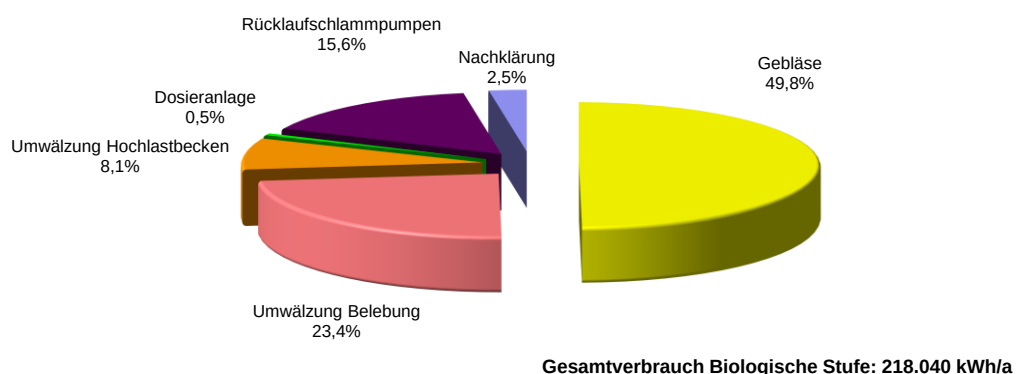


Abbildung 4.3: Energieverbrauch der biologischen Reinigung

Auch die Rührwerksleistungen in den Belebungsbecken sind mit insgesamt rd. 31% bezogen auf die biologische Stufe bedeutsam, Abbildung 4.3. Dabei beträgt der Anteil der Rührwerke der Hochlastbecken 8%, derjenige der Belebungsbecken 23%. Die Rücklaufschlamm pumpen sind mit einem Anteil am Stromverbrauch von knapp 16% ebenfalls signifikant.

Der zweitgrößte Anteil des Gesamtstromverbrauchs entfällt mit 27% bzw. rd. 88.000 kWh/a auf die Schlammbehandlung, Abbildung 4.2, die aus dem Überschuss-

schlammabzug, der Schlamm entwässerung, dem Rührwerk im Schlammspeicher und den zugehörigen Pumpen besteht.

Bei dem Stromverbrauch der Schlammbehandlung ist zu beachten, dass auf der Kläranlage Wersen auch der Überschussschlamm von der KA Lotte mit entwässert wird. Durch die Mitbehandlung dieses Schlammes wird im Wesentlichen die Laufzeit und damit der Energieverbrauch der Entwässerung beeinflusst. Der Anteil, der auf den Schlamm von der KA Lotte zurückzuführen ist, ergibt sich dabei anteilig zu lediglich rd. 1,6% bezogen auf den aktuellen Gesamtstromverbrauch.

Die mechanische Reinigung, bestehend aus Rechen und Sandfang, stellt mit rund 14.000 kWh/a nur 4% des Gesamtstromverbrauchs dar. Innerhalb der mechanischen Reinigung ist der Sandfang mit rd. 92% der dominierende Verbraucher.

Die unter dem Punkt „Sonstiges, Infrastruktur“ zusammengefassten Verbraucher, wie Brauchwasserpumpen, Maschinen- und Betriebsgebäude inklusive Gebäudeheizung (vgl. Kapitel 4.4) und Außenbeleuchtung, weisen einen Stromverbrauch von insgesamt rd. 12.000 kWh/a bzw. einen Anteil am Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Wersen von ebenfalls rd. 4% auf.

4.3 Stromerzeugung

Die auf der Kläranlage Wersen benötigte Energie wird zu einem kleinen Teil durch eine im Jahr 2016 installierte PV-Anlage bereitgestellt. Mithilfe der PV-Anlage werden im Sommer täglich bis zu 130 kWh/d Strom erzeugt, Abbildung 4.4.

Der Anteil der Eigenstromerzeugung lag so im Betrachtungszeitraum seit August 2018 im Jahresmittel bei 52 kWh/d bzw. umgerechnet bei insgesamt 18.980 kWh/a und beträgt somit derzeit rd. 6%.

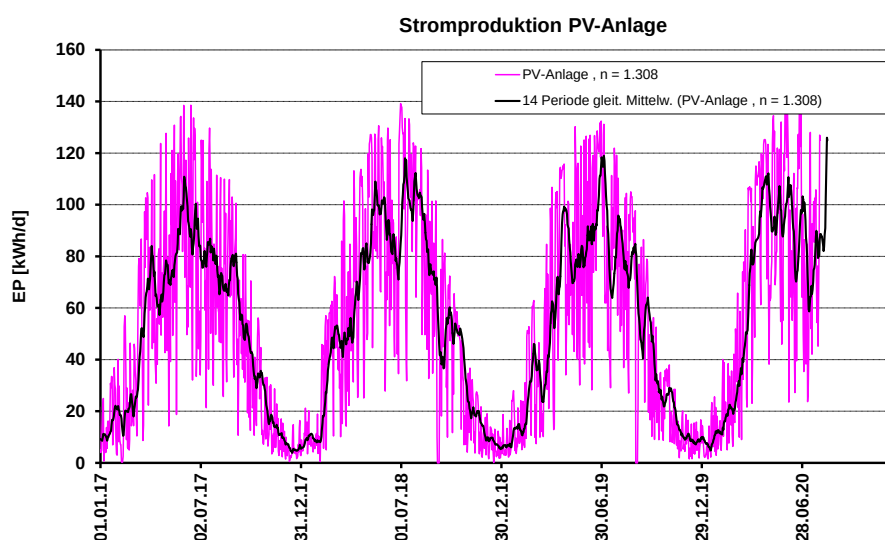


Abbildung 4.4: Tägliche Energieerzeugung der KA Wersen

Der restliche Anteil von im Mittel 832 kWh/d wird vom örtlichen Energieversorger hinzugekauft. Im Bewertungszeitraum waren dies umgerechnet 303.680 kWh/a.

4.4 Wärmebedarf und Wärmeverbraucher

Da auf der Kläranlage Wersen keine Faulung betrieben wird, wird thermische Energie ausschließlich zur Gebäudeheizung und zur Warmwasserbereitung benötigt.

4.4.1 Übersicht Heizungen

Die Heizung erfolgt auf der Kläranlage Wersen rein elektrisch über verschiedene Nachtspeicheröfen und Direktheizungen, Tabelle 4.2. Darüber hinaus sind zwei Klimageräte zum Heizen (Winter) bzw. Kühlen (Sommer) der Leitwarte und des Büros im Obergeschoss vorhanden.

Tabelle 4.2: Heizungen und Klimageräte auf der KA Wersen

Raum	Hersteller	Typ	Nachtspeicher (N) Direktheizer (D) Klimagerät (Klima)	Nennleistung [kW]
Leitwarte *	Bauknecht	VF 40A	N	4
	Mitsubishi	SRK63ZE-S1	Klima	1,84 (K) / 1,86 (H)
Flur *	Bauknecht	VF 40A	N	4
Labor	Bauknecht	VF 60A	N	6
E.-Werkstatt *	Bauknecht	VF 40A	N	4
Lager *	Bauknecht	VF 40A	N	4
Werkstatt	Bauknecht	VF 60A	N	6
Schlamm entwässerung	Bauknecht	VF 60A	N	2 x 6
Schlamm entwässerung E- Raum *	Bauknecht	VF 40A	N	4
Büro Oben *	Siemens	2NG 1003	N	4
	Mitsubishi	SRK35ZG-S	Klima	1,05 (K) / 1,14 (H)
Aufenthaltsraum	Siemens	2NG 1005	N	6
Toilette (im OG)	Stiebel Eltron		D	2
Toilette (im EG)	Stiebel Eltron		D	2
Schwarzraum	Stiebel Eltron		D	2
Dusche	Stiebel Eltron		D	2
Weißraum	Stiebel Eltron		D	3
Containerraum			D	2

*: Geräte nicht eingeschaltet

Die Warmwasseraufbereitung erfolgt über einen Durchlauferhitzer und einen Standspeicher, Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: Warmwassererzeugung auf der KA Wersen

	Hersteller	Typ	Nennleistung [kW]
Warmwasser			
Durchlauferhitzer	Stiebel Eltron	DHB 24 UNI	24
Standspeicher	Stiebel Eltron	SHW 200 S	4/6

4.4.2 Energiebedarf zur Gebäudeheizung

Der Energiebedarf zur Beheizung der Gebäude (Betriebsgebäude und Maschinengebäude mit Überschussschlammeindickung) auf der Kläranlage Wersen wird anhand des zu beheizenden Raumvolumens, der Vollbenutzungsstunden, der Art der Nutzung und des aus der Art der Nutzung resultierenden Normwärmebedarfs nach folgender Formel abgeschätzt:

$$Q_{HA} = \frac{V \cdot q_N \cdot b_{VH}}{1000}$$

- mit: Q_{HA} : therm. Energiebedarf [kWh/a]
 V : Raumvolumen bzw. umbauter Raum [m³]
 q_N : spez. Normwärmebedarf [W/m³]
 b_{VH} : Vollbenutzungsstunden [h/a]

Das beheizte Raumvolumen wurde anhand der Gebäudegrundflächen und den Gebäudehöhen ermittelt, die aus den Planunterlagen zu entnehmen waren.

Die Vollbenutzungsstunden wurden für die Leitwarte sowie die Umkleiden und sanitären Einrichtungen zu rd. 1.500 h/a angesetzt, für alle übrigen Räume, wie Werkstätten, Labor, Maschinen- und Lagerräume dagegen zu lediglich 1.200 h/a.

Für die beheizten Räume wird im Mittel mit einem spezifischen Normwärmebedarf von 15 W/m³ gerechnet. Nach Angaben des Betriebspersonals werden einige Räume normalerweise nicht geheizt, die entsprechenden Nachtspeicheröfen sind dauerhaft ausgeschaltet. Dieses wurde in der folgenden Berechnung ebenfalls berücksichtigt.

Der ermittelte Jahresheizwärmebedarf zur Raumheizung ist in Tabelle 4.4 zusammengefasst. Für die genannten Räume ergibt sich ein Bedarf von aktuell rd. 16.700 kWh/a.

Tabelle 4.4: Jahresheizwärmebedarf der KA Wersen

	Volumen	spez. Normwärmebedarf	Vollbenutzungs- stunden	Heizwärmebedarf
	m ³	W/m ³	h/a	kWh/a
Leitwarte	96	15	1500	2.150
Umkleiden + Dusche	79	15	1500	1.791
Aufenthaltsraum	48	15	1200	869
Büro (im OG)	38	15	1200	691
Flur	140			0
Labor	68	15	1500	1.523
Dusche + WC (im EG)	24	15	1200	427
WC (im OG)	12			0
Lager	26			0
E-Werkstatt	27			0
Werkstatt	85	15	1200	1.522
Boden	4			0
Entwässerung	428	15	1200	7.695
Heizwärmebedarf				16.668

Der nach Tabelle 4.4 ermittelte Heizwärmebedarf wurde im Rahmen der Energieanalyse des Ing.-Büros ATM aus dem Jahr 2014 durch den aus dem damaligen tatsächlichen Energieverbrauch abgeleiteten Stromverbrauch für die Heizung bestätigt. Zu dieser Zeit waren deutliche Unterschiede im Energieverbrauch zwischen Sommer und Winter festzustellen, die größtenteils auf den Betrieb der elektrischen Heizung zurückzuführen waren. Aus der Differenz von im Mittel rd. 3.000 kWh/Monat zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr ergab sich damals ein Stromverbrauch für die Heizung von umgerechnet ca. 18.000 kWh/a.

In den vergangenen beiden Jahren sind Unterschiede im monatlichen Energieverbrauch in dieser Form aufgrund wärmerer Winter sowie verschiedenen Verfahrensumstellungen nicht eindeutig abzuleiten, Abbildung 4.1. Für die weiteren Betrachtungen wird jedoch aufgrund unveränderter baulicher Gegebenheiten von einem unveränderten Heizwärmebedarf und damit Energieverbrauch für die Gebäudeheizung ausgegangen.

Zusätzlich wird bei der Ermittlung des Gesamt-Wärmebedarfs der KA Wersen ein Bedarf von 1.500 kWh/a zur Erwärmung von Wasser für die Sanitär- und Nassbereiche angesetzt. In der Summe ergibt sich somit ein thermischer Energiebedarf in Höhe von rd. 18.000 kWh/a für Räumwärme und Trinkwasseraufheizung.

4.5 Energie- und Treibhausgasbilanz

Eine Erstellung einer Treibhausgasbilanz über die aus dem Stromverbrauch umgerechneten CO₂-Äquivalente hinaus ist aufgrund fehlender Daten zur Freisetzung z. B. von Lachgas oder Methan auf der Kläranlage Wersen nicht möglich.

Es wird an dieser Stelle ausschließlich die aus dem Energieverbrauch resultierende CO₂-Emission betrachtet. Zur Ermittlung der CO₂-Produktion wird ein CO₂-Äquivalent für den deutschen Strommix gemäß Berechnungsformular der Kommunalrichtlinie von 537 g CO₂/kWh angesetzt. Aus dem festgestellten Energiebezug von 303.680 kWh/a ergibt sich so eine CO₂-Produktion von

163 t/a.

4.6 Energetische Bewertung der Anlage

4.6.1 Spezifischer Gesamtstromverbrauch

Die Kläranlage Wersen wies gemäß Kapitel 4.1 im Bewertungszeitraum seit August 2018 einen Gesamtstromverbrauch von 322.660 kWh/a auf. Die mittlere CSB-Belastung im Zulauf zur Kläranlage lag bei rd. 11.600 EW₁₂₀ (vgl. Kapitel 3.2.1.3.4). Damit ergibt sich für den gesamten spezifischen Stromverbrauch bezogen auf die CSB-Belastung ein Wert von

27,8 kWh/(E·a).

Ein Vergleich mit anderen Kläranlagen der Größenklassen 3 - 5 in Deutschland zeigt, dass der spezifische Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Wersen mit knapp 28 kWh/(E·a) im unteren günstigen Bereich liegt (DWA, 2015) liegt, Abbildung 4.5. Lediglich rd. 25% aller Anlagen dieser Größenklassen mit aerober Stabilisierung weisen demnach einen noch geringeren Energiebedarf auf.

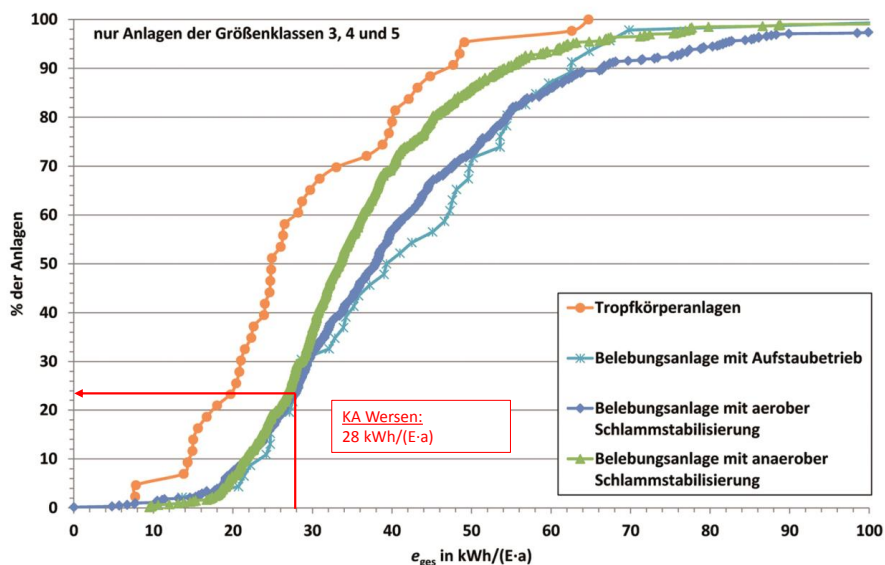


Abbildung 4.5: Spezifischer Gesamtstromverbrauch e_{ges} kWh/(E·a) von Kläranlagen in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (DWA, 2015)

4.6.2 Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung

Der Stromverbrauch für die Belüftung und Umwälzung der Belebungsbecken lag im Bewertungszeitraum bei 177.260 kWh/a. Bezogen auf eine mittlere CSB-Belastung im Zulauf zur Kläranlage von 11.600 EW_{120} ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch für die Belebungsbecken von

15,3 kWh/(E·a).

Nur für die Belüftung der Belebungsbecken mit einem Verbrauch von 108.590 kWh/a ergibt sich ein Wert von

9,4 kWh/(E·a).

Der spezifische Energieverbrauch der Belüftung liegt nach aktuellem Stand, wie in Abbildung 4.6 zu erkennen, mit 9,4 kWh/(E·a) ebenfalls in einem sehr günstigen Bereich.

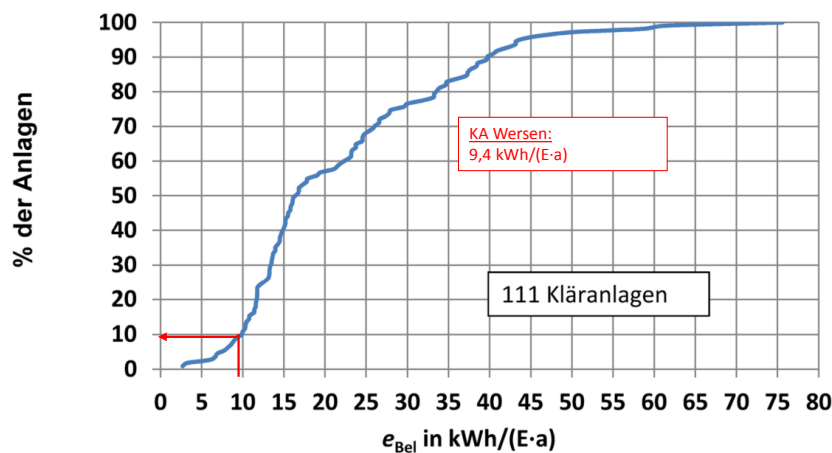


Abbildung 4.6: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung e_{Bel} kWh/(E·a) der Kläranlagen (DWA, 2015)

5 Ermittlung von Einsparpotenzialen / Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden zunächst anlagenbezogene Idealwerte für den Stromverbrauch ermittelt. Durch den Vergleich des aktuellen Stromverbrauchs mit den ermittelten Idealwerten wird der Zustand der KA Wersen bewertet. Es können so die Anlagenteile mit dem höchsten Energieeinsparpotenzial aufgezeigt werden. Anschließend werden in den folgenden Kapiteln Maßnahmen zur energetischen Optimierung hergeleitet.

5.1 Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte für den Stromverbrauch

Zur Ermittlung der anlagenbezogenen Idealwerte des Strombedarfs werden die spezifischen Idealwerte gemäß DWA A-216, Anhang A.1 mit den vorhandenen Belastungen bzw. Betriebsgrößen, Tabelle 5.1, kombiniert. Darüber hinaus wird das Energiehandbuch des MULNV NRW (2018) berücksichtigt. Teilweise werden die Idealwerte aus den bestehenden Energiewerten der Kläranlage abgeleitet.

Tabelle 5.1: Wesentliche Kenngrößen zur Ermittlung der anlagenbezogenen Idealwerte

Kennzahlen	Einheit	Wert
Mittlere Belastung	EW	11.600
Mittlerer Zufluss	m³/d	1.302
Mittleres Rücklaufverhältnis	-	1,3
Überschussschlamm gesamt	m³/d	35
Überschussschlamm KA Lotte (Menge / TR)	m³/d / %	5,6 / 4,2
Überschussschlamm KA Wersen	kg/d	415

Die Herleitung der Idealwerte für die verschiedenen Aggregate wird im Folgenden dargestellt. Im Anschluss erfolgen die zusammenfassende Aufstellung aller Anlagenteile und ein Vergleich mit dem Ist-Zustand.

5.1.1 Hinweise zur Berücksichtigung des Teillastverhaltens

Werden Aggregate, wie Motoren, Pumpen und Gebläse, nicht ausreichend ausgelastet, sinkt der Wirkungsgrad der Aggregate. Aufgrund ständig wechselnder Betriebsbedingungen wird nur selten der optimale Wirkungsgrad von Aggregaten erreicht. Ein geringerer Wirkungsgrad kann zu einem deutlich erhöhten spezifischen Strombedarf beitragen (DWA A-216, 2015).

Aufgrund der wechselnden Betriebsbedingungen auf Kläranlagen kann bei der Berechnung des anlagenbezogenen Idealwerts laut DWA-A 216 (2015) nur in Ausnahmefällen mit dem optimalen Wirkungsgrad der Aggregate gerechnet werden. Die Auslastung der Aggregate sollte für häufige Betriebszustände ebenfalls überprüft werden, da sie Einfluss auf die Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte nehmen kann.

5.1.2 Idealwerte einzelner Anlagenteile

Rechenanlage

Zur Rechenanlage gehören Rechen und Rechengutpresse.

Gemäß DWA A-216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für eine Rechenanlage inkl. Rechengutwäsche/-presse $e_{\text{spez}} = 0,05 - 0,10 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{a})$. Der mittlere Idealwert des Rechens beträgt für die derzeitige Belastung somit ca. 600 kWh/a.

Sandfang

Zum Sandfang gehören Sandfangräumer, Sandpumpe, Sandfanggebläse und Sandwäscher.

Gemäß DWA A-216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für Räumer (Sandfang, VKB und NKB) $e_{\text{spez}} = 0,3 - 1,0 \text{ kW/Becken}$. Mit einer mittleren Leistungsaufnahme von 0,7 kW und einer Laufzeit von 1 h/d ergibt sich ein Idealwert für den Sandfangräumer von rd. 300 kWh/a.

Gemäß Energie-Handbuch des Landes NRW (2018) ist der Energieverbrauch für die Sandpumpen und den Sandklassierer gering und beträgt ca. 0,06 kWh/(E·a) bzw. 0,11 kWh/(E·a). Auf der Kläranlage Wersen ergibt sich der Idealwert für die Sandpumpen und den Sandklassierer zu ca. 200 bzw. 500 kWh/a.

Der Energiebedarf für die Belüftung ergibt sich gemäß DWA A-216 aus dem erforderlichen spezifischen Lufteintrag von 0,5 - 1,3 m³/(m³·h) und einem optimalen Wirkungsgrad der Gebläse von 0,55 - 0,62. Aus dem Sandfangvolumen von rd. 90 m³ und einer Tiefe von 3,40 m lässt sich mit einem erforderlichen spezifischen Eintrag von 0,7 m³/(m³·h) und einem angesetzten Wirkungsgrad von 0,62 ein Idealwert für den Energieverbrauch von rd. 8.200 kWh/a ableiten.

Insgesamt ergibt sich damit ein Idealwert für den Sandfang von 9.200 kWh/a.

Durchmischung Belebungsbecken

Die beiden Belebungsbecken weisen ohne die innenliegenden Hochlastbecken ein Gesamtvolumen von $2 \times 2.500 \text{ m}^3 = 5.000 \text{ m}^3$ auf. Für Beckenvolumen $> 2.000 \text{ m}^3$ gilt gem. DWA-A 216 ein Wert $e_{\text{spez}} = 1,5 \text{ W/m}^3$. Damit würde sich ein Idealwert für die Durchmischung der beiden Belebungsbecken von rd. 66.000 kWh/a ergeben. Aus dem Betrieb ergibt sich jedoch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch von lediglich 1,17 W/m³, so dass der anlagenspezifische Idealwert für die Durchmischung der Belebungsbecken hier zu 51.200 kWh/a angenommen werden kann.

Durchmischung Hochlastbecken

Die beiden Hochlastbelebungsbecken weisen ein Volumen von jeweils 50 m³ auf. Gemäß DWA A-216 liegt die erforderliche spezifische Leistung e_{spez} für Becken zwischen 200 und 500 m³ bei 2,5 – 4,0 W/m³, für kleinere Beckengröße werden keine Vergleichswerte angegeben.

Wird aufgrund der Größe von unter 200 m³ eine erforderliche spezifische Leistung e_{spez} von im Mittel 10 W/m³ angesetzt, ergibt sich ein Idealwert für die Durchmischung der Hochlastbecken von 8.800 kWh/a.

Belüftung der Belebung

Aus den vorliegenden Belastungsdaten der Anlage wurde gem. DWA A-131 ein täglicher mittlerer Sauerstoffbedarf OV_d von rd. 1.050 kg/d theoretisch berechnet. Bei einem mittleren Sauerstoffgehalt in der Belebung von 1,5 mg/l ergibt sich rechnerisch ein erforderlicher Sauerstoffeintrag von im Mittel 1.235 kg/d.

Mit einem modernen und hocheffizienten Belüftungssystem kann ein sehr günstiger mittlerer Ertrag SAE von 5,9 kg/kWh für Reinwasserbedingungen erreicht werden. Mit einem spez. Verdichtungsaufwand von 3,8 Wh/(m_N³·hPa), einer mittleren Sauerstoffausnutzung SSOTR von 25 g/(m_N³·m)) und einem angenommenen alpha-Wert von 0,7 ergibt sich somit ein theoretischer Idealwert für die Belüftung der Belebungsbecken von rd. 109.000 kWh/a.

Der hier angesetzte sehr günstige Ertrag SAE von 5,9 kg/kWh liegt erkennbar über den Werten gemäß DWA A-216, Anhang A.8, deckt sich aber mit dem tatsächlich ermittelten Verbrauch auf der KA Wersen gemäß Tabelle 4.1.

Fällmitteldosierung

Nach dem Energie-Handbuch NRW (2018) ist der Energieverbrauch für die Fällmitteldosierung gering und beträgt rund 0,04 kWh/(E·a). Auf der Kläranlage Wersen ergibt sich der Idealwert für die Fällmitteldosierung mit ca. 500 kWh/a.

Nachklärbecken

Zu den Aggregaten des Nachklärbeckens gehören Nachklärbeckenräumer sowie Rinnenreinigung.

Gemäß DWA A-216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für den Nachklärbeckenräumer 0,3 - 1,0 kW/Becken. Der mittlere Idealwert ergibt sich somit bei einem 24h-Betrieb und einem Ansatz von 0,5 kW/Becken zu insgesamt ca. 4.400 kWh/a.

Der Idealwert für die Rinnenreinigung wird zu ca. 1.100 kWh/a angenommen.

Insgesamt ergibt sich damit ein Idealwert für die Nachklärung von 5.500 kWh/a.

Rücklaufschlammumpen

Das Rücklaufverhältnis lag in den letzten Jahren im Mittel bei 1,3 und die Rücklaufschlammmenge bei einem mittleren Zufluss von 1.302 m³/d damit bei rund 1.700 m³/d. Die Förderhöhe der Rücklaufschlammumpen beträgt ca. 2,5 m. Bei einem Wirkungsgrad von $\eta_{\text{ges}} = 0,55$ (DWA A-216, 2015) ergibt sich ein Idealwert für die Rücklaufschlammumpen mit der aktuellen Rücklaufschlammmenge von 7.600 kWh/a.

Schlammbehandlung

Zu den Aggregaten der Schlammbehandlung gehören Schlammspeicher mit Rührwerk beschickungspumpe, Schlammmentwässerung sowie Trübwasserabzug.

Die Idealwerte für die Pumpen zur Beschickung des Schlammspeichers und zum Trübwasserabzug basieren auf den Werten der vorhandenen Aggregate und wurden abgeschätzt zu rd. 700 kWh/a bzw. 3.500 kWh/a entsprechend 80% des derzeitigen Verbrauchs.

Bei der Ermittlung des Idealwertes für das Rührwerk im Schlammspeicher wird aufgrund der Beckengeometrie von einer erforderlichen spezifischen Leistung von 6 W/m^3 entsprechend des oberen Wertes für Faulbehälter gemäß DWA A-216 (2015) ausgegangen. Damit ergibt sich der Idealwert für das Rührwerk bei einer Laufzeit von 12 h/d zu ca. 49.900 kWh/a.

Zu den Aggregaten der Schlammmentwässerung gehören Schneckenpresse, Beschickungspumpe, FHM-Dosierung und Austragssystem.

Schneckenpressen erfordern laut DWA A-216 (2015) einen spezifischen Stromverbrauch von $0,5 - 0,8 \text{ kWh/m}^3$ Schlamm bzw. $1,1 - 1,4 \text{ kWh/m}^3$ inkl. Beschickungspumpen und Konditionierung. Wird für die KA Wersen ein spezifischer Stromverbrauch von $1,4 \text{ kWh/m}^3$ sowie $0,1 \text{ kWh/m}^3$ für den Schlammaustrag zugrunde gelegt, ergibt sich bei einer mittleren Überschussschlammmenge von insgesamt rd. $35 \text{ m}^3/\text{d}$ der mittlere Idealwert der Schlammmentwässerung zu rd. 17.900 kWh/a bzw. ca. 19.200 kWh/a inkl. der Nebenaggregate.

Insgesamt ergibt sich damit ein Idealwert für die Überschussschlammbehandlung inklusive Schlammspeicher von 73.300 kWh/a.

Sonstiges, Infrastruktur

Für diese Anlagenteile basieren die Idealwerte auf den Werten der vorhandenen Aggregate bzw. wurden zu 80% des derzeitigen Verbrauchs angenommen.

5.1.3 Zusammenfassung der anlagenbezogenen Idealwerte

In Tabelle 5.2 sind die ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte für die verschiedenen Anlagenteile zusammengestellt. Aus dem Vergleich mit dem tatsächlichen Stromverbrauch können die Anlagenteile mit hohem Energieeinsparpotenzial abgeleitet werden.

Tabelle 5.2: Gegenüberstellung der anlagenspezifischen Idealwerte für den Stromverbrauch der einzelnen Aggregate mit den tatsächlichen Verbrauchswerten

Aggregat/Anlagenteil	Idealwerte		Ist-Zustand		abs. Abweichung
	EV [kWh/a]	spez. EV [kWh/(E·a)]	EV [kWh/a]	spez. EV [kWh/(E·a)]	spez. EV [kWh/(E·a)]
Mechanische Reinigungsstufe	9.800	0,85	14.100	1,22	0,37
Rechen	600	0,05	1.180	0,10	0,05
Räumerbrücke	300	0,03	600	0,05	0,02
Sandpumpe	200	0,02	120	0,01	-0,01
Rührwerk Sandwäsche inkl. Sandaustragsschnecke	500	0,04	280	0,02	-0,02
Gebläse Sandfang	8.200	0,71	11.920	1,03	0,32
Belebung	169.700	14,64	178.430	15,38	0,74
Gebläse	109.200	9,41	108.590	9,36	-0,05
Rührwerke BB	51.200	4,43	50.910	4,39	-0,04
Rührwerke BB - Hochlast	8.800	0,76	17.760	1,53	0,77
Dosieranlage Fällmittel	500	0,04	1.170	0,10	0,06
Nachklärung	5.500	0,47	5.550	0,48	0,05
Räumerbrücke	4.400	0,38	4.130	0,36	0,02
Reinigungsbürste Ablaufgerinne	1.100	0,09	1.420	0,12	0,03
Rücklaufschlammumpwerk	7.600	0,66	34.060	2,94	2,28
Rücklaufschlamm-schnecken	7.600	0,66	34.060	2,94	2,28
Schlamm-speicher	50.600	4,36	61.880	5,34	0,98
Pumpe zum Speicher	700	0,06	880	0,08	0,02
Schlamm-speicher (Rührwerk)	49.900	4,30	61.000	5,26	0,96
Schlamm-entwässerung	19.200	1,66	21.820	1,88	0,22
Schneckenpresse, inkl. Beschickung und FHM-Dosierung	17.900		21.820		
Austrag	1.300		s. Presse		
Trüb-wasser-pumpwerk	3.500	0,30	4.340	0,38	0,07
Trüb-wasser-pumpe	3.500	0,30	4.340	0,38	0,07
Sonstiges, Infrastruktur	11.300	0,978	11.660	1,01	0,03
Brauch-wasser-pumpen	1.300	0,11	1.660	0,14	0,03
Betriebsgebäude, Maschinengebäude	9.000	0,78	9.000	0,78	0,00
Beleuchtung	1.000	0,09	1.000	0,09	0,00
Differenz (zu tatsächlichem Verbrauch) *	-9.100	-0,79	-9.180	-0,79	0,00
SUMME	268.100	23,11	322.660	27,82	4,71

* Differenz aus Energieanalyse (vgl. Tabelle 4.1) und tatsächlichem Verbrauch

Insgesamt ergibt sich aus den Betrachtungen ein Idealwert für den Gesamtenergieverbrauch der KA Wersen unter Beibehaltung des derzeitigen Verfahrens zur Abwasser- und Schlammbehandlung inklusive der Übernahme des Schlammes aus Lotte von rd. 268.100 kWh/a bzw. umgerechnet 23,1 kWh/(E·a). Somit lässt sich ein Einsparpotenzial gegenüber dem derzeitigen Zustand von insgesamt bis zu rd. 55.000 kWh/a bzw. 4,7 kWh/(E·a) ableiten.

5.2 Gebäudeheizung

Die Heizung erfolgt auf der Kläranlage rein elektrisch über verschiedene Nachtspeicheröfen und Direktheizungen (vgl. Kapitel 4.4). Darüber hinaus sind zwei Klimageräte

zum Heizen (Winter) bzw. Kühlen (Sommer) der Leitwarte und des Büros im Obergeschoss vorhanden.

Da die auf der KA Wersen installierten Nachtspeicheröfen nicht asbesthaltig sind und damit keine Gefahr für die Gesundheit der Mitarbeiter darstellen, ist auch aus gesundheitsrelevanten Gründen kein Austausch der vorhandenen Geräte erforderlich.

Für die KA Wersen wurde in Kapitel 4.4.2 ein Wärmebedarf für die Gebäudeheizung von rd. 16.000 kWh/a abgeschätzt. Aus diesem Wärmebedarf resultieren bei dem aktuellen Bezugspreis von 21,5 Ct/kWh Stromkosten von ca. 3.400 €/a.

Für eine Umstellung der vorhandenen elektrischen Heizungen auf eine Gas- oder Ölheizung sind erhebliche Investitionen und Umbaumaßnahmen im Gebäude erforderlich. Neben dem Einbau eines entsprechenden Heizkessels müssten diverse Heizkörper sowie die gesamten Leitungen im Gebäude neu installiert werden. Die Kosten hierfür werden auf ca. 45.000 € geschätzt.

Aufgrund der erforderlichen Investitionen und den daraus resultierenden Jahreskosten ist diese Umstellung ohne besondere Zuwendungen als nicht wirtschaftlich zu bewerten und wird daher nicht weiter betrachtet.

Im Rahmen eines besonderen Förderprogrammes wird aktuell die Realisierung einer Energieversorgung des Betriebsgebäudes über eine Anlage zur Nutzung der Abwasserwärme, i.W. bestehend aus Abwasserwärmetauscher, Wärmepumpe und neuer Heizungsanlage für eine Leistung von 15 bis 20 kW detailliert geprüft.

5.3 Ermittlung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen

Aus dem Vergleich der Ideal- mit den Ist-Werten für den Stromverbrauch in Tabelle 5.2 ist zu erkennen, dass für die überwiegende Anzahl der installierten Aggregate keine oder nur eine gering bedeutsame Verbesserung der Energieeffizienz und damit verbunden eine geringe Verminderung des Stromverbrauchs bzw. -bezugs möglich ist.

Bei lediglich 3 der betrachteten Verfahrensstufen bzw. Anlagenteile beträgt die spezifische Abweichung mindestens 0,5 kWh/(E·a):

- ▶ Rücklaufschlammumpwerk,
- ▶ Durchmischung Schlammspeicher und
- ▶ Durchmischung der Hochlastbecken.

Durch die Optimierung dieser Anlagenteile sind gemäß Tabelle 5.2 unter Beibehaltung des derzeitigen Verfahrens zur Abwasser- und Schlammbehandlung inklusive der Schlammübernahme aus Lotte Einsparungen von maximal rd. 46.500 kWh/a möglich.

Um den Idealwert für die Gesamtanlage gemäß Tabelle 5.2 zu erreichen, müssten darüber hinaus alle älteren Motoren gegen effizientere ersetzt werden, was rein wirtschaftlich betrachtet schwer darstellbar ist.

Unabhängig von der Optimierung der Anlage mit dem derzeitigen Verfahren zur Abwasser- und Schlammbehandlung wird im Anschluss in Kapitel 7 die Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung betrachtet, um den Anteil der Eigenstromproduktion zu erhöhen und damit den Energiebezug zu verringern.

5.4 Klimaschutzpotentiale durch Digitalisierung

Die unterschiedlichen digitalen Entwicklungen betreffen neben Aufgaben zu Planung, Bau und Betrieb technischer Einrichtungen nahezu alle Bereiche der Wasserwirtschaft. Die umfassende Begrifflichkeit einer „Wasserwirtschaft 4.0“ beinhaltet gemäß UBA (Texte 29/2020) die Nutzung von Digitalisierung und Automatisierung in Verwaltung, Planung und allen physikalisch-chemischen Prozessen zum Schutz und der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser, zur Versorgung von Haushalten, Industrie und Landwirtschaft und zum Schutz vor wasser- und gewässerbedingten Risiken. Digitalisierung, Modellierung, Automatisierung und Visualisierung ermöglichen in Ver- und Entsorgung sowie im Hochwasserschutz über die Kopplung von Sektoren und die Integration verschiedener Prozesse eine Erhöhung von Kosteneffizienz, Servicequalität, Sicherheit und Zuverlässigkeit und damit eine deutliche Verbesserung in der Daseinsvorsorge.

Die Automatisierung und Vernetzung wasserwirtschaftlicher Einrichtungen, speziell der Kläranlagen, ist seit langem üblich, aber schnelle Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie bieten immer umfangreichere Grundlagen für technologische Verbesserungen. Mit einer verbesserten Sensorik in Verbindung mit echtzeitgeregelter, gekoppelter Bewirtschaftung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer können erhebliche Reduzierungen von Stoffeinträgen in die Gewässer erreicht werden. Neben einer Reduzierung laufender Kosten und des Energieverbrauches können gleichzeitig Investitionen für bauliche Anlagen verringert und Ziele der EU-WRRL sowie des Gewässerschutzes kostengünstiger erreicht werden.

Die zielgerichtete Vernetzung realer, virtueller und analytischer Systeme bedarf geeigneter Datenerfassung, Schnittstellen und IT-Infrastruktur. Grundlegende Technologien umfassen sog. smarte Sensoren und präzise Aktoren in den unterschiedlichsten Ausprägungen mit übergeordneten und auch lokal autonomen Steuer- und Regelkreisen. Fundamental dabei ist die Nutzung zentraler Datenspeicherung, zunehmend als Cloud-Applikation, mit möglichst drahtloser Datenübertragung sowie die Fähigkeit komplexe Informationen schnell zu verarbeiten. Dabei werden wissenschaftlich fundierte Methoden, Algorithmen und Systeme zur Ableitung von Erkenntnissen, Mustern und Wertungen aus unterschiedlich strukturierten Informationen mit Technologien des Data-Minings verwendet. Damit verbunden sind auch neue Technologien zum Visualisieren von Informationen, Analysen und Daten und der Einsatz von Monitoring- und Reportingssystemen mit speziell für große Datenmengen entwickelten Visualisierungsoptionen.

Durch die verstärkte Einbindung von IT, Sensorik und dynamischer Modellanwendungen werden Möglichkeiten geschaffen, wasserwirtschaftliche Systeme in ihrer Komplexität und Vernetzung besser zu überwachen und zu interpretieren und in vorteilhafte Präventions- und Handlungsmaßnahmen umzusetzen.

Für den konkreten Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen werden so nach vielen Jahren mit vorwiegend ausgeübten manuellen Tätigkeiten die wesentlichen Grundvoraussetzungen geschaffen, zukünftig gezielter und umfassender auf die digitale Erfassung aller notwendigen Daten in Verbindung mit erhöhter Automatisierung zurückzugreifen. Dieses wird aufgrund der künftig umfassenden Informationslage in Echtzeit neben einer erhöhten Prozessstabilität vor allem zu einem an den aktuell tatsächlichen Bedarf angepassten, verringerten Energiebedarf und zu einer Minimierung eingesetzter chemischer Hilfsstoffe führen.

5.5 Einspar- und Versorgungsziele

Der spezifische Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Wersen liegt gegenwärtig bei rund 28 kWh/(E·a) und damit bereits in einem energetisch sehr günstigen Bereich.

Vorrangiges Ziel im Rahmen der wertenden Potenzialanalyse zur Kläranlage Wersen ist die mögliche weitere Einsparung von Energie und somit die Verringerung von Energiekosten und CO₂-Emissionen. Durch die genannten Maßnahmen kann der Energieverbrauch um rd. 46.500 kWh/a entsprechend 4,0 kWh/(E·a) gesenkt werden, Tabelle 5.3. Nach Umsetzung dieser Maßnahmen wird ein spezifischer Energieverbrauch der Gesamtanlage von rd. **23,8 kWh/(E·a)** angestrebt.

Tabelle 5.3: Übersicht Einsparziele, gerundet

Maßnahme	Ist-Verbrauch [kWh/a]	Ziel-Verbrauch [kWh/a]	Einsparungen [kWh/a]	Verbrauch [kWh/a]
Ist-Zustand:				322.700 (= 27,8 kWh/(E·a))
Ersatz Rücklaufschlammumpen	34.000	7.600	26.400	
Optimierung Schlamm Speicher	61.000	49.900	11.100	
Ersatz Rührwerke Hochlastbecken	17.800	8.800	9.000	
Summe gesamt:			46.500 (= 4,0 kWh/(E·a))	276.200 (= 23,8 kWh/(E·a))

5.6 Strategie zur Umsetzung der Ziele

Der Betrieb der Kläranlage Wersen, bestehend aus der mechanischen Reinigungsstufe (Rechen und Sandfang), der biologischen Reinigungsstufe (Belebungsbecken und Nachklärung) und der angeschlossenen Schlammbehandlung mit statischer Voreindickung, Schlamm Speicher und Entwässerung, erfordert bereits einen günstigen spezifischen Energieverbrauch von nur knapp 28 kWh/(E·a).

Schwerpunkt der kurz- bzw. mittelfristigen Maßnahmen sollte die Optimierung der Rücklaufschlammförderung sowie der Durchmischung des Schlamm Speichers und der Hochlastbecken sein.

Der aus dem Nachklärbecken abgezogene Schlamm wird mit Hilfe des Rücklaufschlammumpwerks in den Verteiler zur Belebung zurückgeführt. Im Zuge der Optimierung der Anlage soll die Förderleistung des Rücklaufschlammumpwerks an die aktuelle Belastung angepasst und die Pumpentechnik damit energetisch optimiert werden.

Neben der direkten Energieeinsparung aufgrund der höheren Effizienz der Pumpen besteht beim Einsatz von regelbaren Rücklaufschlammumpen mit geringerer Förderleistung die Möglichkeit, das Rücklaufverhältnis, das derzeit ganzjährig ca. 1,3 – 1,5 beträgt, zu verringern und damit auch den Feststoffgehalt in der Belebung zu reduzieren. Durch einen geringeren Feststoffgehalt insbesondere in den Sommermonaten könnte so zusätzlich Energie für die Belüftung der Belebung von 5 - 10% eingespart werden.

Durch die drei beschriebenen energetischen Optimierungsmaßnahmen ist es möglich, das zuvor genannte Einspar- und Versorgungsziel umzusetzen.

Darüber hinaus ist beim altersbedingten Ersatz aller Pumpen und Antriebe die Leistung im Hinblick auf die Belastung der Kläranlage zu prüfen und diese ggf. durch optimal dimensionierte und energetisch effizientere Antriebe zu ersetzen, um so den Energieverbrauch perspektivisch noch weiter senken zu können.

6 Optimierungmaßnahmen und Umsetzungsplanung

6.1 Bereits umgesetzte Maßnahmen

Auf der Kläranlage Wersen wurden in den vergangenen vier Jahren bereits folgende Maßnahmen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung durchgeführt:

- ▶ Außerbetriebnahme der Überschussschlammeindickung und Installation einer Schlammentwässerung im Jahr 2016
- ▶ Austausch des Rührwerks im Schlamm Speicher im Jahr 2016
- ▶ Installation einer PV-Anlage im Jahr 2016
- ▶ Austausch der Belüftungseinrichtungen in den Belebungsbecken im Jahr 2018

Mit der Inbetriebnahme der Schlammentwässerung erfolgte auch die regelmäßige Übernahme des Schlammes von der KA Lotte, so dass sich durch diese Maßnahme keine sichtbare Energieeinsparung ergab.

Die Erneuerung der Belüftung im Sommer 2018 führte zu einer Energieeinsparung von ca. 5.000 kWh/Monat (Abbildung 4.1) bzw. rd. 15% gegenüber dem Vorjahr.

Durch die Installation der PV-Anlage wurden im Jahresmittel 18.980 kWh/a erzeugt, Abbildung 4.4, so dass der Strombezug durch die Eigenstromproduktion um ca. 6% reduziert werden konnte.

6.2 Weitere Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen

Aufbauend auf der Potenzialanalyse werden im Folgenden die möglichen Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen detaillierter beschrieben. Zudem werden die daraus resultierenden Stromeinsparungen sowie die durch die Umsetzung voraussichtlich entstehenden Kosten erläutert.

Die Investitionen werden dabei als Bruttokosten einschließlich 15% Nebenkosten für planerische Tätigkeiten sowie 19% Mehrwertsteuer angegeben.

6.2.1 Einsparpotenzial

Das energetische Einsparpotenzial errechnet sich aus der Differenz des derzeitigen Energieverbrauchs zum optimierten Zustand nach der Umsetzung der identifizierten Maßnahmen (Idealwerte) auf der Kläranlage Wersen nach Tabelle 5.3. Vom derzeitigen Energieverbrauch mit ca. 322.700 kWh/a ist es durch die Umsetzung der drei genannten Maßnahmen möglich, einen zukünftigen Energieverbrauch von rund 276.000 kWh/a zu erreichen. Auf einen Einwohner bezogen (mittlere CSB-Belastung) beläuft sich der spezifische Energieverbrauch dann auf 23,8 kWh/(E·a).

Insgesamt ist es durch Umsetzung der energetischen Optimierung der Anlagentechnik somit möglich, ein energetisches Einsparpotenzial von etwa 46.500 kWh/a zu erreichen. Bei aktuellen Strompreisen von etwa 0,215 €/kWh brutto ergeben sich folglich Einsparkosten von rd. 10.000 €/a.

Folgende Anlagenteile bzw. Aggregate werden hinsichtlich einer energetischen Optimierung berücksichtigt:

- ▶ Rücklaufschlammumpwerk,
- ▶ Durchmischung Schlamm Speicher und
- ▶ Durchmischung der Hochlastbecken.

6.2.2 Beschreibung der Maßnahmen

6.2.2.1 Einsatz energieeffizienter Pumpen

6.2.2.1.1 Allgemeines zur Erneuerung von Pumpen und Motoren

Die Hersteller von Elektromotoren haben sich im Rahmen eines europaweiten Abkommens verpflichtet, die Wirkungsgrade von Elektromotoren eindeutig anzugeben. Absteigend in der Effizienz wurde bis zum Jahr 2009 zwischen drei Wirkungsgraden EFF1 – EFF2 – EFF3 unterschieden. Die bisherigen europäischen Effizienzklassen (EFF) wurden jedoch durch die weltweit gültigen Effizienzklassen IE1 (= EFF2), IE2 (= EFF1) sowie IE3 ersetzt, welche aufsteigend in der Effizienz IE1 – IE2 – IE3 sind. Die Energieeffizienzklasse wird auf dem Typenschild des Motors angegeben oder kann den Herstellerunterlagen entnommen werden. Kann keine Energieeffizienzklasse ermittelt werden, kann für alte Motoren die Effizienzklasse EFF3 unterstellt werden.

Abbildung 6.1 stellt die elektrischen Wirkungsgrade in den verschiedenen Energieeffizienzklassen für einen 4-poligen Motor mit 50 Hz Nennfrequenz dar.

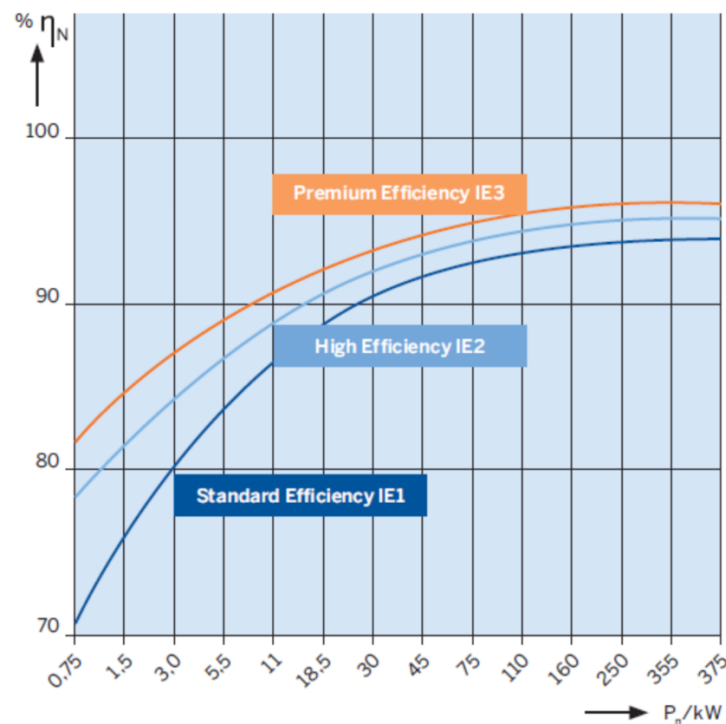


Abbildung 6.1: Effizienzklassen nach DIN-EN 60034-30 (EnergieAgentur.NRW, 2010)

Aufgrund des Alters der auf der Kläranlage Wersen eingesetzten Antriebe ist davon auszugehen, dass teilweise Antriebe der Effizienzklasse EFF3 in Verwendung sind. Müssen zukünftig verschleißbedingt Motoren ersetzt werden, bietet es sich an, diese Motoren durch energieeffizientere Antriebe auszutauschen. Die erhöhten Investitionskosten beim Einsatz von hocheffizienten Motoren rechnen sich oftmals relativ kurzfristig durch die wirkungsvollere Energieaufnahme. Insbesondere bei Dauerläufern besteht daher oft ein hohes Energieeinsparpotenzial.

6.2.2.1.2 Einsatz energieeffizienter Rücklaufschlammumpfen

Der Rücklaufschlamm der Kläranlage Wersen wird aus dem Nachklärbecken abgezogen und über das Rücklaufschlammumpfenwerk zurück in den Verteiler vor der Belebung gefördert. Die geförderte Rücklaufschlammmenge lag in den letzten Jahren mit einem Rücklaufverhältnis von ca. 1,3 im Mittel bei rund 1.700 m³/d bzw. 71 m³/h.

Das Rücklaufschlammumpfenwerk besteht aus zwei dreistufige Rücklaufschlamm Schnecken mit einer Fördermenge von jeweils 55,6 bis 111,2 l/s bzw. 4.800 - 9.600 m³/d.

Das Rücklaufschlammumpfenwerk wies nach Tabelle 4.1 im Betrachtungszeitraum einen jährlichen Energieverbrauch von ca. 34.100 kWh/a und damit einen Anteil von rd. 10% am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage auf.

Die durchgeführten Messungen der Stromaufnahmen der beiden Rücklaufschlamm Schnecken ergaben bei den verschiedenen Stufen Werte zwischen 6,6 und 11,9 A. Damit errechnen sich Leistungsaufnahmen von 3,9 - 7 kW.

Für die weiteren Betrachtungen im Rahmen dieser Energieanalyse wurde von einer Leistungsaufnahme von 3,9 kW bzw. einem daraus resultierenden täglichen Energieverbrauch von mindestens 94 kWh/d ausgegangen. Da es keine kontinuierliche Aufzeichnung der Strom- bzw. Leistungsaufnahme für das Schneckenumpfenwerk gibt und die Eintauchtiefe der Schnecken darüber hinaus z. T. sehr gering ist, ist u. U. aber auch von einem höheren Energieverbrauch als hier angesetzt auszugehen.

Bezogen auf die geförderte Rücklaufschlammmenge von im Mittel rd. 1.700 m³/d und eine Förderhöhe von ca. 2,5 m ergibt sich ein hoher spezifischer Energieverbrauch für die Rücklaufschlammumpfen von 22 Wh/(m³·m).

Die aktuelle hydraulische Belastung der Kläranlage Wersen liegt mit einem mittleren Zufluss von 1.302 m³/d deutlich unterhalb der ursprünglichen Bemessungszuflüsse (vgl. Kapitel 3.1), so dass die vorhandenen Schneckenumpfen für die derzeitige Belastung deutlich überdimensioniert sind.

Die aktuell erforderliche Rücklaufschlammmenge beträgt mit im Mittel ca. 1.700 m³/d nur etwa ein Drittel der im Datenblatt des Herstellers angegebenen minimalen Fördermenge der in Wersen eingebauten Schneckenumpfen von 4.800 m³/d.

Aufgrund der geringen Belastung der Anlage läuft in der Regel zurzeit eine Schnecke, wobei zusätzlich der Zulauf zum Rücklaufschlammumpfenwerk und damit der Füllstand im Pumpensumpf verringert wird, um die geförderte Rücklaufschlammmenge an die aktuelle Belastung anzupassen und mit den vorhandenen Pumpen ein Rücklaufverhältnis von ca. 1,3 zu gewährleisten.

Der Füllstand im Pumpensumpf hat jedoch einen erheblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Schneckenpumpen. Der hydraulische Wirkungsgrad einer Schneckenpumpe ist am Füllpunkt gemäß Handbuch „Energie in Kläranlagen“ mit 70 - 80% optimal und nimmt mit zunehmender Entfernung vom Füllpunkt ab. Am Tastpunkt gehen die Förderleistung und damit der Wirkungsgrad gegen 0%. Die relevanten Betriebspunkte von Schneckenpumpen sind Abbildung 6.2 zu entnehmen.

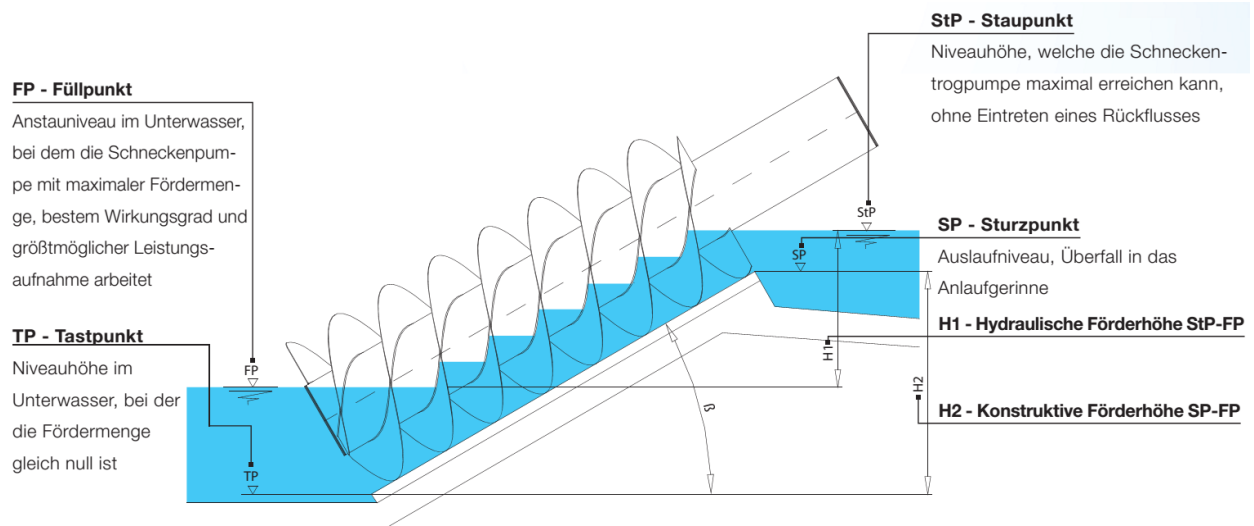


Abbildung 6.2: Rücklaufschlammumpenwerk mit Betriebspunkten von Schneckenpumpen (Quelle: Andritz Atro GmbH, Nürnberg)

Für den Wirkungsgrad der Schneckenpumpen der KA Wersen errechnet sich im aktuellen Betrieb ein Wert von lediglich 13%.

Eine Taktung der Rücklaufschlammumpen zur Erhöhung der Förderleistung während der verringerten Laufzeiten der Pumpen ist aus betrieblicher Sicht nicht zu empfehlen, da sich durch das Ein- und Ausschalten der Pumpen hydraulische Stöße auf die Nachklärbecken ergeben, die sich u. U. negativ auf die Feststoffabscheideleistung in der Nachklärung auswirken können.

Es erscheint daher aus energetischer Sicht sinnvoll, die vorhandenen Schnecken durch kleinere Schneckenpumpen oder alternativ Tauchmotorpumpen mit entsprechend angepasster regelbarer Förderleistung zu ersetzen, um den Energiebedarf deutlich zu reduzieren.

Mit den optimierten Pumpen ist ein Wirkungsgrad η_{ges} von mindestens ca. 0,55 (DWA A-216, 2015) zu erwarten, wodurch sich unter Zugrundelegung der gleichen Fördermenge für die derzeitige Belastung ein Energieverbrauch für die Rücklaufschlammumpen entsprechend der Idealwertberechnung von insgesamt ca. 7.600 kWh/a (vgl. Tabelle 5.2) ergibt.

Diese Energieeinsparung entspricht bei einem Strompreis von ca. 0,215 €/kWh einer monetären Einsparung von ca. 5.700 €/a.

Aus finanzieller und betrieblicher Sicht ist es ausreichend, nur eine der beiden vorhandenen Pumpen durch eine energieeffiziente Pumpe für geringere Förderleistungen zu ersetzen. Diese ist so zu dimensionieren, dass sie für die zurzeit im Mittel betrieblich erforderliche Rücklaufschlammmenge in einem energetisch günstigen Bereich arbeitet.

Bei länger anhaltenden stark erhöhten Zuflüssen aufgrund von starken Regenereignissen und damit verbundenen erhöhten Rücklaufschlamm-mengen oder bei Ausfall dieser Pumpe kann dann kurzzeitig die verbleibende vorhandene Pumpen genutzt werden.

Die erforderlichen Investitionskosten für die Installation einer Pumpe mit einer Förderleistung von maximal ca. 100 - 150 m³/h betragen ca. 38.000 € brutto. Bei den genannten Investitionskosten für den Ersatz einer der beiden Rücklaufschlamm-pumpen würden sich diese in ca. 7 Jahren amortisieren. Gegebenenfalls sind Re-Investitionskosten zu berücksichtigen.

6.2.2.2 Durchmischung Schlamm-speicher

Um eine möglichst gleichmäßige Beschickung der maschinellen Entwässerung zu erreichen, wird der Überschussschlamm aus Lotte und Wersen vor der Entwässerung im Schlamm-speicher zusammengeführt und durchmischt. Der Betrieb des Rührwerks erfolgt dabei intervallartig im stündlichen Wechsel.

Das Rührwerk im Schlamm-speicher weist bei einer Nennleistung von 24 kW einen mittleren Energieverbrauch von rd. 61.000 kWh/a (Tabelle 4.1) auf und verursacht einen Anteil von 19% am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage

Bei einer Laufzeit von aktuell 12 h/d ergibt sich umgerechnet auf das umzuwälzende Volumen eine spezifische Rührwerksleistung von 7,4 W/m³ bezogen auf das gesamte Nutzvolumen bzw. von 15 W/m³ bei halber Füllung.

Aufgrund der Beckengeometrie des Schlamm-speichers ist von einer maximal erforderlichen spezifischen Leistung von 6 W/m³ entsprechend des oberen Wertes für Faulbehälter gemäß DWA A-216 (2015) auszugehen, so dass der ermittelte Idealwert gemäß Kapitel 5.1.2 bei 49.900 kWh/a liegt.

Um den Energiebedarf zukünftig zu senken, ist daher zu prüfen, inwieweit die Laufzeit und damit der Stromverbrauch verringert werden kann, ohne dass dabei nachhaltige Schlammablagerungen auftreten und eine gleichmäßige Beschickung der maschinellen Entwässerung gewährleistet wird. Eine Verringerung der Laufzeit bei gleicher Leistung des vorhandenen Rührwerks um bis zu 2 h/d scheint dabei aus derzeitiger Sicht problemlos möglich.

Durch die Verkürzung der Laufzeit des vorhandenen Rührwerks auf maximal 10 h/d könnten gegenüber dem derzeitigen Betrieb ohne zusätzliche Investitionskosten mindestens ca. 10.000 kWh/a eingespart werden, was einer monetären Einsparung von 2.200 €/a entspricht.

6.2.2.3 Austausch Rührwerke Hochlast-becken

Die Durchmischung der Hochlastbecken erfolgt mit jeweils einem Kompaktrührwerk der Fa. Flygt (Typ SR 4620) mit einer Nennleistung von jeweils 1,5 kW

Die Rührwerke in den Hochlastbecken weisen bei einer Laufzeit von jeweils 12 h/d einen Energieverbrauch von 17.760 kWh/a (Tabelle 4.1) auf und verursachen einen Anteil von 5,4% am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage. Umgerechnet auf das umzu-

wälzende Volumen ergibt sich eine überdurchschnittlich hohe spezifische Rührwerksleistung von 20 W/m^3 .

Um den Energiebedarf kurzfristig weiter zu senken, ist zu prüfen, inwieweit die Laufzeit und damit der Stromverbrauch verringert werden kann, ohne dass dabei nachhaltige Schlammablagerungen in den Hochlastbecken auftreten und ein ausreichender Austausch mit den umliegenden Belebungsbecken ermöglicht wird.

Es ist davon auszugehen, dass mit den vorhandenen Kompaktrührwerken mit einem Durchmesser von 21 cm und einer Nenndrehzahl von 1.350 min^{-1} in den vorhandenen Hochlastbecken ($V = 50 \text{ m}^3$, Wassertiefe = 4,30 m) eine Laufzeit von 15 - 20 Minuten pro Stunde bzw. für die Durchmischung ausreichend ist.

Mit einem konsequent intermittierenden Rührwerksbetrieb und einer anteiligen Laufzeit der Rührwerke in den Hochlastbecken von 8 h/d könnte der Energieverbrauch entsprechend um rd. 6.000 kWh/a auf etwa 2/3 des derzeitigen Verbrauchs reduziert werden.

Langfristig sind die beiden Rührwerke im Rahmen der erforderlichen Erneuerung bei einem Verschleiß der vorhandenen Aggregate gegen energieeffizientere Aggregate zu ersetzen. Anstelle der vorhandenen schnell laufenden Kompaktrührwerke sollten möglichst kleine langsam laufende Vertikalrührwerke mit einer Leistung von ca. 0,7 kW eingebaut werden, da davon auszugehen ist, dass die schnell laufenden Rührwerke die Schlammstruktur negativ beeinflussen.

Durch diese Maßnahme könnten gegenüber dem derzeitigen Betrieb rd. 9.000 kWh/a eingespart werden, was einer monetären Einsparung von 1.900 €/a entspricht.

Die Investitionskosten hierfür liegen bei rd. 24.000 € brutto, so dass sich eine Amortisation bei den derzeitigen Strompreisen erst nach ca. 13 Jahren ergibt. Reinvestitionen sind dabei nicht berücksichtigt.

6.2.3 Zusammenfassung

In Tabelle 6.1 sind die zuvor beschriebenen Maßnahmen mit den zu erwartenden Energie- und CO₂-Einsparungen zusammengefasst. Zur Ermittlung der CO₂-Produktion wird ein CO₂-Äquivalent für den deutschen Strommix gemäß Umweltbundesamt [UBA, 2018] von 537 g CO₂/kWh angesetzt.

Tabelle 6.1: Zusammenfassung der erwarteten Energie- und CO₂-Einsparungen

Maßnahme	Ist-Verbrauch [kWh/a]	Verbrauch Idealwert [kWh/a]	ermittelter Ziel-Verbrauch [kWh/a]	Einsparungen [kWh/a]	CO ₂ - Einsparung [t/a]
Ersatz Rücklaufschlamm pumpen	34.000	7.600	7.600	26.400	14
Optimierung Schlammspeicher	61.000	49.900	50.800	10.200	6
Ersatz Rührwerke Hochlastbecken	17.800	8.800	8.800	9.000	5
Summe gesamt:				45.600	25

6.3 Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Maßnahmen

In nachstehender Tabelle 6.2 sind die wichtigsten Daten zur Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der zuvor genannten Maßnahmen zusammengefasst. Die aufgeführten Maßnahmen zielen vor allem darauf ab, den derzeitigen Stromverbrauch bzw. Strombezug der Kläranlage Wersen zu reduzieren. Der Wärmeverbrauch bleibt hier unberücksichtigt.

Durch die hier vorgeschlagenen Maßnahmen werden die Energiekosten gesenkt, die sonstigen Betriebskosten bleiben im Vergleich zum jetzigen Zustand unverändert. Die Energiekosteneinsparung wird mit dem aktuellen Strombezugspreis der KA Wersen von 21,5 Ct/kWh brutto berechnet.

Tabelle 6.2: Zusammenstellung der Investitionskosten (brutto, inkl. 15% NK und 19% MwSt.) und Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur energetischen Optimierung

Maßnahme	Kosten ¹⁾ [€]	Einsparungen [kWh/a]	Einsparungen ²⁾ [€/a]	Amortisation ³⁾ [a]
Ersatz Rücklaufschlammumpen	38.000	26.400	5.700	7
Optimierung Schlammspeicher	0	10.200	2.200	-
Ersatz Rührwerke Hochlastbecken	24.000	9.000	1.900	13

1: inkl. 15% NK und 19% MwSt.; 2: Brutto-Strompreis: 0,215 €/kWh; 3: ohne Berücksichtigung von Reinvestitionen

6.4 Umsetzungsfahrplan

In den vorherigen Kapiteln wurden die Einsparpotenziale und Kosten der einzelnen Maßnahmen aufgezeigt. Basierend auf diesen Ergebnissen und unter Berücksichtigung weiterer Bewertungskriterien, wie Planungsaufwand, Genehmigung sowie weiterer Randbedingungen (z. B. bereits vorliegende Planungen, lokale Gegebenheiten etc.) kann eine Priorisierung bzw. zeitliche Einteilung der Maßnahmen erfolgen.

Die Maßnahmen werden dabei in drei Realisierungsphasen unterteilt:

- ▶ **Kurzfristige Maßnahmen** sind sehr rentabel, haben geringe Investitionen und können aufgrund der technischen und betrieblichen Randbedingungen und den Anforderungen an die Reinigungsqualität schnell realisiert werden.
- ▶ **Mittelfristige Maßnahmen** sind insgesamt wirtschaftlich, sind aber mit entsprechenden Investitionen verknüpft und auf Basis detaillierter Planungen näher zu untersuchen.
- ▶ **Langfristige Maßnahmen** sind an bestimmte Bedingungen wie Effizienzkriterien und Stand- bzw. Nutzungszeiten geknüpft.

6.4.1 Kurzfristige Maßnahmen

Kurzfristige Maßnahmen sind Maßnahmen zur Einsparung von Energie, die fast ohne bzw. mit geringem Mitteleinsatz im laufenden Betrieb umgesetzt werden können. Die betriebliche Durchführung sollte sukzessive durchgeführt und dokumentiert werden.

Auf der Kläranlage Wersen sind folgende Maßnahmen möglich und vom Betrieb auf mögliche Umsetzbarkeit zu prüfen:

- ▶ Vorrangig ist zu prüfen, ob die Laufzeiten des Rührwerks im Schlamm-speicher sowie der Rührwerke in den Hochlastbecken weiter verringert werden können, um so den Energiebedarf weiter zu verringern.
- ▶ Der Trockensubstanzgehalt im biologischen Teil kann auf der KA Wersen aufgrund des zur Verfügung stehenden Belebungsbeckenvolumens verringert werden. Ein unnötig hoher TS-Gehalt führt zu einem erhöhten Sauerstoffbedarf und zu höheren Energiekosten, Abbildung 6.3.

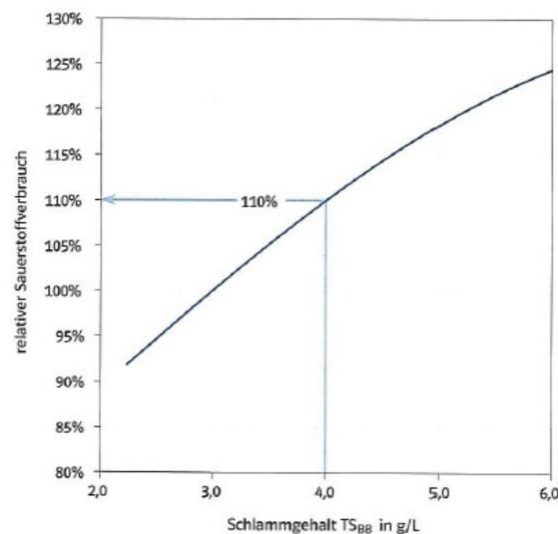


Abbildung 6.3: Einfluss des TS-Gehaltes auf den Sauerstoffverbrauch bei Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation (15°C Abwassertemperatur) nach Baumann, P. et al. (2014)

Es ist erkennbar, dass durch eine Differenz des TS-Gehaltes von 1 g/l (bspw. mit einer TS-Erhöhung von 3 auf 4 g/l) ein Strommehrverbrauch von bis zu 10% entsteht.

Da die Rücklaufschlamm-pumpen auf der KA Wersen aber zurzeit bereits mit nahezu minimaler Leistung betrieben werden, ist diese Maßnahme voraussichtlich erst im Zuge einer Optimierung der Rücklaufschlamm-pumpen sinnvoll möglich.

6.4.2 Mittelfristige Maßnahmen

Zur Reduzierung des Stromverbrauchs auf der Kläranlage Wersen wird im Rahmen der Potenzialanalyse deutlich, dass ein hohes Einsparpotenzial im Austausch der Rücklaufschlamm-pumpen liegt.

Durch den Ersatz einer Rücklaufschlamm-pumpe durch optimal dimensioniertes regelbares Aggregate ist auch eine Verringerung des TS-Gehalts in der Belebung möglich (s. Kapitel 6.4.1).

Durch diese Maßnahme und Investitionen von rd. 38.000 € könnten bis zu 26.400 kWh/a eingespart werden. Die Amortisationszeit dieser Maßnahme liegt gem. Tabelle 6.2 bei ca. 7 Jahren.

6.4.3 Langfristige Maßnahmen

Zu den langfristigen Maßnahmen zählt der Austausch der Rührwerke in den Hochlastbecken gegen energieeffizientere Aggregate.

Mit Investitionen von insgesamt rd. 24.000 € für diese Maßnahmen sind Einsparungen im Energiebezug von lediglich rd. 9.000 kWh/a gegenüber dem derzeitigen Betrieb zu erwarten, woraus sich eine Amortisationszeit von ca. 13 Jahren ergibt.

Auch der Austausch weiterer abgeschriebener Antriebe und Pumpen sollte langfristig geplant und nach Ablauf der Nutzungsdauer umgesetzt werden.

6.5 Zusammenfassung

Durch die aufgezeigten Maßnahmen zur Optimierung der Durchmischung des Schlammspeichers und der Hochlastbecken sowie der Rücklaufschlammumpen können bis zu rd. 46.000 kWh/a Energie eingespart werden, so dass sich ein spezifischer Energieverbrauch von dann 23,8 kWh/(E·a) ergibt.

Die ermittelten Kennwerte zur energetischen Beurteilung im Vergleich zu den ermittelten anlagenspezifischen Idealwerten sind in Tabelle 6.3/Tabelle 8.1 dargestellt.

Tabelle 6.3: Kennwerte zum Energienachweis nach Umsetzung der Maßnahmen

Kennzahlen	Symbol	Einheit	Ist-Wert	Nach Realisierung der Maßnahmen	IDEAL
Spezifischer Gesamtstromverbrauch	e_{ges}	kWh/(E·a)	27,8	23,8	23,1
Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung	e_{Bel}	kWh/(E·a)	9,4	9,4	9,4
spezifische Faulgasproduktion	e_{FG}	l/(E·a)	nicht vorhanden		
	Y_{FG}	l/kg oTR	nicht vorhanden		
Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität	N_{FG}	%	nicht vorhanden		
Eigenversorgungsgrad-Elektrizität	EV_{el}	%	6	7	7
spezifischer externer Wärmebezug	$e_{th,ext}$	%	nicht vorhanden		
CO ₂ -Emission *	-	t/a	163	139	134

* aus Energiebezug mit 537 g CO₂/kWh

Durch den verringerten Energiebezug ist von einer CO₂-Einsparung aus der Stromproduktion von insgesamt rd. 29 t/a auszugehen. Durch die Umsetzung der kurz- und mittelfristigen Maßnahmen ergibt sich eine CO₂-Einsparung von rd. 25 t/a.

In den vorangegangenen Kapiteln wurden ausschließlich Maßnahmen zur Verringerung des aktuellen Stromverbrauchs und damit der Energiekosten beschrieben. Darüber hinaus wird im folgenden Kapitel 7 zusätzlich die Möglichkeit untersucht, durch Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung mit anschließender Verstromung des Faulgases mittels Kraft-Wärme-Kopplung den notwendigen Energiebezug zu verringern und damit zusätzlich Energiekosten zu sparen.

7 Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung

7.1 Energetische Optimierung der Abwasser- und Schlammbehandlung

Die Potentialanalyse einer Abwasserreinigungsanlage zeigt denkbare Optimierungsbereiche durch eventuelle Umsetzungen von Maßnahmen auf, um zur Steigerung der Energieeffizienz sowie des Klimaschutzes beizutragen. An diese Ziele ist vor allem die Reduzierung der Treibhausgasemissionen geknüpft, die nicht nur durch Senkung des elektrischen und thermischen Energieverbrauches realisiert werden kann, sondern auch durch den Einsatz von bzw. durch den Umstieg auf erneuerbare Energieträger, die zur nachhaltigen Strom- und Wärmeerzeugung beitragen können.

In der nachfolgenden Auflistung sind u. a. die allgemein machbaren Einsparmöglichkeiten in Bezug auf die Verringerung des CO₂-Ausstosses der Kläranlage Wersen dargestellt:

- ▶ Reduzierung des Strom- und Wärmeverbrauches
- ▶ Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung und Stromerzeugung aus Faulgas
- ▶ Nutzung klimaneutraler Energieressourcen
 - Photovoltaik
 - Windkraftanlagen
 - Abwasser-Wärme-Nutzung
 - Wasserkraft

Für die Kläranlage Wersen sind mit der aktuellen Verfahrens- und Betriebsweise, wie in den vorherigen Kapitel beschrieben, nur sehr begrenzte Möglichkeiten zur Reduktion des Stromverbrauches gegeben. Die verstärkte Nutzung der Photovoltaik ist bereits weitgehend ausgeschöpft, die weiteren o. g. aufgeführten klimaneutralen Energieressourcen stellen hier auch mittelfristig keine wirtschaftlichen Technologien dar.

Alternativ bietet sich eine Verfahrensumstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung an, mit der sowohl ein Minderverbrauch des Stromverbrauches als auch eine Eigensstromproduktion aus Faulgas erreicht werden könnte.

Durch die anaerobe Faulung sinkt die Menge des zu entsorgenden Klärschlammes. Außerdem verbessern sich die zu entsorgenden Schlammengen durch den weitergehenden Abbau der organischen Substanz im Faulturm sowie aufgrund der verbesserten Entwässerungseigenschaften des ausgefaulten Schlammes.

Weiterhin wird erwartet, dass bei der maschinellen Entwässerung des Faulschlammes zukünftig höhere Feststoffgehalte des zu entsorgenden Faulschlammes (24% anstelle von ca. 21% bei aerober Stabilisierung) erreicht werden. Daraus resultieren geringere Verwertungskosten bei gleichzeitiger Reduzierung von CO₂-Emissionen durch den Straßentransport.

7.2 Allgemeines zur Verfahrensumstellung

Die Kläranlage Wersen wird derzeit nominell als simultan-aerobe Schlammstabilisierungsanlage betrieben. Diese Verfahrenstechnik hat in der Regel den Vorteil einer überschaubaren Ausrüstungstechnik und einer unkomplizierten Betriebsweise in Verbindung mit stabilen und niedrigen Ablaufkonzentrationen.

Nachteile dieser Verfahrenstechnik sind, dass zur Schlammstabilisierung zum einen ein hohes Schlammalter von rund 25 Tagen erforderlich ist, was mit einem großen Belichtungsvolumen und mit einem erhöhten Sauerstoffverbrauch verbunden ist. Der überwiegende Teil der organischen Fracht im Rohabwasser wird in der Belebung unter Energieaufwand oxidiert und steht einer anderweitigen energetischen Nutzung nicht mehr zur Verfügung.

Durch den Betrieb einer Vorklärung und einer Faulung kann das Schlammalter oft auf unter 18 Tage gesenkt werden, was zu einer Einsparung an Belüftungsenergie von rund 4 bis 6% führt. Über die Entnahme an organischen Stoffen durch die Vorklärung reduziert sich der Sauerstoffbedarf in der Belebung nochmals um weitere 15 bis 20%, so dass bei günstigen Randbedingungen von einer Reduzierung der erforderlichen Belüftungsenergie von bis zu 30% auszugehen ist.

Darüber hinaus kann der gewonnene energiereiche Primärschlamm und der Überschussschlamm im Faulbehälter zu einem Teil in Faulgas umgewandelt werden, aus dem wiederum Strom und Wärme gewonnen werden können. Bei einer energetisch optimierten Belebtschlammanlage die in Kombination mit einer Anaerobstufe betrieben wird, kann diese ihren Strombedarf bis zu 70% über die Eigenerzeugung abdecken.

7.2.1 Anaerobe Schlammstabilisierung

Im Gegensatz zur Oxidation von organischen Kohlenstoffverbindungen, die in einem Reaktionsschritt erfolgt, verläuft der anaerobe Abbau dieser Verbindungen bis zum Methan vereinfacht in vier Schritten ab. Abbildung 7.1 zeigt grafisch den Reaktionsablauf des anaeroben Abbaus.

Zunächst müssen in der Hydrolysephase die hochmolekularen, oft ungelösten Substrate durch Exoenzyme in niedermolekulare Bruchstücke überführt werden, aus denen dann in der Acidogenese oder Versäuerungsphase fermentative Bakterien, kurzkettige organische Säuren sowie Alkohole, Kohlendioxid und Wasserstoff bilden.

Von diesen Zwischenprodukten können nur Essigsäure, CO_2 und H_2 direkt von methanogenen Bakterien zu Methan und Kohlendioxid umgesetzt werden. Die anderen organischen Säuren und die Alkohole müssen zunächst von acetogenen Bakterien in der Acetogenese zu Essigsäure umgewandelt werden.

Methanogene Mikroorganismen bilden dann in der Methanogenese aus Essigsäure sowie aus CO_2 und H_2 das Endprodukt Methan. Insgesamt werden über das Zwischenprodukt Essigsäure etwa 60 bis 70% des gesamten umgesetzten Kohlenstoffes von methanogenen Mikroorganismen zu Methan umgesetzt. Der übrige Anteil an Kohlenstoffumsatz resultiert aus der direkten Umsetzung von intermediär gebildetem H_2 und CO_2 zu Methan durch hydrogenotrophe Bakterien.

Das Ineinandergreifen mehrerer Abbauschritte und die Zusammenarbeit verschiedener Bakteriengruppen ist für einen weitergehenden Abbau der organischen Substanzen eine unabdingbare Voraussetzung und somit kennzeichnend für die anaerobe biologische Stabilisierung. Generell kann der Abbau eines komplexen organischen Stoffes zu Methan nur so schnell erfolgen, wie dies für den geschwindigkeitslimitierenden Schritt möglich ist. Welcher Schritt das ist, hängt in erster Linie von der Zusammensetzung des Ausgangssubstrats ab. Für die Faulung von Klärschlamm ist es oftmals der erste Umbauschritt, d. h. die Hydrolyse.

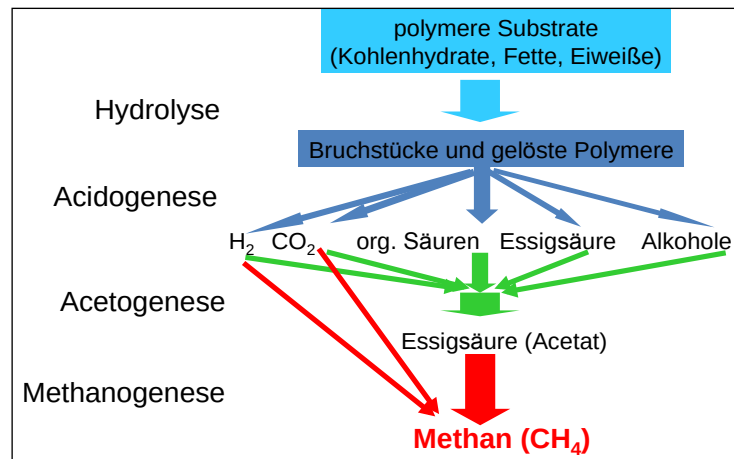


Abbildung 7.1: Vereinfachter Reaktionsablauf des anaeroben Abbaus organischer Substanzen

Zum Betrieb einer Klärschlammfaulung sind grundsätzlich drei unterschiedliche Temperaturbereiche möglich, die je nach Literaturangabe leicht voneinander abweichen:

psychrophil:	5 bis 20 °C
mesophil:	30 bis 40 °C
thermophil:	50 bis 60 °C

Der psychrophile Bereich oder die Kaltfaulung spielt für die technische Schlammfaulung keine Rolle. Die hydraulische Verweilzeit sollte bei dieser Faulraumtemperatur über 90 Tagen liegen.

Der mesophile Temperaturbereich ist der gängige für die Klärschlammfaulung. Die hydraulische Verweilzeit für kleinere Anlagen liegt dabei zwischen 20 und 25 Tagen. Der Gasertrag bei einer mesophilen Klärschlammfaulung kann mit 400 bis 500 NI/kg oTR_{zu-}geführt bzw. mit rund 900 NI/kg oTR_{abgebaut} veranschlagt werden.

Der thermophile Temperaturbereich bietet die Vorteile der simultanen Klärschlammhygienisierung und der geringen erforderlichen hydraulischen Verweilzeit von ca. 10 Tagen. Nachteile zeigen sich beispielsweise im erhöhten Wärmebedarf zur Einhaltung der erforderlichen Reaktortemperatur. Der Gasertrag sowie der Stabilisierungsgrad sind vergleichbar mit der mesophilen Faulung. Es kann jedoch vermutet werden, dass sich die Entwässerungseigenschaften verschlechtern.

7.2.2 Bauformen für Anlagen zur anaeroben Klärschlammbehandlung

Konventionelle Bauformen

Die auf Kläranlagen gängigen eingesetzten Faulbehälter weisen häufig eine Eiform oder eine Kegel-Zylinder-Kegel-Form (b, c) auf, Abbildung 7.2. Diese Bauformen haben den Vorteil, dass der Reaktor im oberen Bereich einen geringeren Durchmesser hat, wodurch die Schwimmdecke konzentriert, zerstört oder entnommen werden kann. Zudem kann die Verteilung des umgewälzten Schlammes über die gesamte Faulraumoberfläche gleichmäßig erfolgen.

Die sich zur Sohle verjüngenden, kegelförmigen Behälterwände ermöglichen es, mit zentral installierten Mischaggregaten den Schlamm konzentriert abzuziehen und in den oberen Bereich des Faulbehälters zu fördern. Somit wird die für einen maximalen Gasertrag erforderliche vollständige Durchmischung des Reaktorinhalts gewährleistet. Zudem werden Ablagerungen – insbesondere in den Randbereichen – wirkungsvoll vermieden. Die erforderliche Anschlussleistung für die Umwälzaggregate liegt zwischen 4 und 6 W/m³.

Die Beheizung des Rohschlammes erfolgt in der Regel über externe Wärmetauschanlagen. In Verbindung mit der vollständigen Durchmischung wird so eine nahezu gleichmäßige Temperatur des Reaktorinhalts gewährleistet.

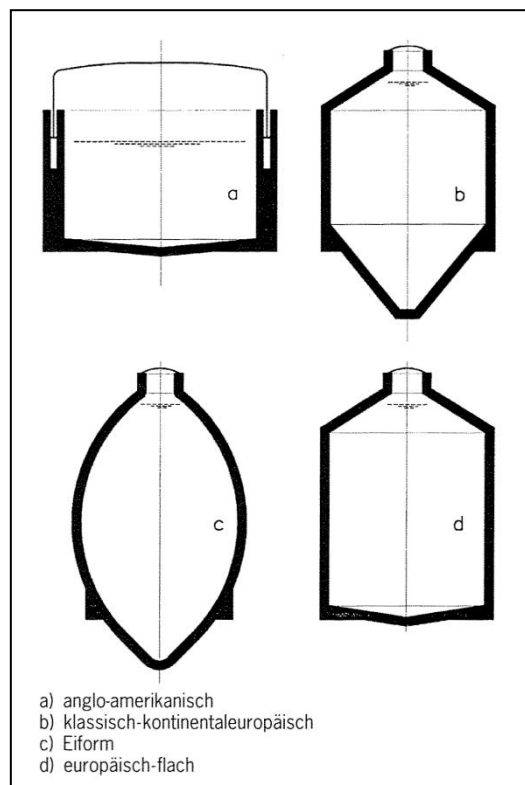


Abbildung 7.2: Typische Faulbehälterformen [ATV, 1996]

Obwohl diese Bauformen aus hydraulischer und betrieblicher Sicht vorteilhaft sind, erfordern sie aufgrund der komplexen Anforderungen an Betonschalung und Grundbau hohe Investitionen, die insbesondere für kleine und mittlere Faulbehältergrößen wirtschaftlich kaum darzustellen sind.

Zur Vermeidung der aufwändigen Bautechnik haben sich daher vor allem in Nordamerika zylindrische Faulbehälterformen mit flacher Sohle im Bereich der landwirtschaftlichen Biogasproduktion etabliert. Diese Reaktoren können z. B. auch über das Einpressen von Faulgas mittels mehrerer Lanzen umgewälzt werden. Der erforderliche Umwälzdruck wird über Kompressoren aufgebaut (Abbildung 7.3). Bei diesem Umwälzsystem muss mit einer Anschlussleistung zwischen 8 und 10 W/m³ gerechnet werden.

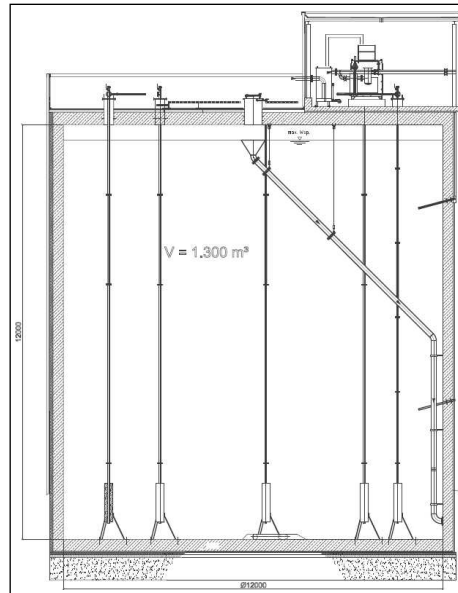


Abbildung 7.3: Schnitt durch einen zylindrischen Faulbehälter mit Faulgaseinpressung zur Umwälzung

Die Gasspeicherung erfolgt wie bei der konventionellen Schlammfaulung in externen Gasbehältern, die in der Regel im Niederdrucksystem betrieben werden. Eine nennenswerte Gasspeicherung innerhalb der Faulbehälter ist aufgrund der starren Behälterbauweise und der damit eingeschränkten Flexibilität gegenüber Druckschwankungen nicht möglich.

Vereinfachte Bauformen zur anaeroben Klärschlammbehandlung

Landwirtschaftliche Biogasanlagen zur Vergärung von Gülle oder nachwachsenden Rohstoffen wurden durch die ursprünglich attraktiven Stromeinspeisevergütungen gem. EEG in den 2000er-Jahren verstärkt errichtet. Aufgrund der hohen Stückzahl dieser Anlagen und der vergleichsweise einfachen Bauart wurden diese von einer Vielzahl von Anbietern zu günstigen Kosten zunehmend standardisiert angeboten.

Diese Anlagen unterscheiden sich im Vergleich zu konventionellen Bauformen auf Kläranlagen im Wesentlichen von der Art der Durchmischung, dem Eintrag der Wärme sowie der Konstruktion des Reaktors.

Biogasanlagen mit integriertem Biogasspeicher bilden die Mehrzahl der Anlagen. Hierbei kann auf einen externen Gasspeicher gänzlich verzichtet werden, so dass die Gasverwertungsanlage direkt aus dem Reaktor beschickt werden kann.

Bei diesem Reaktortyp handelt es sich grundsätzlich um isolierte, runde Behälter mit flacher Sohle aus Beton oder Stahl. Das Dach dieses Reaktors bildet eine elastische

Folie, die an einer Stahl- oder Holzstützkonstruktion befestigt ist. Ebenfalls finden sich Systeme auf dem Markt, bei denen anstatt der Außenfolie ein Metaldach eingesetzt wird. Abbildung 7.4 bis Abbildung 7.8 zeigen Beispiele für den Reaktortypen.

Als Dachkonstruktion sind drei unterschiedliche Verfahren vorherrschend:

Einfache Folienabdeckung: Der Behälter wird mit einer gasdichten, meist vorgespannten Folie abgedeckt. Der Druck im Gasraum stellt sich je nach Entnahme und Produktion von Biogas ein. Da insbesondere BHKW's mit einem konstanten Vordruck betrieben werden sollten, eignen sich diese Dachsysteme weniger, wenn auf eine separate Druckreglungsanlage verzichtet werden soll.

Doppelmembranen: Unter der gasdichten Außenfolie wird eine weitere gasdichte Folie abgehängt. Diese schließt den dazwischen liegenden Raum mit Umgebungsdruck ein. Der Druck im Faulgasraum ist somit weitgehend unabhängig vom Gasvolumen im Reaktor.



Abbildung 7.4: Edelstahlsegmentbehälter mit Doppelmembrandach, nicht isoliert, Fa Weltec

Tragluftdach: Unter der gasdichten Außenfolie wird eine weitere gasdichte Folie abgehängt. Der Raum zwischen den beiden Folien wird durch ein Gebläse mit einem Überdruck beaufschlagt. In der Folge steigt der Gasvordruck im Faulraum, der über die Gebläseleistung steuerbar ist.

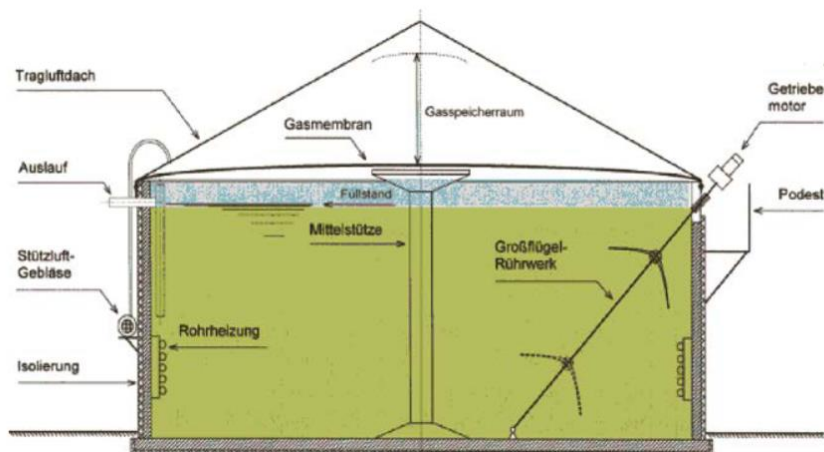


Abbildung 7.5: Tragluftdachfermenter System Lütke, aus Leitfaden Bio

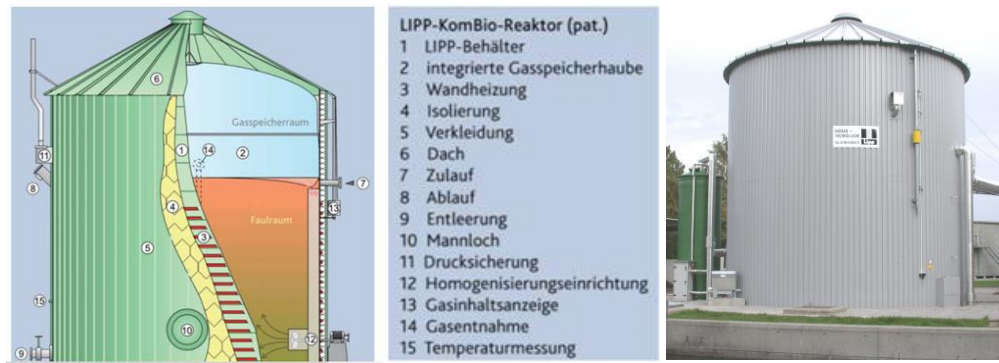


Abbildung 7.6: Wickelstahl-Faulbehälter mit integriertem Gasspeicher unter dem festen Außendach, System Fa. Lipp

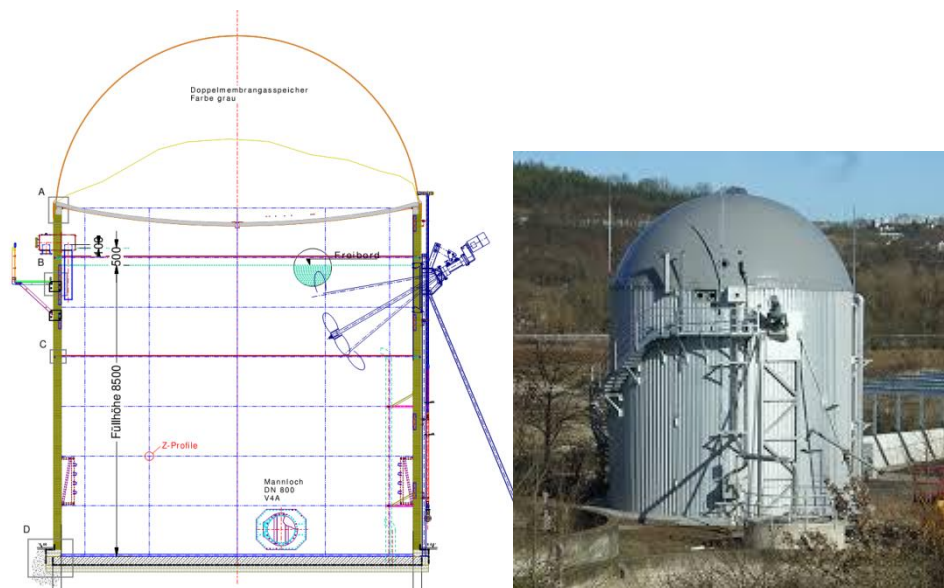


Abbildung 7.7: Biogasfermenter mit Foliengasspeicher, System Harvestore mit Stabührwerk

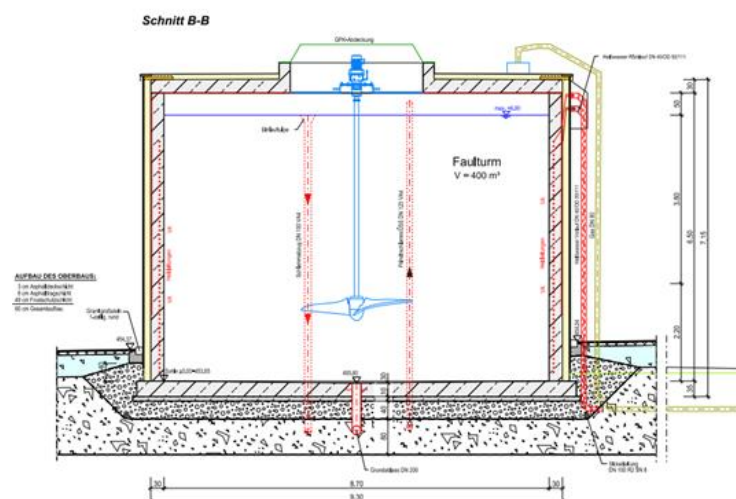


Abbildung 7.8: Biogasanlagensystem aus Ortbeton, System ZWT mit Vertikalrührwerk

Grundsätzlich sind die Behälter mit einer Wärmedämmung mit daran anschließender Außenverkleidung versehen.

Die Beheizung kleinerer Reaktoren erfolgt in der Regel mit innenliegenden Wärmeübertragern. Diese werden bei Betonbehältern direkt als Leitung an der Innenwand angebracht oder bei Stahlbehältern flächig ausgeführt, indem die Wärmeübertragungsleitungen die Stahlaußenwand umschließen. Im Einzelfall kann die Erwärmung auch über Wand- oder Bodenheizungen als sog. Betonkernaktivierung erfolgen.

Die separate, vom Faulbehälter konstruktiv gelöste Gasspeicherung erfolgt in der Regel ebenso drucklos oder im Niederdruckbereich in Membranspeichern aus Kunststoff, die wiederum in Behältern aus Metall oder Ortbeton integriert oder als Doppelmembransystem aufgebaut sind, Abbildung 7.9.

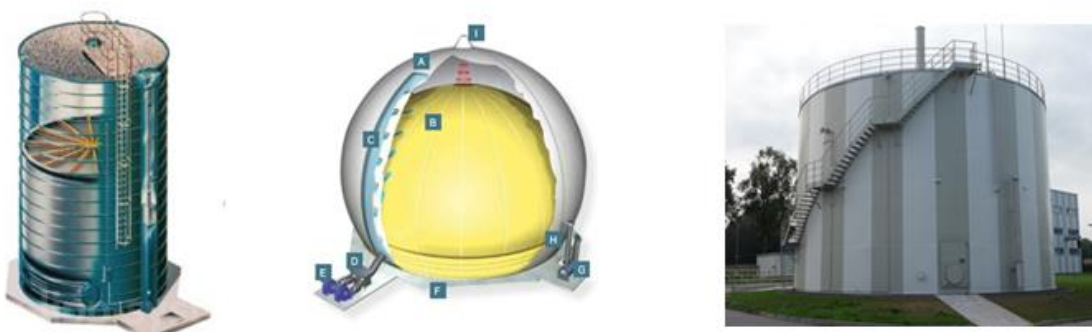


Abbildung 7.9: Beispiele von Gasspeichern in verschiedenen Ausführungen, Firmenangaben Lipp, Sattler, Eisenbau Heilbronn

Die Durchmischung von Faulbehältern mit flacher Sohle kann durch die typische, für die Schlammbehandlung auf Kläranlagen verfügbaren Technologien und Bauarten erfolgen. Nachfolgende Abbildung 7.10 bis Abbildung 7.12 zeigen typische Ausführungsbeispiele für die Umwälzung kleinerer Faulbehälter.



Abbildung 7.10: Tauchmotorrührwerk und Langachs-rührwerk, Bay. LfL, 2014



Abbildung 7.11: Stabrührwerk, Bay. LfL. 2014



Abbildung 7.12: Vertikalrührwerk, Fabr. Stamo, Werksphoto

Als mögliche Nachteile für den Einsatz dieser einfacheren Reaktoren als Faulbehälter auf Kläranlagen galten:

- ▶ Schwierige Durchmischung aufgrund der hydraulisch ungünstigen eher flachen Siloform des Reaktors mit den Folgen eines spezifisch geringeren Gasertrages sowie der Bildung von Toträumen.
- ▶ Unzureichende Wärmeübertragung durch die innenliegenden Übertragungsflächen/-leitungen mit den Folgen einer vollständigen oder lokalen Untertemperatur des Reaktorinhaltes sowie einem stetig abnehmenden Wärmeübergang aufgrund von Verkrustungen der Übertragungsflächen/-leitungen.
- ▶ Erhöhte Methanemissionen und Gasverluste aufgrund von Gasdiffusion über die Folie und durch Undichtigkeiten an den Folienanschlüssen am Reaktor
- ▶ Geringere Nutzungsdauer und damit kürzere Abschreibungszeiträume
- ▶ Höherer Überwachungs- Reparatur- und Instandhaltungsaufwand für das Betriebspersonal durch die anfälligere Bau- und Maschinenteknik

Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass diese Reaktortypen trotz der ursprünglich angenommenen Nachteile nach Modifikationen wie beispielsweise

- ▶ ggf. der Ausrüstung mit einem externen Wärmeübertrager,
- ▶ einer hydraulisch optimierten Umwälzung und
- ▶ einem Volumenaufschlag für die Berücksichtigung von Toträumen

für einen Einsatz auf einer kommunalen Kläranlage mit geringer Ausbaugröße als Faulbehälter inzwischen zahl- und erfolgreich eingesetzt werden.

7.2.3 Aufbereitung von Faulgas

Vor einer Verwertung muss das Faulgas in der Regel aufbereitet werden. Gemäß Merkblatt der DWA-M 361 sind im Allgemeinen folgende Aufbereitungstechniken erforderlich:

- ▶ **Entfeuchtung** zur Abscheidung von korrosiv wirkendem Kondensat. Dies kann durch eine Gaskühlung oder durch Verfahren der Adsorption erreicht werden
- ▶ **Grob- und Feinfilter**, die unmittelbar nach der Gaserzeugung installiert werden zur Reduzierung von Schwebstoffen und Feuchtigkeitströpfchen im Gas
- ▶ **Verdichtung** zur Druckerhöhung durch Seitenkanalverdichter, wobei gleichzeitig eine relative Entfeuchtung erreicht wird
- ▶ **Entschwefelung** durch den Einsatz biologischer Verfahren wie Rieselbettreaktoren oder Tropfkörper, durch Lufteindüsung in den Faulbehälter oder durch chemische Verfahren wie z.B. Eisenchlorid-Dosierung. Für größerer Anlagen kommen noch die Aktivkohle- oder Zinkoxidadsorption oder die Wäsche über Lauge in Frage.
- ▶ **Siloxan-Entfernung** erfolgt i. d. R. über Aktivkohleadsorption mit Kompaktanlagen

7.2.4 Verwertung von Faulgas

Grundsätzlich stehen für die Faulgasverwertung die folgenden Verfahren mit unterschiedlichen Leistungsdaten und Einsatzbedingungen auf dem Markt zur Verfügung:

- ▶ Verbrennungsmotoren – Block-Heizkraft-Werke (BHKW)
 - Gas-Otto-Motoren
 - Gas-Diesel-Motoren (Zündstrahlmotoren)
- ▶ ORC – Organic Rankine Cycle
- ▶ Stirlingmotoren
- ▶ Mikrogasturbinen
- ▶ Brennstoffzellen

Eine Zusammenfassung der Leistungsdaten und der möglichen Einsatzgebiete der unterschiedlichen Verwertungsaggregate zeigt Tabelle 7.1.

Tabelle 7.1: Leistungsdaten und Einsatzgebiete von Aggregaten zur Faulgasverwertung

Verfahren zur Faulgasverwertung	elektr. Leistung [kW _{el.}]	elektr. Wirkungsgrad [-]	Einsatzgebiet
Gas-Otto-Motor	15 bis > 1.000	≤ 0,45	Kläranlagen jeder Größe
Zündstrahlmotor	40 bis 265	≤ 0,45	kleine bis mittlere Kläranlagen
ORC-Prozess inkl. BHKW	> 1.000	≤ 0,45	große Kläranlagen
Stirlingmotor	< 10	≤ 0,28	bisher kein verbreiteter Einsatz
Mikrogasturbine	30 bis 200	≤ 0,40	kleine bis mittlere Kläranlagen
Brennstoffzelle	ab 245 bis N.N.	≤ 0,55	noch Experimentaltechnologie

Für den Einsatz auf der Kläranlage Wersen kommen aufgrund der zu erwartenden Größenordnung des Aggregates auch aus wirtschaftlichen Gründen vordringlich Gas-Otto-Motoren oder Mikrogasturbinen in Betracht, Abbildung 7.13.


Abbildung 7.13: BHKW und Mikrogasturbine, Firmenangaben Höfner und Capestone

7.3 Maßnahmen zur Verfahrensumstellung auf der KA Wersen

Für die Umsetzung der Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung sind auf der Kläranlage Wersen folgende Maßnahmen zu realisieren:

- ▶ Bau eines Zwischenhebewerkes im Ablauf des Sandfanges für den Trockenwetterzufluss zur Beschickung der Vorklärung,
- ▶ Bau einer Anlage zur Abtrennung des hochenergiereichen Primärschlammes mittels einer Siebanlage mit einer Maschenweite von 0,3 mm,
- ▶ Anpassung der vorh. EMSR-Technik zur Stickstoffelimination an die veränderte Zulaufsituation sowie die zunehmende Schlammwasserbelastung,
- ▶ Nachrüstung einer Anlage zur maschinellen Eindickung der Rohschlämme der KA Wersen,
- ▶ Bau einer Faulungsanlage zur anaeroben Stabilisierung der Rohschlämme der Kläranlage Wersen sowie des Überschussschlammes der Kläranlage Lotte,

- ▶ Bau einer Faulgasnutzungsanlage (BHKW oder Mikrogasturbine) zur Eigenerzeugung von Strom und Wärme aus regenerativer Energie,
- ▶ Realisierung der Eigenwärmeversorgung der Kläranlage mit Beheizung des Faulbehälters,
- ▶ Bau verbindender Leitungen von der Abwassersiebung zur maschinellen Schlammeindickung, zur Faulung und zum Schlamm Speicher mit entsprechenden Schächten und Pumpen sowie
- ▶ Ergänzung und Anpassung der EMSR-Technik.

7.4 Verfahrenstechnische Beschreibung zur Verfahrensumstellung

Als Alternative zu einem konventionellen Vorklärbecken wird eine Primärschlammsiebung mit einem Maschensieb vorgesehen. Die gesamte Maschinen- und Verfahrenstechnik soll in einem Container installiert werden.

Zu erwarten ist eine Entnahme der partikulären Stoffe im Rohabwasser (Annahme 696 kg/d) von ca. 50%. Damit verbunden ist eine erwartete Verringerung der CSB-Frachten im vorgeklärten Abwasser von 33% und einer moderaten Elimination der P_{ges} -Frachten von 10%. Der Sauerstoffverbrauch in der Belebung reduziert sich durch die Primärschlammgewinnung gem. DWA A-131 um rd. 17%.

Der abgesiebte Primärschlamm fällt typischerweise mit Feststoffkonzentrationen von 0,5 bis 1% an. Dieser Schlamm mit einer Menge von ca. 45 m³/d wird von einem Vorlageschacht (ca. 15 m³) zur neuen maschinellen Eindickanlage gefördert, in der auch der Rücklaufschlamm der KA Wersen (ca. 38 m³/d) auf einen Feststoffgehalt von 4 bis 5% aufkonzentriert wird.

Der eingedickte Rohschlamm wird gemeinsam mit dem angelieferten Überschussschlamm der KA Lotte aus einem Vorlageschacht dem neu zu errichtenden Faulbehälter zugeführt. Insgesamt ergibt sich eine Rohschlammmenge von ca. 22 m³/d. Aus der angesetzten Faulzeit von 30 Tagen errechnet sich somit ein Nutzvolumen des Faulbehälters von 660 m³. Es ist ein druckloser Gasspeicher mit einem Volumen von ca. 200 m³ vorzuhalten.

Durch die anaerobe Stabilisierung entsteht eine Faulgasmenge von ca. 293 m³/d (vgl. Tabelle 7.3), die mit einem BHKW und einer Leistung von ca. 50 kW_{el} energetisch verwertet wird. Durchschnittlich kann eine Stromproduktion von ca. 570 kWh/d bzw. eine Erzeugung nutzbarer Wärme von rd. 950 kWh/d erwartet werden. Diese ist in der Regel für die Erwärmung der Rohschlämme (max. 720 kWh/d bei einer Temperaturdifferenz von 28 K) sowie die Transmissionsverluste im Winter ausreichend. Bei höheren Außentemperaturen ist ggf. eine Kühleinrichtung zu betreiben.

Mit der Faulgaserzeugung ist eine Reduktion der Feststoffe gegenüber dem Ist-Zustand um 19% verbunden. Der anfallende Faulschlamm wird mit der vorhandenen Schneckenpresse entwässert. Für den Normalbetrieb der Anlage kann der Betrieb ohne reguläre Nutzung des Schlamm Speichers erfolgen, da der Faulschlamm direkt zu entwäs-

sern ist. Der hohe Energiebedarf für die Durchmischung kann damit weitestgehend entfallen.

In der nachfolgenden Abbildung 7.14 ist der konzipierte Verfahrensablauf der Kläranlage Wersen mit einer Faulungsanlage schematisch dargestellt.

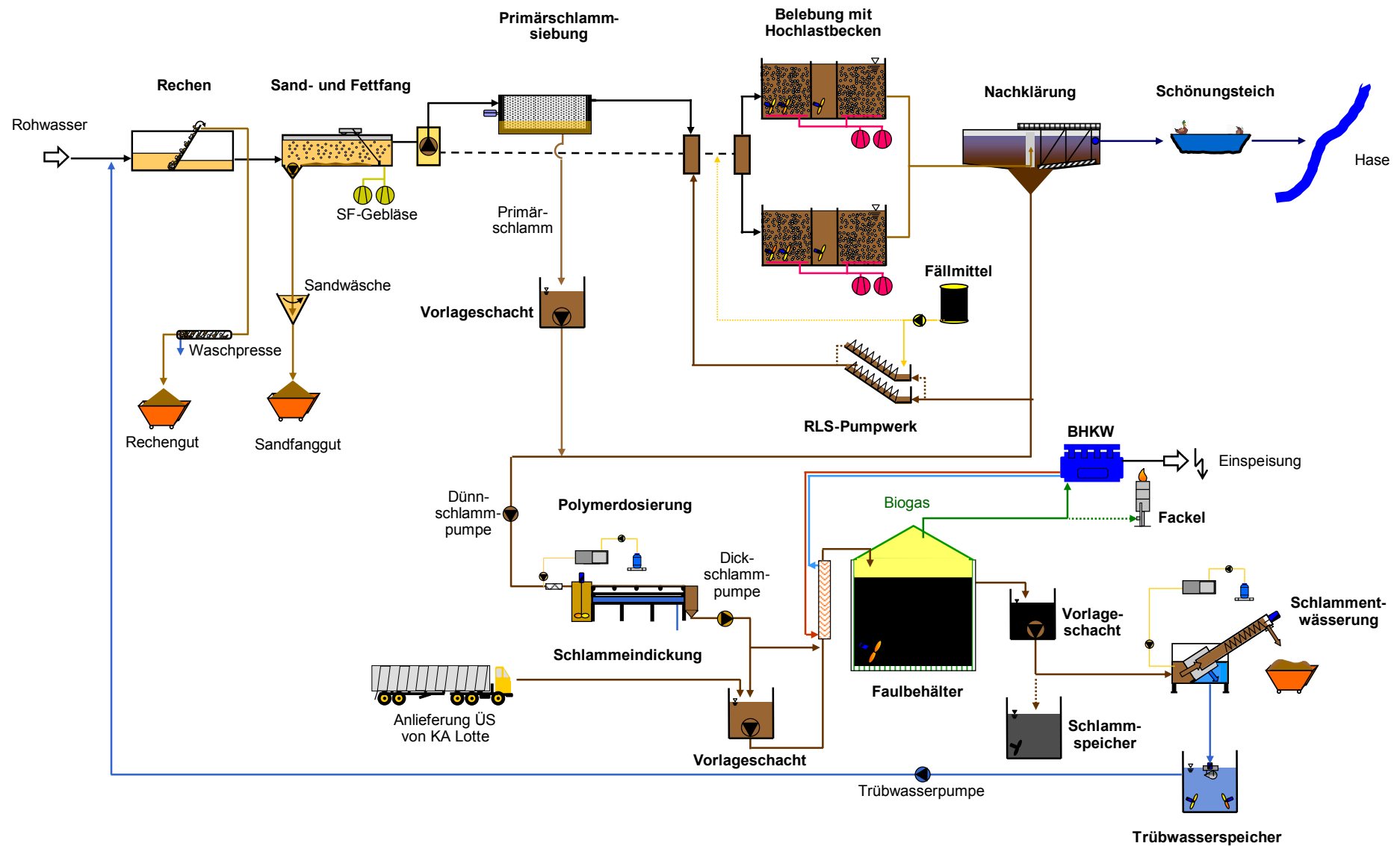


Abbildung 7.14: Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Wersen nach Umstellung auf getrennte anaerobe Stabilisierung

7.5 Bauliche Maßnahmen und Investitionskosten

7.5.1 Bauwerksanordnungen

Auf dem Kläranlagengelände stehen nur äußerst begrenzte Erweiterungsflächen zur Verfügung.

Die neuen Anlagenteile werden daher bevorzugt in paralleler Aufstellung zur Autobahn konzipiert. Hier erfolgte keine Prüfung baurechtlicher Anforderungen und zulässiger Abstände bzw. erforderlicher Freiräume oder –flächen für Einrichtungen dieser Art.

Eine in einem Container vorinstallierte Primärschlammsiebung könnte süd-östlich bzw. parallel zum Sandfang aufgestellt werden.

Eine neue maschinelle Schlammeindickung fände noch Platz im vorhandenen Gebäude der jetzigen Schlammmentwässerung.

Für die Erstellung der Faulanlage mit den Einrichtungen zur Gasaufbereitung und -verwertung gem. Konzeptskizze (Abbildung 7.15) wäre ein Schlamm lagerplatz aufzulassen.

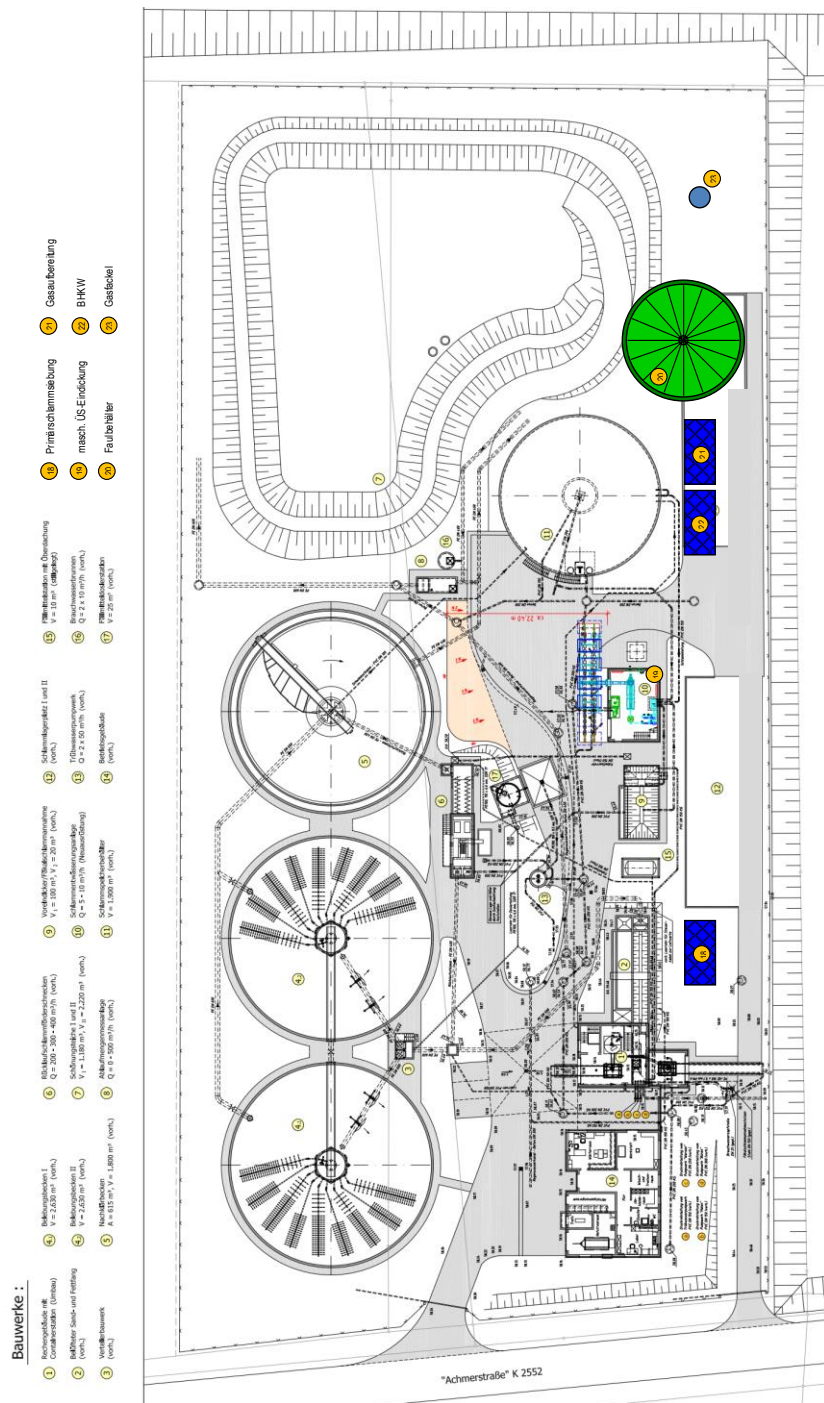


Abbildung 7.15: Lageplanskizze der Kläranlage Wersen mit Faulung

7.5.2 Kostenschätzung der Verfahrensumstellung

Die Investitionskosten für die konzipierten Verfahrensmifikationen der Kläranlage Wersen werden nachfolgend auf Basis aktueller Ausschreibungsergebnisse und eingeholter Richtpreise vergleichbarer Projekte abgeschätzt, Tabelle 7.2.

Örtliche Baugrundverhältnisse sind nicht berücksichtigt. Umfangreiche Tiefbaumaßnahmen sind, abgesehen zum Bau von Schächten und Leitungen, jedoch nicht erforderlich.

Tabelle 7.2: Investitionskostenschätzung für die Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung

Gewerk	Anzahl	Einheit	EP	Bautechnik	Ausrüstung	Gewerk	Anzahl	Einheit	EP	Bautechnik	Ausrüstung
Pumpenschacht hinter Sandfang				49.500 €	22.000 €	Anbindung MÜSE an Faulbehälter				16.000 €	8.000 €
Erdarbeiten	1	psch	5.000 €	5.000 €		Rohrleitung DN 150	50	m	250 €	12.500 €	
Pumpenschacht	1	Stk	20.000 €	20.000 €		Formstücke	1	psch	3.500 €	3.500 €	
Anschlüsse Rohrleitungen	2	Stk	2.500 €	5.000 €		Armaturen	1	psch	8.000 €		8.000 €
Pumpe zur Vorklärung	2	Stk	7.000 €		14.000 €						
Rohrleitung DN 150/250	30	m	250 €	7.500 €		Faulbehälter inkl. Gasspeicher				215.000 €	140.000 €
Formstücke/Schächte	1	psch	12.000 €	12.000 €		Umbau/Abriss Betonlager	1	psch	35.000 €	35.000 €	
Armaturen	1	psch	8.000 €		8.000 €	Fundament Faulbehälter	1	psch	40.000 €	40.000 €	
						Faulbehälter baulicher Teil	1	psch	140.000 €	140.000 €	
Vorklärung				65.000 €	123.500 €	Faulbehälter Ausrüstungstechnik	1	Stk	140.000 €		140.000 €
Trommelsieb	1	Stk	80.000 €		80.000 €	Pumpwerk für Faulschlamm				28.000 €	31.000 €
Spülwasseraufbereitung	1	Stk	5.500 €		5.500 €	Erdarbeiten	1	psch	7.500 €	7.500 €	
Spritzdüsenleiste	1	Stk	4.000 €		4.000 €	Pumpwerk	1	Stk	25.000 €		25.000 €
Düsenreinigung	1	Stk	6.000 €		6.000 €	Faulschlammumpen	2	Stk	5.000 €	10.000 €	
Hochdruckreinigung	1	Stk	14.000 €		14.000 €	Rohrleitung DN 100	50	m	150 €	7.500 €	
Niveaumessung	2	Stk	1.000 €		2.000 €	Formstücke	1	psch	3.000 €	3.000 €	
Schalt- und Steueranlage	1	Stk	12.000 €		12.000 €	Armaturen	1	psch	6.000 €		6.000 €
Lieferung und Montage	1	psch	25.000 €	25.000 €							
Vorlageschacht 10 m³	1	psch	25.000 €	25.000 €		Anbindung Pumpwerk Faulschlamm an Speicher und Entwässerung				23.000 €	7.000 €
Einhausung Container	1	psch	15.000 €	15.000 €		Rohrleitung DN 100	120	m	150 €	18.000 €	
						Formstücke	1	psch	5.000 €	5.000 €	
Primärschlamm zur MÜSE				29.000 €	9.000 €	Armaturen	1	psch	7.000 €		7.000 €
Primärschlammpumpe	2	Stk	4.500 €		9.000 €						
Rohrleitungen DN 125	100	m	170 €	17.000 €		Gasaufbereitung				85.000 €	37.000 €
Formstücke	1	psch	5.000 €	5.000 €		Kondensatentwässerungsschacht	1	Stk	15.000 €	15.000 €	
Armaturen	1	psch	7.000 €	7.000 €		Kiesfilter	1	Stk	10.000 €	10.000 €	
						Feinfilter	1	Stk	15.000 €	15.000 €	
Schlammwindung (MÜSE)				0 €	128.600 €	Manometer 0 - 60 mbar	1	Stk	1.500 €	1.500 €	
Dünnschlammpumpe	1	Stk	3.500 €		3.500 €	Gasmengenmessung	1	Stk	9.000 €		9.000 €
MID DN 125	1	Stk	1.900 €		1.900 €	Gasfackel	1	Stk	18.000 €	18.000 €	
Impf und Mischeinrichtung DN 125	1	Stk	2.500 €		2.500 €	Gasverdichter	1	Stk	8.000 €		8.000 €
Eindicker	1	Stk	45.000 €		45.000 €	Gasaufbereitungsanlage	1	Stk	20.000 €		20.000 €
Flockungshilfsmittelaufbereitungsstation	1	Stk	12.000 €		12.000 €	Container zur Einhausung	1	Stk	10.500 €	10.500 €	
Fockungshilfsmittelkonzentratpumpe	1	Stk	1.000 €		1.000 €	Verbindungsleitungen	1	psch	15.000 €	15.000 €	
Flockungshilfsmitteldosierpumpe	1	Stk	1.500 €		1.500 €						
MID DN 25	1	Stk	1.500 €		1.500 €	Eigenstromversorgungsanlage				47.000 €	95.500 €
Dickschlammpumpe	1	Stk	4.200 €		4.200 €	BHKW	1	Stk	65.000 €		65.000 €
Verbindungsrohrleitungen	1	psch	9.500 €		9.500 €	Tischkühler	1	Stk	12.000 €		12.000 €
Schalt und Steueranlage	1	Stk	30.000 €		30.000 €	Abgas, Heizkreisläufe, Montagen	1	Stk	15.000 €		15.000 €
Auffangwanne für zwei IBC	1	Stk	3.500 €		3.500 €	Hydraulische Einbindung	1	psch	12.000 €	12.000 €	
Analytik Schlammwindung	1	psch	7.500 €		7.500 €	Verbindungsleitungen	1	psch	10.000 €	10.000 €	
Be und Entlüftung	1	psch	5.000 €		5.000 €	Gaswarnanlage	1	Stk	3.500 €		3.500 €
						Container zur Einhausung	1	Stk	25.000 €	25.000 €	
Anbindung ÜS Pumpe an MÜSE				12.500 €	10.500 €	Brauchwasseranlage				18.000 €	0 €
Dünnschlammpumpe	1	Stk	3.500 €		3.500 €	Erweiterung Brauchwassernetz DN 80	150	m	120 €	18.000 €	
Rohrleitungen DN 100	60	m	150 €	9.000 €							
Formstücke	1	psch	3.500 €	3.500 €		E-Technik				0 €	150.000 €
Armaturen	1	psch	7.000 €		7.000 €	Anpassungen E-Technik, Messtechnik, Kabelschächte, Leerrohre, etc.	1	psch	150.000 €		150.000 €
						Oberflächenarbeiten und Sonstiges				65.000 €	25.000 €
						Oberflächenarbeiten	1	psch	40.000 €	40.000 €	
						Sonstiges		psch	50.000 €	25.000 €	25.000 €
						Baustelleneinrichtung	1	psch		65.000 €	35.000 €
						Summe Bauwerke				718.000 €	822.100 €
						Nebenkosten	20%				308.000 €
						MwSt.	19%				351.000 €
						Summe brutto					2.199.100 €

7.6 Auswirkungen auf die Energie- und Schlammbilanzen

Unter der Annahme, dass sich der Energie- und Hilfsmittelverbrauch für die anderen Anlagenteile der Kläranlage Wersen nicht ändern, ergeben sich zwischen dem Ist-Zustand mit aerober Schlammstabilisierung und einer Verfahrensumstellung auf anaerobe Schlammfäulung folgende Unterschiede bei den Energie- und Schlammbilanzen, Tabelle 7.3.

Tabelle 7.3: Auswirkungen der Verfahrensumstellung auf die Energie- und Schlammbilanzen

		Ist-Zustand mit aerober Stabilisierung *	mit Fäulung
BB-Volumen	m³	5.100	5.100
Primärschlamm, Wersen ¹	kg/d	-	348
Überschussschlamm, Wersen ²	kg/d	415	300
Überschussschlamm, Lotte ²	kg/d	235	235
Summe Rohschlamm	kg/d	650	883
stabilisierter Schlamm	kg/d	650	524 ³
Gasproduktion ³	m³/d		293
Stromproduktion ⁴	kWh/d	-	572
Beschickung Primärschlammsiebung ⁵	kWh/d	-	22
Energiebedarf Primärschlammsiebung ⁶	kWh/d	-	24
Strombedarf Umwälzung Faulbehälter ⁷	kWh/d	-	63
Strombedarf Umwälzung Schlamm Speicher	kWh/d	169	15
Strombedarf Gasverdichter, Sonstiges ⁸	kWh/d	-	36
Energiebedarf nur Belüftung ⁹	kWh/d	298	247
Energiebedarf Eindickung ¹⁰	kWh/d	-	42
Energiebedarf Entwässerung ¹¹	kWh/d	60	48
Summe Energieverbrauch Anlagenteile	kWh/d	527	497
Differenz Energieverbrauch	kWh/d	30	
Einsparung Strombezug	kWh/d	602 *	
	kWh/a	219.730 *	
Einsparung CO₂-Äquivalente ¹²			
aus Einsparung Strombezug	t/a	118 *	

*: ohne Berücksichtigung der Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Bestandsanlage

¹: ca. 60 g abf. Stoffe/(E·d), 50% Elimination, oTR im Primärschlamm 80%; ²: oTR im ÜS 70%,

³: oTR-Abbau Primärschlamm 75%, 900 l Gas/kg oTR_{abgebaut}, oTR-Abbau ÜS 40%, 700 l Gas/kg oTR_{abgebaut},

⁴: el. Wirkungsgrad 31%, Faulgas 6,3 kWh/m³; ⁵: 1.240 m³/d, 2 m Förderhöhe, 9 Wh/(m³·m); ⁶: 1 kW; ⁷: 4 W/m³,

⁸: 1,5 kW; ⁹: 4,1 kg/kWh, ¹⁰: 0,5 kW/m³, ¹¹: aus Differenz der Schlammengen, ¹²: 537 g CO₂/kWh

Im Vergleich zur simultan-aeroben Schlammstabilisierung ergibt sich für die aktuelle mittlere Belastung ein um rd. 600 kWh/d niedrigerer Strombezug.

Der einwohnerspezifische Stromverbrauch nach Verfahrensumstellung sinkt moderat um ca. 11.000 kWh/d und betrüge 26,8 kWh/(E·a). Der Strombezug aus dem öffentlichen Versorgungsnetz sinkt aber signifikant um rd. 19 kWh/(E·a).

Es errechnet sich so eine CO₂-Einsparung aus dem geringeren Strombezug von 118 t/a zugunsten der Verfahrensumstellung auf eine anaerobe Schlammstabilisierung.

Gegenüber dem derzeitigen Energiebezug von 303.680 kWh/a bzw. CO₂-Emissionen von rd. 163 t/a entspricht dies einer Einsparung von ca. 72% auf nur noch 45 t CO₂-Emissionen bei Verfahrensumstellung auf anaerobe Schlammfäulung.

Die Auswirkung der Umstellung auf die Betriebskosten sind in Tabelle 7.4 wiedergegeben.

Tabelle 7.4: Auflistung betrieblicher Einsparungen, brutto

	Basis	Ansatz	Summen in €/a
Stromkostenverringerung	219.730 kWh/a	0,215 €/kWh	47.240
KWK-Zulage ¹	208.780 kWh/a	0,04 €/kWh	8.350
EEG-Abgabe	208.780 kWh/a	0,0309 €/kWh	-6.450
Ersparnis Flockungshilfsmittel	820 kg/a	5 €/kg	4.100
Wartung / Instandhaltung	0,854 Mio. BT; 0,978 Mio. AT	0,5%/a BT; 1,25%/a AT	-16.500
Schlammanfall/-verwertung ²	300 t/a	130 €/t	39.000
zus. Betreuungsaufwand	30 h/Monat	38 €/h	-13.680
Summe Einsparungen ¹	ca. 4 Jahre		62.060
Summe Einsparungen	nach 30.000 Bh des BHKW		53.710

¹: max. 30.000 Bh, ²: Zeitraum 2018-2020 rd. 1.100 t/a mit 21,5% TR, mit Fäulung rd. 800 t/a mit 24% TR

Der Anteil der Eigenstromerzeugung würde mit der beschriebenen Verfahrensumstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung gemäß den hier durchgeführten Konzeptionen und getroffenen Annahmen rund 73% betragen.

Eine Versorgung mit externer thermischer Energie würde vermeidbar sein, daher errechnet sich eine energetische Deckungsquote von 85%.

8 Zusammenfassung

Die mechanisch-biologische Kläranlage Wersen behandelt die häuslichen Abwässer von ca. 12.000 Einwohnern sowie die anfallenden gewerblichen Abwässer des Einzugsgebietes. Die mittlere Belastung beträgt derzeit ca. 11.600 EW₁₂₀. Darüber hinaus wird der auf der Kläranlage Lotte (mittlere Belastung ca. 6.100 EW₁₂₀) anfallende Überschussschlamm auf der KA Wersen mit entwässert.

Die vorliegende Energieanalyse beschreibt verschiedene Teilmaßnahmen zur Optimierung der Kläranlage Wersen hinsichtlich energetischer Gesichtspunkte. Anhand der jeweiligen Kostenschätzungen wurden Amortisationszeiten errechnet.

Im Rahmen dieser Ausarbeitungen wurden maßgeblich die Vorgaben des DWA-Arbeitsblatts A-216 zugrunde gelegt. Darüber hinaus wurde das Energiehandbuch des MULNV NRW (2018) berücksichtigt.

Die Kläranlage Wersen weist einen Energieverbrauch von derzeit 322.660 kWh/a auf.

Im Rahmen der durchgeführten Energieanalyse zeigt sich, dass sich die Kläranlage Wersen sowohl hinsichtlich der erzielten Reinigungsergebnisse als auch mit einem spezifischen Elektrizitätsverbrauch von 27,8 kWh/(E·a) und einem elektrischem Eigenversorgungsgrad von 6% durch den Betrieb einer PV-Anlage energetisch betrachtet bereits in einem guten Zustand befindet.

Durch die aufgezeigten Maßnahmen zur Optimierung der Durchmischung des Schlammspeichers und der Hochlastbecken sowie der Rücklaufschlammumpen können bis zu rd. 46.000 kWh/a Energie eingespart werden, so dass sich perspektivisch ein spezifischer Energieverbrauch von dann 23,8 kWh/(E·a) ergeben könnte.

Die ermittelten Kennwerte zur energetischen Beurteilung im Vergleich zu den ermittelten anlagenspezifischen Idealwerten sind in Tabelle 8.1 dargestellt.

Tabelle 8.1: Energetische Kennwerte mit Maßnahmen zur Optimierung der Bestandsanlage

Kennwert	Symbol	Einheit	Ist-Wert	Nach Realisierung der Maßnahmen	IDEAL
Spezifischer Gesamtstromverbrauch	e_{ges}	kWh/(E·a)	27,8	23,8	23,1
Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung	e_{Bel}	kWh/(E·a)	9,4	9,4	9,4
Eigenversorgungsgrad-Elektrizität	EV_{el}	%	6	7	7
CO ₂ -Emission *	-	t/a	163	139	134

* aus Energiebezug mit 537 g CO₂/kWh

Durch den verringerten Energiebezug ist von einer CO₂-Einsparung aus der Stromproduktion von insgesamt rd. 29 t/a auszugehen. Durch die Umsetzung der kurz- und mittelfristigen Maßnahmen ergibt sich eine CO₂-Einsparung von rd. 25 t/a.

Darüber hinaus ist aufgrund des Alters der auf der Kläranlage Wersen eingesetzten Antriebe davon auszugehen, dass zum Teil Antriebe der Effizienzklasse EFF3 in Verwendung sind. Müssen zukünftig über die beschriebenen Maßnahmen hinaus verschleißbedingt Motoren ersetzt werden, bietet es sich an, diese Motoren durch energieeffizien-

tere Antriebe ersetzen und eine Förderung gem. Kap. 2.6.3 der aktuellen Kommunalrichtlinie zu prüfen.

Unabhängig von den Maßnahmen zur Optimierung des Energieverbrauchs der bestehenden Anlage wurde gem. Kap. 2.6.4 der Kommunalrichtlinie die Möglichkeit untersucht, durch den Neubau einer Vorklärung und die Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung mit anschließender Verstromung des Faulgases mittels Kraft-Wärme-Kopplung den notwendigen Energiebezug zu verringern. Die ermittelten Kennwerte zur energetischen Beurteilung der Verfahrensumstellung sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

Tabelle 8.2: Energetische Kennwerte mit Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung

Kennwert	Symbol	Einheit	mit Faulung
Spezifischer Gesamtstromverbrauch	e_{ges}	kWh/(E·a)	26,8
Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung	e_{Bel}	kWh/(E·a)	7,8
spezifische Faulgasproduktion	e_{FG}	l/(E·a)	25
	Y_{FG}	l/kg oTR	450
Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität	N_{FG}	%	31
Eigenversorgungsgrad-Elektrizität	EV_{el}	%	73
spezifischer externer Wärmebezug	$e_{th,ext}$	%	0
CO ₂ -Emission **	-	t/a	45

* ohne Berücksichtigung der Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Bestandsanlage;

** aus Energiebezug mit 537 g CO₂/kWh;

Durch die Verfahrensumstellung sind ein hoher Eigenversorgungsgrad von 73% und eine damit verbundene Verringerung der CO₂-Emissionen aus dem Energiebezug gegenüber dem derzeitigen Betrieb um 72% auf lediglich 45 t/a zu erwarten. Neben den energetischen Vorteilen ist darüber hinaus von einer Verringerung der zu entsorgenden Schlammmenge von ca. 300 t/a auszugehen. Dem stehen jedoch auf Basis einer erweiterten Kostenschätzung mit Stand Sommer 2020 signifikante Investitionen in Höhe von ca. 2,2 Mio. € gegenüber. Die prognostizierten Minderungen laufender Kosten betragen anfangs ca. 62.000 €/a und verringern sich mit Entfall des KWK-Bonus auf rund 54.000 €/a.

Ein Nachweis der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme ist i.W. von zwei grundsätzlich verschiedenen Szenarien und darüber hinaus von möglichen Zuwendungen abhängig.

- Verfahrensumstellung auf Schlammfaulung

Eine Amortisation einer Verfahrensumstellung auf Schlammfaulung allein aus betrieblichen Erwägungen und Vorteilen heraus ist im vorliegenden Fall sehr wahrscheinlich nur eingeschränkt nachzuweisen.

Mittel- und langfristig betrachtet werden die aufgezeigten, jährlichen Einsparungen jedoch steigen, da insbesondere die Kosten für den Strombezug und die Schlammverwertung vermutlich auch weiterhin deutlich ansteigen werden. Zudem ist auch für Abwasserbehandlungsanlagen mit einer CO₂-Abgabe in zurzeit noch unbekannter Höhe zu rechnen.

Dennoch errechnet sich wahrscheinlich innerhalb der üblichen Nutzungszeiten einer Schlammfaulungsanlage mit der erforderlichen infrastrukturellen Ausrüstung ohne Zuwendungen kein rein wirtschaftlicher Vorteil für diese Investitionen. Je nach Höhe ggf. zu berücksichtigender Zuwendungen können sich aber vorteilhaftere Amortisationszeiten ergeben.

- Betrieb ohne Schlammfaulung

Aufgrund der bereits hohen Auslastung der Zentralkläranlage Wersen mit einer Nennbelastung von 14.600 EW und der nach dem aktuellen Stand der Technik rechnerisch verfügbaren Kapazität der biologischen Stufe von 13.600 EW sind gem. DWA bereits jetzt keine Anlagenreserven mehr verfügbar. Ein Ausweis zur Aufnahme weiterer Belastungen wäre demnach ohne die bauliche Erweiterung der Kläranlage Wersen in Form eines weiteren Belebungsbeckens wasserrechtlich nicht möglich, sofern die Forderung nach einer aeroben Schlammstabilisierung zu erfüllen ist.

Maßgebend für die Kapazität einer Anlage ist hier das vorhandene Schlammalter für die maßgebende Nennbelastung, sofern der Nachweis einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung mit einem Mindestschlammalter von 25 Tagen für diesen Lastfall wasserrechtlich zu führen ist. Infolge der weitgehenden thermischen Verwertung der Klärschlämme ist es behördlicherseits nicht eindeutig und allgemein geregelt, ob dieses Mindestschlammalter auch für die Nennauslastung mit Berücksichtigung von Belastungsreserven verfahrenstechnisch nachzuweisen ist.

Sollte diese Forderung jedoch erhoben werden, wäre auf der Anlage Wersen als Alternative zum Bau einer Anaerobanlage ein weiteres Belebungsbecken mit einem Nutzvolumen von ca. 1.200 bis 1.700 m³ mit einem vereinfacht angenommenen Investitionsvolumen von ca. 1,75 Mio. € neu zu errichten. Verringerungen der Treibhausgasemissionen, des Strombezuges und des Schlammanfalls und die damit verbundenen geringeren Betriebskosten wären nicht erzielbar. In diesem Fall wäre eine Verfahrensumstellung auf Schlammfaulung, vorbehaltlich einer vergleichenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gem. LAWA, nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus finanziellen Erwägungen heraus sehr wahrscheinlich auch finanziell wieder interessant.

Wird behördlicherseits jedoch keine Forderung einer technischen gezielten Schlammstabilisierung erhoben, wäre eine bauliche Erweiterung der biologischen Stufe der Kläranlage Wersen nicht erforderlich.

Es erfolgten zu den erforderlichen abwassertechnischen Nachweisen konkrete Anfragen bei der zuständigen Bezirksregierung Münster sowie beim Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Eine abschließende Beantwortung, ob Forderungen zum Nachweis der Schlammstabilisierung wasserrecht-

lich im Zuge wasserrechtlicher oder betrieblicher Genehmigungen erhoben werden, stehen aber noch aus.

Braunschweig, den 22.04.2021



Dipl.-Ing. Nicole Michalski



Dipl.-Ing. Detlef Wedi