

**Regionale Wasser- und  
Abwassergesellschaft  
Stralsund mbH**



**Studie über das Klimaschutzpotential  
der Kläranlage Stralsund**

**- Arbeitsschritt 2: Potentialanalyse -**

## Inhalt

1	Veranlassung .....	8
2	Vorgehensweise.....	10
3	Berechnung der Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund.....	12
4	Energiecheck Kläranlage Stralsund nach DWA - A - 216 .....	15
5	Bestimmung der anlagenbezogenen Idealwerte für den Stromverbrauch.....	17
6	Entwicklungsszenarien und Untersuchung der Kapazität der Kläranlage Stralsund.....	23
6.1	Entwicklungsszenarien.....	23
6.1.1	Darstellung Status Quo .....	23
6.1.2	Darstellung der Entwicklungsszenarien .....	29
6.2	Untersuchung der Kapazität der Kläranlage Stralsund .....	33
6.2.1	Berechnung der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken.....	34
6.2.2	Berechnung der organischen Kapazität der Belebungsanlage .....	37
6.2.3	Berechnung des Sauerstoffzufuhrbedarfs.....	43
6.2.4	Berechnung des Schlammanfalls.....	45
7	Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> - Emissionen der Kläranlage Stralsund .....	49
7.1	Status Quo .....	50
7.2	Einbindung der Sandfiltration in die Energiebilanz der Kläranlage Stralsund.....	57
7.3	Vergleich der Entwicklungsszenarien.....	59
8	Möglichkeiten zur Reduzierung .....	61
8.1	Austausch einzelner Rührwerke bestimmter Beckeneinheiten der Belebungsbecken.....	61
8.2	Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens und des TS - Gehaltes der Belebungsbecken.....	63
8.3	Energetische Optimierung der Faulturmumwälzung .....	65

8.4	Einführung eines Lastmanagements.....	67
9	Zusammenfassung.....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bedeutung Farbkodierung für Berechnungen .....	11
Tabelle 2: einwohnerspezifische Frachten nach A - 131 .....	12
Tabelle 3: Berechnung der frachtspezifischen Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund .....	13
Tabelle 4: Berechnung der frachtspezifischen Zulaufmenge der Kläranlage Stralsund mit den mittleren täglichen Zuflüssen und der frachtspezifischen Einwohnerwerte .....	14
Tabelle 5: Berechnung der spezifischen Stromverbräuche der Kläranlage Stralsund .....	15
Tabelle 6: Einordnung der Kläranlagen Größenklasse .....	15
Tabelle 7: Einwohnerspezifische Energieverbräuche und Überschreitungshäufigkeit der Kläranlage Stralsund der Betriebsjahre 2017 - 2019 .....	16
Tabelle 8: Anlagenbezogene Idealwerte der Kläranlage Stralsund .....	17
Tabelle 9: Idealwert für den spezifischen Energieverbrauch der Rechenanlage + Rechengutwäsche und -presse nach A - 216 .....	18
Tabelle 10: Idealwert für die Leistung der Räumern (Sandfang, Vorklärung, Nachklärbecken) nach A - 216.....	18
Tabelle 11: Idealwert für die spezifische Leistung der Rührwerke/Umwälzung der Belebungsbecken nach A - 216.....	19
Tabelle 12: Idealwertes für die spezifische Leistung der Durchmischung der Faulbehälter nach A - 216 .....	20
Tabelle 13: Idealwert für den spezifischen Energiebedarf für die Überschussschlammeindickung nach A - 216 .....	21
Tabelle 14: Idealwert für den spezifischen Energiebedarf der Faulschlammentwässerung nach A - 216.....	22
Tabelle 15: Abwasserbelastungen der Brauerei und der Hansestadt Stralsund.....	24
Tabelle 16: Abwassermenge, -konzentrationen und -frachten der Brauerei .....	29
Tabelle 17: Berechnungen der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken der Kläranlage Stralsund .....	35
Tabelle 18: Berechnungen der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken der Kläranlage Stralsund .....	36

Tabelle 19: Abmessungen der Belebungsbecken .....	37
Tabelle 20: Zulaufbeschaffenheit nach A - 131 und Zulaufbelastungen für den Status Quo und der Szenarien 01 & 02 .....	38
Tabelle 21: Berechnung der Stickstoffbilanz der Belebungsbecken .....	39
Tabelle 22: Berechnung der Phosphorbilanz der Belebungsbecken .....	40
Tabelle 23: Berechnung des Überschussschlammanfalls und der Auslastung der Belebungsbecken .....	41
Tabelle 24: Berechnungsansätze .....	43
Tabelle 25: Berechnung des Sauerstoffzufuhrbedarfs, der erforderlichen Gebläsekapazität und des Stromverbrauchs der Belüftung.....	44
Tabelle 26: Berechnung des Schlammanfalls.....	46
Tabelle 27: Schlammentwässerung.....	48
Tabelle 28: Primärenergiefaktoren und CO <sub>2</sub> Äquivalente .....	51
Tabelle 29: spezifischer Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Sandfiltration und der Produktionsvergrößerung der Brauerei und ggf. einer Vorbehandlung des Abwassers .....	58
Tabelle 30: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien .....	59
Tabelle 31: Austausch einzelner Rührwerke bestimmter Beckeneinheiten der Belebungsbecken .....	61
Tabelle 32: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten.....	62
Tabelle 33: Energieeinsparung.....	63
Tabelle 34: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten.....	64
Tabelle 35: Ertüchtigung der Faulturmumwälzung .....	65
Tabelle 36: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten.....	66
Tabelle 37: monatliche Leistungsspitzen aus den Jahren 2017 - 2019 .....	69

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Frachtspezifische Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund .....	13
Abbildung 2: Frachtspezifische Zulaufmengen der Kläranlage Stralsund.....	14
Abbildung 3: Einwohnerspezifischer Energieverbrauch der Kläranlage Stralsund der Betriebsjahre 2017 - 2019 .....	16
Abbildung 4: Status Quo - Abwassermengen der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in m <sup>3</sup> /d.....	24
Abbildung 5: Status Quo - CSB Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d .....	24
Abbildung 6: Status Quo - BSB Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d .....	25
Abbildung 7: Status Quo - N <sub>ges</sub> Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d .....	25
Abbildung 8: Status Quo - P <sub>ges</sub> Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d .....	26
Abbildung 9: CSB/BSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage.....	27
Abbildung 10: N <sub>ges</sub> /CSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage.....	27
Abbildung 11: P <sub>ges</sub> /CSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage.....	28
Abbildung 12: erweitertes Verfahrensschema - Szenario 01 .....	30
Abbildung 13: erweitertes Verfahrensschema - Szenario 02.....	31
Abbildung 14: Abwassermengen und -frachten des Status Quos und der Szenarien 01 & 02.....	32
Abbildung 15: Energiebilanz der Kläranlage Stralsund.....	51
Abbildung 16: Strombereitstellung der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018) ....	53
Abbildung 17: Stromverbrauch der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018).....	53
Abbildung 18: Primärenergiebereitstellung der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018).....	54
Abbildung 19: Primärenergieverbrauch der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018).....	54

Abbildung 20: CO <sub>2</sub> Produktion der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2019) .....	55
Abbildung 21: CO <sub>2</sub> Bilanz der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2019).....	55
Abbildung 22: Zulauf und Anschlussleistung der Sandfiltration .....	58
Abbildung 23: Einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergie bedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien.....	60
Abbildung 24: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten .....	62
Abbildung 25: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten .....	64
Abbildung 26: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten .....	66
Abbildung 27: Messwerte der Leistungsspitzen pro Monat der Jahre 2017 – 2019..	70
Abbildung 28: Summenhäufigkeitsverteilung der Leistungsspitzen pro Monat der Jahre 2017 – 2019 .....	71
Abbildung 29: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergie bedarfs sowie der CO <sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien.....	78

## 1 Veranlassung

Die Regionale Wasser- und Abwassergesellschaft Stralsund mbH, im Weiteren REWA genannt, wurde am 27.02.1992 gegründet und übernimmt seitdem die sich ergebenden Aufgaben der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung der Hansestadt Stralsund und der im Gesellschaftervertrag als Gesellschafter aufgeführten Städte und Gemeinden des Landkreises Vorpommern - Rügen. Die REWA betreibt 23 Kläranlage, wobei die Kläranlage Stralsund mit einer Ausbaugröße von maximal 120.000 EW die größte im Entsorgungsgebiet ist. Die tatsächliche Belastung der Kläranlage liegt zurzeit, nach Angaben des Betreibers, bei 99.999 EW und kann somit der Größenklasse 4 zugeordnet werden. Die Kläranlage Stralsund befindet sich zusammen mit den Betriebsgebäuden der REWA, am nördlichen Bahnbogen der Rügenbahn an der Bauhofstraße und reinigt das Abwasser der Hansestadt Stralsund und weiteren 24 umliegenden Orten, das Sickerwasser der stillgelegten Deponie Kedingshagen und das Prozessabwasser des Klärschlammzwischenlagers Zitterpenningshagen. Die Kläranlage Stralsund wurde in den Jahren 1993 bis 1997 komplett umgebaut und gehörte zum Abschluss der Baumaßnahmen zu einer der größten und modernsten Kläranlagen Mecklenburg-Vorpommerns. Das zu reinigende Abwasser durchfließt als erstes eine zweistraßige Siebrechenanlage mit einer Stabweite von 6 mm und gelangt anschließend in einen belüfteten Sand- und Fettfang, der ebenfalls zweistraßig ausgeführt ist. Danach verteilt sich das Abwasser auf fünf parallel durchflossene, separat abschaltbare Vorklärbecken und gelangt so, mechanisch vorgereinigt, in die biologische Aufbereitungsstufe. Die Belebungsanlage besteht aus drei parallelen Straßen mit Bio - P Elimination, vorgeschalteter Denitrifikation und Nitrifikation sowie je einem Nachklärbecken. Jede Straße ist als Kaskade ausgebildet und besteht aus einem Becken für die Rücklaufschlammdenitrifikation, zwei Anaerobbecken für Bio - P, zwei Denitrifikationsbecken, zwei wahlweise als Denitrifikation oder Nitrifikation nutzbare Becken und einem Nitrifikations- sowie einem Entgasungsbecken für die Rezirkulation. Die Schlammbehandlung in der Kläranlage Stralsund besteht aus zwei Eindickern für den Vorklärschlamm, einer maschinellen Überschussschlammeindickung, zwei Faulbehältern mit je 1.800 m<sup>3</sup> Faulraumvolumen und zwei Entwässerungszentrifugen.

Das Faulgas wird in drei Blockheizkraftwerken, mit einer Leistung von jeweils 123 kW<sub>el</sub> und 181 kW<sub>therm</sub> in Strom und Wärme umgewandelt. Die mit dem BHKW erzeugte Energie wird zu 100 % für die Eigenversorgung der Kläranlage verwendet.

Im Zuge der Potentialstudie ist ein Konzept zu erstellen, wie unter Berücksichtigung von Energieeffizienz und Klimaschutz sowie der Wirtschaftlichkeit der Abwasserreinigung eine Optimierung des Kläranlagenbetriebs unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen erfolgen kann. Besonderes Augenmerk ist hier auf die Einsparung von Primärenergie und die Optimierung der Klimabilanz zu legen.

## 2 Vorgehensweise

Die Studie über das Klimaschutzpotential der Kläranlage Stralsund besteht im Wesentlichen aus drei Arbeitsschritten. Der erste Arbeitsschritt ist die „Bestandsaufnahme“, gefolgt von der „Potentialanalyse“ und dem letzten Arbeitsschritt der „Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und der Entwicklung eines Fahrplans zur Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen“.

In diesem Bericht wird der zweite Schritt, die Potentialanalyse, bearbeitet. Dieser beinhaltet die Ermittlung der Potentiale zur Optimierung der Energieeffizienz der Kläranlage unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen. Die Energieeffizienz einer Kläranlage wird wesentlich durch die Verfahrenstechnik der Abwassereinigung und der Klärschlammbehandlung beeinflusst.

In diesem Zusammenhang wird für die aktuell praktizierte verfahrenstechnische Ausbauvariante der Kläranlage eine Nachbemessung durchgeführt, um die verfügbaren Kapazitäten der einzelnen Verfahrensstufen aufzuzeigen. Vor dem Hintergrund der Produktionsvergrößerung und einer damit verbundenen Verdopplung der Abwassermenge der Störtebeker Brauerei werden die Kapazitäten, die sich aus den Berechnungen der Nachbemessung ergeben, den erforderlichen Kapazitäten unter Berücksichtigung des Ausbaus der Brauerei gegenübergestellt.

Für die vorhandenen Bauwerksgrößen und die vorhandene maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung wird eine Nachbemessung auf der Grundlage des DWA Arbeitsblatts - A – 131, nachfolgend A - 131 genannt, unter Berücksichtigung des Abwasseranfalls und der Zulaufschmutzfrachten vorgenommen, die auf der Grundlage einer Betriebsdatenauswertung der letzten 3 Jahre und der erforderlichen Reserven für zukünftige Entwicklungen, z.B. Ausbau der Brauerei, ermittelt wurden. Für die einzelnen Verfahrensstufen werden auf der Grundlage der einwohnerspezifischen Erfordernisse an Beckenvolumen und Aggregateleistungen die Potentiale der vorhandenen Becken und Aggregate in EW ermittelt.

In der Gegenüberstellung der auf der Grundlage der vorhandenen Einrichtungen ermittelten vorhandenen Kapazitäten und der Belastungswerte in EW bei den verschiedenen Szenarien ergeben sich die Auslastungen bzw. die Ausbaurfordernisse für die verschiedenen Installationen und Verfahrenskonzepte.

Mitte des Jahres 2019 wurde als 3. Reinigungsstufe eine Sandfiltration, ausgeführt als mehrstraßige Wanderbettfiltration in Betrieb genommen, um den Phosphorgehalt im Ablauf der Kläranlage noch weiter abzusenken. In Anbetracht des nicht unerheblichen Energieverbrauchs der Sandfiltration wird der Energieverbrauch der Kläranlage ohne Sandfiltration dem Energieverbrauch mit Sandfiltration der dann vergleichbaren Modellkläranlagen gegenübergestellt.

Für die verschiedenen Berechnungen, die in diesem Bericht aufgezeigt werden, wurden Werte verwendet, die aus unterschiedlichen Quellen stammen. Um angenommene bzw. gegebene Werte schneller ihrer Quelle bzw. ihrer Aussagekraft zuzuordnen, wurden die Zellen der Werte wie folgt farblich hinterlegt:

Tabelle 1: Bedeutung Farbkodierung für Berechnungen

baulich gegebene Werte
Betriebsdaten
Werte gemäß Stand der Technik (A - 131 & A - 216)
wichtige Ergebnisse
gewählte Werte
berechnete Werte
geprüfte Werte - positives Ergebnis
geprüfte Werte - negatives ergebnis

### 3 Berechnung der Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund

Die Einwohnerwerte sind die Summe aus natürlichen Einwohnern und Einwohnergleichwerten industrieller und gewerblicher Einleiter. Der Einwohnerwert ist ein Maß für die Abwasserlast, mit der eine Kläranlage belastet wird. Ein Einwohnerwert nach Vorklärung wird mit 45 g-BSB/d definiert. Langjährige Messungen haben für häusliches Abwasser einwohnerspezifische Frachten für die Parameter CSB, Stickstoff, Phosphor und abfiltrierbare Stoffe (TS) ergeben, die in das A - 131 eingeflossen sind. Abweichungen von diesen Verhältnissen im Kläranlagenzulauf werden üblicherweise auf den Einfluss industrieller und gewerblicher Einleitungen zurückgeführt. Der einwohnerspezifische Abwasseranfall schwankt in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsbereichs und regionalen Besonderheiten. In ländlichen Bereichen in MV sind üblicherweise Werte im Bereich von 80 - 100 l/(EW\*d) zu erwarten. In Küstenregionen, die vor allem durch Tourismus geprägt sind, kann der einwohnerspezifische Abwasseranfall höher liegen.

Zur Berechnung dieser Werte werden die nach A - 131 üblich verwendeten einwohnerspezifischen Frachten nach einer Vorklärung verwendet (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: einwohnerspezifische Frachten nach A - 131

Parameter	einwohnerspezifische Fracht
CSB	0,0900 kg/(EW*d)
N <sub>ges</sub>	0,0100 kg/(EW*d)
P <sub>ges</sub>	0,0016 kg/(EW*d)

Die gemessenen Zulaufkonzentrationen, mit denen die Frachten der Kläranlage berechnet wurden, beziehen sich auf den Zulauf zur Biologie. In einer Intensiv - Beprobung wurden die Schmutzfrachten im Ablauf der Brauerei ohne Sanitärabwasser bestimmt. Aus der Differenz der Zulauffrachten zur Biologie und der des Brauereiabwassers wurden die Schmutzfrachten des kommunalen Abwassers abgeschätzt. Dabei wurde unterstellt, dass aus dem Produktionsabwasser der Brauerei in der Vorklärung keine Schmutzfrachten in nennenswertem Umfang abgeschieden werden.

Die Werte  $EW_{CSB,90}$ ,  $EW_{N_{ges},10}$ ,  $EW_{P_{ges},1,6}$  der einzelnen Betriebsjahre 2017 - 2019 sind in Tabelle 3 und in Abbildung 1 aufgezeigt.

Tabelle 3: Berechnung der frachtspezifischen Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund

		kg/d	EW
EW-CSB,90	2017	9.963	110.699
	2018	9.419	104.652
	2019	10.231	113.677
EW-N <sub>ges</sub> ,10	2017	1.080	108.009
	2018	1.067	106.665
	2019	1.102	110.234
EW-P <sub>ges</sub> ,1,6	2017	199	124.482
	2018	174	108.526
	2019	198	123.668

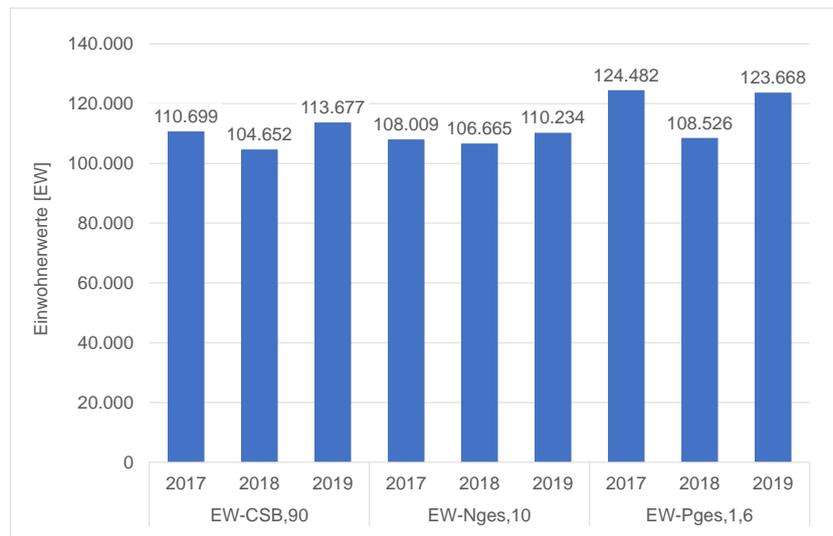


Abbildung 1: Frachtspezifische Einwohnerwerte der Kläranlage Stralsund

Im Durchschnitt liegt die Belastung der Kläranlage Stralsund der letzten Jahren bezogen auf den  $EW_{CSB,90}$  bei knapp 110.000 EW. In Bezug auf Stickstoff liegen die Einwohnerwerte in einem ähnlichen Bereich um ca. 108.000 EW. Bezogen auf  $P_{ges}$  liegt der Einwohnerwert um ca. 10.000 EW höher.

Aus den mittleren täglichen Kläranlagenzuläufen der einzelnen Betriebsjahre und den frachtspezifischen Einwohnerwerten für CSB,  $N_{ges}$  und  $P_{ges}$  ergibt sich der spezifische Zulauf  $q_{EW}$  der Kläranlage Stralsund (siehe Tabelle 4 und Abbildung 2).

Tabelle 4: Berechnung der frachtspezifischen Zulaufmenge der Kläranlage Stralsund mit den mittleren täglichen Zuflüssen und der frachtspezifischen Einwohnerwerte

		2017	2018	2019
Q-d	m <sup>3</sup> /d	13.287	13.429	13.058
q-EW,CSB,d	l/(EW*d)	120,0	128,3	114,9
q-EW, $N_{ges}$ ,d	l/(EW*d)	123,0	125,9	118,5
q-EW, $P_{ges}$ ,d	l/(EW*d)	106,7	123,7	105,6

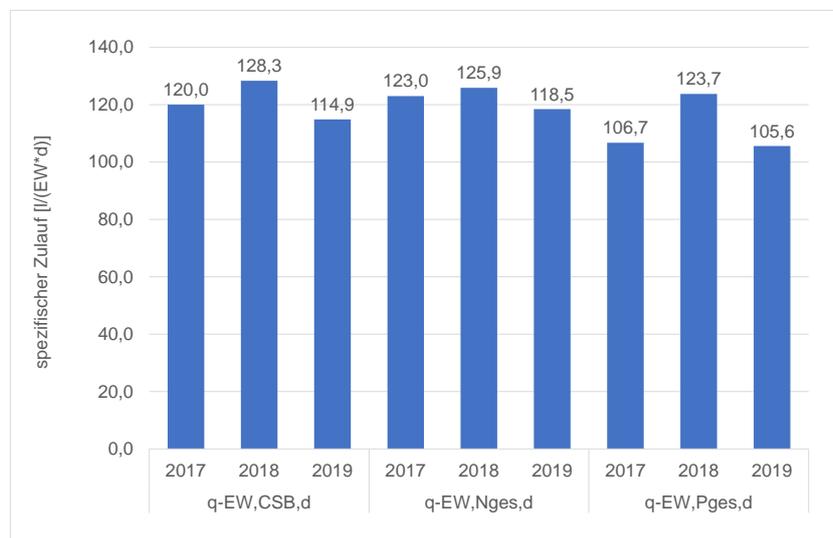


Abbildung 2: Frachtspezifische Zulaufmengen der Kläranlage Stralsund

Die spezifischen Einwohnerwerte liegen im Bereich von 106 – 128 l/(EW\*d) und erscheinen für eine Küstenregion, die stark von Tourismus geprägt ist, plausibel.

## 4 Energiecheck Kläranlage Stralsund nach DWA - A - 216

Für eine erste Einschätzung des Stromverbrauchs der Kläranlage Stralsund wurden die Stromverbräuche der Kläranlage für die Jahre 2017 - 2019 in Tabelle 5 zusammengestellt und zum Vergleich mit anderen Kläranlagen nach DWA Arbeitsblatt A – 216, nachfolgend A - 216 genannt, auf einwohnerspezifische Werte umgerechnet.

Tabelle 5: Berechnung der spezifischen Stromverbräuche der Kläranlage Stralsund

	E-KA	EW-CSB,90	e-KA
	kWh <sub>el</sub> /a	EW	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)
2016	2.596.320	110.699	23,5
2017	2.630.439	104.652	25,1
2018	2.569.045	113.677	22,6
Ø	2.598.601	109.676	23,7

Der einwohnerspezifische Stromverbrauch der Kläranlage Stralsund lag in den letzten Jahren im Bereich von 22,6 - 25,1 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a).

Kläranlagen werden in Größenklassen eingeteilt. Die Größenklassen von Kläranlagen sind in Tabelle 6 aufgezeigt. Maßgeblich für die Einordnung einer Kläranlage in die Größenklasse ist, die gemäß Einleiterlaubnis genehmigte, Anschlusskapazität in EW. Die Kläranlage Stralsund verfügt gemäß Einleiterlaubnis über eine genehmigte Anschlusskapazität von 120.000 EW und ist demzufolge der Größenklasse 5 zuzuordnen.

Tabelle 6: Einordnung der Kläranlagen Größenklasse

Größenklasse	EW	Kläranlage
1	< 1.000	
2	1.000 – 5.000	
3	5.001 – 10.000	
4	10.001 – 100.000	
5	> 100.000	<b>KA Stralsund</b>

Abbildung 3 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung des Stromverbrauchs von Kläranlagen der Größenklasse 3 - 5 in Deutschland in Abhängigkeit vom Reinigungssystem. Die einwohnerspezifischen Energieverbräuche der Kläranlage Stralsund der Jahre 2017 - 2019 sind in Abbildung 3 eingetragen und zeigen, dass der einwohnerspezifische Energieverbrauch der Kläranlage Stralsund nur von 12 - 18 % vergleichbarer Kläranlagen der Größenklasse 3 - 5 in Deutschland mit einem Belebtschlammverfahren mit anaerober Schlammstabilisierung unterschritten wird.

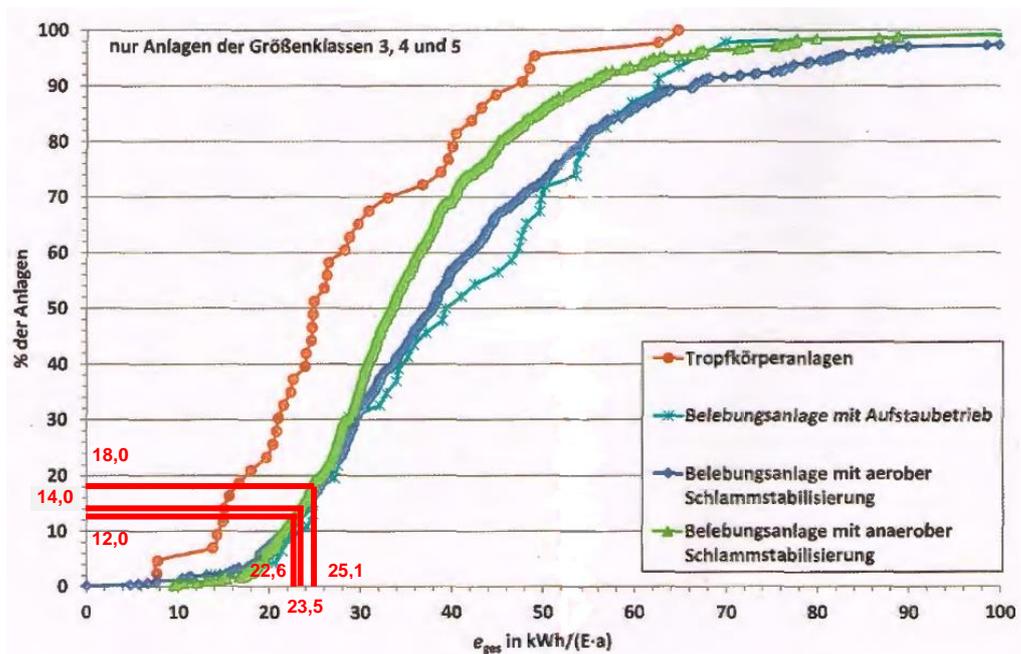


Abbildung 3: Einwohnerspezifischer Energieverbrauch der Kläranlage Stralsund der Betriebsjahre 2017 - 2019

In Tabelle 7 sind die spezifischen Stromverbräuche und die aus dem Summenhäufigkeitsdiagramm resultierenden Überschreitungshäufigkeiten der Kläranlage Stralsund aus den Betriebsjahren 2017 - 2019 zusammengestellt.

Tabelle 7: Einwohnerspezifische Energieverbräuche und Überschreitungshäufigkeit der Kläranlage Stralsund der Betriebsjahre 2017 - 2019

	e-KA kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	Überschreitungshäufigkeit %
2016	23,5	14,0
2017	25,1	18,0
2018	22,6	12,0
Ø	23,7	14,7

## 5 Bestimmung der anlagenbezogenen Idealwerte für den Stromverbrauch

In dem A - 216 werden anlagenbezogene Idealwerte von einzelnen verfahrenstechnischen Einheiten aufgezeigt. Diese Idealwerte sind keine Fixwerte, sondern sind abhängig von den Randbedingungen, der vorhandenen Anlagenkonfiguration und der Betriebsweise. Aus der Gegenüberstellung der anlagenbezogenen Idealwerte mit den Werten des Ist - Zustands ergeben sich gegebenenfalls Hinweise auf Einsparpotentiale und Ansätze für die Entwicklung von Maßnahmen. Die anlagenbezogenen Idealwerte, die bei der Kläranlage Stralsund in Betracht gezogen werden, sind in Tabelle 8 aufgezeigt.

Tabelle 8: Anlagenbezogene Idealwerte der Kläranlage Stralsund

	Verfahrensschritt, Verbraucher	Idealwert / -bereich	Einheit
1	Rechenanlage + Rechengutwäsche und -presse	0,05 - 0,10	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)
2	Räumer (Sandfang; Vorklärbecken Nachklärbecken)	0,30 - 1,00	kW/Becken
3	Rührwerke/Umwälzung (Belebung)	1,5	W/m <sup>3</sup>
4	Durchmischung Faulbehälter	6,00 - 10,00	W/m <sup>3</sup>
5	Überschussschlammeindickung	< 0,20	kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>
6	Faulschlammwässerung	1,00 - 1,60	kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>

Der technische Betriebszustand der verfahrenstechnischen Einheiten wird wie folgt farblich kodiert:

- entspricht Stand der Technik; kein Ertüchtigungspotential
- moderates Ertüchtigungspotential vorhanden
- erhebliches Ertüchtigungspotential vorhanden

## 1 - Rechenanlage + Rechengutwäsche und -presse

Die Rechenanlage der Kläranlage Stralsund ist unterteilt in eine Grob- und eine Feinrechenanlage. Die Rechenanlage, einschließlich der Rechengutwäsche und -presse, liegt bei einem durchschnittlichen Anschlusswert von ca. 109.676 EW bei ca. 0,09 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) und liegt somit in dem Idealwertbereich zwischen 0,05 - 1,10 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) und entspricht dem Stand der Technik.

Tabelle 9: Idealwert für den spezifischen Energieverbrauch der Rechenanlage + Rechengutwäsche und -presse nach A - 216

EW-CSB,90	EW	109.676		
	kW	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)
Grobrechenanlage				
Hauptrechen	0,75	383	287	0,00
Nebenrechen	0,75	12	9	0,00
Rechengutschneckenpresse	2,20	870	1.914	0,02
Feinrechenanlage				
Feinrechen 1	2,20	2.178	4.792	0,04
Feinrechen 2	2,20	65	144	0,00
Rechengutpresse 1	5,50	218	1.196	0,01
Rechengutpresse 2	5,50	218	1.196	0,01
Summe				<b>0,09</b>
Idealwert				0,05 - 0,10

## 2 - Räumler (Sandfang, Vorklärbecken, Nachklärbecken)

Alle Räumler der einzelnen Becken liegen im Bereich des Idealwerts zwischen 0,3 - 1,0 kW/Becken und entsprechen dem Stand der Technik.

Tabelle 10: Idealwert für die Leistung der Räumler (Sandfang, Vorklärung, Nachklärbecken) nach A - 216

	kW/Becken
Sandfang	0,37
Vorklärung - Becken 1	0,75
Vorklärung - Becken 2	0,75
Vorklärung - Becken 3	0,75
Vorklärung - Becken 4	0,75
Vorklärung - Becken 5	0,75
Nachklärung - Becken 1	0,55
Nachklärung - Becken 2	0,55
Nachklärung - Becken 3	0,55
Idealwert	0,3 - 1,0

### 3 - Rührwerke/Umwälzung (Belebungsbecken)

Die Belebungsanlage ist dreistraßig aufgebaut und besteht jeweils aus einem Becken für die Rücklaufschlammdenitrifikation, zwei Anaerobbecken für die biologische P - Elimination, zwei Denitrifikationsbecken, zwei wahlweise als Denitrifikation oder Nitrifikation nutzbare Beckeneinheiten und einem Nitrifikations- sowie einem Entgasungsbecken für die Rezirkulation. Bis auf das Nitrifikations- und das Entgasungsbecken besitzen alle anderen Beckeneinheiten jeweils ein Rührwerk. Nachstehend sind die Anschlussleistungen der Rührwerke den Beckenvolumina zugeordnet und die spezifische Leistung pro m<sup>3</sup> Beckenvolumen aufgezeigt. Der Idealwert von 1,5 kW/m<sup>3</sup> wird in allen Becken leicht überschritten. Dennoch liegen die installierten Rührwerksleistungen in 11 von insgesamt 21 Beckeneinheiten noch in einem guten Bereich unter 2,0 kW/m<sup>3</sup>. In sieben Becken liegt der Wert bei 2,6 kW/m<sup>3</sup>. Bei spezifischen Verbräuchen über 3,0 kW/m<sup>3</sup> sollte bei Ablauf der Nutzungsdauer bzw. bei einem Austausch des Rührwerks die erforderliche installierte Leistung überprüft und angepasst werden. Die höchste volumenspezifische Rührleistung ist im Anaerobbecken 2 des Belebungsbeckens 1 installiert. Die installierten Rührwerke sollten nach Ablauf der Nutzungsdauer oder bei einem Austausch an die im Belebungsbecken 3 installierten Leistungen angeglichen werden.

Tabelle 11: Idealwert für die spezifische Leistung der Rührwerke/Umwälzung der Belebungsbecken nach A - 216

Becken	Beckeneinheit	kW	m <sup>3</sup>	W/m <sup>3</sup>
BB 1	RS-DN	0,9	347	2,6
	AA I	0,9	344	2,6
	AA II	4,0	347	11,5
	DN I	2,3	1.327	1,7
	DN II	2,3	1.312	1,8
	N-DN I	2,3	1.323	1,7
	N-DN II	2,3	1.332	1,7
BB 2	RS-DN	2,3	347	6,6
	AA I	0,9	344	2,6
	AA II	0,9	347	2,6
	DN I	2,3	1.327	1,7
	DN II	4,3	1.312	3,3
	N-DN I	2,3	1.323	1,7
	N-DN II	2,3	1.332	1,7
BB 3	RS-DN	0,9	347	2,6
	AA I	0,9	344	2,6
	AA II	0,9	347	2,6
	DN I	2,3	1.327	1,7
	DN II	2,3	1.312	1,8
	N-DN I	2,3	1.323	1,7
	N-DN II	2,3	1.332	1,7
SUMME				
			Idealwert	1,5

#### 4 - Durchmischung Faulbehälter ●

Für Durchmischung der Faulbehälter (2 á 1.800 m<sup>3</sup>) wurden neben der Umwälzung durch die außenliegenden Heizschlammumpen (2 + 1 Pumpen: Ritz; Typ: ASF 100 - 250 á 80m<sup>3</sup>/h) zwei weitere Umwälzpumpen (2 Pumpen: Flygt; Typ: NZ 3171,095 á ca. 500 m<sup>3</sup>/h) installiert, da sich die zunächst installierten Vertikalrührwerke nicht bewährt hatten. Die Heizschlammumpen und die zusätzlichen Umwälzpumpen laufen 8.760 h/a durch, wobei die Laufzeit von zwei ständig laufenden Pumpen auf die drei installierten Heizschlammumpen gleichmäßig verteilt wird, sodass sich für jede Heizschlammpumpe eine Jahreslaufzeit von 5.840 h ergibt.

Der spezifische Idealwert einer außenliegenden Umwälzung über den Heizschlammkreislauf wird mit 6,0 - 10,0 W/m<sup>3</sup> angegeben. Die Summe der Umwälzaggregate ergibt einen spezifischen Energieverbrauch von 12,1 W/m<sup>3</sup> und liegt somit über dem Idealwertebereich. Bei zahlreichen Faulungsanlagen ist es gängige Praxis ausschließlich den Heizschlammkreislauf zur Faulbehälterdurchmischung zu nutzen, wobei eine einfache Umwälzung des Faulbehälternutzvolumens pro Tag angestrebt wird. Die Leistung der Heizschlammumpen würden auch in der Kläranlage Stralsund eine einfache Umwälzung des Faulbehälternutzvolumens pro Tag sicherstellen, so dass untersucht werden könnte, ob nicht allein der Betrieb der Heizschlammumpen für die Faulbehälterdurchmischung ausreichend ist oder zumindest die Laufzeit der zusätzlichen Umwälzpumpen reduziert werden könnte.

Tabelle 12: Idealwertes für die spezifische Leistung der Durchmischung der Faulbehälter nach A - 216

Volumen Faulbehälter 1 & 2	m <sup>3</sup>	3.600
	kW	W/m <sup>3</sup>
Umwälzpumpe Faulturm 1	17,6	4,9
Umwälzpumpe Faulturm 2	17,6	4,9
Umwälzpumpe 1 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8
Umwälzpumpe 2 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8
Umwälzpumpe 3 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8
SUMME		12,1
Idealwert		6,0 - 10,0

## 5 - Überschussschlammeindickung

Der Überschussschlamm wird über zwei Siebbandanlagen voreingedickt. Im Zulauf zu den Siebbandanlagen wird Flockungshilfsmittel zudosiert. Das Flockungshilfsmittel wird in einer Ansetzanlage zu einer Stammlösung vorbereitet und mit einer Dosieranlage in den Überschussschlamm dosiert. Der Idealwert solcher Anlagen liegt bei 0,6 - 1,0 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup> Überschussschlamm. Der Energiebedarf von Dick- oder Dünnschlamm-pumpen wird laut A - 216 bei der Berechnung dieses Idealwertes nicht berücksichtigt. In die Berechnung fließen nur die Energieverbräuche der Eindickanlage inklusive der Ansetz- und Dosiertechnik ein.

Tabelle 13: Idealwert für den spezifischen Energiebedarf für die Überschussschlammeindickung nach A - 216

		kW	h/a	kWh <sub>el</sub> /a
Siebband 1	Siebbandmotor	0,25	3.764	645
	Spülwasserpumpe	1,60	3764	6.022
	Magnetventil	0,01	20	0
Siebband 2	Siebbandmotor	0,25	3.841	658
	Spülwasserpumpe	3,00	3841	11.523
	Magnetventil	0,01	20	0
Ansetzanlage	Flüssigdosierpumpe	0,37	73	27
	Drehteller	0,05	2	0
	Magnetventil Ansetzwasser	0,01	147	2
	Rührwerk Kammer 1	0,55	110	61
	Rührwerk Kammer 2	0,55	110	61
	Entnahmeventil Kammer 1	0,02	3.777	91
	Entnahmeventil Kammer 2	0,02	3.777	91
	2x Höhenstand	0,01	8.760	88
Dosieranlage	Dosierpumpe 1	0,37	3.505	976
	Fremdlüfter	0,12	3.505	421
	Dosierpumpe 2	0,37	3.182	815
	Fremdlüfter	0,12	3.182	382
	Dosierpumpe 3	0,37	865	250
	Fremdlüfter	0,12	865	104
	IDM-Ltg 1	0,02	8.760	175
	IDM-Ltg 2	0,02	8.760	175
SUMME				22.565
	Ø ÜS - Menge	V-ÜS <sub>ges</sub>	m <sup>3</sup> /a	18.469
	spez. Energieverbrauch	e-ÜS	kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>	1,2
	Idealwert	IW	kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>	0,6 - 1,0

Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Überschussschlammmenge von ca. 18.470 m<sup>3</sup>/a ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 1,2 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>-ÜS. Dieser Wert liegt leicht über dem Idealwertebereich von 0,6 - 1,0 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>-ÜS. Die Überschussschlammeindickung entspricht dem Stand der Technik.

## 6 - Faulschlammwässerung

Für die Entwässerung des Faulschlammes sind zwei Dekanterzentrifugen mit jeweils einer Flockungshilfsmittel - Ansetzanlage installiert. Mit den Pumpen der Dosieranlage wird das Flockungshilfsmittel in den Zulauf der Zentrifugen dosiert. Die Zentrifugen der Schlammwässerung weisen inklusive der Ansetz- und Dosieranlage einen Energieverbrauch von ca. 106.000 kWh<sub>el</sub>/a auf. Bei einer Faulschlammmenge von ca. 64.000 m<sup>3</sup>/a entspricht das einem spezifischen Energieverbrauch von ca. 1,8 kWh/m<sup>3</sup>, der leicht über dem Idealwertbereich von 1,0 – 1,6 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup> liegt.

Tabelle 14: Idealwert für den spezifischen Energiebedarf der Faulschlammwässerung nach A - 216

	Faulschlammmenge	∅	m <sup>3</sup> /a	62.862	
		kW	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>
Zentrifuge 1	Zentrifuge 1 Hauptantrieb	45,00	1.524	27.432	0,436
	Zentrifuge 1 Hydraulikantrieb	22,00	1.524	18.440	0,293
	Zentrifuge 1 Spülwasservertil 1	0,01	32	0	0,000
	Zentrifuge 1 Spülwasservertil 2	0,01	32	0	0,000
	Zentrifuge 1 Kühlwasservertil Hydraulik	0,01	126	1	0,000
	Zentrifuge 1 Schieber Schlammaustrag	0,75	1	1	0,000
Zentrifuge 2	Zentrifuge 2 Hauptantrieb	30,00	1.730	37.368	0,594
	Zentrifuge 2 Hydraulikantrieb	11,00	1.730	22.836	0,363
	Zentrifuge 2 Spülwasservertil 1	0,03	35	1	0,000
	Zentrifuge 2 Spülwasservertil 2	0,01	35	0	0,000
	Zentrifuge 2 Schieber Schlammaustrag	0,75	1	1	0,000
Ansetzanlage 1	1 Fördergebläse	0,03	9	0	0,000
	1 Rüttler	0,55	4	2	0,000
	Trockengutdosierer	0,12	263	32	0,001
	Drehteller	0,05	16	1	0,000
	Magnetventil Ansetzwasser	0,01	788	10	0,000
	Rührwerk Kammer 1	1,50	788	1.181	0,019
	Rührwerk Kammer 2	1,50	788	1.181	0,019
	Entnahmeventil Kammer 1	0,02	754	18	0,000
	Entnahmeventil Kammer 2	0,02	754	18	0,000
Höhenstandmessung	0,01	8.760	88	0,001	
Ansetzanlage 2	Ansetzanlage 2 Fördergebläse	0,03	10	0	0,000
	Ansetzanlage 2 Rüttler	0,55	5	3	0,000
	Ansetzanlage 2 Trockengutdosierer	0,12	292	35	0,001
	Ansetzanlage 2 Drehteller	0,05	18	1	0,000
	Ansetzanlage 2 Magnetventil Ansetzwasser	0,01	292	4	0,000
	Ansetzanlage 2 Rührwerk Kammer 1	1,50	875	1.313	0,021
	Ansetzanlage 2 Rührwerk Kammer 2	1,50	875	1.313	0,021
	Ansetzanlage 2 Entnahmeventil Kammer 1	0,02	843	20	0,000
	Ansetzanlage 2 Entnahmeventil Kammer 2	0,02	843	20	0,000
Ansetzanlage 2 Höhenstandmessung	0,01	8.760	88	0,001	
Dosieranlage	Dosierpumpe 1	0,75	1.508	961	0,015
	Dosierpumpe 2	1,10	1.637	1.531	0,024
	Dosieranlage Fremdlüfter	0,12	1.637	196	0,003
	Dosierpumpe 3	0,75	109	69	0,001
	Dosieranlage IDM-Ltg 1	0,02	8.760	175	0,003
	Dosieranlage IDM-Ltg 2	0,02	8.760	175	0,003
	Summe Zentrifuge 1 & 2			106.080	1,7
	Summe Ansetz- und Dosieranlage			8.435	0,1
	Summe			114.516	1,8
	Idealwert				1,0 - 1,6

## 6 Entwicklungsszenarien und Untersuchung der Kapazität der Kläranlage Stralsund

### 6.1 Entwicklungsszenarien

Vor dem Hintergrund, dass die Störtebeker Brauerei ihre Produktion langfristig um das Doppelte vergrößern möchte (auf ca. 680.000 m<sup>3</sup>/a), muss zum einen geprüft werden, ob die Kläranlage Stralsund über ausreichend Kapazitäten verfügt, um die zusätzliche Abwasserlast aufzubereiten und zum anderen welche Auswirkungen eine werkseigene anaerobe Vorbehandlung des Brauereiabwassers auf die Nährstoffverhältnisse der Kläranlage hat. Es werden folgende Szenarien dargestellt:

- **Status Quo:** KA Stralsund (104.652 EW = Betriebsjahr 2018)
- **Szenario 01:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung
- **Szenario 02:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d mit anaerober werkseigener Vorbehandlung

#### 6.1.1 Darstellung Status Quo

Für die Darstellung der Abwasserbelastung der unterschiedlichen Szenarien wird sich an dem Betriebsjahr 2018 orientiert. Um die Abwasserlast der Störtebeker Brauerei abschätzen zu können, werden auf Werte einer Intensiv - Beprobung im August und September 2017 zurückgegriffen. In Tabelle 15 sind die Zulaufmengen in m<sup>3</sup>/d und die CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub> Frachten in kg/d der Kläranlage (gemäß Betriebsdaten) und der Brauerei (gemäß Daten der Intensiv - Beprobung aus 2017) zusammengestellt. Die Werte für das Abwasser der Hansestadt Stralsund wurde als Differenz der Zulaufwerte der Kläranlage und der Ablaufwerte der Brauerei ermittelt. In Tabelle 15 sind zudem die Verhältnisse CSB/BSB; N<sub>ges</sub>/CSB und P<sub>ges</sub>/CSB dargestellt, die sich aus den Frachten ergeben.

In Abbildung 4 bis Abbildung 8 sind die jeweiligen Anteile für die Abwassermengen bzw. die -frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei dargestellt.

Tabelle 15: Abwasserbelastungen der Brauerei und der Hansestadt Stralsund

	Q-d	B-d,CSB	B-d,BSB	B-d,N <sub>ges</sub>	B-d,P <sub>ges</sub>	CSB/BSB	N <sub>ges</sub> /CSB	P <sub>ges</sub> /CSB
	m <sup>3</sup> /d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	-	-	-
A - 131						2,000	0,111	0,018
<b>Status Quo: B + S</b>	13.429	9.419	5.732	1.067	174	<b>1,643</b>	<b>0,113</b>	<b>0,018</b>
<b>Status Quo: Brauerei (B)</b>	920	4.442	2.689	63	31	<b>1,652</b>	<b>0,014</b>	<b>0,007</b>
<b>Status Quo: Stralsund (S)</b>	12.509	4.976	3.043	1.004	143	<b>1,635</b>	<b>0,202</b>	<b>0,029</b>

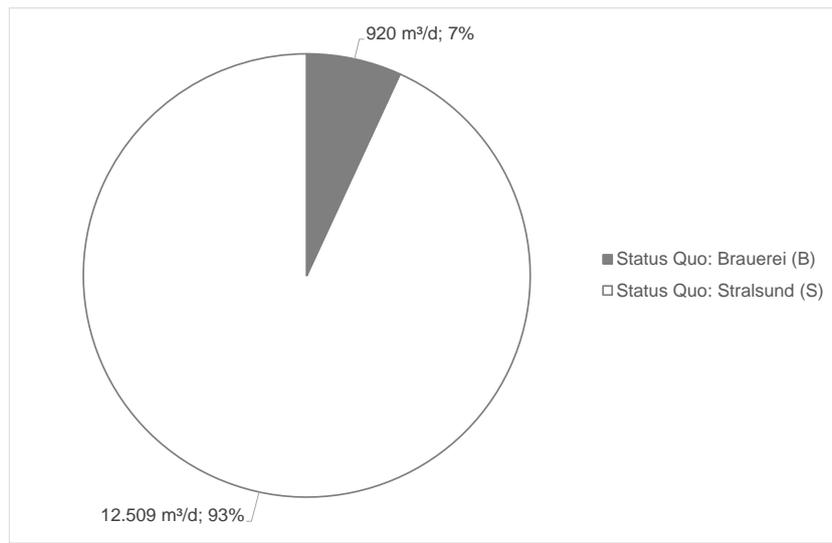


Abbildung 4: Status Quo - Abwassermengen der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in m³/d

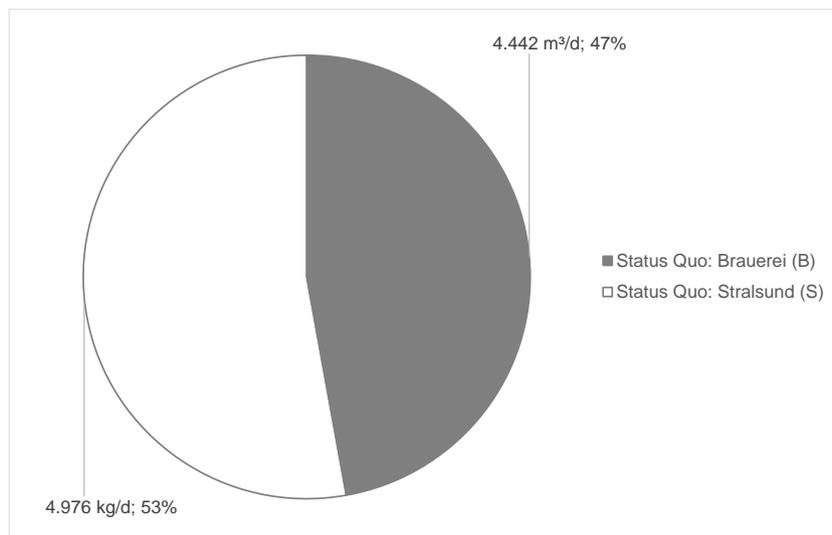


Abbildung 5: Status Quo - CSB Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d

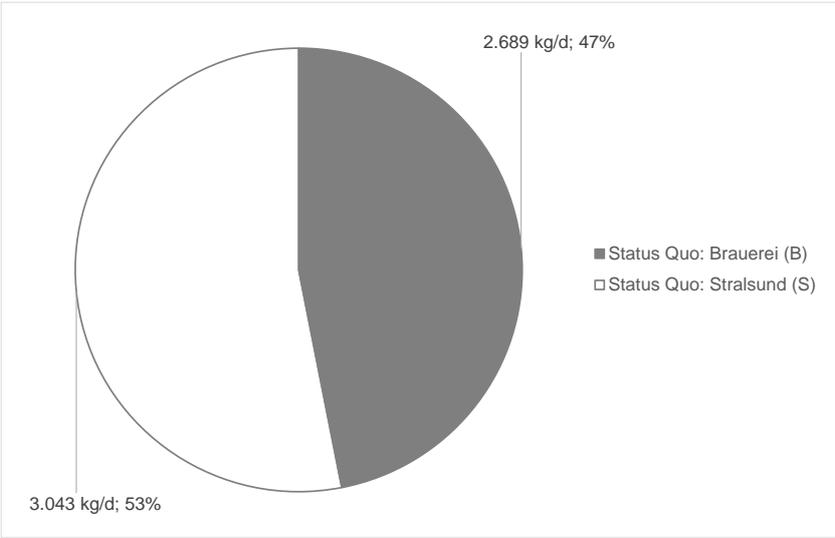


Abbildung 6: Status Quo - BSB Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d

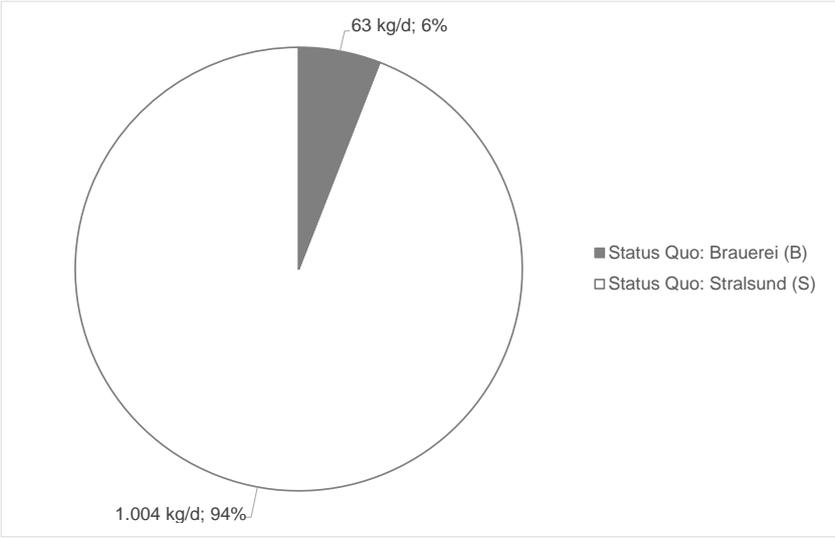


Abbildung 7: Status Quo - N<sub>ges</sub> Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d

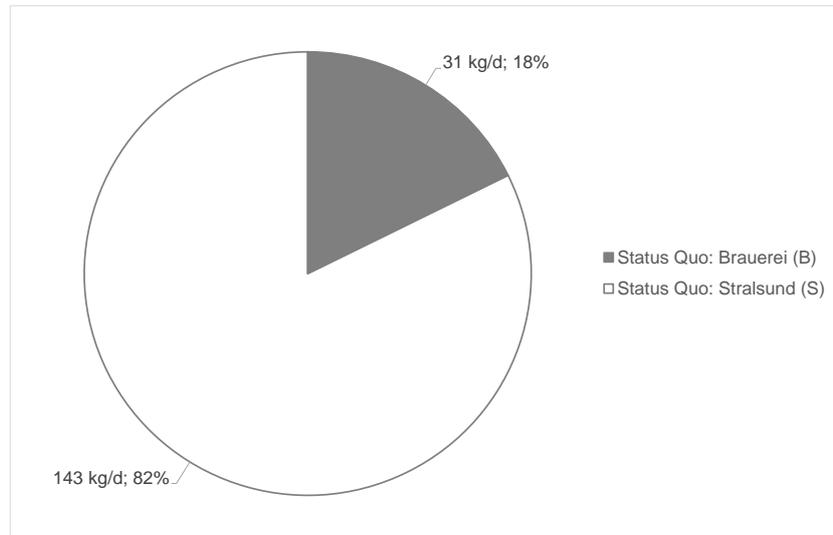


Abbildung 8: Status Quo - P<sub>ges</sub> Frachten der Hansestadt Stralsund und der Brauerei in kg/d

Die Abbildungen zeigen, dass die Abwassermenge der Brauerei nur ca. 7 % der Abwassermenge ausmacht, die in die Kläranlage eingeleitet wird, die CSB- und BSB-Frachten der Brauerei aber 50 % der Zehrstoffzulauf Frachten der Kläranlage ausmachen. Der Anteil der Brauerei an der Stickstoffzulauf Fracht der Kläranlage liegt bei 7 % und der der P<sub>ges</sub> - Zulauf Fracht bei 18 %.

In den Abbildungen sind die CSB/BSB Verhältnisse sowie die Zehrstoff- zu Nährstoffverhältnisse des Abwassers der Hansestadt Stralsund, des Abwassers der Brauerei und der Summe aus beiden gegenüber den Verhältnissen nach A – 131 dargestellt.

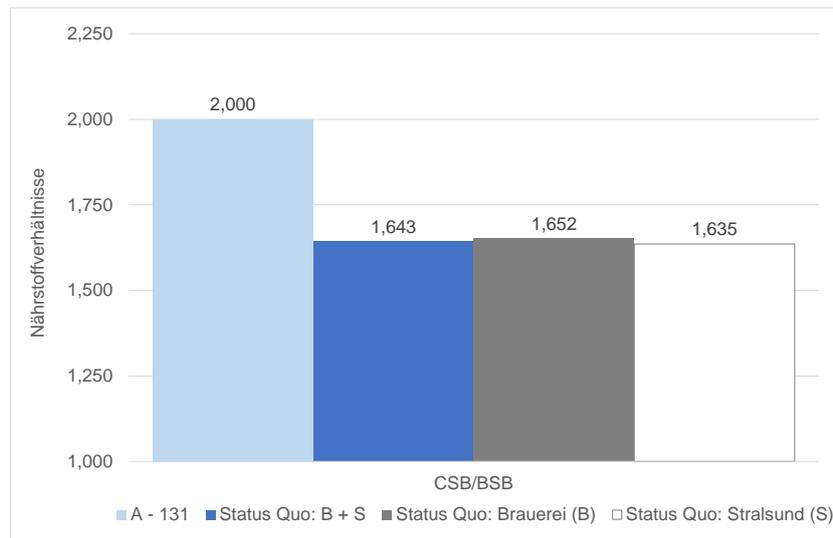


Abbildung 9: CSB/BSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage

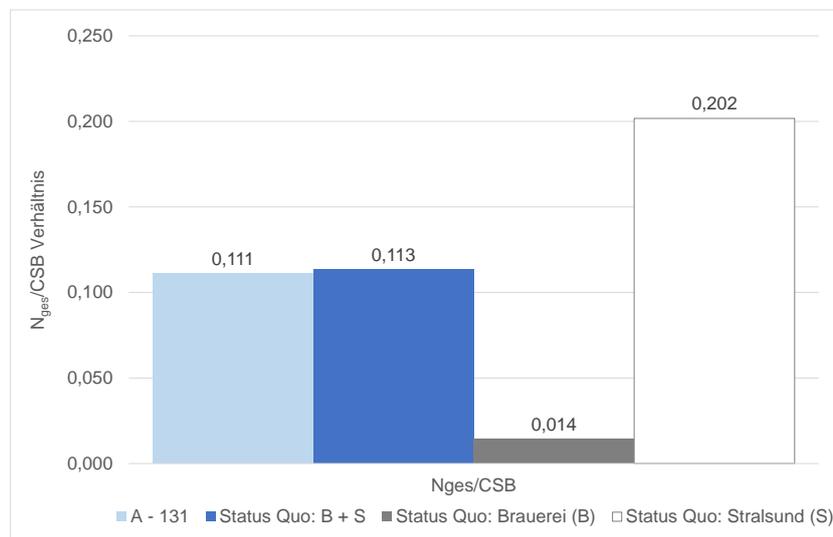


Abbildung 10: N<sub>ges</sub>/CSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage

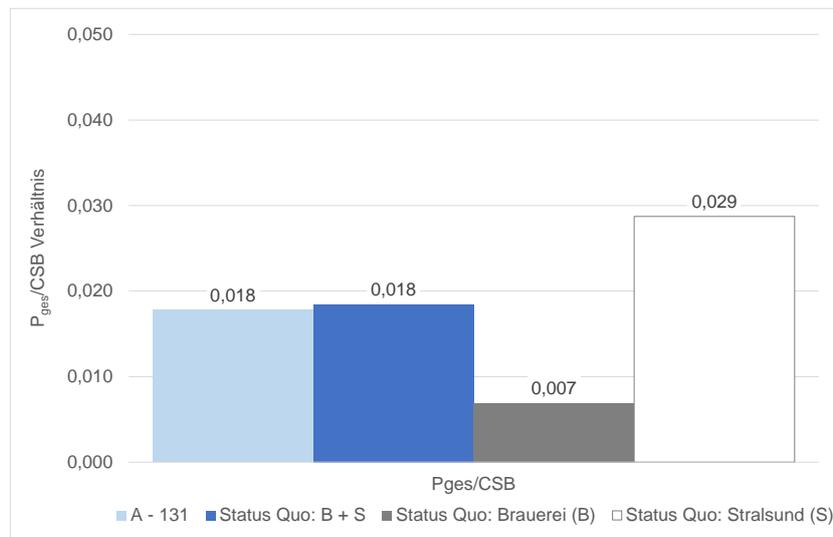


Abbildung 11: P<sub>ges</sub>/CSB Verhältnis des Abwassers der Hansestadt Stralsund, der Brauerei und im Zulauf der Kläranlage

Abbildung 9 zeigt, dass das CSB/BSB Verhältnis sowohl bei der Brauerei als auch bei dem Abwasser der Hansestadt Stralsund in einem Bereich um ca. 1,64 liegt. Der Wert liegt um 0,4 unter dem Wert, der in der A - 131 für häusliches Abwasser angegeben wird.

Das Verhältnis N<sub>ges</sub>/CSB des Abwassers der Hansestadt Stralsund ohne Brauerei liegt mit 0,202 um 82 % über dem Wert von 0,111, der in dem A - 131 für häusliches Abwasser angegeben wird. Der erhöhte Stickstoffgehalt im kommunalen Abwasser der Hansestadt Stralsund überrascht. Die Brauerei weist erwartungsgemäß nur eine geringe Belastung mit N<sub>ges</sub> auf, die sogar nur bei 50 % des Nährstoffbedarfs liegt. Im Zulauf zur Kläranlage gleichen sich diese CSB-N-Verhältnisse aus, sodass das Verhältnis von 0,113 im Zulauf zur Kläranlage gut mit dem Wert der A - 131 von 0,111 für häusliches Abwasser übereinstimmt. Ähnliche Verhältnisse sind auch im Hinblick auf P<sub>ges</sub> zu verzeichnen. Das Verhältnis P<sub>ges</sub>/CSB im Zulauf der Kläranlage liegt mit 0,029 deutlich über dem Wert von 0,018 für häusliches Abwasser gemäß dem A - 131, wohingegen das CSB-P-Verhältnis im Brauereiabwasser mit 0,007 deutlich unter diesem Verhältnis liegt.

### 6.1.2 Darstellung der Entwicklungsszenarien

Folgende Entwicklungsszenarien werden betrachtet:

- **Szenario 01:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung
- **Szenario 02:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d mit anaerober werkseigener Vorbehandlung

Für die Berechnungen werden die in der Intensiv - Beprobung aus dem Jahr 2017 gemessenen Konzentrationen für CSB, BSB, N<sub>ges</sub> und P<sub>ges</sub> zugrunde gelegt. Die TS - Konzentration des Brauereiabwassers wurde mit 200 mg/l angenommen. In Tabelle 16 sind die Abwassermengen, die Abwasserkonzentrationen und -frachten der Brauerei zusammengestellt.

Tabelle 16: Abwassermenge, -konzentrationen und -frachten der Brauerei

Brauerei	c-CSB	mg/l	4.827	
	c-BSB	mg/l	2.922	
	c-TS	mg/l	200	
	c-N <sub>ges</sub>	mg/l	68	
	c-P <sub>ges</sub>	mg/l	33	
			<b>Szenario 01</b>	<b>Szenario 02</b>
Brauerei	Q-d	m <sup>3</sup> /d	<b>1.840</b>	<b>1.840</b>
	B-d,CSB	kg/d	<b>8.882</b>	<b>3.219</b>
	B-d,BSB	kg/d	<b>5.377</b>	<b>1.949</b>
	B-d,TS	kg/d	<b>368</b>	<b>313</b>
	B-d,N <sub>ges</sub>	kg/d	<b>126</b>	<b>111</b>
	B-d,P <sub>ges</sub>	kg/d	<b>61</b>	<b>54</b>

Bei Szenario 01 wird davon ausgegangen, dass das Abwasser der Brauerei unbehandelt zur Kläranlage gelangt.

Bei Betrachtung des Szenario 02 wird von einer werkseigenen anaeroben Vorbehandlung auf dem Gelände der Brauerei ausgegangen, in der 85 % des CSB und BSB, 20 % des TS und jeweils 15 % des N<sub>ges</sub> und P<sub>ges</sub> abgebaut werden. Bei einer anaeroben Vorbehandlung des gesamten in der Brauerei anfallenden Abwassers ergibt sich im Zulauf der Kläranlage Stralsund ein CSB-N-Verhältnis von 5,7. Für eine weitgehende Denitrifikation ist allerdings ein CSB-N-Verhältnis von CSB/N = 6,0

erforderlich. Um in der Kläranlage Stralsund eine weitgehende Denitrifikation ohne Zugabe von externem Kohlenstoff sicherzustellen, ist es erforderlich 23 % des Brauereiabwassers im Bypass an der anaeroben Vorbehandlung vorbeizuleiten, sofern die gemessenen BSB - Konzentrationen trotz des ungewöhnlichen CSB/BSB - Verhältnisses von 1,65 berücksichtigt werden. Wird die BSB - Konzentration sowohl im Brauereiabwasser als auch im Kommunalabwasser mit  $BSB = 0,5 \cdot CSB$  angesetzt ergibt sich ein erforderlicher Bypass - Volumenstrom von 47 %.

In Abbildung 12 ist das erweiterte Verfahrensschema mit der berechneten Abwasserzulaufmenge und den berechneten Abwasserzulaufmengen für das Szenario 01 und in Abbildung 13 sind die entsprechenden Werte für das Szenario 02 dargestellt.

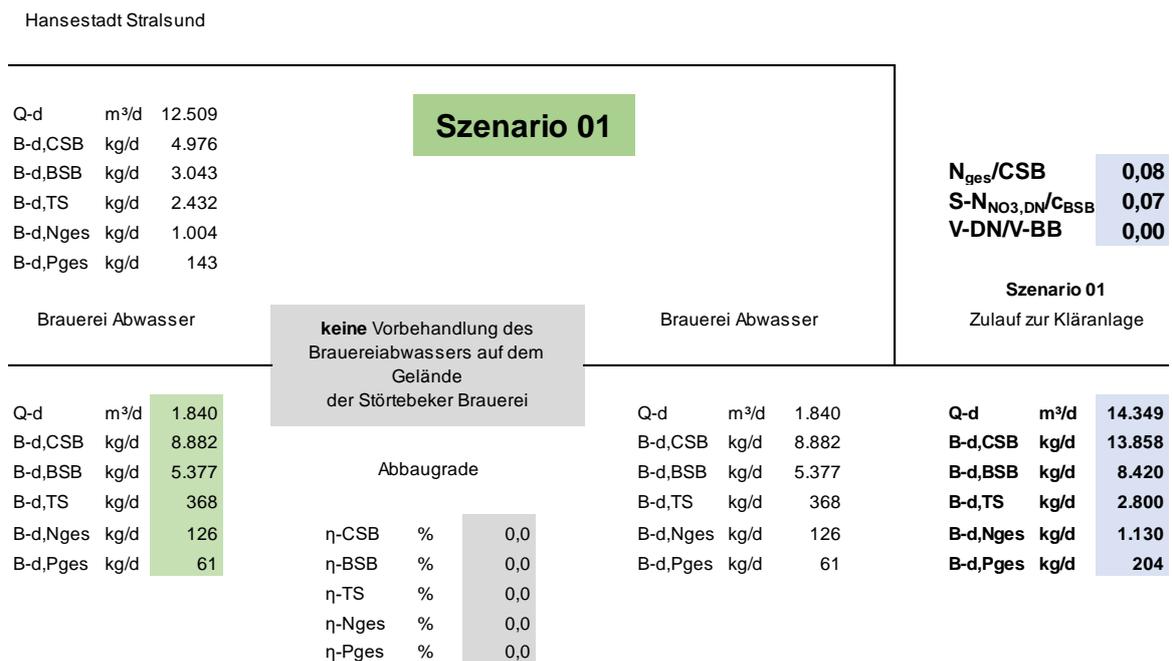


Abbildung 12: erweitertes Verfahrensschema - Szenario 01



Die Abwassermengen und -frachten, die sich bei den Szenarien 01 und 02 einstellen, sind dem des Status Quos zusammenfassend in Abbildung 14 gegenübergestellt.

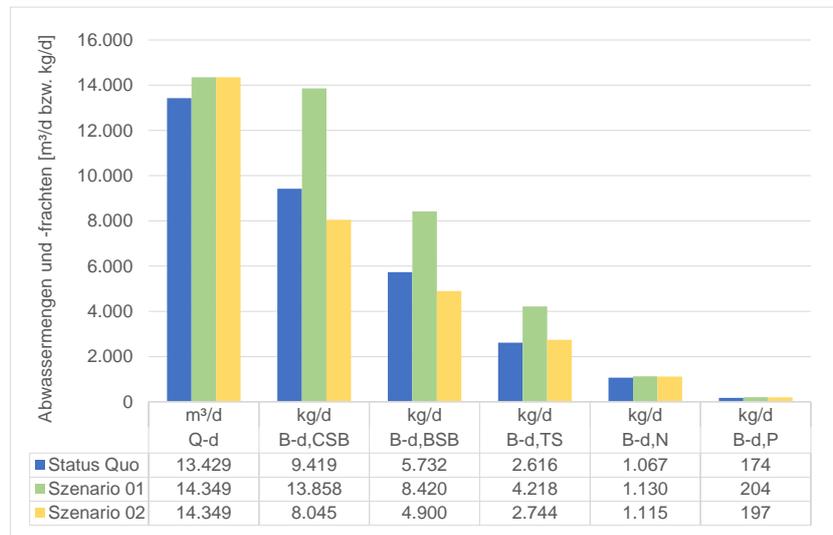


Abbildung 14: Abwassermengen und -frachten des Status Quos und der Szenarien 01 & 02

## 6.2 Untersuchung der Kapazität der Kläranlage Stralsund

Für die Kläranlage Stralsund werden die hydraulischen und organischen Kapazitäten der einzelnen Verfahrensstufen nur für das gegenwärtig praktizierte Reinigungsverfahren

**mechanisch - biologische Kläranlage mit Vorklärung und Belebungsverfahren, mit vorgeschalteter Denitrifikation und biologischer P - Elimination im Hauptstrom, mit weitergehender Abwasserreinigung mit mehrstufigen Wanderbettfiltern und mit getrennter anaerober Klärschlammstabilisierung mit Faulgasverstromung**

untersucht, da dieses Reinigungsverfahren dem aktuellen Stand der Technik entspricht und sich somit im Hinblick auf die Verfahrenstechnik des Reinigungsverfahrens kein Optimierungspotential abzeichnet.

Die Kapazitätsberechnungen der Verfahrensstufen der biologischen Reinigung der Kläranlage Stralsund werden auf der Grundlage der A - 131 durchgeführt. Es wurden die Belastungswerte gemäß A - 131 angesetzt, da die einwohnerspezifischen Zulauffrachten der Kläranlage Stralsund gemäß Auswertung der Betriebstagebücher der Jahre 2017 - 2019 nur geringfügig von den Angaben der A - 131 abweichen. Die Ergebnisse der Berechnungen werden, wo immer möglich, den Betriebsdaten gegenübergestellt. Die Betriebsdaten werden, wo immer möglich, durch Bilanzen verifiziert.

In einem ersten Schritt werden die einwohnerspezifisch erforderlichen Werte für die charakteristischen Größen der verschiedenen Verfahrensstufen ermittelt und in einem zweiten Schritt den Werten der vorhandenen Installationen gegenübergestellt, woraus sich die Kapazitäten ergeben. Durch die Gegenüberstellung von den Belastungswerten für die verschiedenen Szenarien und der Kapazitäten ergeben sich die Auslastungen der verschiedenen Verfahrensstufen für die verschiedenen Szenarien. Aus den Auslastungswerten ergeben sich die Reservekapazitäten bzw. die Ausbaurfordernisse für die jeweiligen Verfahrensstufen bei den verschiedenen Szenarien.

### 6.2.1 Berechnung der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken

Im Rahmen der Kapazitätsberechnungen für die Verfahrensvariante Vorklärung und getrennte anaerobe Klärschlammstabilisierung wird von den in der A - 131 aufgeführten einwohnerspezifischen Schmutzfrachten sowie einem einwohnerspezifischen Trockenwetter - Abwasseranfall von  $q_{EW} = 120 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$  und einem Spitzenfaktor von 10 h/d ausgegangen, wobei der einwohnerspezifische Abwasseranfall, an den der Kläranlage Stralsund angepasst ist.

Für die Berechnung der Verfahrensvariante Vorklärung und getrennte anaerobe Klärschlammstabilisierung wird von folgenden Parametern ausgegangen:

- ISV = 60 ml/g-TS im Winter, 80 ml/g-TS im Sommer und 100 ml/g-TS in den Übergangszeiten gemäß den Betriebsdaten,
- Eindickzeit  $t_E = 2,0 \text{ h}$  gemäß Bemessungsansatz der Planung
- Räumfaktor 0,7 für Schildräumer gemäß Bemessungsansatz der Planung
- Rücklaufschlammverhältnis  $RV = 1,0$  im Mittel gemäß den Betriebsdaten und dem Bemessungsansatz der Planung

In Tabelle 18 sind in den drei Spalten auf der linken Seite die Ergebnisse der Nachbemessung der Nachklärbecken für die gemessenen ISV - Werte unter Berücksichtigung der gegebenen Beckengeometrien dargestellt. Im Rahmen der Bemessung wurden unter Berücksichtigung der ISV - Werte und der Eindickzeit die TS - Gehalte berechnet, die sich am Boden des Nachklärbeckens, im Rücklaufschlamm und im Belebungsbecken gemäß A - 131 einstellen. Die TS - Gehalte im Belebungsbecken liegen bei einem ISV - Wert von 100 ml/g-TS bei ca. 4,4 g-TS/l. Sie liegen ca. 0,9 g-TS/l höher als der Wert laut Betriebsdaten. Im Rücklaufschlamm stellt sich bei einem ISV - Wert von 100 ml/g-TS gemäß A - 131 ein TS - Gehalt von ca. 8,8 mg-TS/l ein.

Im Rahmen der Bemessung wurde dann die Schlammvolumenbeschickung  $q_{sv}$  iterativ so hoch gewählt, dass die in den Becken vorhandene Wasserspiegelhöhe durch die Bemessung ausgereizt wurde.

Aus der maximal zulässigen Schlammvolumenbeschickung ergibt sich im Zusammenhang mit dem Vergleichsschlammvolumen die maximal zulässige Oberflächenbeschickung. Mit der maximal zulässigen Oberflächenbeschickung und der vorhandenen Oberfläche der Nachklärbecken berechnet sich dann der zulässige maximale Abfluss. Dieser liegt mit ca. 2.440 m<sup>3</sup>/h deutlich über dem mittleren täglichen Trockenwetter - Abwasseranfall von rund 540 m<sup>3</sup>/h bzw. 13.000 m<sup>3</sup>/d. Die 98 - Perzentile weisen einen Maximalwert der betrachteten Jahre von etwas über 25.000 m<sup>3</sup>/d auf.

Tabelle 17: Berechnungen der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken der Kläranlage Stralsund

Berechnung TS-BB und Q-h,max					Nachklärbecken - NKB (rund)		
		Winter	Sommer	Übergang			
ISV	ml/g-TS	100,0	80,0	60,0	n-NKB	-	3,0
TS-BS	g-TS/l	12,6	15,7	21,0			/Becken
TS-RS	g-TS/l	8,8	11,0	14,7	d-NKB	m	36,0
TS-BB	g-TS/l	4,4	5,5	7,3	d-MBW	m	2,4
					H-NKB	m	3,7
q-SV	l/(m*h)	354,0	354,0	354,0	A-NKB	m <sup>2</sup>	1.013,4
VSV	ml/l	441,0	441,0	441,0	V-NKB	m <sup>3</sup>	3.749,4
q-A	m/h	0,8	0,8	0,8			
					t-E	h	2,0
h-1	m	0,5	0,5	0,5	Räumfaktor	-	0,7
h-2	m	1,4	1,4	1,4	RV	-	1,0
h-3	m	0,6	0,6	0,6			
h-4	m	1,1	1,1	1,1			
h-ges	m	3,7	3,7	3,7			
vert./hor.	-	0,1	0,1	0,1			
Q-h,max	m <sup>3</sup> /h	2.440,5	2.440,5	2.440,5			

In Tabelle 18 wurden die entsprechenden Berechnungen auf der Grundlage der gemessenen TS - Gehalte im Belebungsbecken und einem angenommenen TS - Gehalt im Rücklaufschlamm durchgeführt. Der TS - Gehalt im Rücklaufschlamm wurde für ein Rücklaufschlammverhältnis von RV = 1,0 berechnet, welches auch eingeregelt wird. Mit diesen Parametern ergibt sich ein Schlammvolumenindex von 127 ml/g-TS. Bei Ausreizen der vorhandenen Wassertiefe der Nachklärbecken durch die Wahl der Schlammvolumenbeschickung ergibt sich ein maximal zulässiger Wert von q<sub>SV</sub> = 382 l/(m\*h). Der maximal zulässige Ablaufvolumenstrom ergibt sich dann zu rund Q<sub>h,max</sub> = 2.628 m<sup>3</sup>/h.

Bei einem ISV von 80 ml/g-TS, der laut Betriebsdaten im Winter eingehalten wird, und einem gewählten TS - Gehalt im Belebungsbecken mit 4,4 g-TS/l, lässt sich bei einem  $q_{SV} = 342 \text{ l/(m}^3\text{h)}$  ein maximaler Volumenstrom von ca. 2.947 m<sup>3</sup>/h erreichen und somit eine weitere Erhöhung des maximal zulässigen Abflusses zur Nachklärung um ca. 320 m<sup>3</sup>/h.

Tabelle 18: Berechnungen der hydraulischen Kapazität der Nachklärbecken der Kläranlage Stralsund

Berechnung RV und Q-h,max					Nachklärbecken - NKB (rund)		
ISV	ml/g-TS	126,9	100,0	80,0	n-NKB	-	3,0
RV	-	1,0	1,0	0,7			
TS-BS	g/l	9,9	12,6	15,7			/Becken
TS-RS	g/l	7,0	8,8	10,7	d-NKB	m	36,0
TS-BB	g/l	3,5	4,4	4,4	d-MBW	m	2,4
					H-NKB	m	3,7
q-SV	l/(m <sup>3</sup> h)	382,0	354,0	342,0	A-NKB	m <sup>2</sup>	1.013,4
VSV	ml/l	441,9	441,0	352,8	V-NKB	m <sup>3</sup>	3.749,4
q-A	m/h	0,9	0,8	1,0			
					t-E	h	2,0
h-1	m	0,5	0,5	0,5	Räumfaktor	-	0,7
h-2	m	1,6	1,4	1,5	RV	-	1,0
h-3	m	0,7	0,6	0,6			
h-4	m	1,0	1,1	1,1			
h-ges	m	3,7	3,7	3,7			
vert./hor.	-	0,1	0,1	0,1			
Q-h,max	m <sup>3</sup> /h	2.628,0	2.440,5	2.947,0			

## 6.2.2 Berechnung der organischen Kapazität der Belebungsanlage

Die Belebungsanlage ist dreistraßig aufgebaut und besteht jeweils aus einem Becken für die Rücklaufschlammdenitrifikation, zwei Anaerobbecken für die biologische P - Elimination, zwei Denitrifikationsbecken, zwei wahlweise als Denitrifikation oder Nitrifikation nutzbare Beckeneinheiten und einem Nitrifikations- sowie einem Entgasungsbecken für die Rezirkulation.

Die Summe der beiden Anaerobbecken AA I und AA II bildet das bioP - Beckenvolumen  $V_{\text{bioP}}$ . Für das Denitrifikations - Beckenvolumen werden die beiden Beckeneinheiten DN I und DN II sowie eins von den zwei N - DN Becken berücksichtigt. Das Nitrifikations - Beckenvolumen setzt sich zusammen aus einer der beiden Beckeneinheiten N - DN und aus dem N - Becken. Das  $V_{\text{BB}}$  setzt sich zusammen aus den Beckenvolumina der Nitrifikation und Denitrifikation.

In Tabelle 19 sind die Abmessungen der Beckeneinheiten der drei Belebungsbecken zusammengestellt.

Tabelle 19: Abmessungen der Belebungsbecken

Belebungsbecken - BB (rechteckig)							
	L/Becken	B/Becken	H/Becken		V/1 Becken	V/2 Becken	V/3 Becken
n-Becken					1	2	3
	m	m	m		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
DN I	15,5	13,0	6,6		1.327	2.654	3.981
DN II	15,5	12,9	6,6		1.312	2.625	3.937
N-DN I	15,5	13,0	6,6		1.323	2.646	3.969
N-DN II	15,6	13,0	6,6		1.332	2.663	3.995
N	15,6	22,5	6,6		2.306	4.612	6.918
AA II	4,1	13,0	6,6		347	694	1.040
AA I	4,1	12,9	6,6		343	687	1.030
RS-DN	4,1	13,0	6,6		347	694	1.040
Entgasung	11,2	2,5	6,6		181	361	542
V-bioP					690	1.381	2.071
V-DN					3.962	7.925	11.887
V-N					3.638	7.275	10.913
V-BB					7.600	15.200	22.800

Zum einen sind die nach A - 131 einschlägigen einwohnerspezifischen Zulauffrachten und zum anderen die absoluten Werte der Abwasserbelastungen und Zulaufmengen des Status Quos und der beiden Szenarien dargestellt (Werte aus den Abbildungen in Kapitel 6.1.2).

Die Belastungen des Szenario 01 resultieren aus der doppelten Abwassermenge der Brauerei multipliziert mit den Konzentrationen plus der Abwassermenge und den -frachten die von der Hansestadt Stralsund eingeleitet werden.

Die Belastungen des Szenario 02 resultieren aus der doppelten Abwassermenge der Brauerei multipliziert mit den Konzentrationen minus einer werkseigenen anaeroben Vorbehandlung des Brauereiabwassers von 77 % plus der Abwassermenge und den -frachten die von der Hansestadt Stralsund eingeleitet werden.

Tabelle 20: Zulaufbeschaffenheit nach A - 131 und Zulaufbelastungen für den Status Quo und der Szenarien 01 & 02

		A - 131 ohne VKB	A - 131 mit VKB			Status Quo	Szenario 01	Szenario 02
B-EW,CSB	g/(EW*d)	120,0	90,0	B-d,CSB	kg/d	9.419	13.858	8.045
B-EW,BSB	g/(EW*d)	60,0	45,0	B-d,BSB	kg/d	5.732	8.420	4.900
B-EW,TS	g/(EW*d)	70,0	25,0	B-d,TS	kg/d	2.616	4.218	2.744
B-EW,N	g/(EW*d)	11,0	10,0	B-d,N	kg/d	1.067	1.130	1.115
B-EW,P	g/(EW*d)	1,8	1,6	B-d,P	kg/d	174	204	197
q-EW	l/(EW*d)		120,0	Q-d	m <sup>3</sup> /d	13.429	14.349	14.349

Für die Berechnung der Kapazität der Belebungsbecken wird zunächst das von der Bemessungstemperatur des Abwassers und der Ausbaugröße abhängige aerobe Schlammalter  $t_{TS,aerob}$  ermittelt. Für die Bemessungstemperatur  $T_{Bem}$  wird ein Wert von 10 °C, gemäß der Empfehlung A - 131, in den Berechnungen verwendet. Bei Berücksichtigung der Ausbaugröße der Kläranlage von 120.000 EW wird ein Sicherheitsfaktor von  $SF = 1,6$  angesetzt.

Bei der Berechnung des Schlammalters  $t_{TS}$  für die Variante der getrennten anaeroben Klärschlammstabilisierung ist der für die Denitrifikation erforderliche Anteil zu berücksichtigen, in dessen Berechnung neben dem aeroben Schlammalter noch die Stickstoffbilanz als maßgeblicher Faktor eingeht.

In der Stickstoffbilanz wird, die zu denitrifizierende Stickstofffracht berechnet, in dem von der Zulauf - Stickstofffracht zur Belebung die im Überschussschlamm assimilierte Stickstofffracht und die noch im Ablauf zu erwartende Stickstofffracht abgezogen werden. Die im Überschussschlamm assimilierte Stickstofffracht wird gemäß der Empfehlung des A - 131 mit 5 % der BSB - Ablauffracht der Vorklärung angesetzt. Die im Ablauf zu erwartende Stickstofffracht wird mit 60 % des zulässigen Grenzwerts der Abwasserverordnung Anhang 01 angesetzt.

Für die Bemessung des Anteils der Denitrifikation ist dann das Verhältnis der zu denitrifizierenden Stickstofffracht zur BSB - Zulauffracht zur Belebung maßgeblich. Die Nitratatmung wird dabei mit 75 % der Atmungsrate des gelösten Sauerstoffs angesetzt. Im Ergebnis der Berechnungen ergibt sich ein Verhältnis von Denitrifikationsvolumen zum Belebungsbeckenvolumen von 50 %.

Nach A - 131 ergibt sich für die getrennte anaerobe Schlammstabilisierung ein Schlammalter von  $t_{TS,N/DN,erf.} = 16,3$  d. Unter Berücksichtigung der aktuellen Schmutzfrachten für den Status Quo ergibt sich ein erforderliches Schlammalter von  $t_{TS,N/DN,erf.} = 11,2$  d. Da allerdings das gesamte vorhandene Belebungsbeckenvolumen  $V_{BB} = 22.800$  m<sup>3</sup> auf der Kläranlage Stralsund genutzt wird, ergibt sich unter Berücksichtigung der aktuellen Schmutzfrachten und einem TS – Gehalt in der Belebung von  $TS_{BB} = 3,48$  g-TS/l ein vorhandenes Schlammalter von knapp  $t_{TS,N/DN,vorh.} = 31,7$  d und liegt somit um ca. 20 d höher als das erforderliche Schlammalter. Für das Szenario 01 ergibt sich ein erforderliches Schlammalter von knapp  $t_{TS,N;DN,erf.} = 9,0$  d und für das Szenario 02 ein erforderliches Schlammalter von  $t_{TS,N;DN,erf.} = 17,0$  d.

Tabelle 21: Berechnung der Stickstoffbilanz der Belebungsbecken

A - 131					Status Quo	Status Quo $t_{TS} = 11,2$ d	Szenario 01	Szenario 02
T-Bem	°C	10,0	T-Bem	°C	10,0	10,0	10,0	10,0
t-TS,aerob	d	8,9	t-TS,aerob	d	8,9	8,9	8,9	8,9
<b>N-Bilanz</b>			<b>N-Bilanz</b>					
S-EW,N-NO <sub>3</sub> ,DN	g/(EW*d)	6,6	S-N,NO <sub>3</sub> ,DN	kg/d	651,1	651,1	570,8	732,5
S-N-NO <sub>3</sub> ,DN/c-E	-	0,15	S-N-NO <sub>3</sub> ,DN/c-E	-	0,11	0,11	0,07	0,15
V-DN/V-BB	-	0,5	V-DN/V-BB	-	0,2	0,2	0,00	0,5
t-TS,N/DN,erf.	d	16,3	t-TS,N/DN,erf.	d	31,7	11,2	8,9	17,0

Mit einer Phosphatbilanz (siehe Tabelle 21) entsprechend der A - 131 wurde der Anfall an Fäll- und bioP-Schlamm berechnet.

Tabelle 22: Berechnung der Phosphorbilanz der Belebungsbecken

A - 131			Status Quo					
			Status Quo	Status Quo	Szenario	Szenario		
			Quo	t <sub>TS</sub> = 11,2 d	01	02		
<b>P-Bilanz</b>			<b>P-Bilanz</b>					
x-EW,P,Fäll	g/(EW*d)	0,2	x-P,Fäll	kg/d	3,5	3,5	0,0	46,1
c-FeCl <sub>3</sub>	%-m	41,0	c-FeCl <sub>3</sub>	%-m	41,0	41,0	41,0	41,0
p-FeCl <sub>3</sub>	kg/m <sup>3</sup>	1.600	p-FeCl <sub>3</sub>	kg/m <sup>3</sup>	1.600	1.600	1.600	1.600
q-EW,FeCl <sub>3</sub>	l/(EW*a)	1,0	Q-FeCl <sub>3</sub>	m <sup>3</sup> /a	15,2	15,2	0,0	201,5

Mit dem ermittelten Schlammalter, der Bemessungstemperatur sowie den einwohnerspezifischen Belastungswerten mit Vorklärung wurde der einwohnerspezifische Überschussschlammanfall aus dem Zehrstoffabbau nach A - 131 berechnet.

Mit dem gesamten einwohnerspezifischen Überschussschlammanfall kann unter Berücksichtigung der im Zuge der Nachklärbeckenauslegung bestimmten TS - Gehalte im Belebungsbecken das erforderliche einwohnerspezifische Belebungsbeckenvolumen berechnet werden.

Im Verhältnis des vorhandenen Belebungsbeckenvolumens zum erforderlichen einwohnerspezifischen Belebungsbeckenvolumen ergibt sich die Kapazität des vorhandenen Belebungsbeckenvolumens in EW. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 23 zusammengestellt.

Die Bemessung gemäß A - 131 ergibt für die vorhandenen Belebungsbecken für den gemessenen TS - Gehalt im Belebungsbecken von TS<sub>BB</sub> = 3,48 g-TS/l eine Kapazität von gut 170.000 EW.

Durch eine Erhöhung des TS - Gehalts im Belebungsbecken auf einen Wert von TS<sub>BB</sub> = 4,4 g/l erhöht sich die rechnerische Kapazität auf bis zu 215.000 EW. Für diese Kapazitäten würde dann allerdings das Volumen der bio-P-Becken nicht mehr den Bemessungshinweisen des A - 131 genügen.

Tabelle 23: Berechnung des Überschussschlammanfalls und der Auslastung der Belebungsbecken

A - 131				Status Quo	Status Quo $t_{TS}= 11,2 \text{ d}$	Szenario 01	Szenario 02	
<b>Überschussschlammanfall</b>				<b>Überschussschlammanfall</b>				
ÜS-EW,C	g-TS/(EW*d)	24,8	ÜS-C	kg-TS/d	2.220	3.222	5.353	2.680
ÜS-EW,P	g-TS/(EW*d)	3,6	ÜS-P	kg-TS/d	282	282	379	534
ÜS-EW	g-TS/(EW*d)	28,4	ÜS	kg-TS/d	2.502	3.504	5.732	3.213
A - 131				Status Quo	Status Quo $t_{TS}= 11,2 \text{ d}$	Szenario 01	Szenario 02	
	TS-BB	V-BB	n-BB	-	3,00	2,00	3,00	3,00
	g-TS/l	l/EW	TS-BB1	g-TS/l	3,48	3,48	3,48	3,48
	4,41	105,1	TS-BB2	g-TS/l	3,48	2,06	3,48	3,48
	3,48	133,1	TS-BB3	g-TS/l	3,48	0,00	3,48	3,48
	TS-BB	Auslastung	V-BB,gewählt	m <sup>3</sup>	22.800	15.200	22.800	22.800
	g-TS/l	EW	V-BB,Auslastung	m <sup>3</sup>	22.775	15.220	14.618	15.656
	4,41	<b>216.850</b>	V-BB,Auslastung	%	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>64</b>	<b>69</b>
	3,48	<b>171.240</b>						
			Q-max,TW	m <sup>3</sup> /h	2.278	1.522	1.462	1.566
	TS-BB	Q-max,TW						
	g-TS/l	m <sup>3</sup> /h						
	4,41	2.602	t-R,anaerob	h	0,5	0,5	0,5	0,5
	3,48	2.055	V-bioP,erf.	m <sup>3</sup>	1.544	1.544	1.650	1.650
t-R,anaerob	h	0,5						
	TS-BB	V-bioP,erf.						
	g-TS/l	m <sup>3</sup>						
	4,41	2.993						
	3,48	2.363						

Für den Status Quo und für die Szenarien wird mit dem Überschussschlammanfall und den gewählten TS - Gehalten in der Belebungsbecken das Volumen des Belebungsbeckens errechnet und gegenüber dem aktuellen Volumen die Auslastung dargestellt.

Mit der Nutzung des gesamt vorhandenen Belebungsbeckenvolumen von  $V_{BB} = 22.800 \text{ m}^3$  und dem TS - Gehalten in den drei Belebungsbecken von  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$  laut Betriebsdaten ergibt sich ein vorhandenes Schlammalter von knapp  $t_{TS,N/DN,vorh.} = 32 \text{ d}$ . Würde das vorhandene Schlammalter  $t_{TS,N/DN,vorh.} = 32 \text{ d}$  auf das erforderliche Schlammalter von  $t_{TS,N;DN,erf.} = 11,2 \text{ d}$  reduziert werden, unter Berücksichtigung des Belebungsbeckenvolumen von  $V_{BB} = 22.800 \text{ m}^3$  und der TS - Gehalten in den Belebungsbecken von  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$ , ergeben sich Kapazitätsreserven von ca. 50 % bzw. knapp  $11.500 \text{ m}^3$  Belebungsbeckenvolumen. Das entspricht einer theoretischen Einsparung von **1,5 Belebungsbecken**.

Würde beispielsweise ein Belebungsbecken Außerbetrieb genommen werden, ein Belebungsbecken mit einem TS - Gehalt laut Betriebsdaten mit  $TS_{BB} = 3,48$  g-TS/l und ein Belebungsbecken mit einem TS - Gehalt von  $TS_{BB} = 2,06$  g-TS/l betrieben werden, würde das erforderliche Schlammalter von  $t_{TS,N;DN,eff.} = 11,2$  d eingehalten werden und die Nutzung der zwei Belebungsbecken einer Auslastung von 100 % entsprechen.

Die Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens und die Anpassung des TS - Gehaltes eines Belebungsbeckens und der damit einhergehenden Reduzierung des Schlammalters würde Belüftungsenergie und Energie zur Umwälzung eines Belebungsbeckens einsparen. Mit der Reduzierung des Schlammalters geht aber eine erhöhte Überschussschlammproduktion einher. Die Überschussschlammproduktion würde sich von 2.500 auf 3.500 kg-TS/d erhöhen.

Diese Berechnungen wurden mit den gemessenen BSB - Konzentrationen durchgeführt, wobei das CSC/BSB - Verhältnis mit 1,65 auffällig ist. Für ein CSB/BSB - Verhältnis mit 0,5 müssten die Berechnungen angepasst werden.

### 6.2.3 Berechnung des Sauerstoffzufuhrbedarfs

In Tabelle 25 sind die Berechnungen des Sauerstoffzufuhrbedarfs, der erforderlichen Gebläsekapazität und des Stromverbrauchs der Belüftung aufgezeigt. Die Werte der Berechnungsansätze sind in Tabelle 24 zusammengestellt. Der Sauerstoff wird mit zwei Drehkolbenverdichter der Firma AERZEN (2 x Typ D 62 S), einem Drehkolbenverdichter der Firma SULZER (1 x Typ HST 20) und einem Turboverdichter der Firma HV - TURBO (1 x Typ KA2 S) erzeugt und mit feinblasigen Flächenbelüfter der Firma RMU in den Belebungsbecken verteilt. Der Drehkolbenverdichter der Firma SULZER wurde im Jahr 2020 ausgetauscht.

Die Daten der Verdichter wurden den technischen Datenblättern entnommen.

Tabelle 24: Berechnungsansätze

Gebläse	-	D 62S	KA 2 S	D 62S	HAST 20
Anzahl	-	1,0	1,0	1,0	1,0
Q-Luft	m <sup>3</sup> /min	48,9	46,0	48,9	83,3
P-el	kW	90,0	60,0	90,0	125,0
O-N	kg-O <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>	3,9	5,5	3,9	4,8
Belüftung	min/h	42,0			
SSA-RW	g-O <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> *m)	18,0			
Wt-E	m	6,6			
SSA	%	39,7			
O-N	kg-O <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>	18,0			
a	-	0,7			
c-s	mg/l	9,0			
c-x	mg/l	2,0			

Bei der Verfahrensweise der getrennten anaeroben Klärschlammstabilisierung kann mit den auf der Kläranlage installierten Verdichtern eine Belastung von bis zu knapp 155.000 EW abgedeckt werden. Somit würde die Gebläsekapazität für die beiden Szenarien 01 & 02 ausreichend sein.

Tabelle 25: Berechnung des Sauerstoffzufuhrbedarfs, der erforderlichen Gebläsekapazität und des Stromverbrauchs der Belüftung

A - 131			Status Quo    Status Quo    Szenario    Szenario Quo $t_{TS}= 11,2$ d    01    02					
t-TS;N/DN,erf.	d	16,31	t-TS;N/DN,erf.	d	31,7	11,2	8,9	17,0
OV-C	g-O <sub>2</sub> /(EW*d)	56,84	OV-C	kg-O <sub>2</sub> /d	7.682	6.903	9.776	6.218
OV-N	g-O <sub>2</sub> /(EW*d)	33,94	OV-N	kg-O <sub>2</sub> /d	3.423	3.423	3.121	3.816
OV-D	g-O <sub>2</sub> /(EW*d)	19,13	OV-D	kg-O <sub>2</sub> /d	1.888	1.888	1.655	2.124
OV-h,MW	g-O <sub>2</sub> /(EW*h)	4,27	OV-h,MW	kg-O <sub>2</sub> /h	549	502	669	471
OCL-RW,MW	g-O <sub>2</sub> /(EW*h)	8,44						
OV-h,max	g-O <sub>2</sub> /(EW*h)	5,28						
OCL-RW,max	g-O <sub>2</sub> /(EW*h)	10,43						
q-Luft	m <sup>3</sup> /(EW*h)	0,09						
Auslastung	EW	<b>155.589</b>	Auslastung	EW	<b>104.652</b>	<b>104.652</b>	<b>153.980</b>	<b>89.389</b>
E-EW,Belüftung,d	Wh <sub>el</sub> /(EW*d)	5,7	E-Belüftung,d	kWh <sub>el</sub> /d	731	669	892	627
E-EW,Belüftung,a	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	2,1	E-Belüftung,a	kWh <sub>el</sub> /a	266.832	244.287	325.457	228.984
			E-Einsparung	kWh <sub>el</sub> /a	0	22.545	-58.625	37.848

Mit der Reduzierung des Schlammalters von knapp 32,0 auf ca. 11,0 d und Anpassung des Belebungsbeckenvolumens sowie der TS - Gehalte würden ca. 23.000 kWh<sub>el</sub>/a an Belüftungsenergie eingespart werden können.

#### 6.2.4 Berechnung des Schlammanfalls

Die Schlammbehandlung auf der Kläranlage Stralsund besteht aus zwei Eindickern für den Vorklärschlamm, einer maschinellen Überschussschlammeindickung, zwei Faulbehältern, zwei Eindickern für den Faulschlamm und zwei Entwässerungszentrifugen. Das anfallende Gas wird in drei Blockheizkraftwerken in Wärme und Strom umgewandelt. Der Vorklärschlamm wird über das Vorklärschlammumpwerk in die statischen Eindicker gepumpt. Hier wird Trübwasser abgezogen. Anschließend wird der Schlamm vor den Wärmeübertragern in die Heizschlammumwälzleitung des Faulbehälters eingespeist. Der Überschussschlamm wird direkt aus dem Rücklaufschlammumpwerk entnommen und über zwei Bandeindicker, unter Zugabe von Flockungsmitteln, eingedickt. Der eingedickte Schlamm wird, wie der eingedickte Vorklärschlamm, vor den Wärmetauschern in den Heizschlammumwälzkreislauf eingespeist. Die zwei Faulbehälter haben ein Volumen von jeweils 1.800 m<sup>3</sup> und werden parallel betrieben. Die Beschickung der Faulbehälter mit Vorklärschlamm bzw. Überschussschlamm erfolgt alternierend. Zur Abdeckung der Wärmeverluste und zur Aufheizung des Rohschlammes wird ein Heizschlammumwälzkreislauf gefahren, der über 24 Stunden kontinuierlich betrieben wird. Die hier installierten Wärmetauscher werden mit der Abwärme der Blockheizkraftwerke beheizt. Die Faulbehälter verfügen über eine zusätzliche außenliegende Umwälzung mit Pumpen. Der ausgefaulte Schlamm fließt vom Überlauf der Faulbehälter in die Nacheindicker. Für die Vergleichmäßigung steht pro Eindicker ein Rührwerk zur Verfügung. Mit Hilfe von Exzentrerschneckenpumpen wird der Schlamm abgezogen und in einer der beiden zur Verfügung stehenden Entwässerungszentrifugen, unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln, entwässert und über ein Verladesystem, bestehend aus einem reversierbaren, verfahrbaren Förderband und zwei Pendelschurren, in die unterhalb der Zentrifugen stehenden Container verladen. Zusätzlich zum Schlamm der Kläranlage Stralsund wird auch der Schlamm aus den ländlichen Kläranlagen, die von der REWA betrieben werden, hier entwässert. Der Klärschlamm der Außenanlagen wird mit Saugwagen zur Kläranlage transportiert. Die Anlage zur Dosierung von Branntkalk in den entwässerten Schlamm wird nicht mehr genutzt.

Sowohl die Eindicker als auch die Schlammwässerungsanlage werden über ein Abluftsystem unter Unterdruck gehalten, so dass von hier keine geruchsbeladene Abluft nach außen gelangt. Die abgezogene Luft wird über einen Wäscher befeuchtet und anschließend in einen Biofilter gereinigt. Das in den Faulbehältern anfallende Klärgas wird in einem Kissengasspeicher mit 1.300 m<sup>3</sup> Nutzvolumen zwischengespeichert. Kondensat aus dem Faulgas wird über einen Kondensatschacht abgeleitet. Für die Verwertung des Klärgases stehen 3 Blockheizkraftwerke mit einer Leistung von jeweils 123 kW<sub>el</sub> und 181 kW<sub>therm</sub> aus den Jahren 2010/11 zur Verfügung. Der erzeugte Strom wird in das Netz der Kläranlage eingespeist. Die anfallende Wärme wird zur Beheizung der Faulbehälter und der Gebäude genutzt. Außerdem steht ein Tischkühler als Notkühler für die Blockheizkraftwerke zur Verfügung. Das in den Eindickern anfallende Trübwasser und das bei der Entwässerung anfallende Zentrat werden in den Zulauf der Kläranlage zurückgeleitet. Zur Verbesserung der Gasausbeute wird dem Faulturm zusätzlich Fett aus externen Fettabscheidern aus einen entsprechenden Annahmeschacht mit einer Pumpe zugeführt.

In Tabelle 26 ist die Berechnung des Schlammanfalls der Kläranlage Stralsund einschließlich der Berechnungsansätze zusammengestellt.

Tabelle 26: Berechnung des Schlammanfalls

A - 131			Status Quo    Status Quo    Szenario    Szenario Quo    t <sub>TS</sub> = 11,2 d    01    02					
Schlammanfall			Schlammanfall					
B-EW,TR,PS	g-TS/(EW*d)	45,0	B-TR,PS	kg-TR/d	3.989	3.989	3.989	3.989
B-EW,TR,ÜS	g-TS/(EW*d)	28,4	B-TR,ÜS	kg-TR/d	2.502	3.504	5.732	3.213
B-EW,TR,RS	g-TS/(EW*d)	<b>73,4</b>	B-TR,RS	kg-TR/d	<b>6.490</b>	<b>7.492</b>	<b>9.720</b>	<b>7.202</b>
GV-PS	%	70,0	GV-PS	%	82,0	82,0	82,0	82,0
GV-ÜS	%	70,0	GV-ÜS	%	75,2	75,2	75,2	75,2
B-EW,oTR,RS	g-TS/(EW*d)	51,4	B-oTR,RS	kg-TR/d	5.152	5.905	7.581	5.687
TR-PS	%-m	3,0	TR-PS	%-m	3,5	3,5	3,5	3,5
TR-ÜS	%-m	5,5	TR-ÜS	%-m	5,0	5,0	5,0	5,0
q-EW,RS	l/(EW*d)	2,0	Q-RS	m <sup>3</sup> -RS/d	164	184	229	179
CSB/oTR-PS	-	1,9	CSB/oTR-PS	-	1,75	1,75	1,75	1,75
CSB/oTR-ÜS	-	1,6	CSB/oTR-ÜS	-	1,45	1,45	1,45	1,45
B-EW,CSB,RS	g-CSB/(EW*d)	91,7	B-CSB,RS	kg-CSB/d	8.451	9.544	11.973	9.227
CSB/oTR	-	1,8	CSB/oTR	-	1,64	1,62	1,58	1,62
			V-FB	m <sup>3</sup>	3.600	3.600	3.600	3.600
			t-R	d	<b>21,91</b>	<b>19,53</b>	<b>15,73</b>	<b>20,17</b>

In den vorhergehenden Berechnungen wurde unterstellt, dass aus dem Produktionsabwasser der Brauerei in der Vorklärung keine Schmutzfrachten im nennenswerten Umfang abgeschieden werden. Die gleiche Annahme wird auch für die anderen Szenarien angenommen. Den Betriebsdaten zugrunde gelegt, fällt Primärschlamm im Mittel mit ca. 114 m<sup>3</sup>/d und einem TS - Gehalt von ca. 34,9 % an, was einer Feststofffracht von knapp 4.000 kg-TS/d entspricht.

Die Feststofffracht des Überschussschlammes aus der Belebung wurde in Kapitel 6.2.2 errechnet und variiert bei den unterschiedlichen Szenarien. Aufgrund des reduzierten Schlammalters  $t_{TS}$  von knapp 32 auf 11,2 d erhöht sich die Überschussschlammproduktion von 2.500 auf 3.500 kg-TS/a. Bei einer Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung (Szenario 01) steigt die Überschussschlammproduktion auf 5.700 kg-TS/a an. Durch eine werkseigene anaerobe Vorbehandlung des Brauereiabwassers bei einer Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d (Szenario 02) reduziert sich der Überschussschlamm auf ca. 3.200 kg-TS/a.

Die Summe aus der Primär- und Überschussschlammfeststofffracht bildet die Rohschlammfeststofffracht.

Gemäß den Betriebsdaten weist der Primärschlamm einen Glühverlust von  $GV_{PS} = 82 \%$  und der Überschussschlamm einen Glühverlust von  $GV_{ÜS} = 75,2 \%$  auf. Die Glühverluste des Primär- und Überschussschlammes nach Status Quo werden für die anderen Szenarien ebenso angesetzt. Über die Feststofffrachten und den Glühverlusten ergeben sich die oTR - Frachten des Rohschlammes der unterschiedlichen Szenarien.

Mit den TS - Gehalten des Primär- und Überschussschlammes laut Betriebsdaten resultieren die TR - Gehalte, die mit den TR - Frachten der Primär- und Überschussschlämme die Rohschlammengen ergeben, die der Faulung zugeführt werden. Über die gewählten Verhältnisse  $CSB/oTR_{PS} = 1,75$  und  $CSB/oTR_{ÜS} = 1,45$  ergibt sich die CSB Fracht des Rohschlammes. Bei allen Szenarien liegt das CSB/oTR – Verhältnis um ca. 1,60.

Mit dem vorhandenen Faulraumvolumen der Faulbehälter von  $V_{FB} = 3.600 \text{ m}^3$ , ergeben sich mit der Rohschlammmenge  $Q_{RS}$  die Verweilzeiten des Schlammes. Diese liegen bei den Szenarien um ca. 20 d. Bei Szenario 01 liegt die Verweilzeit bei nur knapp 16 d.

Einem TR - Gehalt des Faulschlammes von  $TR_{FS} = 2,1 \%$  laut Betriebsdaten unterstellt, ergibt sich die Feststofffracht. Die oTR - Fracht ergibt sich über den Glühverlust des Faulschlammes von  $GV_{FS} = 66 \%$  (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Schlammwässerung

A - 131			Status Quo					
					Status Quo	Status Quo $t_{TS} = 15,5 \text{ d}$	Szenario 01	Szenario 02
Schlammwässerung			Schlammwässerung					
q-FS	$I/(EW \cdot d)$	2,02	Q-FS	$\text{m}^3\text{-FS/d}$	164	184	229	179
B-EW,oTR,FS	$g\text{-TS}/(EW \cdot d)$	35,00	TR-FS	%-m	2,1	2,1	2,1	2,1
B-EW,TR,FS	$g\text{-TS}/(EW \cdot d)$	<b>57,03</b>	B-d,TR,FS	kg-TR/d	<b>3.519</b>	<b>3.949</b>	<b>4.904</b>	<b>3.824</b>
q-EW,TR,FS	$I/(EW \cdot d)$	<b>0,11</b>	GV-FS	%	66,12	66,12	66,12	66,12
TR-FS	$g\text{-TS}/I$	2,83	B-d,oTR,FS	kg-TR/d	<b>2.327</b>	<b>2.611</b>	<b>3.242</b>	<b>2.529</b>
GV-FS	%	61,37						

## **7 Energieverbrauch und CO<sub>2</sub> - Emissionen der Kläranlage Stralsund**

Bei den Untersuchungen zum Einfluss zukünftiger Ausbaumaßnahmen auf die Energiebilanz, die CO<sub>2</sub> - Emissionen und die Wirtschaftlichkeit geht es zunächst im Wesentlichen um Varianten in der Verfahrenstechnik. Die Verfahrenstechnik einer Kläranlage hat die größten Auswirkungen auf die Energiebilanz und die CO<sub>2</sub> - Emissionen. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit spielen die Investitionskosten eine wesentliche Rolle. Für die Investitionskosten ist der bau-, maschinen- und elektrotechnische Aufwand zur Umsetzung der Verfahrenstechnik von entscheidender Bedeutung und ist bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit, Vorteilen bei den Betriebskosten gegenüber zu stellen. Die Wirtschaftlichkeit wird der Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung im dritten Bericht der Klimapotentialstudie gegenübergestellt.

## 7.1 Status Quo

In Abbildung 15 ist die Energiebilanz der Kläranlage Stralsund unter Berücksichtigung des Verbrauchs und der Erzeugung verschiedener Energieträger schematisch dargestellt. Für die elektrischen Energiemengen wurden unter Berücksichtigung der Primärenergiefaktoren die verbrauchten und erzeugten  $kWh_{el}/a$  in die Primärenergiemengen in  $kWh_{Pr}/a$  umgerechnet. Mit dem Primärenergiefaktor wird für die unterschiedlichen Energieträger der Bedarf an Heizwert berechnet, der erforderlich ist, um eine kWh Elektroenergie oder eine kWh Heizwert herzustellen. In dem Primärenergiefaktor werden auch der Energieaufwand für die Herstellung der erforderlichen Anlagen und Leitungsverluste berücksichtigt. Bei fossilen Brennstoffen ist auch der Energieaufwand für Förderung, Verarbeitung (Raffinerie) und Transport berücksichtigt.

Für die aus dem öffentlichen Stromnetz entnommenen elektrischen Energiemengen wurde ein Strommix aus erneuerbaren und aus fossilen Brennstoffen erzeugtem Strom auf der Basis der EnEV 2009 mit einem Primärenergiefaktor von  $1,90 kWh_{Pr}/kWh_{el}$  und eine  $CO_2$  - Emission von  $401 g-CO_2/kWh_{el}$  herangezogen.

Der gleichen Quelle wurde der Primärenergiefaktor von  $1,10 kWh_{Pr}/kWh_{therm}$  sowie für die  $CO_2$  - Emission von  $220 g-CO_2/kWh_{el}$  für Erdgas entnommen sowie die  $CO_2$  - Emission durch die Faulgasverstromung von  $3 g-CO_2/kWh_{el}$ .

Der Primärenergiefaktor für die Eigennutzung durch Faulgasverstromung wurde berechnet, in dem der Primärenergiefaktor für den Strommix mit dem Verhältnis der  $CO_2$  - Emission für den Strommix und der  $CO_2$  - Emission für die Faulgasverstromung multipliziert wurde.

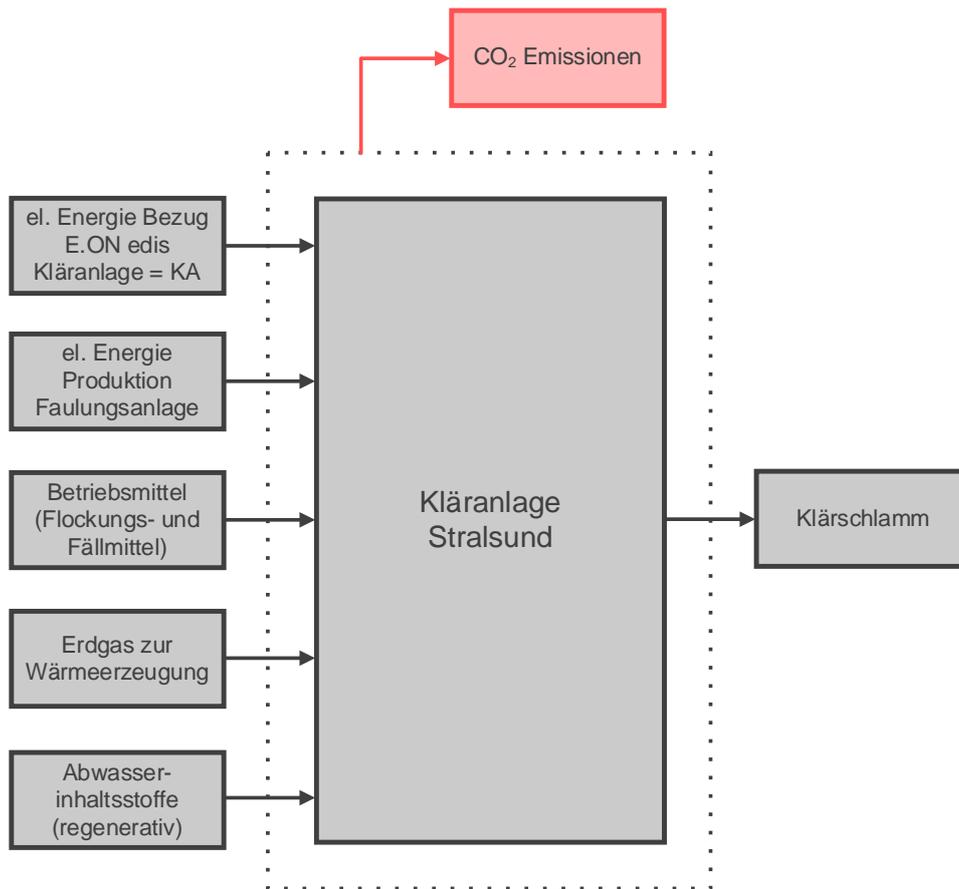


Abbildung 15: Energiebilanz der Kläranlage Stralsund

In Tabelle 28 sind die zur Berechnung der Primärenergie verwendeten Primärenergiefaktoren sowie die zur Berechnung der CO<sub>2</sub> Emissionen verwendeten CO<sub>2</sub> Äquivalente aufgezeigt.

Tabelle 28: Primärenergiefaktoren und CO<sub>2</sub> Äquivalente

Energieträger	Primärenergiefaktor	CO <sub>2</sub> Äquivalent
el. Energie E.ON edis	1,90 kWh <sub>Pr</sub> /kWh <sub>el</sub>	401 g-CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>
Betriebsmittel (FeCl <sub>3</sub> ; FHM)	- kWh <sub>Pr</sub> /kWh <sub>el</sub>	- g-CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>
Heizöl	1,10 kWh <sub>Pr</sub> /kWh <sub>therm</sub>	220 g-CO <sub>2</sub> /kWh <sub>therm</sub>
el. Energie Faulungsanlage Erzeugung	0,01 kWh <sub>Pr</sub> /kWh <sub>el</sub>	3 g-CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>
el. Energie Faulungsanlage Verkauf	1,89 kWh <sub>Pr</sub> /kWh <sub>el</sub>	3 g-CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>

## **Energieträger der Kläranlage Stralsund**

- **el. Energie Bezug E.ON edis (Kläranlage)**

Für die Kläranlage Stralsund ist der Bezug an el. Energie aus dem Netz der E.ON edis klimarelevant, die am Standort der Kläranlage bezogen wird. Die Energiemengen des Strombezugs für das Betriebsjahr 2018 wurden den Abrechnungen des Stromlieferanten entnommen.

- **el. Energie Faulungsanlage (Produktion)**

Weiterhin ist sowohl die Eigenstromerzeugung als auch der Stromverkauf durch die Faulungsanlage (FA) klimarelevant. Die Energiemengen des Strombezugs und der -erzeugung wurden für das Betriebsjahr 2018 auf der Grundlage der Zählerwerte ermittelt.

- **Betriebsmittel (Flockungs- und Fällmittel)**

Betriebsmittel, wie z.B. Flockungs- und Fällmittel sind hier zwar als klimarelevante Einflussfaktoren aufgeführt, werden aber in den Bilanzen aufgrund der geringen Einsatzmengen im Verhältnis zu den anderen Energieträgern nicht weiter berücksichtigt. In der Literatur wurden keine Angaben zu den Primärenergiefaktoren sowie CO<sub>2</sub> Äquivalenten für Betriebsmittel gefunden.

- **Erdgasbezug**

Mit der Abwärme der BHKW - Anlage werden die Betriebsgebäude geheizt. Zusätzlich ist ein erdgasbetriebener Heizkessel installiert, mit dem Wärme erzeugt werden kann. Im Jahr 2018 wurden ca. 10.000 l Heizöl bezogen. Die Energiemenge des Heizöls ergibt sich durch Multiplikation aus der bezogenen Heizölmenge und dem Heizwert von 9,80 kWh<sub>el</sub>/l.

In Abbildung 16 ist die Strombereitstellung gegenüber dem gesamten Strombezug der Kläranlage dargestellt. In Abbildung 17 sind die Stromverbräuche der Kläranlage Stralsund dargestellt.

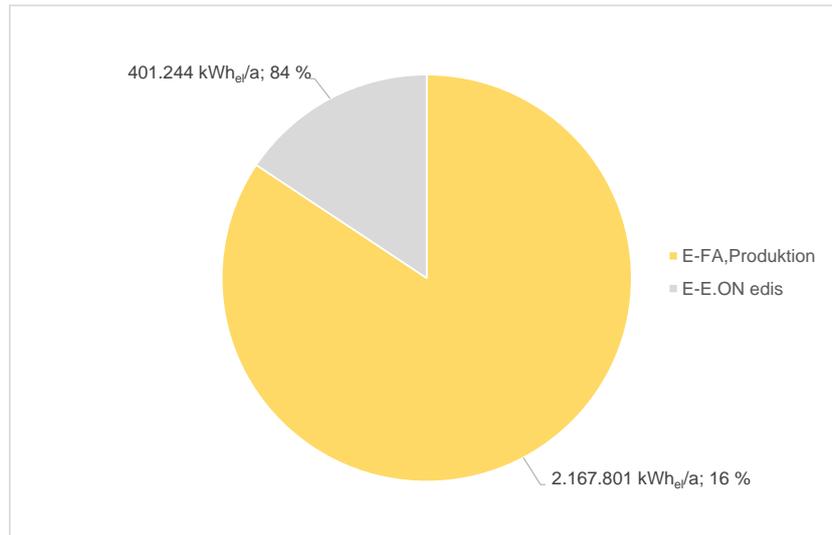


Abbildung 16: Strombereitstellung der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018)

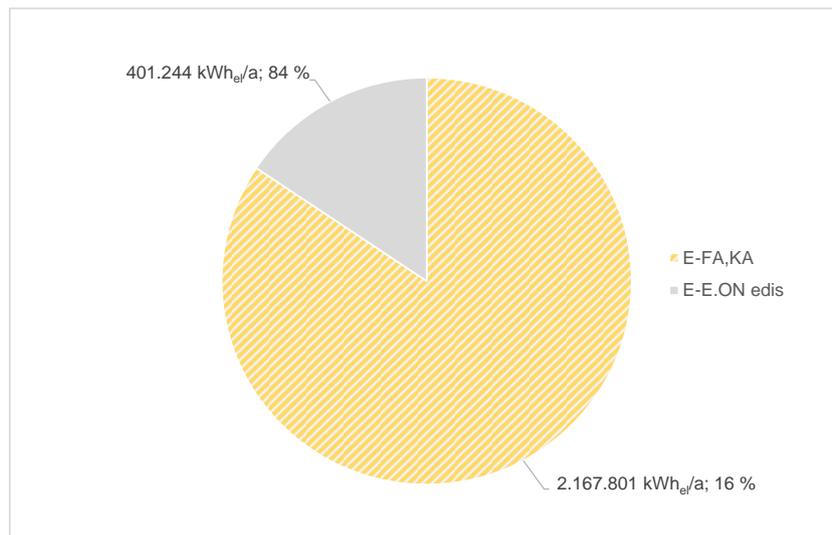


Abbildung 17: Stromverbrauch der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018)

In Abbildung 18 ist die Primärenergiebereitstellung und in Abbildung 19 der Primärenergieverbrauch der Kläranlage Stralsund dargestellt. Die Primärenergie, die durch die Energieproduktion der Faulungsanlage eingespart wird, ist grün dargestellt.

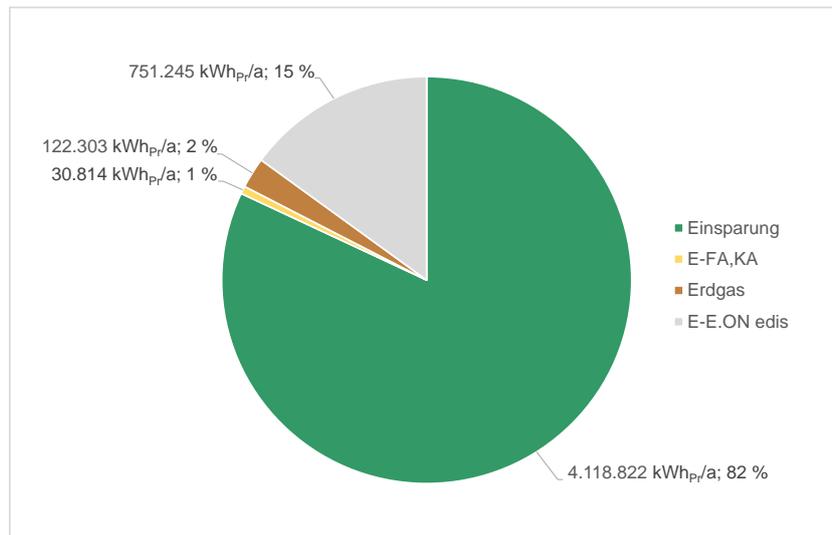


Abbildung 18: Primärenergiebereitstellung der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018)

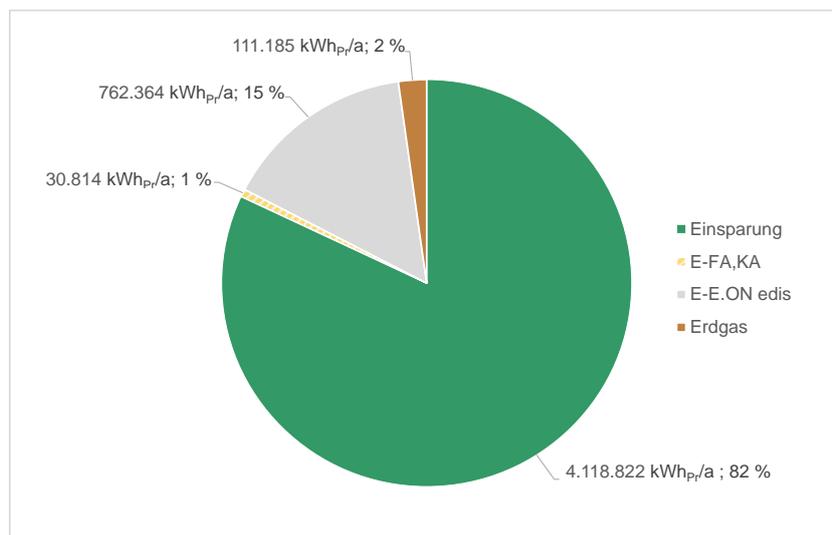


Abbildung 19: Primärenergieverbrauch der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2018)

In Abbildung 20 ist die CO<sub>2</sub> Produktion der Kläranlage Stralsund gegenüber der Einsparung, bedingt durch die Faulgasverstromung, aufgezeigt. Abbildung 21 zeigt die CO<sub>2</sub> Bilanz.

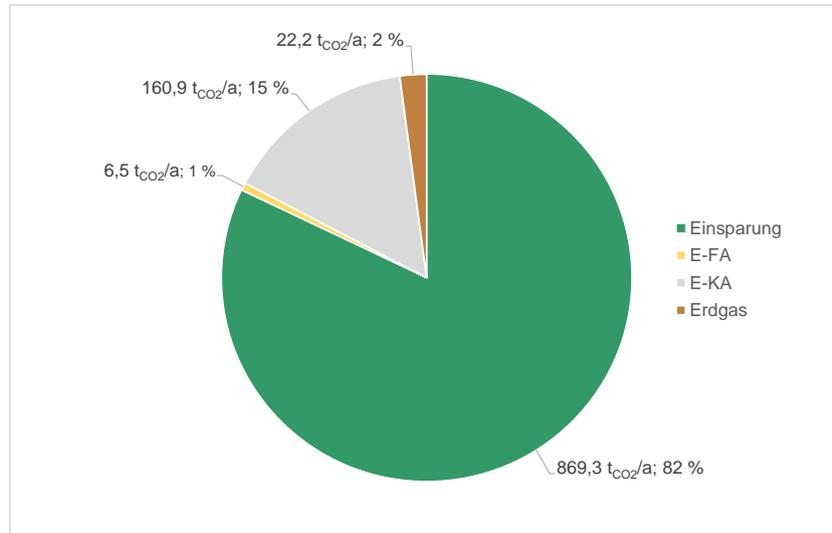


Abbildung 20: CO<sub>2</sub> Produktion der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2019)

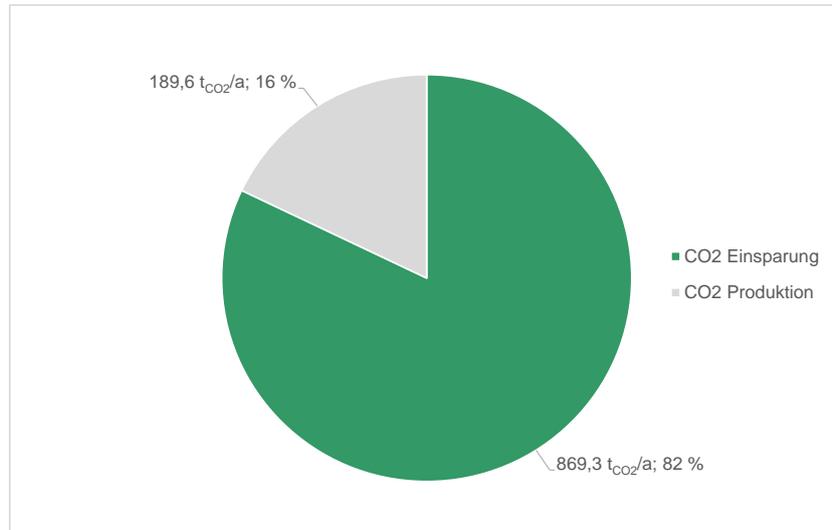


Abbildung 21: CO<sub>2</sub> Bilanz der Kläranlage Stralsund (Betriebsjahr 2019)

Im Jahr 2018 bezog die Kläranlage Stralsund am Standort der Kläranlage ca. 400.000 kWh<sub>el</sub>/a aus dem Netz der E.ON edis. Von der werkseigenen Faulungsanlage wurden ca. 2.170.000 kWh<sub>el</sub>/a erzeugt und zu 100 % am Standort der Kläranlage genutzt. Mit der Faulungsanlage können somit ca. 84 % der Energieversorgung am Standort abgedeckt werden.

Die restlichen 16 % werden aus dem Netz der E.ON edis bezogen. Bei der Darstellung der Primärenergiebereitstellung müssen neben dem Bezug und der Erzeugung der elektrischen Energiemengen auch der fossile Energieträger zur Wärmeerzeugung berücksichtigt werden. Der Primärenergieverbrauch lag im Jahr 2018 bei ca. 900.000 kWh<sub>PI</sub>/a. Mit der Faulgasverstromung werden ca. 4.000.000 kWh<sub>PI</sub>/a für den Bezug an Elektroenergie aus dem Netz der E.ON edis eingespart. Das entspricht ca. 82 % der auf der Kläranlage Stralsund verursachten Primärenergie.

Insgesamt wurden im Jahr 2018 knapp 190 t-CO<sub>2</sub>/a produziert, durch den Bezug an Elektroenergie aus dem Netz der E.ON edis, der Produktion von Elektroenergie durch Faulgas und durch Nutzung von Erdgas zur Wärmeerzeugung. Durch die Faulgasverstromung am Standort werden ca. 870 t-CO<sub>2</sub>/a für den Bezug an Elektroenergie eingespart.

Bei der Abwasserreinigung wird ein Teil der Abwasserinhaltsstoffe in der Belebung mit Energieaufwand zu Kohlendioxid veratmet, ein Teil der Abwasserinhaltsstoffe verbleibt im Klärschlamm. Bei der Schlammbehandlung, eine thermische Verwertung unterstellt, werden auch die im Klärschlamm verbliebenen Abwasserinhaltsstoffe oxidiert und zu Kohlendioxid umgesetzt. Diese CO<sub>2</sub> - Emissionen dürften allerdings überwiegend als regenerativ anzusehen sein, da die Abwasserinhaltsstoffe überwiegend ihren Ursprung in verdauten Lebensmitteln haben, die pflanzlichen und tierischen Ursprungs sind. Die CO<sub>2</sub> - Emissionen, die bei der Herstellung, Verarbeitung und dem Transport der Lebensmittel entstehen, gehören nach unserer Auffassung nicht in den Bilanzkreis der Kläranlage. Zur besseren Einordnung der CO<sub>2</sub> - Emissionen einer Kläranlage werden die CO<sub>2</sub> - Emissionen aus den Abwasser- und Klärschlamm-inhaltsstoffen aber informativ grob abgeschätzt. Ausgehend von einer chemischen Zusammensetzung der Abwasserinhaltsstoffe von C<sub>250</sub>H<sub>611</sub>O<sub>77</sub>N<sub>55</sub>P<sub>6</sub>S ergibt sich ein Verhältnis CO<sub>2</sub>/CSB = 0,98. Unter Berücksichtigung einer CSB-Zulaufkraft von ca. 3.440 t-CSB aus dem Jahr 2018 ergibt sich bei einer vollständigen Oxidation der Abwasserinhaltsstoffe eine CO<sub>2</sub> - Fracht von ca. 3.380 t-CO<sub>2</sub>/a. Das entspricht einer 18,0-mal so großen CO<sub>2</sub> - Emission wie die aller auf der Kläranlage eingesetzten Energieträger.

## 7.2 Einbindung der Sandfiltration in die Energiebilanz der Kläranlage Stralsund

Im November 2019 wurde eine Sandfiltration auf der Kläranlage in Betrieb genommen, um den Phosphorgehalt im Ablauf der Kläranlage noch weiter herabzusenken. Da die Sandfiltration einen nicht unerheblichen Energieverbrauch verursacht, wird dieser dem Energieverbrauch der Kläranlage aus dem Jahr 2018 gegenübergestellt und miteinander verglichen.

Im ACRON, dem Leitsystem der Kläranlage, werden die stündlichen Energiemengen der Sandfiltration erfasst. Bei der Aufbereitung dieser Daten fiel auf, dass sporadisch diese Werte um das 10-fache höher liegen. Deshalb wurden alle Werte, die nicht um das 10-fache höher lagen mit dem Faktor 10 multipliziert und aus allen Werten ein Mittelwert gebildet. Dieser Mittelwert, angegeben in kWh/h, wurde multipliziert mit 8.760 h/a, was eine Energiemenge von 2.900.000 kWh<sub>el</sub>/a ergibt. Da dieser Wert dem gesamten Energieverbrauch der Kläranlage entspricht und nicht plausibel erscheint, wurden die Werte, die um Faktor 10 höher liegen durch den Faktor 10 dividiert, mit der sich eine Energiemenge von ca. 290.000 kWh<sub>el</sub>/a errechnet.

In der Sandfiltration sind die Hauptverbraucher zwei KAESER Verdichter und drei Flygt Pumpen, die das Ablaufwasser in die Filter fördern. Neben den KAESER Verdichter und den Zulauf Pumpen sind noch eine Ethanolansetz- und dosierungsanlage sowie verschiedene Pump- und Messtechnik verbaut.

Allein der Energieverbrauch der Pumpen entspricht bei ca. 13.000 m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr, bei einer Anhebung auf 6 m und einem Pumpenwirkungsgrad von 50 % ca. 160.000 kWh<sub>el</sub>/a. Aufgrund dieses Wertes wird die Energiemenge von ca. 290.000 kWh<sub>el</sub>/a als plausibel angesehen.

In Abbildung 22 sind die stündlich geschriebenen Energiemengen gegenüber dem Zulauf der Sandfiltration dargestellt.

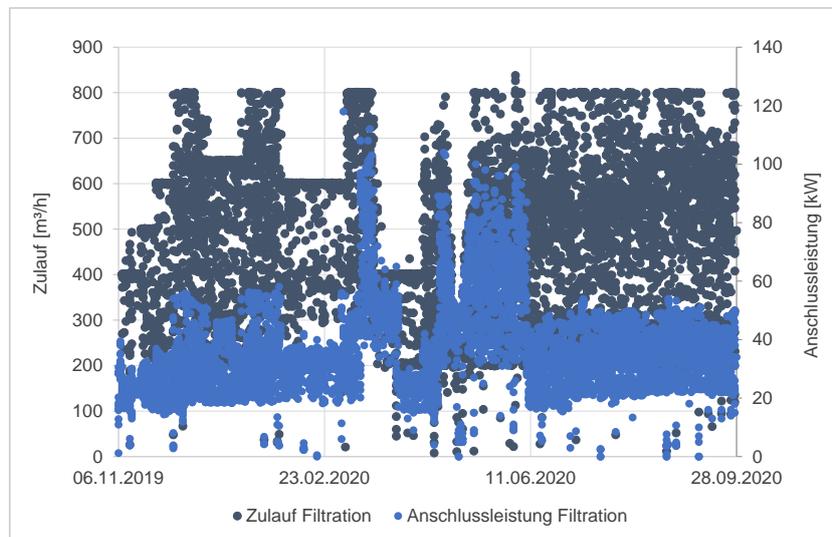


Abbildung 22: Zulauf und Anschlussleistung der Sandfiltration

In Tabelle 29 sind die Energiemengen und der spezifische Energieverbrauch der Kläranlage aus dem Jahr 2018 ohne und mit Sandfiltration aufgezeigt.

Tabelle 29: spezifischer Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Sandfiltration und der Produktionsvergrößerung der Brauerei und ggf. einer Vorbehandlung des Abwassers

		ohne Sandfiltration	mit Sandfiltration
Energieverbrauch 2018	kWh <sub>el</sub> /a	2.630.439	2.630.439
Energieverbrauch Kiesfilter	kWh <sub>el</sub> /a	0	293.039
Energieverbrauch gesamt	kWh <sub>el</sub> /a	2.630.439	2.923.478
angeschlossene Einwohnerwerte	EW	104.652	104.652
spezifischer Energieverbrauch	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	25,1	27,9

In den Jahren des Betrachtungszeitraumes hatte die Kläranlage Stralsund einen durchschnittlichen Energieverbrauch von ca. 2.600.000 kWh<sub>el</sub>/a. In Bezug auf die angeschlossenen Einwohnerwerte des Jahres 2018 ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von ca. 25,1 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). Der Energiebedarf der Sandfiltration liegt bei ca. 300.000 kWh<sub>el</sub>/a. Bezogen auf den Einwohnerwert von ca. 105.000 EW aus dem Jahr 2018 erhöht sich der spezifische Energieverbrauch mit dem Betrieb der Sandfiltration um knapp 3 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) von 25,1 auf 27,9 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a).

### 7.3 Vergleich der Entwicklungsszenarien

Für die Entwicklungsszenarien werden folgende Szenarien betrachtet:

- **Status Quo:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018)
- **Status Quo + Sandfiltration**
- **Szenario 01:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018) + Sandfiltration + Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung
- **Szenario 02:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018) + Sandfiltration + Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d mit anaerober werkseigener Vorbehandlung

Da keine signifikante Veränderung der Faulgasproduktion bei den unterschiedlichen Szenarien zu erwarten ist, wurde die Energiemenge des Betriebsjahres 2018 für alle Szenarien gleich angesetzt.

Die Belüftungsenergie, die für die aerobe Behandlung des Überschussschlammes nötig ist, wurde berücksichtigt.

Der elektrische Energiebedarf, der Bedarf an Primärenergie sowie die Produktion an CO<sub>2</sub> - Emissionen, die bei den unterschiedlichen Entwicklungsszenarien entstehen, sind in Tabelle 30 aufgezeigt und in Abbildung 23 dargestellt. In der Tabelle sind jeweils die absoluten Werte pro Jahr und die einwohnerspezifischen Werte pro Jahr für jedes Entwicklungsszenario aufgezeigt.

Tabelle 30: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien

		Status Quo	Status Quo + Sandfiltration	Szenario 01	Szenario 02
	EW	104.652	104.652	153.980	89.389
elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	2.569.045	2.869.045	2.927.645	2.831.245
	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	24,5	27,4	19,0	31,7
Primärenergie	kWh <sub>Pr</sub> /a	904.363	1.474.363	1.585.703	1.402.543
	kWh <sub>Pr</sub> /(EW*a)	8,6	14,1	10,3	15,7
CO <sub>2</sub> - Emission	t-CO <sub>2</sub> /a	189,6	309,9	333,4	294,8
	kg-CO <sub>2</sub> /(EW*a)	1,8	3,0	2,2	3,3

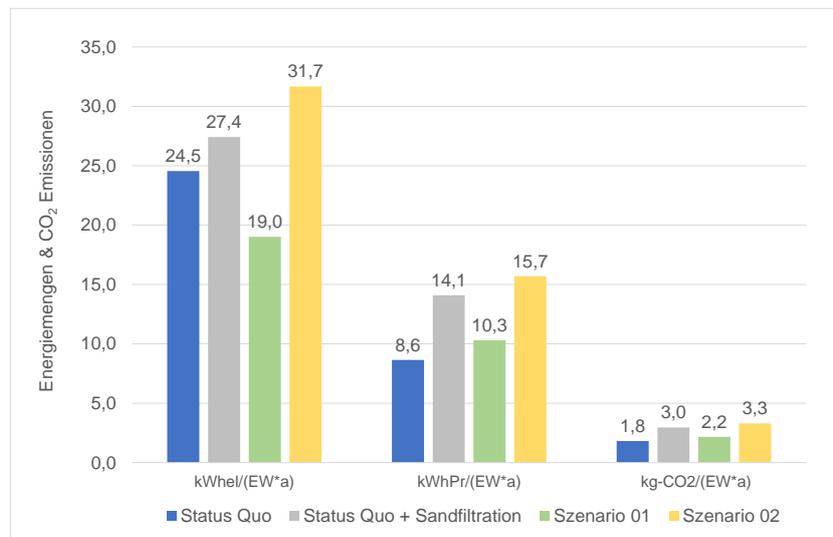


Abbildung 23: Einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien

Mit dem Betrieb der Sandfiltration steigt der Energieverbrauch bei einem Anschlusswert von 104.652 EW von ca. 24,5 auf 27,4 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) an. Mit dem Szenario 01 erhöht sich der Anschlusswert von knapp 105.000 EW auf knapp 155.000 EW. Durch den Anschlusswert von 155.000 EW reduziert sich der einwohnerspezifische Energieverbrauch auf 19,0 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). Bei einer werkseigenen anaeroben Vorbehandlung des Brauereiabwassers würde sich der spezifische Energieverbrauch auf ca. 31,7 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) erhöhen. Der Primärenergieverbrauch lag im Jahr 2018 bei ca. 8,6 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a). Bei den anderen Szenarien liegen die Primärenergieverbräuche in einem Bereich zwischen ca. 10,0 - 15,0 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a), wobei der geringste Primärenergieverbrauch bei Szenario 01 und der höchste bei Szenario 02 zu verzeichnen ist.

Die CO<sub>2</sub> - Emissionen liegen beim Status Quo bei ca. 1,8 kg-CO<sub>2</sub>/(EW\*a). Bei den anderen Szenarien liegen die CO<sub>2</sub> - Emissionen im Bereich zwischen 2,2 – 3,3 kg-CO<sub>2</sub>/(EW\*a).

## 8 Möglichkeiten zur Reduzierung

### 8.1 Austausch einzelner Rührwerke bestimmter Beckeneinheiten der Belebungsbecken

Der Idealwert für Rührwerke bzw. für die Umwälzung der Belebungsbecken liegt bei 1,5 kW/m<sup>3</sup>. In 11 von insgesamt 21 Beckeneinheiten liegen die installierten Rührwerksleistungen noch in einem guten Bereich unter 2,0 kW/m<sup>3</sup>. In sieben Becken liegt der Wert bei 2,6 kW/m<sup>3</sup>. Bei spezifischen Verbräuchen über 3,0 kW/m<sup>3</sup> sollte bei Ablauf der Nutzungsdauer bzw. bei einem Austausch des Rührwerks die erforderliche installierte Leistung überprüft und angepasst werden. Die Rührwerke die einen spezifischen Energieverbrauch über 3,0 kW/m<sup>3</sup> haben sind in Tabelle 31 dargestellt. Die Rührwerksleistungen wurden so angepasst, dass der Idealwert eingehalten wird, oder in einem noch vertretbaren Bereich unter 3,0 kW/m<sup>3</sup> liegt. Die installierten Leistungen und die Betriebszeiten der Rührwerke wurden den Betriebsdaten entnommen.

- **Status Quo:** Weiterbetrieb der aktuell installierten Rührwerke
- **Variante 01:** Austausch einzelner Rührwerke bestimmter Beckeneinheiten der Belebungsbecken

Tabelle 31: Austausch einzelner Rührwerke bestimmter Beckeneinheiten der Belebungsbecken

Status Quo									
Becken	Beckeneinheit	kW	m <sup>3</sup>	W/m <sup>3</sup>	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>Pr</sub> /a	t-CO <sub>2</sub> /a	
BB 1	Rührwerk Anaerob 2	4,0	347	11,5	8.760	35.040	66.576	14,1	
BB 2	Rührwerk RS-Deni	2,3	347	6,6	8.760	20.148	38.281	8,1	
BB 2	Rührwerk Deni 2	4,3	1.312	3,3	8.760	37.668	71.569	15,1	
SUMME						92.856	176.426	37,2	
Variante 01									
Becken	Beckeneinheit	kW	m <sup>3</sup>	W/m <sup>3</sup>	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>Pr</sub> /a	t-CO <sub>2</sub> /a	
BB 1	Rührwerk Anaerob 2	0,9	347	2,6	8.760	7.884	14.980	3,2	
BB 2	Rührwerk RS-Deni	0,9	347	2,6	7.771	6.994	13.288	2,8	
BB 2	Rührwerk Deni 2	2,0	1.312	1,5	8.760	17.520	33.288	7,0	
SUMME						32.398	61.556	13,0	

Der elektrische Energiebedarf, der Bedarf an Primärenergie sowie die Produktion an CO<sub>2</sub> - Emissionen, die bei den unterschiedlichen Varianten entstehen, sind in Tabelle 32 aufgezeigt und in Abbildung 24 dargestellt. In der Tabelle sind jeweils die absoluten Werte pro Jahr und die einwohnerspezifischen Werte pro Jahr für jede Variante aufgezeigt, die Abbildung zeigt nur die einwohnerspezifischen Werte.

Tabelle 32: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

		Status Quo	Variante 01
	EW	104.652	104.652
elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	92.856	33.288
	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	0,9	0,3
Primärenergie	kWh <sub>Pr</sub> /a	176.426	63.247
	kWh <sub>Pr</sub> /(EW*a)	1,7	0,6
CO <sub>2</sub> - Emission	t-CO <sub>2</sub> /a	37,2	13,3
	kg-CO <sub>2</sub> /(EW*a)	0,4	0,1

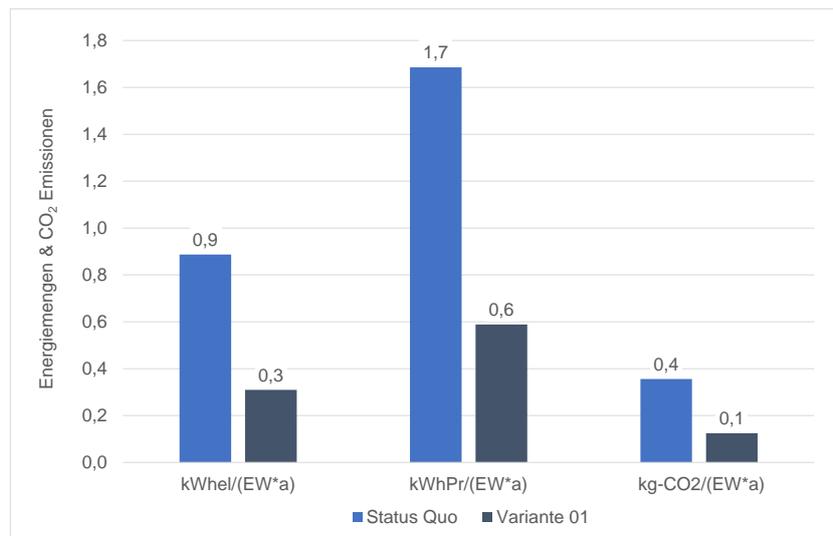


Abbildung 24: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

Mit dem Austausch der vorgeschlagenen Rührwerke werden ca. 60.000 kWh<sub>el</sub>/a bzw. 0,6 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a), 115.000 kWh<sub>Pr</sub>/a bzw. 1,1 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a) und 24 t-CO<sub>2</sub>/a bzw. 0,3 t-CO<sub>2</sub>/(EW\*a) eingespart.

## 8.2 Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens und des TS - Gehaltes der Belebung

Die Energieeinsparung in Bezug auf die Belüftung bei Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens von 22.800 m<sup>3</sup> auf 15.200 m<sup>3</sup> (Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens) und der Reduzierung des TS - Gehaltes eines weiteren Belebungsbeckens wurde im Kapitel 6.2.2 aufgezeigt. Neben der Einsparung an Belüftungsenergie wird bei der Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens auch Energie für die Umwälzung eingespart. Die installierten Leistungen und die Betriebszeiten der Rührwerke wurden den Betriebsdaten entnommen. Für die Berechnung der Energieeinsparung hinsichtlich der Umwälzung wird beispielhaft des Belebungsbeckens 1 Außerbetrieb genommen.

- **Status Quo:** Weiterbetrieb aller drei Belebungsbecken
- **Variante 01:** Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens und Reduzierung des TS - Gehaltes eines weiteren Belebungsbeckens

Tabelle 33: Energieeinsparung

Becken	Beckeneinheit	kW	m <sup>3</sup>	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>Pf</sub> /a	t-CO <sub>2</sub> /a
BB 1	RS-DN	0,9	347	8.760	7.884	14.980	3,2
	AA I	0,9	344	8.760	7.884	14.980	3,2
	AA II	4,0	347	8.760	35.040	66.576	14,1
	DN I	2,3	1.327	8.760	20.148	38.281	8,1
	DN II	2,3	1.312	8.760	20.148	38.281	8,1
	N-DN I	2,3	1.323	6.994	16.086	30.564	6,5
	N-DN II	2,3	1.332	6.781	15.596	29.633	6,3
Einsparung Rührwerke					122.787	233.294	49,2
Einsparung Belüftung					22.545	42.836	9,0
SUMME Einsparung					<b>145.332</b>	<b>276.130</b>	<b>58,3</b>

Der elektrische Energiebedarf, der Bedarf an Primärenergie sowie die Produktion an CO<sub>2</sub> - Emissionen, die bei den unterschiedlichen Varianten entstehen, sind in Tabelle 34 aufgezeigt und in Abbildung 25 dargestellt. In der Tabelle sind jeweils die absoluten Werte pro Jahr und die einwohnerspezifischen Werte pro Jahr für jede Variante aufgezeigt, die Abbildung zeigt nur die einwohnerspezifischen Werte.

Tabelle 34: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

		Status Quo	Variante 01
	EW	104.652	104.652
elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	389.619	244.287
	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	3,7	2,3
Primärenergie	kWh <sub>Pr</sub> /a	740.275	464.145
	kWh <sub>Pr</sub> /(EW*a)	7,1	4,4
CO <sub>2</sub> - Emission	t-CO <sub>2</sub> /a	156,2	98,0
	kg-CO <sub>2</sub> /(EW*a)	1,5	0,9

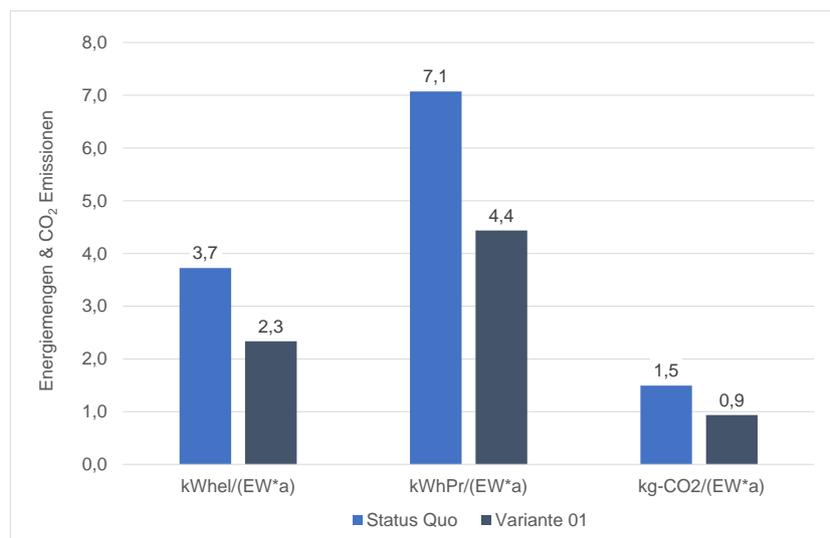


Abbildung 25: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

Die Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens und Reduzierung des TS - Gehaltes eines weiteren Belebungsbeckens bringt eine Energieeinsparung von ca. 145.000 kWh<sub>el</sub>/a bzw. 1,4 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a), ca. 270.000 kWh<sub>Pr</sub>/a bzw. 2,7 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a) und ca. 60 t-CO<sub>2</sub>/a bzw. 0,6 t-CO<sub>2</sub>/(EW\*a) mit sich.

### 8.3 Energetische Optimierung der Faulturmumwälzung

Für Durchmischung der Faulbehälter (2 á 1.800 m<sup>3</sup>) wurden neben der Umwälzung durch die außenliegenden Heizschlammumpen (2 + 1 Pumpen: Ritz; Typ: ASF 100-250 á 80m<sup>3</sup>/h) zwei weitere Umwälzpumpen (2 Pumpen: Flygt; Typ: NZ 3171,095 á ca. 500 m<sup>3</sup>/h) installiert, da sich die zunächst installierten Vertikalrührwerke nicht bewährt hatten. Die Heizschlammumpen und die zusätzlichen Umwälzpumpen laufen 8.760 h/a durch, wobei die Laufzeit von zwei ständig laufenden Pumpen auf die drei installierten Heizschlammumpen gleichmäßig verteilt wird, sodass sich für jede Heizschlammpumpe eine Jahreslaufzeit von 5.840 h ergibt.

Der spezifische Idealwert einer außenliegenden Umwälzung über den Heizschlammkreislauf wird mit 6,0 - 10,0 W/m<sup>3</sup> angegeben. Die Summe der Umwälzaggregate ergibt einen spezifischen Energieverbrauch von 12,1 W/m<sup>3</sup> und liegt um 2,1 W/m<sup>3</sup> über dem Idealwertebereich. Bei zahlreichen Faulungsanlagen ist es gängige Praxis ausschließlich den Heizschlammkreislauf zur Faulbehälterdurchmischung zu nutzen, wobei eine einfache Umwälzung des Faulbehälternutzvolumens pro Tag angestrebt wird. Die Leistung der Heizschlammumpen würden auch in der Kläranlage Stralsund eine einfache Umwälzung des Faulbehälternutzvolumens pro Tag sicherstellen, so dass untersucht werden könnte, ob nicht allein der Betrieb der Heizschlammumpen für die Faulbehälterdurchmischung ausreichend ist oder zumindest die Laufzeit der zusätzlichen Umwälzpumpen reduziert werden könnte (siehe Tabelle 35)

Tabelle 35: Ertüchtigung der Faulturmumwälzung

Status Quo							
	kW	W/m <sup>3</sup>	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>p</sub> /a	t-CO <sub>2</sub> /a	
Umwälzpumpe Faulturm 1	17,6	4,9	8.760	128.772	244.667	51,6	
Umwälzpumpe Faulturm 2	17,6	4,9	8.760	128.772	244.667	51,6	
Umwälzpumpe 1 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
Umwälzpumpe 2 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
Umwälzpumpe 3 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
<b>SUMME</b>		<b>12,1</b>		<b>306.600</b>	<b>582.540</b>	<b>122,9</b>	
Variante 01							
	kW	W/m <sup>3</sup>	h/a	kWh <sub>el</sub> /a	kWh <sub>p</sub> /a	t-CO <sub>2</sub> /a	
Umwälzpumpe 1 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
Umwälzpumpe 2 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
Umwälzpumpe 3 Heizschlammkreislauf	2,8	0,8	5.840	16.352	31.069	6,6	
<b>SUMME</b>		<b>2,3</b>		<b>49.056</b>	<b>93.206</b>	<b>19,7</b>	

- **Status Quo:** Weiterbetrieb der aktuellen Faulturmumwälzung
- **Variante 01:** Außerbetriebnahme der zwei 17,6 kW Pumpen für die Faulturmumwälzung

Der elektrische Energiebedarf, der Bedarf an Primärenergie sowie die Produktion an CO<sub>2</sub> - Emissionen, die bei den unterschiedlichen Varianten entstehen, sind in Tabelle 32 aufgezeigt und in Abbildung 24 dargestellt. In der Tabelle sind jeweils die absoluten Werte pro Jahr und die einwohnerspezifischen Werte pro Jahr für jede Variante aufgezeigt, die Abbildung zeigt nur die einwohnerspezifischen Werte.

Tabelle 36: absolute und einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

		Status Quo	Variante 01
	EW	104.652	104.652
elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	306.600	49.056
	kWh <sub>el</sub> /(EW*a)	2,9	0,5
Primärenergie	kWh <sub>Pr</sub> /a	582.540	93.206
	kWh <sub>Pr</sub> /(EW*a)	5,6	0,9
CO <sub>2</sub> - Emission	t-CO <sub>2</sub> /a	122,9	19,7
	kg-CO <sub>2</sub> /(EW*a)	1,2	0,2

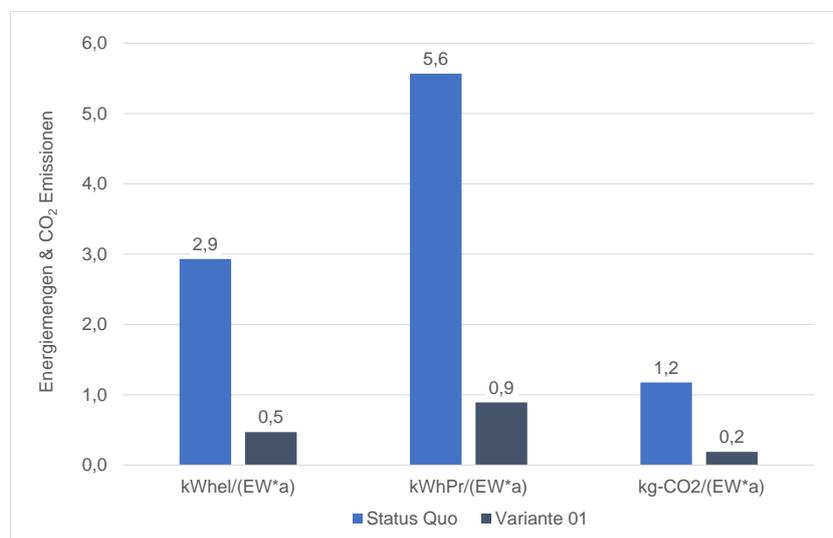


Abbildung 26: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der einzelnen Varianten

Mit der Außerbetriebnahme der zwei 17,6 kW Umwälzpumpen können knapp 260.000 kWh<sub>el</sub>/a bzw. 2,4 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a), 490.000 kWh<sub>Pr</sub>/a bzw. 4,7 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a) und ca. 100 t-CO<sub>2</sub>/a bzw. 1,0 t-CO<sub>2</sub>/(EW\*a) eingespart werden.

## 8.4 Einführung eines Lastmanagements

Die Energiekosten für den Bezug von Strom aus dem öffentlichen Stromnetz setzen sich zusammen aus dem Arbeitspreis, angegeben in €/kWh<sub>el</sub> und dem Leistungspreis, angegeben in €/kW<sub>el</sub>. Während der Arbeitspreis pro kWh<sub>el</sub> konstant ist, ist der Leistungspreis abhängig von der maximal bezogenen elektrischen Leistung innerhalb 15 min in einem bestimmten Abrechnungszeitraum. Diese sogenannten Lastspitzen entstehen durch hohe und kurzfristige Leistungsbezüge, die sich maßgeblich vom typischen Lastprofil unterscheiden. Daher sind Betreiber dazu angehalten die Leistungsspitzen so gering wie möglich zu halten und so einen geringen Leistungspreis sicherzustellen. Eine Möglichkeit die Leistungsspitzen bzw. den Energieverbrauch der Kläranlage zu optimieren ist die Einführung eines Lastmanagements.

In Vorbereitung auf die Erstellung eines solchen Lastmanagements und um festzustellen, welche Hauptverbraucher maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsspitzen auf der Kläranlage haben, wurden die Viertelstunden - Werte der Hauptverbraucher aus den Jahren 2017 - 2019 graphisch ausgewertet.

Die im November 2019 in Betrieb gegangene Sandfiltration verursacht im Mittel einen zusätzlichen Leistungsbedarf von ca. 33,4 kW laut Betriebsdaten. Da die Sandfiltration kontinuierlich betrieben wird, ist die Leistungsabnahme nahezu konstant. Damit die Sandfiltration nicht zusätzlich CO<sub>2</sub> – Emissionen, bedingt durch die Entnahme aus dem öffentlichen Stromnetz erzeugt, besteht mit einem Lastmanagement die Möglichkeit den Energiebezug der Sandfiltration dahingehend zu optimieren, dass dieser in Kombination mit den anderen Hauptverbrauchern am Standort so betrieben wird, dass vorzugsweise der werkseigene produzierte Strom genutzt wird.

Auch vor dem Hintergrund der geplanten Erneuerung der BHKW – Anlage dürfte sich die Aufstellung eines Lastmanagements als sinnvoll abzeichnen.

Die Viertelstundenwerte der Hauptverbraucher, die für die Auswertung zur Verfügung gestellt wurden, sind nachstehend mit ihrer Bezeichnung aus dem ACRON aufgelistet:

- (1) Einspeisung, Feld03 Schlammwässerung, Wirkleistung\_ival
- (2) Einspeisung, Feld04 mechanische Reinigung, Wirkleistung\_ival
- (3) Einspeisung, Feld05 Trafo 1, Wirkleistung\_ival
- (4) Einspeisung, Feld06 Belebung, Wirkleistung\_ival
- (5) Einspeisung, Feld05 Trafo 2, Wirkleistung\_ival
- (6) Einspeisung, Feld08 Faulung, Wirkleistung\_ival
- (7) Einspeisung, Feld09 Sandwäsche, Wirkleistung\_ival
- (8) Einspeisung, Feld09 Verwaltung, Wirkleistung\_ival
- (9) Faulgasverwertung, BHKW's, Gesamtleistung\_ival

Die Leistungen, die über die beiden Trafos zur Kläranlage eingespeist werden ((3) & (5)), bilden den Strombezug.

Die Summe der Stromverbraucher setzt sich zusammen aus der Schlammwässerung (1), der mechanischen Reinigung (2), der Belebung (4), der Sandwäsche (7) und der Verwaltung (8) sowie des Betriebshofes (10).

**Stromverbraucher:** (1) + (2) + (4) + (7) + (8) + (10)

Der Stromverbrauch des Betriebshofs wird bilanziell wie folgt berechnet

$$(10) \quad \text{„Betriebshof“} (3) + (5) + (6) - (1) - (2) - (4) - (7) - (8)$$

Von jedem Monat des Betrachtungszeitraumes wurde die größte Leistungsspitze mit dem Zeitpunkt herausgefiltert und in der nachstehenden Tabelle aufgezeigt.

Von den Tagen, an dem die Leistungsspitze zu verzeichnen ist, wurden die Viertelstundenwerte der einzelnen Verbraucher dargestellt umso den Grund für die Leistungsspitze abschätzen zu können. Die einzelnen Diagramme zu den Tagen sind in der Exceldatei „Leistungsspitzen“ dargestellt.

Aus diesen Diagrammen wurden Rückschlüsse für den Grund der Leistungsspitzen abgeleitet. Die Leistungsspitzen, die pro Monat der letzten drei Jahre auftraten sind zusammen mit dem Datum und dem Zeitpunkt sowie den Bemerkungen bzw. den Rückschlüssen für den Grund der Leistungsspitze in Tabelle 37 aufgezeigt.

Tabelle 37: monatliche Leistungsspitzen aus den Jahren 2017 - 2019

Zeitpunkt der Leistungsspitze		Leistungs- spitze	Bemerkung / Grund für Leistungsspitze
Monat / Jahr	Datum / Zeit	kW	-
Jan 17	06.01.2017 11:30	<b>294,2</b>	BHKW bei 30 kW; SEW sinkt zum Zeitpunkt
Feb 17	27.02.2017 16:30	<b>211,4</b>	BHKW bei 20 kW
Mrz 17	18.03.2017 07:45	<b>238,7</b>	BHKW bei 42 kW
Apr 17	24.04.2017 10:30	<b>262,4</b>	BHKW bei 30 kW; SEW bei 80 kW
Mai 17	10.05.2017 14:45	<b>254,5</b>	Belebung auf 170 kW und SEW ; BHKW bei 100 kW
Jun 17	07.06.2017 02:00	<b>258,4</b>	Belebung auf 200 kW; BHKW bei 50 kW
Jul 17	19.07.2017 01:30	<b>276,4</b>	alle BHKWs Außerbetrieb
Aug 17	02.08.2017 10:15	<b>321,6</b>	alle BHKWs Außerbetrieb
Sep 17	28.09.2017 13:15	<b>280,6</b>	alle BHKWs Außerbetrieb
Okt 17	25.10.2017 01:00	<b>245,0</b>	Belebung auf 177 kW; BHKW bei 30 kW
Nov 17	18.11.2017 16:15	<b>269,6</b>	BHKW bei 30 kW
Dez 17	05.12.2017 11:00	<b>241,2</b>	BHKW bei 0 kW
Jan 18	23.01.2018 23:00	<b>218,5</b>	BHKW bei 31 kW; Belebung auf 145 kW
Feb 18	07.02.2018 10:15	<b>242,5</b>	BHKW bei 31 kW; Anstieg Belebung und SEW
Mrz 18	13.03.2018 11:15	<b>245,2</b>	alle BHKWs Außerbetrieb; SEW auf 0 kW
Apr 18	25.04.2018 09:00	196,3	BHKW bei 61 kW; Belebung bei 160 kW
Mai 18	08.05.2018 13:00	<b>240,9</b>	BHKW bei 31 kW; Belebung auf 145 kW
Jun 18	12.06.2018 11:45	<b>211,0</b>	Belebung auf 185 kW; BHKWs auf 61 kW
Jul 18	17.07.2018 07:15	<b>273,3</b>	alle BHKWs Außerbetrieb
Aug 18	23.08.2018 19:45	<b>262,5</b>	BHKWs auf 15 kW nur für kurzen Zeitpunkt
Sep 18	24.09.2018 12:15	<b>282,3</b>	BHKWs auf 17 kW nur für kurzen Zeitpunkt
Okt 18	03.10.2018 01:15	<b>254,4</b>	Belebung auf 187 kW; BHKW bei 31 kW
Nov 18	27.11.2018 22:00	166,6	BHKW bei 31 kW; Belebung leicht hoch
Dez 18	02.12.2018 18:15	193,8	Belebung auf 170 kW; BHKW bei 45 kW
Jan 19	08.01.2019 14:00	<b>221,9</b>	BHKW auf 61 kW; Belebung auf 200 kW
Feb 19	06.02.2019 16:00	178,5	BHKW Ausfall
Mrz 19	04.03.2019 15:45	<b>222,3</b>	BHKW auf 20 kW
Apr 19	25.04.2019 11:00	<b>238,0</b>	BHKW auf 38 kW; SEW zum Zeitpunkt hoch
Mai 19	08.05.2019 15:00	<b>273,6</b>	Umbau Gasschleuse; alle BHKWs Außerbetrieb
Jun 19	12.06.2019 19:00	174,9	BHKW auf 30 kW
Jul 19	31.07.2019 23:45	185,0	Belebung über 200 kW; BHKW auf 61 kW
Aug 19	20.08.2019 09:00	<b>228,7</b>	Ausfall BHKW
Sep 19	10.09.2019 20:15	<b>202,4</b>	Belebung über 200 kW; BHKW 61 kW
Okt 19	16.10.2019 14:45	183,7	Belbung 181; BHKW 81; SEW auf 84 kW
Nov 19	13.11.2019 11:15	<b>217,2</b>	Ausfall BHKW
Dez 19	02.12.2019 09:15	<b>240,8</b>	BHKW auf 31 kW

Die Betriebsdatenauswertung hat gezeigt, dass sowohl die mechanische Reinigung, die Sandwäsche, die Verwaltung und der Betriebshof nahezu einen gleichbleibenden Leistungsbedarf vorweisen. Maßgebend für die hohen Leistungsspitzen sind die Leistungsaufnahmen der Belebung und der Schlammwässerung sowie die Erzeugung elektrischer Energie aus dem Faulgas mit der BHKW - Anlage.

Mit der Datenauswertung konnten folgende Fälle für das Auftreten der Leistungsspitzen abgeleitet werden:

- Ausfall bzw. Außerbetriebnahme der BHKW's
- Niedrige Leistung der BHKW's (< 40 kW)
- Hohe Leistungsabnahme der Belebung (> 170 kW)
- Hohe Leistungsabnahmen von der Belebung und der Schlammwässerung

In Abbildung 27 sind die Leistungsspitzen pro Monat der vergangenen drei Jahre abgebildet (grau). Durch die kontinuierlich betriebene Sandfiltration erhöht sich die Leistungsaufnahme um ca. 33,4 kW laut Betriebsdaten. Die Leistungsaufnahme der Sandfiltration wurde auf die Leistungsspitzen der vergangenen Jahre addiert und als Vergleich mit dargestellt. Abbildung 28 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der 36 Leistungsspitzen der letzten drei Jahre mit und ohne dem zusätzlichen Leistungsbedarf von 33,4 kW der Sandfiltration.

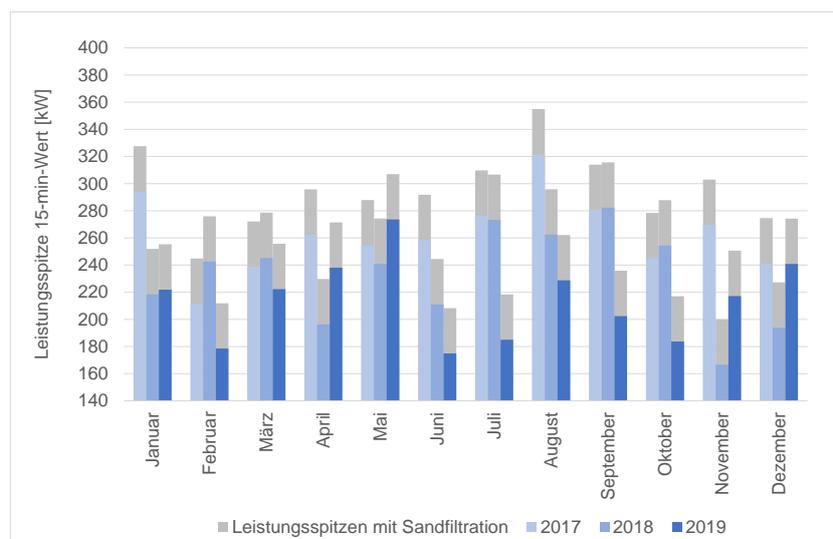


Abbildung 27: Messwerte der Leistungsspitzen pro Monat der Jahre 2017 – 2019

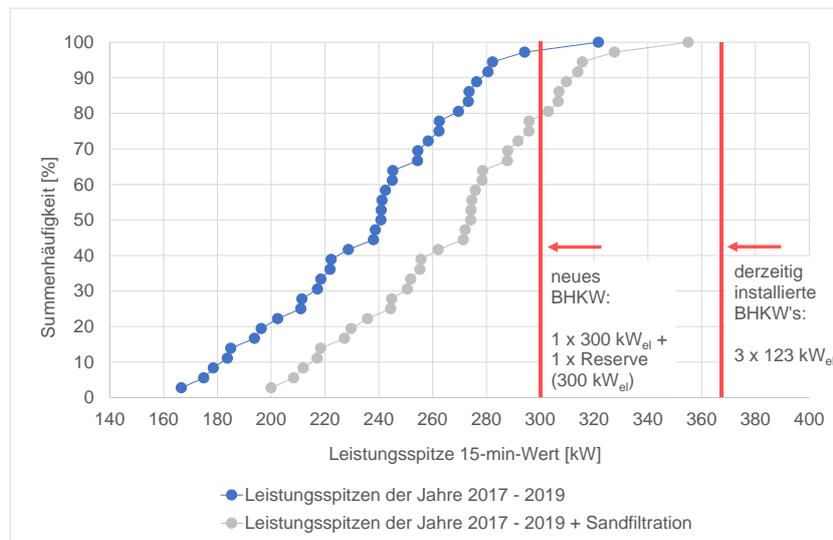


Abbildung 28: Summenhäufigkeitsverteilung der Leistungsspitzen pro Monat der Jahre 2017 – 2019

Durch die Inbetriebnahme der Sandfiltration und der zusätzlichen Leistungsaufnahme von 33,4 kW<sub>el</sub> kommt es zu einem Offset. Mit den aktuell installierten BHKW's, die eine insgesamt Leistung von knapp 370 kW bei Vollast bereitstellen, ist es möglich die Leistungsspitzen plus der zusätzlichen Leistungsaufnahme der Sandfiltration abzufangen. Vor dem Hintergrund, dass die BHKW – Anlage der Kläranlage erneuert werden soll, gäbe es die Möglichkeit die drei installierten BHKW's (3 x 123 kW<sub>el</sub>) gegen zwei neue BHKW's in redundanter Bauweise mit einer Leistung von jeweils 300 kW<sub>el</sub> auszutauschen, wobei bei dieser Verfahrensweise immer ein BHKW in Betrieb wäre um die Grundlast der Kläranlage abzudecken und das zweite BHKW immer dann zugeschaltet werden würde, wenn es zu einem Leistungsanstieg kommt. Durch die zusätzliche Einführung eines Lastmanagement gibt es die Möglichkeit Leistungsanstiege frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls den Betrieb der Hauptverbraucher gegeneinander zu sperren (beispielsweise Abriegelungen der Schlammwässerung bei erhöhten Leistungsbedarf der Belüftung) und so den Betrieb der BHKW's anzupassen.

## 9 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Bericht wurde ein Energiecheck der Kläranlage nach DWA - A 216 für eine erste Einschätzung des Stromverbrauchs durchgeführt und für den Betrachtungszeitraum von 2017 - 2019 aufgezeigt. In diesen drei Jahren besaß die Kläranlage durchschnittlich eine Anschlussleistung von knapp 110.000 EW und einen Stromverbrauch um ca. 2,5 Mio kWh<sub>el</sub>. Um den Stromverbrauch der Kläranlage mit den anderen Kläranlagen in Deutschland vergleichen zu können, wurde der Stromverbrauch auf einwohnerspezifische Werte umgerechnet. Durchschnittlich lag dieser einwohnerspezifischer Stromverbrauch bei knapp 24,0 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). Somit wiesen lediglich 20 % der vergleichbaren Kläranlagen in Deutschland mit einem Belebtschlammverfahren mit Vorklärung und getrennter anaerober Schlammstabilisierung einen günstigeren Verbrauchswert auf.

In dem DWA - A 216 werden den einzelnen verfahrenstechnischen Anlagen - z.B. Schlammverdickung und -entwässerung, Rechenanlage - Idealwerte zugeordnet. Diese Idealwerte wurden den Ist - Werten gegenübergestellt und der Grad des Einsparpotentials abgeleitet.

Vor dem Hintergrund, dass die Störtebeker Brauerei ihre Produktion langfristig um das Doppelte vergrößern möchte (auf ca. 680.000 m<sup>3</sup>/a), wurde zum einen geprüft werden, ob die Kläranlage Stralsund über ausreichend Kapazitäten verfügt, um die zusätzliche Abwasserlast aufzubereiten und zum anderen welche Auswirkungen eine werksinterne anaerobe Vorbehandlung des Brauereiabwassers auf die Nährstoffverhältnisse der Kläranlage hat. Es werden folgende Szenarien dargestellt:

- **Status Quo:** KA Stralsund (104.652 EW = Betriebsjahr 2018)
- **Szenario 01:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung
- **Szenario 02:** Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d mit anaerober werkseigener Vorbehandlung

Das CSB/BSB Verhältnis des Status Quos sowohl bei der Brauerei als auch bei dem Abwasser der Hansestadt Stralsund liegt in einem Bereich um ca. 1,64 liegt.

Der Wert liegt um 0,4 unter dem Wert, der in der A - 131 für häusliches Abwasser angegeben wird.

Das Verhältnis  $N_{ges}/CSB$  des Abwassers der Hansestadt Stralsund ohne Brauerei liegt mit 0,202 um 82 % über dem Wert von 0,111, der in dem A - 131 für häusliches Abwasser angegeben wird. Der erhöhte Stickstoffgehalt im kommunalen Abwasser der Hansestadt Stralsund überrascht. Die Brauerei weist erwartungsgemäß nur eine geringe Belastung mit  $N_{ges}$  auf, die sogar nur bei 50 % des Nährstoffbedarfs liegt. Im Zulauf zur Kläranlage gleichen sich diese CSB-N-Verhältnisse aus, sodass das Verhältnis von 0,113 im Zulauf zur Kläranlage gut mit dem Wert der A - 131 von 0,111 für häusliches Abwasser übereinstimmt. Ähnliche Verhältnisse sind auch im Hinblick auf  $P_{ges}$  zu verzeichnen. Das Verhältnis  $P_{ges}/CSB$  im Zulauf der Kläranlage liegt mit 0,029 deutlich über dem Wert von 0,018 für häusliches Abwasser gemäß dem A - 131, wohingegen das CSB-P-Verhältnis im Brauereiabwasser mit 0,007 deutlich unter diesem Verhältnis liegt.

Bei Szenario 01 wird davon ausgegangen, dass das Abwasser der Brauerei unbehandelt zur Kläranlage gelangt.

Bei Betrachtung des Szenario 02 wird von einer werkseigenen anaeroben Vorbehandlung auf dem Gelände der Brauerei ausgegangen, in der 85 % des CSB und BSB, 20 % des TS und jeweils 15 % des  $N_{ges}$  und  $P_{ges}$  abgebaut werden. Bei einer anaeroben Vorbehandlung des gesamten in der Brauerei anfallenden Abwassers ergibt sich im Zulauf der Kläranlage Stralsund ein CSB-N-Verhältnis von 5,7. Für eine weitgehende Denitrifikation ist allerdings ein CSB-N-Verhältnis von  $CSB/N = 6,0$  erforderlich. Um in der Kläranlage Stralsund eine weitgehende Denitrifikation ohne Zugabe von externem Kohlenstoff sicherzustellen, ist es erforderlich 23 % des Brauereiabwassers im Bypass an der anaeroben Vorbehandlung vorbeizuleiten, sofern die gemessenen BSB - Konzentrationen trotz des ungewöhnlichen CSB/BSB - Verhältnisses von 1,65 berücksichtigt werden. Wird die BSB - Konzentration sowohl im Brauereiabwasser als auch im Kommunalabwasser mit  $BSB = 0,5 \cdot CSB$  angesetzt ergibt sich ein erforderlicher Bypass - Volumenstrom von 47 %.

Im Rahmen der Nachbemessung der Nachklärbecken wurde die Schlammvolumenbeschickung  $q_{sv}$  iterativ so hoch gewählt, dass die in den Becken vorhandene Wasserspiegelhöhe durch die Bemessung ausgereizt wurde. Aus der maximal zulässigen Schlammvolumenbeschickung ergibt sich im Zusammenhang mit dem Schlammvolumen die maximal zulässige Oberflächenbeschickung. Mit der maximal zulässigen Oberflächenbeschickung und der vorhandenen Oberfläche der Nachklärbecken berechnet sich dann der zulässige maximale Zufluss. Dieser liegt mit ca. 2.440 m<sup>3</sup>/h deutlich über dem mittleren täglichen Trockenwetter-Abwasseranfall von rund 540 m<sup>3</sup>/h bzw. 13.000 m<sup>3</sup>/d. Die 98 - Perzentile weisen einen Maximalwert der betrachteten Jahre von etwas über 25.000 m<sup>3</sup>/d auf.

Die Kapazitätsberechnungen in Kapitel 6 haben aufgezeigt, dass sich auf der Grundlage des Rücklaufschlammverhältnis von  $RV = 1,0$  nach Angaben des Betreibers und der gemessenen TS - Gehalte im Belebungsbecken ein Schlammvolumenindex von ca. 127 ml/g-TS errechnet.

Bei Ausreizen der vorhandenen Wassertiefe der Nachklärbecken durch die Wahl der Schlammvolumenbeschickung ergibt sich ein maximal zulässiger Wert von  $q_{sv} = 382 \text{ l}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ . Der maximal zulässige Zulaufvolumenstrom ergibt sich dann zu rund  $Q_{h,max} = 2.628 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Bei einem ISV von 80 ml/g-TS, der laut Betriebsdaten im Winter eingehalten wird und einem gewählten TS - Gehalt im Belebungsbecken mit 4,4 g-TS/l, lässt sich bei einem  $q_{sv} = 342 \text{ l}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  ein maximaler Volumenstrom von ca. 2.947 m<sup>3</sup>/h erreichen und somit eine weitere Erhöhung des maximal zulässigen Abflusses zur Nachklärung um ca. 320 m<sup>3</sup>/h.

Die Bemessung gemäß A - 131 ergibt für die vorhandenen Belebungsbecken für den gemessenen TS - Gehalt im Belebungsbecken von  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$  eine Kapazität von gut 170.000 EW. Durch eine Erhöhung des TS - Gehalts im Belebungsbecken auf einen Wert von  $TS_{BB} = 4,4 \text{ g/l}$  erhöht sich die rechnerische Kapazität auf bis zu 215.000 EW. Für diese Kapazitäten würde dann allerdings das Volumen der bio-P-Becken nicht mehr den Bemessungshinweisen des A - 131 genügen.

Mit der Nutzung des gesamt vorhandenen Belebungsbeckenvolumen von  $V_{BB} = 22.800 \text{ m}^3$  und dem TS - Gehalten in den drei Belebungsbecken von  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$  laut Betriebsdaten ergibt sich ein vorhandenes Schlammalter von knapp  $t_{TS,N/DN,vorh.} = 32 \text{ d}$ . Würde das vorhandene Schlammalter  $t_{TS,N/DN,vorh.} = 32 \text{ d}$  auf das erforderliche Schlammalter von  $t_{TS,N;DN,erf.} = 11,2 \text{ d}$  reduziert werden, unter Berücksichtigung des Belebungsbeckenvolumen von  $V_{BB} = 22.800 \text{ m}^3$  und der TS - Gehalten in den Belebungsbecken von  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$ , ergeben sich Kapazitätsreserven von ca. 50 % bzw. knapp  $11.500 \text{ m}^3$  Belebungsbeckenvolumen. Das entspricht einer theoretischen Einsparung von **1,5 Belebungsbecken**.

Würde beispielsweise ein Belebungsbecken Außerbetrieb genommen werden, ein Belebungsbecken mit einem TS - Gehalt laut Betriebsdaten mit  $TS_{BB} = 3,48 \text{ g-TS/l}$  und ein Belebungsbecken mit einem TS - Gehalt von  $TS_{BB} = 2,06 \text{ g-TS/l}$  betrieben werden, würde das erforderliche Schlammalter von  $t_{TS,N;DN,erf.} = 11,2 \text{ d}$  eingehalten werden und die Nutzung der zwei Belebungsbecken einer Auslastung von 100 % entsprechen.

Die Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens und die Anpassung des TS - Gehaltes eines Belebungsbeckens und der damit einhergehenden Reduzierung des Schlammalters würde Belüftungsenergie und Energie zur Umwälzung eines Belebungsbeckens einsparen. Mit der Reduzierung des Schlammalters geht aber eine erhöhte Überschussschlammproduktion einher. Die Überschussschlammproduktion würde sich von 2.500 auf 3.500 kg-TS/d erhöhen.

Diese Berechnungen wurden mit den gemessenen BSB - Konzentrationen durchgeführt, wobei das CSC/BSB - Verhältnis mit 1,65 auffällig ist. Für ein CSB/BSB - Verhältnis mit 0,5 müssten die Berechnungen angepasst werden.

Bei der Verfahrensweise der getrennten anaeroben Klärschlammstabilisierung kann mit den auf der Kläranlage installierten Verdichtern eine Belastung von bis zu knapp 155.000 EW abgedeckt werden. Somit würde die Gebläsekapazität für die beiden Szenarien 01 & 02 ausreichend sein. Mit der Reduzierung des Schlammalters von knapp 32,0 auf ca. 11,0 d und Anpassung des Belebungsbeckenvolumens sowie der TS - Gehalte würden ca. 23.000 kWh<sub>el</sub>/a an Belüftungsenergie eingespart werden können.

In den Berechnungen wurde unterstellt, dass aus dem Produktionsabwasser der Brauerei in der Vorklärung keine Schmutzfrachten im nennenswerten Umfang abgeschieden werden. Die gleiche Annahme wird auch für die anderen Szenarien angenommen. Da das Faulgaspotential hauptsächlich im Primärschlamm liegt und nicht im Überschussschlamm, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Faulgasproduktion nicht signifikant erhöht und es somit zu keiner wesentlich höheren Energieproduktion kommt. Mit der erhöhten Überschussschlammproduktion steigt allerdings der Energiebedarf für die Belüftung und für die Schlammbehandlung.

Weiterführend wurde die Installation der Sandfiltration in die Energiebilanz der Kläranlage mit einbezogen. In den Jahren des Betrachtungszeitraumes hatte die Kläranlage Stralsund einen durchschnittlichen Energieverbrauch von ca. 2.600.000 kWh<sub>el</sub>/a. In Bezug auf die angeschlossenen Einwohnerwerte des Jahres 2018 ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von ca. 25,1 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). Der Energiebedarf der Sandfiltration liegt bei ca. 300.000 kWh<sub>el</sub>/a. Bezogen auf den Einwohnerwert von ca. 105.000 EW aus dem Jahr 2018 erhöht sich der spezifische Energieverbrauch mit dem Betrieb der Sandfiltration um knapp 3 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) von 25,1 auf 27,9 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). Durch die Inbetriebnahme der Sandfiltration und der zusätzlichen Leistungsaufnahme von 33,4 kW<sub>el</sub> kommt es zu einem Offset. Mit den aktuell installierten BHKW's, die eine insgesamt Leistung von knapp 370 kW bei Vollast bereitstellen, ist es möglich die Leistungsspitzen plus der zusätzlichen Leistungsaufnahme der Sandfiltration abzufangen. Vor dem Hintergrund, dass die BHKW – Anlage der Kläranlage erneuert werden soll, gäbe es die Möglichkeit die drei installierten BHKW's (3 x 123 kW<sub>el</sub>) gegen zwei neue BHKW's in redundanter Bauweise mit einer Leistung von jeweils 300 kW<sub>el</sub> auszutauschen, wobei bei dieser Verfahrensweise immer ein BHKW in Betrieb wäre um die Grundlast der Kläranlage abzudecken und das zweite BHKW immer dann zugeschaltet werden würde, wenn es zu einem Leistungsanstieg kommt. Durch die zusätzliche Einführung eines Lastmanagement gibt es die Möglichkeit Leistungsanstiege frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls den Betrieb der Hauptverbraucher gegeneinander zu sperren (beispielsweise Abriegelungen der Schlammentwässerung bei erhöhten Leistungsbedarf der Belüftung) und so den Betrieb der BHKW's anzupassen.

Im Jahr 2018 bezog die Kläranlage Stralsund am Standort der Kläranlage ca. 400.000 kWh<sub>el</sub>/a aus dem Netz der E.ON edis. Von der werkseigenen Faulungsanlage wurden ca. 2.170.000 kWh<sub>el</sub>/a erzeugt und zu 100 % am Standort der Kläranlage genutzt. Mit der Faulungsanlage können somit ca. 84 % der Energieversorgung am Standort abgedeckt werden. Die restlichen 16 % werden aus dem Netz der E.ON edis bezogen.

Bei der Darstellung der Primärenergiebereitstellung müssen neben dem Bezug und der Erzeugung der elektrischen Energiemengen auch der fossile Energieträger zur Wärmeerzeugung berücksichtigt werden.

Der Primärenergieverbrauch lag im Jahr 2018 bei ca. 900.000 kWh<sub>Pr</sub>/a. Mit der Faulgasverstromung werden ca. 4.000.000 kWh<sub>Pr</sub>/a für den Bezug an Elektroenergie aus dem Netz der E.ON edis eingespart. Das entspricht ca. 82 % der auf der Kläranlage Stralsund verursachten Primärenergie.

Insgesamt wurden im Jahr 2018 knapp 190 t-CO<sub>2</sub>/a produziert, durch den Bezug an Elektroenergie aus dem Netz der E.ON edis, der Produktion von Elektroenergie durch Faulgas und durch Nutzung von Erdgas zur Wärmeerzeugung. Durch den Betrieb der Faulungsanlage am Standort werden ca. 870 t-CO<sub>2</sub>/a für den Bezug an Elektroenergie eingespart.

Für die Entwicklungsszenarien werden folgende Szenarien betrachtet:

- **Status Quo:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018)
- **Status Quo + Sandfiltration**
- **Szenario 01:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018) + Sandfiltration + Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d ohne werkseigene Vorbehandlung
- **Szenario 02:** Status Quo (104.652 EW = Betriebsjahr 2018) + Sandfiltration + Produktionsvergrößerung der Brauerei auf eine Abwassermenge von 1.840 m<sup>3</sup>/d mit anaerober werkseigener Vorbehandlung

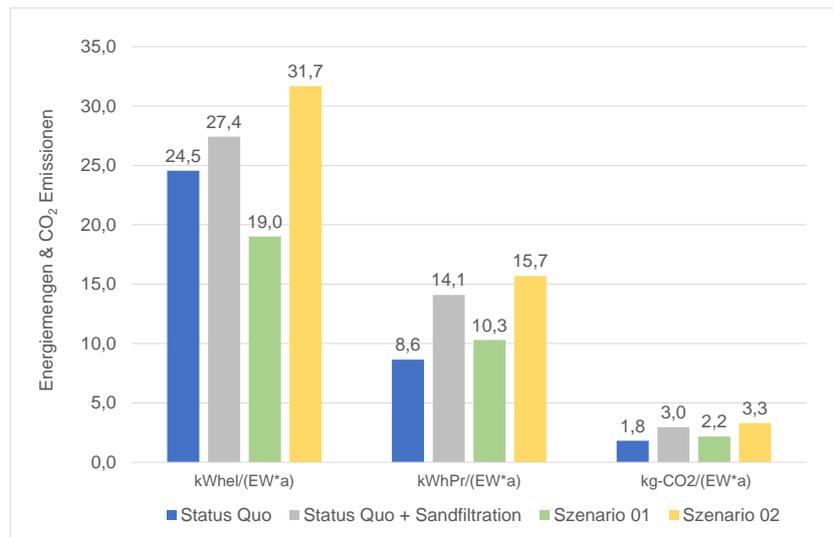


Abbildung 29: einwohnerspezifische Werte des elektrischen Energiebedarfs, des Primärenergiebedarfs sowie der CO<sub>2</sub> - Emissionen der Entwicklungsszenarien

Mit dem Betrieb der Sandfiltration steigt der Energieverbrauch bei einem Anschlusswert von 104.652 EW von ca. 24,5 auf 27,4 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) an. Mit dem Szenario 01 erhöht sich der Anschlusswert von knapp 105.000 EW auf knapp 155.000 EW. Durch den Anschlusswert von 155.000 EW reduziert sich der einwohnerspezifische Energieverbrauch auf 19,0 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a). B

ei einer werkseigenen anaeroben Vorbehandlung des Brauereiabwassers würde sich der spezifische Energieverbrauch auf ca. 31,7 kWh<sub>el</sub>/(EW\*a) erhöhen. Der Primärenergieverbrauch lag im Jahr 2018 bei ca. 8,6 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a).

Bei den anderen Szenarien liegen die Primärenergieverbräuche in einem Bereich zwischen ca. 10,0 - 15,0 kWh<sub>Pr</sub>/(EW\*a), wobei der geringste Primärenergieverbrauch bei Szenario 01 und der höchste bei Szenario 02 zu verzeichnen ist.

Die CO<sub>2</sub> - Emissionen liegen beim Status Quo bei ca. 1,8 kg-CO<sub>2</sub>/(EW\*a). Bei den anderen Szenarien liegen die CO<sub>2</sub> - Emissionen im Bereich zwischen 2,2 – 3,3 kg-CO<sub>2</sub>/(EW\*a).

Dorf Mecklenburg, den 18.01.2021

Prof. Dr. Wolfgang Pfeiffer

Paul Skiba