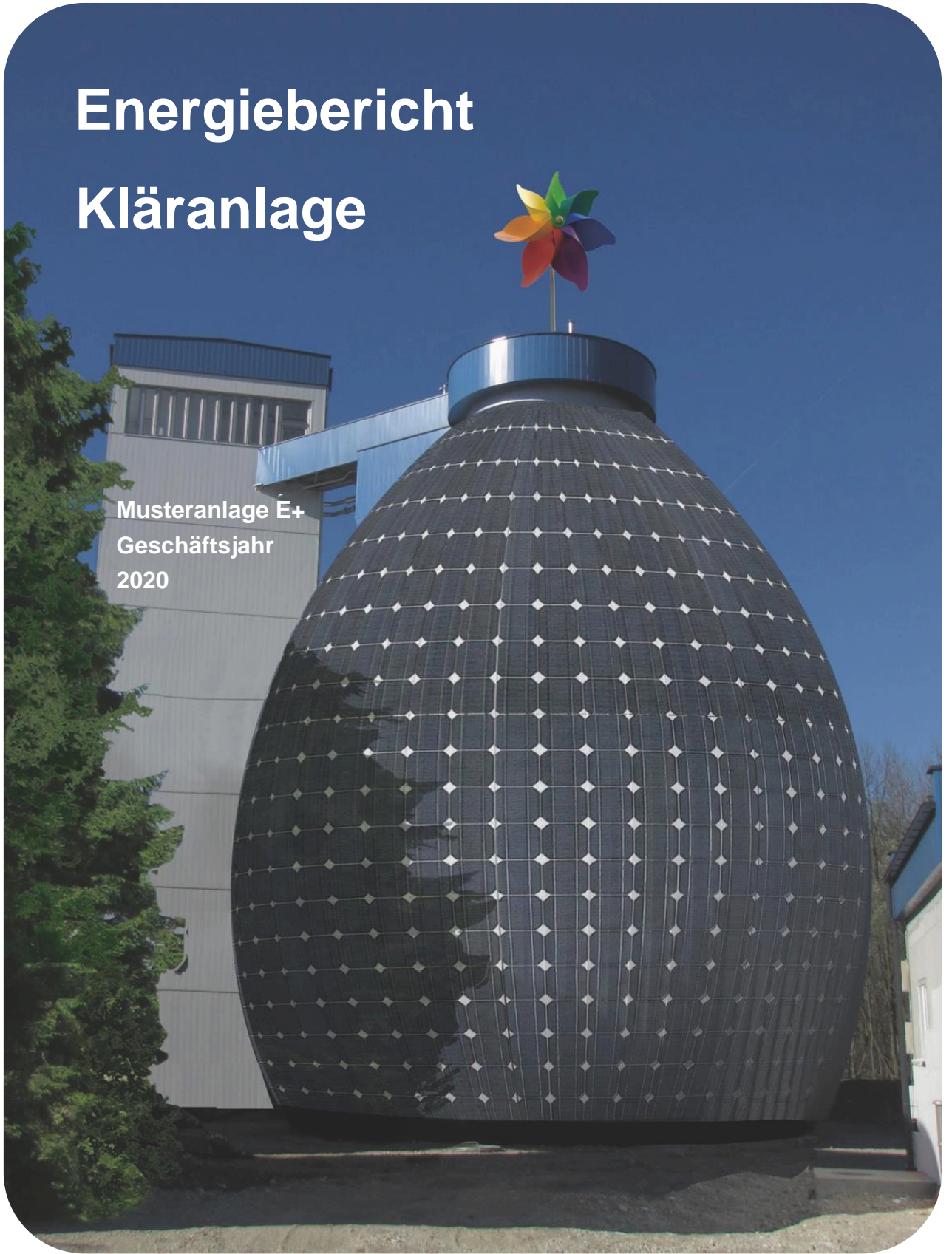


Energiebericht Kläranlage

Musteranlage E+
Geschäftsjahr
2020



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung -----	3
1.1	Grundsätzliche Vorgangsweisen	4
1.2	Allgemeine Kläranlagenbeschreibung	5
1.3	Berechnung von Anlagenkennzahlen	7
2	Elektrische Energie der Kläranlage im Untersuchungsjahr -----	8
2.1	Energiebereitstellung (elektrische & thermische Energiequellen).....	8
2.2	Elektrische Energieverbraucher	9
2.3	Grafische Darstellung der Energiebilanz	10
2.4	Elektrische Energiekennzahlen der Kläranlage.....	11
3	Thermische Energie der Kläranlage im Untersuchungsjahr -----	14
4	Elektrischer Energieverbrauch im zeitlichen Verlauf -----	16

1 Einleitung

Die Erstellung dieses Energieberichtes basiert auf der Analyse der energetischen Ist-Situation der Kläranlage. Die Beschreibung der Istwert-Analyse dient einerseits der Erstellung einer Energiebilanz und stellt andererseits die Basis für die Berechnung von aussagekräftigen Energiekennzahlen dar. Die Energiekennzahlen können dann wiederum einem Normalbereichsvergleich unterzogen werden und liefern somit konkrete Aussagen über die energetische Situation der Kläranlage. Die in diesem Energiebericht angewandte Istwert-Analyse sowie der Normalbereichsvergleich werden gemäß des vom Lebensministerium herausgegebenen Leitfadens für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen durchgeführt. Für die Istwert-Analyse und zur Berechnung der Kennzahlen werden die Energieverbrauchszähler sowie zusätzlich Daten der Tagesprotokolle ausgewertet.

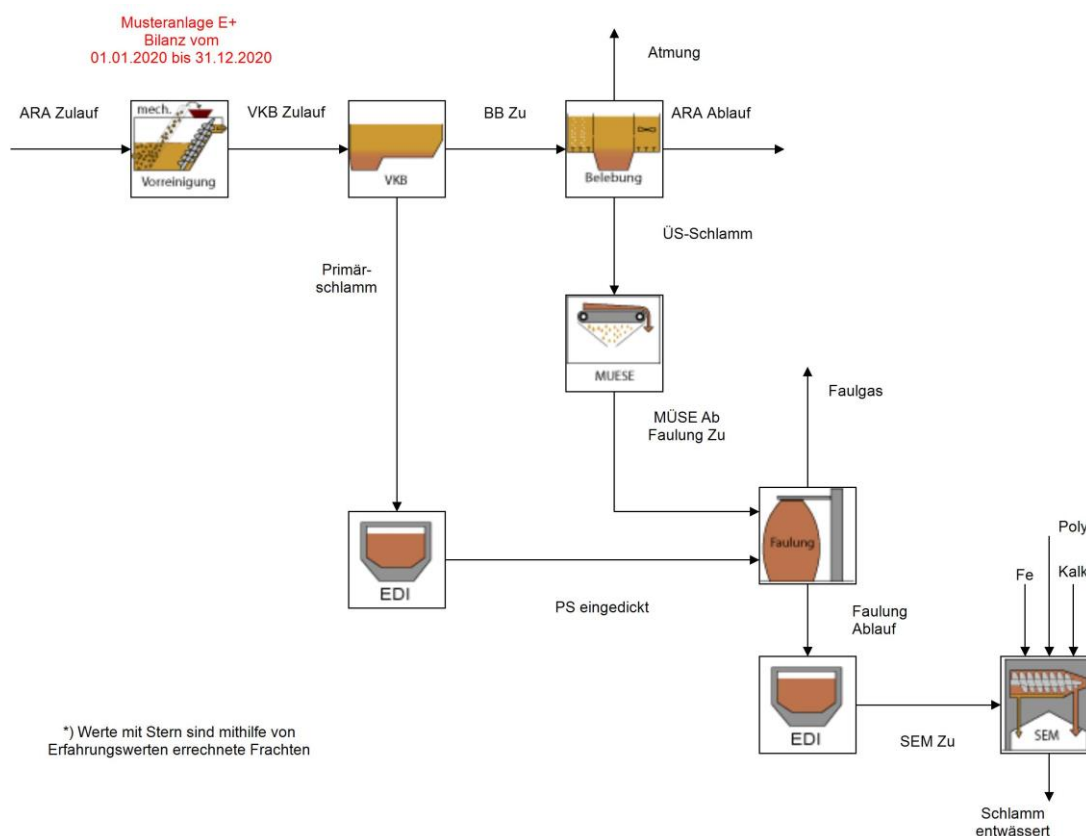


Abbildung 1: Anlagenschema

1.1 Grundsätzliche Vorgangsweisen

Die energetische Ist-Situation einer Kläranlage kann durch die Erstellung einer Energiebilanz dargestellt werden. Der Energiebereitstellung, sowohl von elektrischer als auch thermischer Energie, stehen die Verbraucher gegenüber. Auf der Kläranlage werden einerseits elektrische Energie mittels eines Blockheizkraftwerkes aus Faulgas erzeugt und andererseits elektrische Energie vom EVU zugekauft. Die verbrauchte elektrische Energie berechnet sich daher aus der Summe an zugekaufter und erzeugter elektrischer Energie, abzüglich der an das EVU gelieferten elektrischen Energie. Der elektrische Energieverbrauch der einzelnen Verbrauchergruppen wird zumeist messtechnisch erfasst und kann daher direkt aus dem Tagesprotokoll übernommen werden. Die bereitgestellte elektrische Energie muss dann der Summe an elektrischen Verbrauchern entsprechen und wird im Kapitel 2.3 grafisch dargestellt.

Die auf Kläranlagen benötigte thermische Energie sollte auf Kläranlagen mit Faulung durch das anfallende Faulgas abgedeckt werden können. Mithilfe der in Kapitel 3 berechneten thermischen Energieverbraucher soll nachgewiesen werden, ob durch das anfallende Faulgas auch der in den Wintermonaten maximal erforderliche thermische Energiebedarf abgedeckt werden kann. Die Berechnung von Jahresdurchschnittswerten scheint bei den thermischen Energieverbrauchern wenig sinnvoll, da in den Wintermonaten vermehrt thermische Energie benötigt wird, wohingegen in den Sommermonaten thermische Energie im Überschuss vorhanden ist. In Kapitel 3 wird daher berechnet, ob die in den Wintermonaten erforderliche thermische Energie durch die Nutzung von Faulgas mittels BHKW bzw. mittels Heizkessel abgedeckt werden kann. Mithilfe von Kennzahlen und physikalischen Größen sowie anhand des für das Betriebsgebäude der Kläranlage vorliegenden Energieausweises kann der Wärmebedarf für die beheizte Faulung und die Gebäudeheizung berechnet werden.

Die Berechnung von Anlagenkennzahlen ist neben der Beurteilung der Gesamtanlage Voraussetzung für die Berechnung von Energiekennzahlen. Die Energiekennzahlen repräsentieren den Ist-Wert einer Kläranlage aus energetischer Sicht. Erst die Berechnung von Kennzahlen erlaubt den Vergleich mit anderen Kläranlagen und ermöglicht den Vergleich mit einem Normalbereich, der für alle Kennzahl angegebenen ist.

1.2 Allgemeine Kläranlagenbeschreibung

Die allgemeine Kläranlagenbeschreibung gibt einerseits einen Überblick über den Kläranlagenbetreiber und die Anlage und beinhaltet andererseits jene Betriebsdaten des Untersuchungsjahres, die zur Berechnung der Kennzahlen benötigt werden.

Tabelle 1: Objektdaten

Anlagenname	Musteranlage E+
Betreiber	AWV Musterwasser
Adresse	Wiesen 5, 4711 Sauberstadt
Kontaktperson	Dr. Sauber
Jahr der Inbetriebnahme der letzten Ausbaustufe	1992
Ausbaugröße	45.000 EW
Reinigungsziel	CNDP
Angeschlossene Einwohner	22.000 E
Wichtigster Indirekteinleiter (Art)	Fremdenverkehr
Wichtigster Indirekteinleiter (EGW)	10.000 EGW
Zweitwichtigster Indirekteinleiter (Art)	Wäscherei
Zweitwichtigster Indirekteinleiter (EGW)	1.000 EGW
Drittwichtigster Indirekteinleiter (Art)	(Unbekannt)
Drittwichtigster Indirekteinleiter (EGW)	205 EGW
Fläche des Betriebsgebäudes	400 m ²
Förderhöhe – Zulaufpumpwerk	5 m
Belebungsbeckenvolumen gesamt	3.500 m ³
→ davon belüftet	100 %
→ davon gerührt	100 %
Faulbehältervolumen	2.200 m ³
Faulbehälteroberfläche	800 m ²

Tabelle 2: Betriebsdaten des Untersuchungszeitraumes (Tagesmittelwerte)

Untersuchungszeitraum	01.01.2020 bis 31.12.2020
Abwasseranfall	6.276 m ³ /d
CSB-Zulauffracht	4.134 kg/d
CSB-Fracht Zulauf Biologie	2.770 kg/d
BSB ₅ -Zulauffracht	2.052 kg/d
Nges.-Zulauffracht	300 kg/d
NH ₄ -N-Zulauffracht	197 kg/d
Pges.-Zulauffracht	58 kg/d
CSB-Ablaufkonzentration	29,8 mg/l
BSB ₅ -Ablaufkonzentration	5,7 mg/l
Nges.-Ablaufkonzentration	10,8 mg/l
NH ₄ -N-Ablaufkonzentration	2,6 mg/l
NO ₃ -N-Ablaufkonzentration	6,3 mg/l
Pges.-Ablaufkonzentration	0,7 mg/l
Rohschlammtemperatur min	9 °C
Faulbehältertemperatur	37 °C
Faulgasanfall gesamt	658 m ³ /d
CO ₂ -Gehalt Faulgas	31 %
Faulschlammanfall bzw. stabil. Schlammanfall	40 m ³ /d
TS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	34 kg/m ³
oTS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	56 %

1.3 Berechnung von Anlagenkennzahlen

Obwohl bei der Erstellung eines Energiekonzeptes vor allem Kennzahlen mit Bezug auf die Energie relevant sind und im Vordergrund stehen, wurden auch aussagekräftige Kennzahlen der Gesamtanlage berechnet. Die in Tabelle 3 zusammengefassten Kennzahlen gliedern sich in die aus den Zulauffrachten errechneten Einwohnerwerte, in Verhältniszahlen und in Kennzahlen, die etwas über den Schlammanfall aussagen.

Tabelle 3: Kläranlagenkennzahlen

			Normalbereich	
GesN/CSB	0,07	-	0,05	0,14
BSB/CSB	0,51	-	0,25	0,75
spez. TS-Fracht stabilisierter Schlamm	41	gTS/EW ₁₂₀	35	50
spez. oTS-Fracht Faulschlamm	21	g oTS/EW ₁₂₀	20	30
spez. Faulgasanfall je EW ₁₂₀	20	I/EW ₁₂₀	15	22
spez. Faulgasanfall je EW _{oTS22}	22	I/EW _{oTS22}	15	22
TS-Schlamm entwässert	21	%	25,0	35,0

Die Berechnung der Einwohnerwerte aus den genannten Zulauffrachten sollte bei typisch kommunalen Kläranlagen etwa gleiche Ergebnisse liefern. Weichen die aus den unterschiedlichen Zulauffrachten ermittelten Einwohnerwerte in Tabelle 4 voneinander ab, so muss dies durch eine spezifische Indirekteinleitersituation erklärt werden können.

Tabelle 4: Einwohnerwerte

			Berechnungsmethode
EW ₁₂₀	34.447	E	CSB-Zulauffracht [kg/d] / 0,12 [kg/E/d]
EW ₆₀	34.204	E	BSB5-Zulauffracht [kg/d] / 0,06 [kg/E/d]
EW _{Nges11}	27.293	E	Nges.-Zulauffracht [kg/d] / 0,011 [kg/E/d]
EW _{Pges1,7}	34.261	E	Pges.-Zulauffracht [kg/d] / 0,0017 [kg/E/d]
EW _{oTS22}	29.481	E	oTS-Faulschlammfracht [kg/d] / 0,022 [kg/E/d] *)

*) Das ist der aus der anfallenden oTS-Faulschlammfracht errechnete Einwohnerwert, wobei man davon ausgeht, dass bei typisch kommunalen Anlagen je Einwohner 22 g oTS je Tag im Ablauf der Faulung anfallen.

2 Elektrische Energie der Kläranlage im Untersuchungsjahr

Die Erstellung einer Energiebilanz soll einerseits über die Energiequellen Auskunft geben und andererseits sowohl die elektrischen als auch die thermischen Verbraucher identifizieren.

2.1 Energiebereitstellung (elektrische & thermische Energiequellen)

Auf der Abwasserreinigungsanlage wird Energie in Form von elektrischer Energie vom EVU zugekauft. Hauptenergiequelle ist jedoch Faulgas, welches vor allem für die Erzeugung von elektrischer Energie mittels BHKW aufgewendet wird. Zusätzlich wird Faulgas für das Aufheizen des Faulschlammes und zur Gebäudeheizung eingesetzt.

Tabelle 5: Energiequellen und deren erzeugte/verwertbare elektrische bzw. thermische Energie

Energiequellen	Menge	Energieinhalt	erzeugte elektrische Energie	erzeugte thermische Energie
Faulgas gesamt	m³/d		kWh/d	
	658	4.203	1.200	2.223
Faulgas BHKW	m ³ /d		kWh/d	
	657	4.195	1.200	2.155
Faulgas Heizung	m ³ /d		kWh/d	
	13	84	---	67
Faulgas Fackel	m ³ /d		kWh/d	
	0	1	---	---
Heizöl gesamt	l/d		kWh/d	
	0	0	---	0
Summe Energie auf ARA erzeugt			kWh/d	
			1.200	2.223
elektrische Energie vom EVU zugekauft			kWh/d	
			1.506	---
Energie ans EVU bzw. Fernwärme geliefert			kWh/d	
			135	0
Energiebereitstellung ARA			kWh/d	
			2.571	2.223

Von allen genannten Energieträgern ist der Energieinhalt bekannt, wobei deren Menge Auskunft über die maximal verfügbare Energie gibt.

Die bereitgestellte elektrische Energie errechnet sich aus der Summe an erzeugter el. Energie und der vom EVU bezogenen el. Energie abzüglich der an das EVU gelieferten el. Energie. Die dem BHKW zugeführte Energie wird in elektrische und thermische Energie umgewandelt, wobei in der Praxis mit einem Gesamtwirkungsgrades des BHKWs von 80 % gerechnet werden kann. Die verwertbare thermische Energie des BHKWs entspricht demnach 80 % des Energieinhaltes des Faulgases abzüglich der erzeugten elektrischen Energie. Der Energieinhalt des Methangasanteils im Faulgas entspricht 10 kWh je Kubikmeter. Für den Heizkessel wird von einem thermischen Wirkungsgrad von 80 % ausgegangen.

2.2 Elektrische Energieverbraucher

Nur wenn man die Energieverbraucher kennt, kann der Energieverbrauch einer Kläranlage optimiert werden. Ziel war es daher, den elektrischen Energieverbrauch der in Tabelle 6 zusammengefassten Verbrauchergruppen feststellen zu können.

Tabelle 6: elektrische Energieverbraucher der Kläranlage

Kläranlage gesamt	2.707	kWh/d
1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung	325	kWh/d
1.1 Zulaufpumpwerk	271	
1.2 Rechen/Sandfang	54	
2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung	1.967	kWh/d
2.1 Belüftung	1.072	
2.2 Rührwerk	346	
2.3 RS-Pumpen	495	
2.4 Sonstige (VKB, NKB, ...)	54	
3) Schlammbehandlung	271	kWh/d
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	54	
3.2 Faulung	135	
3.3 Schlammentwässerung	81	
4) Infrastruktur	207	kWh/d
4.1 Heizung	0	
4.2 sonstige Infrastruktur	207	

2.3 Grafische Darstellung der Energiebilanz

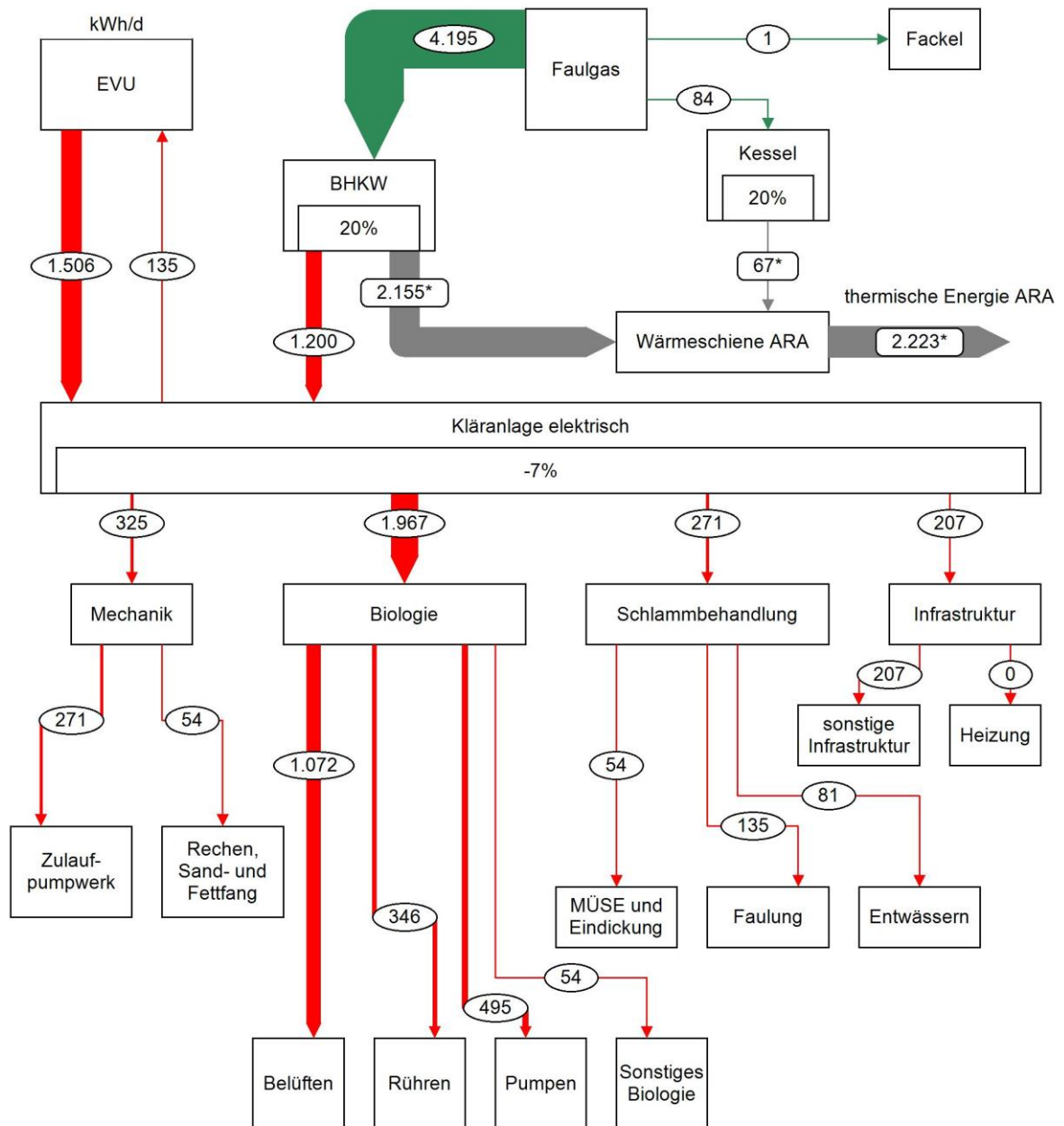


Abbildung 2: Energiebilanz 01.01.2020 bis 31.12.2020

Anmerkung: Rote Linien kennzeichnen die elektrische Energie, graue Linien die thermische Energie und grüne den Energieinhalt des Faulgases.

2.4 Elektrische Energiekennzahlen der Kläranlage

Die Berechnung von Energiekennzahlen und der Vergleich dieser mit einem Normalbereich ist bei der Erstellung eines Energiekonzeptes essenziell. Durch die Berechnung von spezifischen Energiewerten können auch Kläranlagen unterschiedlicher Größe miteinander verglichen werden. In den folgenden Tabellen werden einerseits Kennzahlen berechnet, die eine Aussage über die Bereitstellung und den Verbrauch der elektrischen Energie einer Kläranlage erlauben, andererseits werden Kennzahlen berechnet, die den Wärmebedarf und -verbrauch (= thermische Energie) Ihrer Kläranlage charakterisieren. Sowohl bei den elektrischen als auch bei den thermischen Energiekennzahlen werden drei Kennzahlenblöcke voneinander unterschieden: Kennzahlen der Energiebereitstellung, Kennzahlen des Energieverbrauches und sonstige Energiekennzahlen.

Die in Tabelle 7 zusammengefassten Kennzahlen können aus den Energiequellen (vergleiche Tabelle 5) und dem aus der durchschnittlichen Schmutzfracht errechneten Einwohnerwert EW_{120} (Tabelle 4) berechnet werden.

Tabelle 7: spez. elektrische Energiebereitstellung

			Normalbereich	
elektrische Energie auf Kläranlage erzeugt	12,8	kWh/a/EW_{120}	10,0	20,0
elektrische Energie aus Faulgas	12,8		10,0	20,0
sonstige elektrische Energie auf ARA erzeugt	0,0		-	-
elektrische Energie zugekauft	16,0		10,0	50,0
elektrische Energie an EVU geliefert	1,4		0	20,0
elektrische Energie bereitgestellt	27,3	kWh/a/EW_{120}	20,0	50,0

Die spezifischen Energieverbräuche in Tabelle 8 können aus den elektrischen Energieverbräuchen in Tabelle 6 und dem Einwohnerwert EW_{120} ermittelt werden. Der spez. Energieverbrauch der Verbrauchergruppen „Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung“ setzt sich aus den spezifischen Verbräuchen von Zulaufpumpwerk, Rechen sowie Sand- und Fettfang zusammen. Da der spezifische Energieverbrauch der Zulaufpumpwerke neben der Wassermenge auch von der Förderhöhe abhängt, liefert der Wirkungsgrad des Zulaufpumpwerkes eine bessere Aussagekraft in Bezug auf die Effizienz der Zulaufpumpwerke, worauf in Tabelle 9 eingegangen wird.

Tabelle 8: spez. elektrischer Energieverbrauch

			Normalbereich	
Kläranlage gesamt	28,8	kWh/a/EW₁₂₀	20,0	50,0
1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung	3,5	kWh/a/EW₁₂₀	2,5	5,5
1.1 Zulaufpumpwerk	2,9		1,5	3,5
1.2 Rechen/Sandfang	0,6		0,5	2,0
2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung	20,9	kWh/a/EW₁₂₀	14,5	33,0
2.1 Belüftung	11,4		11,5	22,0
2.2 Rührwerk	3,7		1,5	4,5
2.3 RS-Pumpen	5,3		1,0	4,5
2.4 Sonstige (VKB, NKB, ...)	0,3		0,5	2,0
3) Schlammbehandlung	2,9	kWh/a/EW₁₂₀	2,0	7,0
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	0,6		0,5	1,0
3.2 Faulung	1,4		1,0	2,5
3.3 Schlammwässerung	0,9		0,5	3,5
4) Infrastruktur	2,2	kWh/a/EW₁₂₀	1,0	4,5
4.1 Heizung	0,0		0	2,5
4.2 sonstige Infrastruktur	2,2		1,0	2,0

Der spez. Energieverbrauch der mechanisch biologischen Abwasserreinigung setzt sich im Wesentlichen aus dem Energieverbrauch für Belüftung, Rühren und Rücklaufschlamm-Pumpen zusammen. Bei den sonstigen Verbrauchern wurde der Energieverbrauch von Vor- und Nachklärbecken eingerechnet.

Der spez. Energieverbrauch der Schlammbehandlung setzt sich aus dem Energieverbrauch für die Eindickung (statische Eindicker + MÜSE), der Faulung und der Schlammwässerung zusammen.

Der elektrische Energieverbrauch der Infrastruktur beinhaltet einerseits den Verbrauch für die Heizung und andererseits für die sonstige Infrastruktur wie beispielsweise Grundwasserpumpen u. dgl.

Die sonstigen elektrischen Energiekennzahlen in Tabelle 9 geben zusätzlich Auskunft über die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die elektrische Energiebilanz.

Tabelle 9: sonstige elektrische Energiekennzahlen

			Normalbereich	
Eigenstromabdeckung	44	%	0,0	100,0
Wirkungsgrad Zulaufpumpen	32	%	30,0	70,0
spezifische Rührenergie	4,12	W/m ³	1,0	2,5
belastungsspezifischer elektrischer Energieverbrauch der Belebung	0,70	kWh/kg _{CSB-Biologie zu}	0,3	0,6
elektrischer Wirkungsgrad BHKW	27	%	24,0	38,0

Der **Wirkungsgrad (WG) der Zulaufpumpwerke** kann wie folgt berechnet werden:

$$WG - Zulaufpumpwerk[\%] = \frac{\text{Förderhöhe}[m] * \text{Zulaufmenge} [m^3/d]}{\text{el. E} - \text{Verbrauch Zulaufpumpe}[kWh/d] * 367[m/kWh/m^3]}$$

Der Berechnung wird die physikalische Gegebenheit zugrunde gelegt, dass mit einer Kilowattstunde ein Kubikmeter Wasser 367 Meter hochgehoben werden kann. Je höher der Wirkungsgrad ist, umso besser ist die Effizienz des Zulaufpumpwerkes, wobei Wirkungsgrade ab 50 % als gut bezeichnet werden können. Bei Wirkungsgraden unter 35 % ist Handlungsbedarf gegeben. Der Wirkungsgrad der Zulaufpumpwerke ist vor allem dann aussagekräftig, wenn der elektrische Energieverbrauch der Zulaufpumpwerke genau abgeschätzt werden kann.

Die **spez. Rührenergie** kann wie folgt berechnet werden:

$$\text{spez. Rührenergie}[W/m^3] = \frac{\text{el. Energieverbrauch Rührwerke} [kWh/d] * 1000}{\text{gerührtes Volumen} [m^3] * 24 [h/d]}$$

Die spez. Rührenergie gibt die Energiedichte je Kubikmeter Belebungsbeckenvolumen an. Je nach Beckengeometrie muss bei zu geringen Energiedichten (<1W/m³) mit Ablagerungen gerechnet werden, wohingegen große Energiedichten (>3W/m³) als unwirtschaftlich bezeichnet werden können. Die spez. Rührenergie kann bei Umwälzung mittels Lufteintrag auch deutlich von den hier genannten Richtwerten abweichen.

Der **belastungsspezifische Energieverbrauch für Belüften und Rühren** gibt Auskunft über die Effizienz des Belüftungssystems. Berechnet wird dieser Wert aus der Summe des Energieverbrauchs für Belüften und Rühren bezogen auf die CSB-Zulaufkraft der Biologie.

3 Thermische Energie der Kläranlage im Untersuchungsjahr

Wie bereits dargestellt soll in diesem Kapitel gezeigt werden, ob die in den Wintermonaten erforderliche thermische Energie durch die Nutzung von Faulgas mittels BHKW bzw. mittels Heizkessel abgedeckt werden kann. Auf Basis der in Tabelle 5 zusammengefassten Energiequellen der Kläranlage wird in der folgenden Tabelle angegeben, wie viel thermische Energie auf der Kläranlage bereitgestellt werden kann.

Tabelle 10: thermische Energieerzeugung auf der Kläranlage

thermische Energie aus Faulgas	2.223	kWh/d
thermische Energie BHKW aus Faulgas	2.155	
thermische Energie Heizkessel aus Faulgas	67	
Sonstige thermische Energie	0	kWh/d
thermische Energie Heizkessel (Heizöl)	0	
thermische Energie bereitgestellt	2.223	

Bei Kläranlagen mit Schlammfäulung wird die Wärme vor allem als Prozesswärme für die Erwärmung des Faulschlammes und die Faulbehälterheizung benötigt. Der Wärmebedarf für die Schlammwärmehöhen (Q_S) wurde anhand der Temperaturdifferenz von Rohschlamm und Temperatur im Faulbehälter sowie der Faulschlammmenge berechnet. Die minimale Rohschlammtemperatur wurde als 10-%-Perzentil der Belebungsbeckentemperatur abgeschätzt und betrug im Untersuchungszeitraum 9 °C.

Die Transmissionsverluste und die Faulbehälterbeheizung (Q_T) wurden anhand der Temperaturdifferenz von Faulbehälter und minimaler Umgebungstemperatur und der Oberfläche des Faulbehälters berechnet. Als minimale Umgebungstemperatur wurde hier das 10-%-Perzentil der in eDAB protokollierten Lufttemperatur angenommen, welche im Untersuchungszeitraum -8 °C im Tagesmittel betrug.

Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q_V) wurden mit 10 % der Summe aus Q_S + Q_T angesetzt.

Der Wärmebedarf für das Betriebsgebäude wurde auf Basis des Energieausweises abgeschätzt, wobei davon ausgegangen wird, dass der angegebene Heizwärmebedarf in der Höhe von 150 kWh/m²/a nur in den Wintermonaten (rund 50 % des Jahre) benötigt wird. Für die Temperierung der sonstigen Nebengebäude auf 16 °C wurden von 0,335 W/m³/h und °C Temperaturerhöhung ausgegangen, wie dies im Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes angegeben ist.

Der maximale thermische Energiebedarf kann damit abgeschätzt werden (vergleiche Tabelle 11) und muss unter der bereitgestellten thermischen Energie (vergleiche Tabelle 10) liegen.

Tabelle 11: maximaler thermische Energiebedarf der Kläranlage

Kläranlage gesamt	2.121	kWh/d
1) Schlammbehandlung	1.639	kWh/d
Schlammaufheizung (Q_s)	1.061	
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung (Q_T)	429	
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q_v)	149	
2) Infrastruktur	482	kWh/d
Wärmemenge für Betriebsgebäude ($Q_{\text{Gebäude}}$)	328	
Wärmemenge für Nebengebäude (Q_{Zuluft})	154	

Zusätzlich kann für die thermischen Energieverbrauchergruppen die spezifischen Energieverbräuche je Einwohnerwert berechnet und angegeben werden. Die spezifischen thermischen Energieverbräuche werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst und mit einem Normalbereich verglichen, welcher aufgrund der stark unterschiedlichen anlagenspezifischen Gegebenheiten sehr weit gefasst wurde. Der Wärmebedarf für das Aufheizen von 1,2 bis 1,7 kg Rohschlamm je Einwohnerwert wurde für Faulungsanlagen an Wintertage mit einer maximal erforderlichen Temperaturerhöhung des Rohschlammes um 25°C abgeschätzt.

Tabelle 12: spez. thermischer Energieverbrauch (im Winter)

			Normalbereich	
Kläranlage gesamt	22,5	kWh/a/EW₁₂₀	16,0	44,0
thermischer Energieverbrauch Faulung	17,4	kWh/a/EW₁₂₀	16,0	32,0
Schlammaufheizung (Q_s)	11,3		13,0	22,0
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung (Q_T)	4,6		2,0	8,0
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q_v)	1,6		1,0	2,0
thermischer Energieverbrauch Infrastruktur	5,1	kWh/a/EW₁₂₀	0,0	12,0
Wärmemenge für Betriebsgebäude ($Q_{\text{Gebäude}}$)	3,5		0,0	2,0
Wärmemengen für Nebengebäude (Q_{Zuluft})	1,6		0,0	10,0

4 Elektrischer Energieverbrauch im zeitlichen Verlauf

Zusätzlich zu den im vorangegangenen Kapitel berechneten Kennzahlen des Untersuchungszeitraumes werden in diesem Kapitel zeitliche Verläufe des spezifischen Energieverbrauches dargestellt. Abbildung 3 kann der spezifische Energieverbrauch der Gesamtanlage und der biologischen Stufe des Untersuchungszeitraumes entnommen werden. Abbildung 4 zeigt die vergangenen fünf Jahre der Gesamtanlage und der biologischen Stufe und Tabelle 14 zeigt die Veränderung der spezifischen Verbräuche der untersuchten Verbrauchergruppen im Detail an.

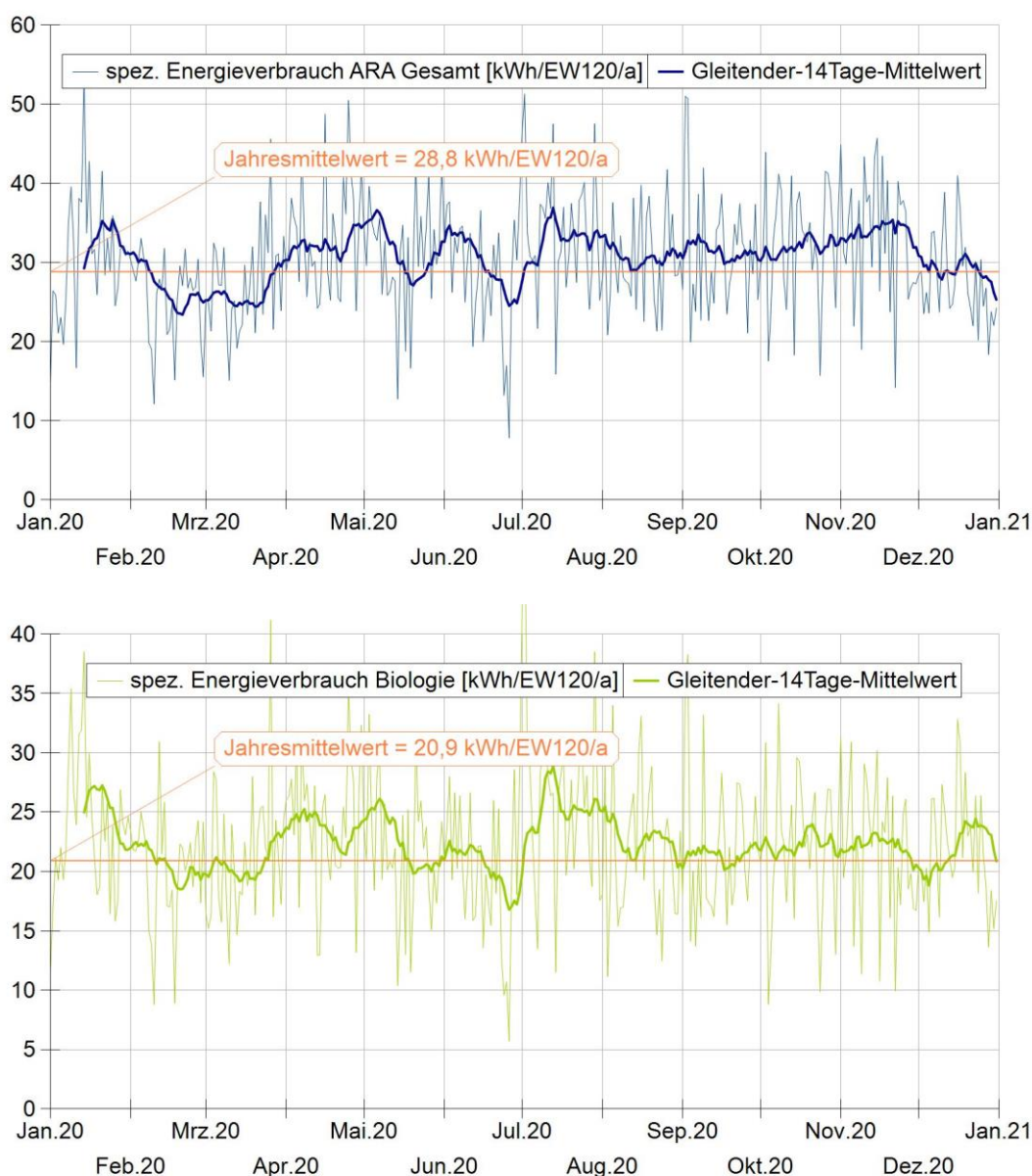


Abbildung 3: spez. Energieverbrauch im Untersuchungszeitraum

Den folgenden Boxplots können der spezifische Energieverbrauch der Gesamtkläranlage einerseits und der biologischen Stufe andererseits im langjährigen Vergleich entnommen werden. Die Boxplots zeigen das 25- bis 75%-Perzentil der Verbräuche (farbiger Bereich) sowie den Medianwert (roter Punkt) des jeweiligen Jahres an. Die aufgetretenen Extremwerte der einzelnen Jahre werden als „Antennen“ aus den Boxen nach oben und unten dargestellt.

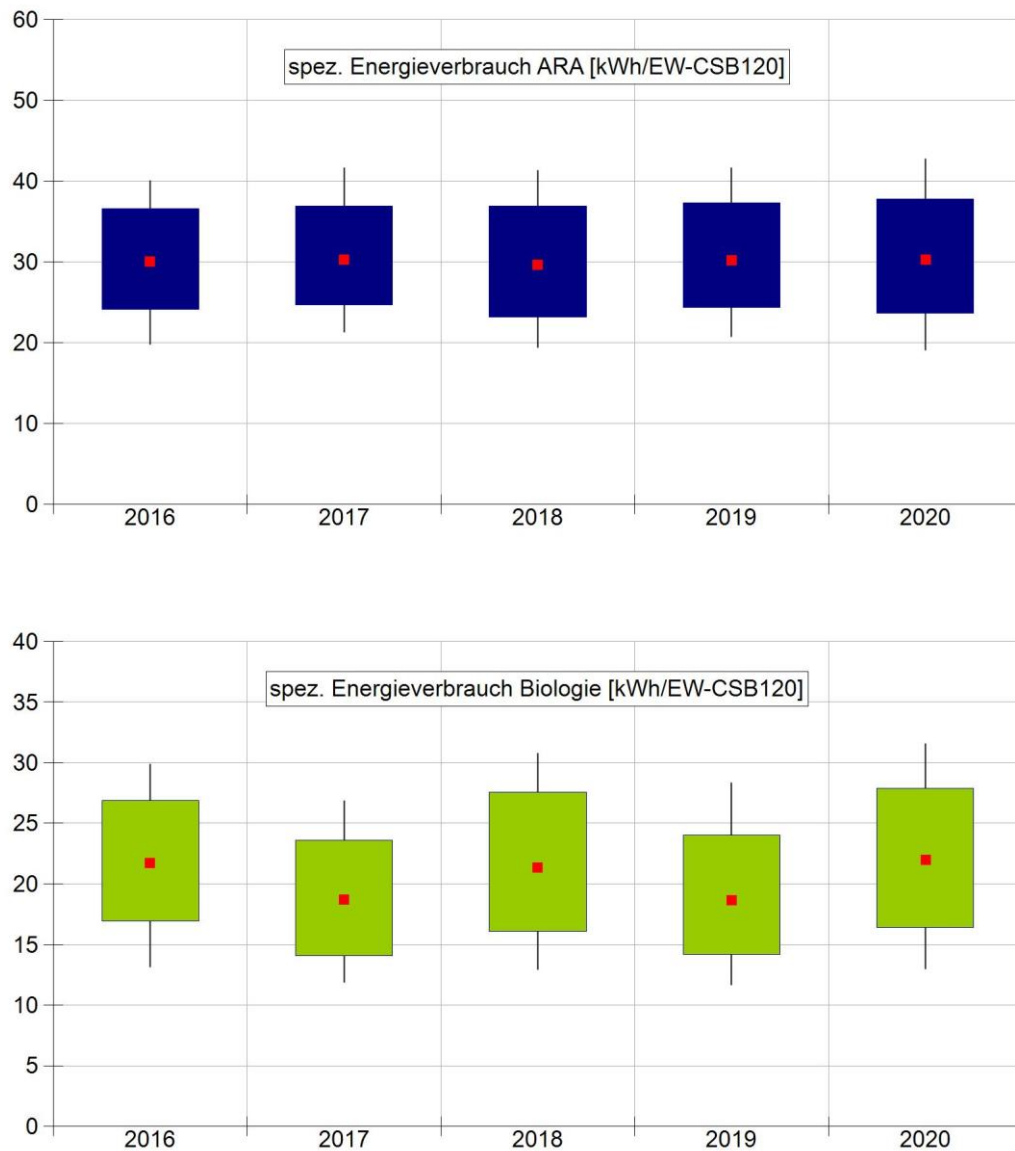


Abbildung 4: spez. Energieverbrauch der vergangenen fünf Jahre

Ein detaillierter Einblick in die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche der vergangenen drei Jahre kann der folgenden Tabelle entnommen werden. Neben dem spez. Verbrauch der vergangenen drei Jahre der einzelnen Verbrauchergruppen können die Werte mit einem Normalbereich für die jeweilige Verbrauchergruppe verglichen werden.

Tabelle 13: spez. Energieverbraucher der Kläranlage (alle Zahlen in kWh/EW-CSB120/a)

	2018	2019	2020	Normalbereich	
Kläranlage gesamt	28,4	29,2	28,8	20,0	50,0
1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung	3,4	3,5	3,5	2,5	5,5
1.1 Zulaufpumpwerk	2,8	2,9	2,9	1,5	3,5
1.2 Rechen/Sandfang	0,6	0,6	0,6	0,5	2,0
2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung	20,6	18,4	20,9	14,5	33,0
2.1 Belüftung	11,2	11,1	11,4	11,5	22,0
2.2 Rührwerk	3,6	2,8	3,7	1,5	4,5
2.3 RS-Pumpen	5,2	4,0	5,3	1,0	4,5
2.4 Sonstige (VKB, NKB, ...)	0,6	0,6	0,3	0,5	2,0
3) Schlammbehandlung	2,8	2,9	2,9	2,0	7,0
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	0,6	0,6	0,6	0,5	1,0
3.2 Faulung	1,4	1,5	1,4	1,0	2,5
3.3 Schlammentwässerung	0,9	0,9	0,9	0,5	3,5
4) Infrastruktur	2,2	4,9	2,2	1,0	4,5
4.1 Heizung	0,0	0,0	0,0	0	2,5
4.2 sonstige Infrastruktur	2,2	4,9	2,2	1,0	2,0