



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

Landesverband Baden-Württemberg

www.dwa-bw.de

ENERGIEWIRTSCHAFT AUF KLÄRANLAGEN

ERFOLGREICHE PROJEKTE



ENERGIEWIRTSCHAFT AUF KLÄRANLAGEN

ERFOLGREICHE PROJEKTE



www.dwa-bw.de

Vorwort

des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

Das Land Baden-Württemberg hat sich eine nachhaltige und klimaverträgliche Energieversorgung zum Ziel gesetzt. Das ist für die Betreiber von Kläranlagen unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz relevant. So heißt es entsprechend in der Abwasserverordnung: „Abwasseranlagen sollen so errichtet, betrieben und benutzt werden, dass eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Die bei der Abwasserbeseitigung entstehenden Energiepotenziale sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, zu nutzen.“

Primäre Aufgabe von Kläranlagen ist es, das Abwasser zu reinigen und so den Gewässerschutz zu sichern. Die Reinigungsleistungen der kommunalen Kläranlagen im Land befinden sich auf einem hohen Niveau, jedoch verbrauchen sie einen nicht unerheblichen Teil der Gesamtenergie in einer Kommune. Zudem können neue Techniken und Reinigungsziele den Energiebedarf erhöhen. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist es sinnvoll, energetische Optimierungspotenziale zu erkennen, zu bewerten und diese im Betrieb umzusetzen, ohne die Reinigungsleistung der Kläranlagen zu schmälern.

Um das Thema Energie in der Abwasserwirtschaft verstärkt in den Fokus zu rücken, hat das Land gemeinsam mit dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg das Cluster Energieeffizienz auf Kläranlagen in Baden-Württemberg initiiert. Das Cluster soll neue Impulse und Werkzeuge für die Behörden und Betreiber schaffen, Kompetenzen vernetzen und den Wissens- transfer und Erfahrungsaustausch erleichtern.

In diesem Kontext enthält der nun vorliegende Leitfaden zur „Energiewirtschaft auf Kläranlagen – Erfolgreiche Projekte“ eine Zusammenstellung aktueller Anregungen für die Verantwortlichen, stellt Best-Practice-Anlagen aus dem Land vor und zeigt, wie man mit unterschiedlichsten Ideen und Methoden Energie sparen oder die Betriebsweise energieeffizienter machen kann.



Franz Untersteller MdL
Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg

Vorwort des Vorsitzenden des Landesverbandes

Klimawandel, Energie- und Ressourcenschutz sind Themen, die mittlerweile in unser aller Bewusstsein fest verankert sind und die auch an der Abwasserbranche nicht spurlos vorübergehen. Die Kläranlagen sind oft die größten Verbraucher in den Kommunen. Es ist daher im eigenen Interesse der Kläranlagenbetreiber, ihre Energieverbräuche regelmäßig zu überwachen, zu prüfen und einzuordnen.

Die Reinigungsleistung der Kläranlagen in Baden-Württemberg ist auf einem hohen Niveau und natürlich ist für die Reinigung sowie die weiteren Prozesse einiges an Energie notwendig. Der jährliche Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen gibt einen guten Überblick über die aktuelle Situation im Land: Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 512,9 Mio. kWh Strom zur Abwasseraufbereitung benötigt. Doch werden hier Strom und Wärme nicht nur verbraucht; inzwischen gehören bei den größeren Anlagen auch Erzeugungsprozesse oft schon zum Standard. Tatsächlich werden 40% des Strombedarfs bereits auf den Anlagen selbst erzeugt.

Die Broschüre „Energiewirtschaft auf Kläranlagen – Erfolgreiche Projekte“ gibt einen kompakten Überblick über die Randbedingungen und die Beurteilung der Energieeffizienz und zeigt für Baden-Württemberg eine Bestandsaufnahme basierend auf den Ergebnissen des jährlichen Leistungsvergleichs der kommunalen Kläranlagen im Land. Zudem werden in Steckbriefen so genannte best-practice-Anlagen vorgestellt, anhand derer beispielhaft zu sehen ist, wie Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf Abwasseranlagen aussehen können.

Im DWA-Landesverband Baden-Württemberg werden alle energetischen Themen im „Cluster Energieeffizienz“ gebündelt. Im Cluster sollen neue Impulse und Werkzeuge für Behörden und Betreiber besser und schneller entwickelt und weitergegeben werden. Davon versprechen wir uns eine raschere und unkompliziertere Umsetzung von Maßnahmen zur energetischen Optimierung auf Kläranlagen im Land. Der vorliegende Leitfaden soll Betreibern verschiedenste Anregungen und Ideen liefern, wie die Energiebilanz ihrer Anlage geprüft und ggf. verbessert werden kann. Im Cluster Energieeffizienz sind zudem künftig vertiefende Schulungsangebote und die Vergabe eines Innovationspreises geplant.

Ihr Boris Diehm



Boris Diehm
Vorsitzender des DWA-Landesverbandes
Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	8	6.4 Energieeffizienz versus Ablaufqualität	17
2 Randbedingungen zur Energieeffizienz	9	6.5 Energieeffizienz versus Wirtschaftlichkeit...	17
2.1 Verfahrenstechnik.....	9	6.6 Kläranlagen im Bestand	17
2.2 Technische und bauliche Strukturen.....	9	6.7 Neubau oder weitgehende Umbaumaßnahmen auf Kläranlagen	18
2.3 Auslastung.....	9	6.8 Klimawandel.....	18
2.4 Energiemanagement.....	9	6.9 Treibhausgase	18
3 Beurteilung der Energieeffizienz	10	6.10 Kommunale Zusammenarbeit	19
3.1 Bilanzgrenzen	10	6.11 Energiemanagementsysteme und Zertifizierung.....	19
3.2 Bildung von Kennzahlen.....	10	6.12 Öffentlichkeitsarbeit.....	19
3.2.1 Allgemeines	10		
3.2.2 Absolute Kennzahlen	10		
3.2.3 Spezifische Kennzahlen	12		
3.2.3.1 Allgemeines	12	7 Stand und Entwicklung der Energieeffizienz in Baden-Württemberg.....	20
3.2.3.2 Strombedarf – Bezugsgröße Anlagenbelastung.....	12		
3.2.3.3 Strombedarf – Bezugsgröße Durchfluss	12	8 Steckbriefsammlung (Best-practice).....	23
3.2.3.4 Weitere Bezugsgrößen.....	12	1 Kläranlage Notzingen	24
4 Benchmarking	13	2 Kläranlage Böbingen	25
4.1 Allgemeines.....	13	3 Kläranlage Waldbronn-Neurod	26
4.2 Interne Zeitreihen und Richtwert	13	4 Kläranlage Rottweil	27
4.3 Ziel- und Toleranzwerte.....	13	5 Kläranlage Haldenmühle	28
4.4 Idealwert	14	6 Kläranlage Metzingen	29
4.5 Ganzheitliche Energiekennzahlen und Labeling.....	14	7 Kläranlage Göppingen	30
4.6 Zwischenfazit.....	14	8 Kläranlage Bergatreute	31
5 Energetische Situation in Baden-Württemberg	15	9 Kläranlage Schömberg	32
5.1 Allgemeines.....	15	10 Kläranlage Oberkirch	33
5.2 DWA-Leistungsvergleich	15	11 Kläranlage Altensteig	34
5.3 Projekt Energiecheck.....	15	12 Kläranlage Wendlingen	35
6 Perspektiven	16	13 Kläranlage Mannheim.....	36
6.1 Motivation und Qualifikation	16	14 Gemeinde Ilsfeld	37
6.2 Technische Entwicklungen	16	15 Hofgut Sternen	38
6.3 Struktur der Kläranlagen in Baden-Württemberg.....	17	9 Literatur	39
		10 Bildnachweis	41

1 Einleitung

Die primäre Funktion einer Kläranlage ist die umweltgerechte Reinigung des anfallenden Abwassers. Steigende Energiepreise, ein zunehmendes Bewusstsein für Aspekte der Ressourcenschonung wie der Klimasituation und gesetzliche Rahmenbedingungen führen dazu, dass die energetische Optimierung von Kläranlagen weiter in den Fokus der Betreiber in Baden-Württemberg rückt.

In der Abwasserverordnung (AbwV) [8] ist daher gemäß § 3(2a) ausgeführt: „Abwasseranlagen sollen so errichtet, betrieben und benutzt werden, dass eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Die bei der Abwasserbeseitigung entstehenden Energiepotenziale sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, zu nutzen“. Zudem finden sich zahlreiche Aspekte zur Energieeffizienz auf Kläranlagen auch im Entwurf der Fortschreibung des „Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzepts Baden-Württemberg“ (2020).

Unabhängig davon sollte es ein originäres Interesse der Betreiber von Kläranlagen sein, zur Minimierung der Betriebskosten im Sinne einer anzustrebenden Gebührenstabilität und im Hinblick auf eine Schonung von Energieressourcen den Energiebedarf der Kläranlagen – insbesondere im Hinblick auf Strom und Wärme – zu beachten und bei einem (subjektiv) festgestellten Bedarf Verbesserungsmaßnahmen im Sinne einer positiven Klimabilanz einzuleiten. Die Ablaufqualität und die Betriebssicherheit dürfen dadurch jedoch keinesfalls beeinträchtigt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen haben das Ziel, die wesentlichen Randbedingungen und Perspektiven der energetischen Optimierung von Kläranlagen aufzuzeigen und in einem zweiten Teil sehr gute Beispiele (best-practice) von Anlagen in Baden-Württemberg darzustellen. Zielsetzung waren dabei:

- Verringerung des Bedarfes an Strom und Wärme im Anlagenbetrieb
- Steigerung der Energie- und Wärmeerzeugung auf der Anlage
- Nutzung zusätzlicher, externer regenerativer Energiequellen auf dem Anlagengelände

Dabei werden sowohl Anlagen mit einer hervorragenden Gesamtenergiebilanz als auch Anlagen mit interessanten Detaillösungen berücksichtigt.

2 Randbedingungen zur Energieeffizienz

2.1

Verfahrenstechnik

Die Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung ist für die Energie- und Klimabilanz der Kläranlagen von hoher Bedeutung. Anzumerken ist dabei, dass allein die Auswahl der Verfahrenstechnik zur Nitrifikation/Denitrifikation nach allen Untersuchungen keinen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf einer Anlage hat.

Bei den Anlagen in Baden-Württemberg dominiert das einstufige Belebungsverfahren mit Nitrifikation/Denitrifikation und chemischer Phosphatelimination, die Schlammstabilisation findet auf kleineren Anlagen oft aerob, simultan, bei größeren Anlagen in der Regel mit einer Faulungsanlage zur anaeroben Schlammstabilisierung statt. Teichanlagen und Festbettanlagen (Rotationstauchkörper, Tropfkörper) sind dagegen eher selten. Eine Reihe von Kläranlagen verfügt zudem über eine Abwasserfiltration, 17 Anlagen (Stand Sommer 2020) zusätzlich über eine gezielte Spurenstoffelimination.

Zu beachten ist auch, dass hohe Fremdwassermengen zu einer höheren hydraulischen Belastung und damit auch zu einem höheren Energiebedarf bei Pumpwerken im Hauptstrom der Anlage führen.

Aus diesen verfahrenstechnischen Randbedingungen resultieren anlagenspezifische Energieverbräuche und differierende Reinigungsleistungen.

2.2

Technische und bauliche Strukturen

Die Energieeffizienz (Strom und Wärme) wird auch maßgeblich vom baulichen und technischen Zustand der Anlage beeinflusst. Baulich sind vor allem die

- Wärmedämmung an den Gebäuden und Faulbehältern (wenn vorhanden),
- Dichtheit der Gebäude (Wände, Fenster, Türen und Dächer) und die
- Höhendifferenz der abwassertechnischen Bauwerke (hydraulische Verluste)

zu nennen.

Bei der technischen Ausrüstung sind die wesentlichen Einflussfaktoren

- die Verdichteraggregate und Verdichterstruktur bei der Druckluftbelüftung (Anzahl, Wirkungsgrad, Regelbarkeit),
- das Belüftungssystem (Ausführung und Beaufschlagung der Elemente, Luftverteilssystem, Regelbarkeit der Luftverteilung),
- die Gestaltung der Hebwerke (Art und Regelbarkeit),
- die Art der Homogenisierung von unbelüfteten Beckenzonen (Rührwerke oder temporärer Lufteintrag),
- das Heizungssystem der Gebäude und
- die Einrichtungen zur Eigenenergieerzeugung (wie zur Verstromung von Faulgas, Wind- und Wasserkraftanlagen, Photovoltaiksysteme, Geothermie) oder der Wärmerückgewinnung.

Grundlegende Änderungen an der baulichen und technischen Infrastruktur sind in der Regel nur mittelfristig und unter Einsatz teilweise größerer Investitionen möglich.

2.3

Auslastung

Die Auslastung einer Anlage im Hinblick auf die Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen kann ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Energiebedarf der Kläranlagen aufweisen (vgl. [7]). Bei einer Unterlast wird – je nach Auslegung und Staffelung der Verdichter bzw. von Hebwerken – der Betrieb der Aggregate in einem ungünstigeren Wirkungsgrad erfolgen. Auch der Betrieb von biologischen Reaktoren mit einem – gegenüber der Bemessung – vergleichsweise hohen spezifischen Volumen (l/E), wird in der Regel den spezifischen Energiebedarf erhöhen.

2.4

Energiemanagement

Entscheidend für einen energetisch optimierten Betrieb sind die Motivation des Betriebspersonals und die technischen Voraussetzungen, um den Energieverbrauch transparent zu machen und die entsprechenden Einflussmöglichkeiten auf das Strom- und Wärme- management zu schaffen. Dazu gehören sowohl Automatisierungskonzepte, die energetische Optimierung und Betriebsstabilität der Abwasser- und Schlammbehandlung miteinander verbinden als auch ein gezieltes Lastmanagement zur besseren Ausnutzung von bspw. regenerativer, selbst erzeugter Energie.

3 Beurteilung der Energieeffizienz

3.1 Bilanzgrenzen

Bei jeder Betrachtung der Energieeffizienz müssen die Bilanzgrenzen beachtet werden. Dabei sind nach Möglichkeit alle der Kläranlage zugehörigen Einrichtungen zu erfassen, das betrifft auch ein vorgelagertes Pumpwerk im Kanalnetz, welches das Abwasser auf die notwendige Wasserspiegellage zur Abwasserreinigung fördert. Andererseits sind Einrichtungen auf der Anlage, die nicht im originären Zusammenhang mit der Abwasserreinigung stehen wie

- > Kanalbetriebsstätten
- > Einrichtungen der Regenwasserbehandlung und
- > Baustrom bei laufenden Baumaßnahmen

nicht zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf die Eigenstromversorgung werden üblicherweise alle lokal auf dem Kläranlagengelände verfügbaren Eigenenergiequellen wie Einrichtungen zur Energie- und Wärmeerzeugung aus

- > Faulgas
- > Abwärme (Abbildungen 1 – 3)
- > Wärmenutzung des Abwassers

als auch aus

- > Windkraft
- > Wasserkraft (Abbildung 4) sowie
- > Photovoltaikanlagen und Solarzellen (Abbildungen 5 – 6)

bei einer Eigennutzung mit einberechnet (engl.: gross energy consumption), obwohl – außer bei der Wasserkraft als Lageenergie – bei den letztgenannten Energiequellen kein direkter Zusammenhang mit der Abwasserreinigung gegeben ist. Es erfolgt hier lediglich eine Flächennutzung auf dem Kläranlagengelände. Im Gegensatz dazu werden die

- > Energieproduktion und der Energieeinsatz für externe angelieferte Klärschlämme (Fremdschlämme)
- > Energieproduktion durch Co-Substrate und Additiv-Zugabe in den Faulbehälter

auch wegen der schwierigen Ermittlung im Betrieb bisher nicht separat ausgewiesen. Ein „Vorteil“ entsteht auch, wenn die weitergehende Schlammbehandlung (Ausfaulung oder Schlammentwässerung) auf einer benachbarten Kläranlage stattfindet. Auch die Wertung von eigenproduziertem Strom oder Wärme mit Ein-

speisung in das Stromnetz wird oft unterschiedlich in der Bilanzierung angesetzt.

Die genannten Sachverhalte müssen bei energetischen Bewertungen – insbesondere im Vergleich verschiedener Anlagen – immer beachtet werden.

Alternativ ist eine abwasserinduzierte Energiebetrachtung möglich (engl.: net energy consumption), d.h., wenn nur abwasserinduzierte Eigenenergiequellen betrachtet werden. Auf die Berücksichtigung von lokal erzeugter Wind- und Solarenergie, Energie aus zugelieferten Primärenergieträgern und externen Schlämmen wird dann verzichtet.

In [28, 29] wird auch der

- > Energieverbrauch durch die Produktion und den Transport chemischer Betriebsmittel

berücksichtigt, Umrechnungsfaktoren für [kWh/kg] sind in der genannten Literaturstelle aufgeführt. Auch diese Betrachtungsweise ist bisher in Deutschland nicht üblich.

3.2 Bildung von Kennzahlen

3.2.1 Allgemeines

Die Energieeffizienz einer Kläranlage wird in der Regel mithilfe von Kennzahlen dargestellt. Dabei sollten die Wärmeeffizienz und die Stromeffizienz getrennt betrachtet werden.

Bei den Kennzahlen selbst wird zwischen absoluten und spezifischen Kennzahlen unterschieden.

3.2.2 Absolute Kennzahlen

Die absoluten Kennzahlen ergeben sich durch die Summe bzw. Differenz an verbrauchter, bezogener und eigenerzeugter Energie (als Wärme bzw. Strom) bezogen auf eine Zeiteinheit. Dabei sind [kWh/a] und [MJ/a] übliche Einheiten. Diese Kennwerte ermöglichen aber nur in einer Zeitreihe auf **einer** Anlage einen sinnvollen Vergleich, da andere Einflussgrößen (Belastung etc.) nicht berücksichtigt werden.

Bei direkt mit Klärgas angetriebenen Gasmotor-Gebläsen sind die erzeugten Energieäquivalente (kWh/a) entsprechend zu berücksichtigen.



Abbildung 1: Wärmeerpumpe zur Beheizung des Betriebsgebäudes und Warmwasserbereitung (Nutzung der Gebläseabwärme im Gebläseraum) auf der Kläranlage Böhringen



Abbildung 2: Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Gebläse auf der Kläranlage Schömberg



Abbildung 3: Wärmerückgewinnung aus der Druckluft der Gebläse auf der Kläranlage Owen zur Beheizung des Betriebsgebäudes



Abbildung 4: Wasserkraftnutzung mit einer Wasserkraftschnecke auf der Kläranlage Rottenburg ($D = 1.000\text{mm}$, $Q = 260\text{l/s}$, $H = 3,40\text{m}$, $P_{\text{El}} \text{ca. } 6,7\text{ kW}$)



Abbildung 5: PV-Anlage mit drei vollautomatischen 2-achsigen Nachführsystemen (Deger-traker) auf dem RÜB 28 auf dem Klärwerk in Murrhardt mit 32,76 kWp



Abbildung 6: PV-Anlage auf den Pultdächern der Kläranlage Krautheim (43,2 und 13,1 kWp)

3.2.3 Spezifische Kennzahlen

3.2.3.1 Allgemeines

Spezifische Kennzahlen stellen einen Zusammenhang zwischen Strom- bzw. Wärmebedarf und einer weiteren Bezugsgröße dar. Dafür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, eine Auswahl ist nachfolgend dargestellt.

3.2.3.2 Strombedarf – Bezugsgröße Anlagenbelastung

Der spezifische Stromverbrauch wird bisher auf den mittleren, angeschlossenen Einwohnerwert auf der Basis des $CSB_{120, \text{Zulauf}}$ in $\text{kWh}/(\text{E} \times \text{a})$ ermittelt [1, 2, 3, 4]. Die Stickstoffverbindungen im Zulauf, die durch die Nitrifikation einen erheblichen Einfluss auf den Sauerstoffbedarf haben, werden dabei nur indirekt mitberücksichtigt. Der Sachverhalt hat aber eine untergeordnete Bedeutung, da auf den meisten Anlagen das mittlere CSB/N-Verhältnis oft im Bereich von 9–11 liegt.

Die Methodik weist – wie alle zuflussbasierten Parameter – die Schwäche auf, dass der CSB als Berechnungsgrundlage auf vielen Anlagen auf Basis der bundeslandspezifischen Eigenkontrollverordnung nur an wenigen Tagen der Woche oder des Monats analysiert wird und somit nur eine Teilmenge von Einzelwerten zur Berechnung der angeschlossenen Einwohnerwerte [E] im Bezugszeitraum zur Verfügung steht. Eine Unter- oder Überschätzung der CSB-Fracht führt dann zu einer entsprechenden Abweichung im Energiekennwert [$\text{kWh}/(\text{E} \times \text{a})$]. Dies ist vor allem bei Kläranlagen der Größenklassen 1–3 relevant. Daher ist zu empfehlen, hier nach Möglichkeit für eine Kennwertermittlung den Betrachtungszeitraum zu vergrößern.

Auch die Umstellung des DWA-Leistungsvergleiches (seit 2017) zur Kennwertermittlung für den CSB im Zulauf vom arithmetischen Mittel der Konzentrationen auf eine frachtbasierte Methode führte zu einer Verringerung der bisher errechneten Einwohnerwerte und damit zu höheren, spezifischen Stromverbräuchen (vgl. Abschnitt 7).

Weitergehende Ansätze über die Berechnung der Gesamtbelastung wie des

> Total Pollution Equivalent (TPE) = CSB (kg) + 20 TN (kg) + 100 TP (kg) [27,28] oder des

> Total Pollutant (TOP) = $[(CSB + 2 BSB_5 + 2 SS + 20 TN + 100 TP) \cdot Q_{\text{ges}} \text{ [kg]}]$ [17]

TN = Total Nitrogen (Gesamtstickstoff), TP = Total Phosphorous (P_{ges}),
SS = Suspended Solids (Feststoffe)

für die eliminierten Abwasserinhaltsstoffe sind denkbar, lösen aber nicht das Problem der oft sehr unterschiedlichen Datenkollektive für die angesetzten Abwasserparameter (12 bis 365 Tageswerte/Jahr) und die verbrauchte Energie auf der Kläranlage als Jahressumme. Tägliche oder zumindest werktägliche Messwerte für die Zulaufbelastung liegen oft nur für Kläranlagen der Größenklasse 5 vor.

3.2.3.3 Strombedarf – Bezugsgröße Durchfluss

Gelegentlich [16, 28] wird der Strombedarf auch auf den Durchfluss der Anlage bezogen [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \times \text{a})$]. Der Kennwert ist zwar sehr einfach zu ermitteln, hat sich jedoch – da nur auf die hydraulische Belastung bezogen – außer bei der Beurteilung von Einzelpumpwerken in Verbindung mit der Förderhöhe (als [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \times \text{m})$] bezogen auf einen Zeitraum) – als nicht sinnvoll für eine weitergehende Anlagenbeurteilung ergeben.

3.2.3.4 Weitere Bezugsgrößen

Weitere spezifische Kennzahlen beschreiben die energetische Vorstellung von Teilprozessen der Abwasserreinigung. Eine kleine Auswahl nach dem DWA-Arbeitsblatt A-216 [12] ist nachfolgend aufgeführt:

- > Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung
 $e_{\text{Bel}} = E_{\text{Bel}} / EW_{\text{CSB}}$ in [$\text{kWh}/(\text{E} \times \text{a})$]
- > Spezifische Faulgasproduktion bezogen auf den Einwohnerwert $e_{\text{FG}} = Q_{\text{FG,d,aM}} / EW_{\text{CSB}}$ in [$\text{l}/(\text{E} \times \text{d})$]
- > Spezifische Faulgasproduktion bezogen auf organische Trockenmasse $Y_{\text{FG}} = Q_{\text{FG,d,aM}} / B_{\text{d,0TM,aM}}$ in [l/kg]
- > Spezifischer externer Wärmebezug
 $e_{\text{th,ext}} = E_{\text{th,ext}} / EW_{\text{CSB}}$ in [$\text{kWh}/(\text{E} \times \text{a})$]
- > Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk
 $e_{\text{PW}} = E_{\text{PW}} \times 1.000 / Q_{\text{PW}} \times h_{\text{man}}$ in [$\text{Wh}/(\text{m}^3 \times \text{m})$]

Für die Bildung dieser Kennzahlen ist eine separate Erfassung der benötigten Eingangsdaten notwendig, mit zunehmender Datendichte über den gewählten Zeitraum steigt die Aussagekraft an.

Weitere Kennzahlen sind auch den einschlägigen Leitfäden zur energetischen Optimierung von Kläranlagen zu entnehmen [1, 2, 3, 4] und [29].

4 Benchmarking

4.1 Allgemeines

Die Ermittlung des Energieverbrauchs bzw. der Energieeffizienz auf Kläranlagen ist kein Selbstzweck. Vielmehr soll das Bewusstsein für einen verantwortungsvollen und wirtschaftlichen Umgang mit unseren Ressourcen gefördert werden. Nur die zeitliche Betrachtung unterschiedlicher Kennzahlen über die Zeit – oder im Vergleich mit anderen, ähnlichen Anlagen bzw. einer „idealen“ Anlage nach den Ausführungen des DWA-A 216 – kann Aufschluss über mögliche Potenziale zur weiteren Verbesserung geben.

4.2 Interne Zeitreihen und Richtwert

Ein Vergleich der ermittelten Kennwerte für einen ersten Energiecheck der eigenen Anlage über mehrere Jahre kann positive, aber auch negative Veränderungen des Energie- und Wärmebedarfes aufzeigen (vgl. Tabelle 1). Der Anlagenbetreiber wird die Ursachen durch seine guten Kenntnisse des Betriebes oftmals einfach ermitteln, weiterhin können im Rahmen einer detaillierten Energieanalyse eigene Ziele zur kurz-, mittelfristigen und langfristigen Optimierung gesetzt werden. Diese sogenannten **Richtwerte** [40] können dann realistisch auf der betrachteten Anlage erreicht werden.

Zudem ist eine Erfolgskontrolle von Maßnahmen zur energetischen Optimierung schnell und einfach möglich.

Die Daten können dann visualisiert werden, um Trends und Entwicklung einfacher und übersichtlich ablesen zu können (vgl. Abbildung 7).

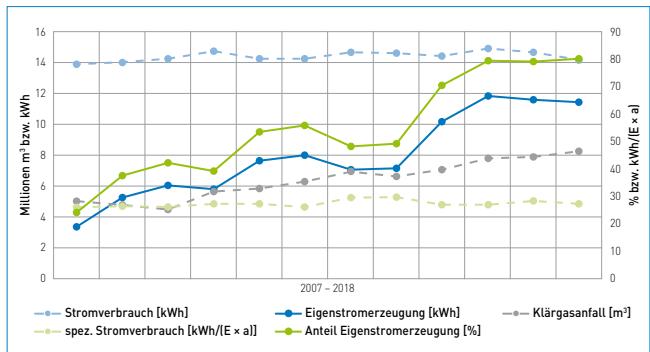


Abbildung 7: Visualisierung der Kennzahlen aus Tabelle 1

4.3 Ziel- und Toleranzwerte

In Baden-Württemberg werden schon seit dem Jahr 2002 Kennzahlen zum Energiebedarf von Kläranlagen im Rahmen des jährlichen DWA-Leistungsvergleiches erfasst und ausgewertet (vgl. Abschnitt 5.2). In [1,2] wurde dann als **Zielwert** diejenige Kennzahl definiert, welche von 10% der ausgewerteten Kläranlagen unterschritten wird. Nach der gleichen Vorgehensweise ist der **Toleranzwert** als 50%-Wert benannt, das heißt, 50% der Anlagen unterschreiten diesen Wert.

Tabelle 1: Beispiel der Kennzahlenbildung beim AZV Breisgauer Bucht [13]

Bezeichnung	Einheit	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Stromverbrauch	kWh	13.915.788	14.026.621	14.232.560	14.745.282	14.252.407	14.260.792
spez. Stromverbrauch	kWh/(E x a)	26,1	26,6	26,0	27,4	26,9	26,1
Eigenstromerzeugung	kWh	3.335.528	5.261.526	6.006.753	5.781.680	7.614.934	7.951.820
Anteil Eigenstromerzeugung	%	24,0	37,5	42,2	39,2	53,4	55,8
Klärgasanfall	m³	5.050.000	4.780.000	4.469.834	5.626.396	5.870.000	6.230.000

Bezeichnung	Einheit	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Stromverbrauch	kWh	14.647.090	14.580.848	14.413.580	14.893.839	14.644.693	14.230.441
spez. Stromverbrauch	kWh/(E x a)	29,5	29,6	26,9	27,0	28,2	27,1
Eigenstromerzeugung	kWh	7.062.696	7.169.802	10.156.210	11.810.446	11.548.525	11.435.789
Anteil Eigenstromerzeugung	%	48,2	49,2	70,5	79,3	78,9	80,4
Klärgasanfall	m³	6.940.000	6.580.000	7.050.000	7.800.000	7.880.000	8.240.000

Da die statistischen Auswertungen getrennt nach Größenklasse und Reinigungsverfahren erfolgen, können die Betreiber einfach „ihre Position“ im Benchmarking ermitteln und damit einen etwaigen Handlungsbedarf erkennen sowie das mögliche Einsparungspotential abschätzen. Nachteilig ist, dass Besonderheiten der Anlage (Auslastung, erhöhte Reinigungsanforderungen, besondere topografische Gegebenheiten etc.) in der Regel nicht berücksichtigt werden können. Die in Abschnitt 3.1 aufgeführten Einflüsse und Unschärfen sind hier ebenfalls vorhanden.

Infolge der jährlichen Fortschreibung der energetischen Kenndaten über den DWA-Leistungsvergleich sind der Ziel- und Toleranzwert zudem dynamische Werte, welche immer neu ermittelt und sich demnach verändern werden.

4.4 Idealwert

Zur Ermittlung des Handlungsbedarfes und der möglichen Einsparpotentiale wurde im DWA-A 216 [12] die Ermittlung eines anlagenspezifischen Idealwertes vorgeschlagen. Damit werden etwaige Besonderheiten der Anlage umfänglich berücksichtigt. Die Berechnung des Idealwertes ist jedoch bei den meisten Kläranlagen nur mit vielen Annahmen für ausgewählte, technische Parameter möglich, so dass sich diese Vorgehensweise bisher nicht durchgesetzt hat.

4.5 Ganzheitliche Energiekennzahlen und Labeling

Es bestehen vereinzelt Überlegungen, zukünftig auch für Kläranlagen „Energieeffizienzklassen“ oder spezielle Energiesiegel zu schaffen und Energieausweise wie bei Haushaltsgeräten oder für Gebäude zu erstellen. Der Ansatz von [17] versucht, eine anlagenbezogene Kennzahl (EPI = Energy Performance Index) unter Einbeziehung aller wesentlichen Einflussfaktoren zu bilden. Da die Herleitung der dort genannten Faktoren rein empirisch ist, scheint eine Anwendung in Baden-Württemberg ohne weitere Betrachtungen nicht sinnvoll möglich.

Im europäischen ENERWATER-Projekt [27, 28, 29] wird unter anderem ein „Water Treatment Energy Index“ (WTEI) für Kläranlagen eingeführt, für den dann eine Labeleinteilung (A – G) vorgeschlagen wird. Problematisch ist auch hier, dass die Basisdaten in der Regel konzentrationsbezogen und über das Jahr nicht vollständig sind, die Größenklasse der Kläranlage, die Auslastung als auch das Reinigungsverfahren sind ohne Bedeutung. Auch hier werden standardisierte bzw. frei wählbare Gewichtungsfaktoren der einzelnen Energiekomponenten verwendet, die in dieser Form eben nicht immer zutreffend bzw. sehr schwierig zu erheben sind.

Aus diesen Gründen wäre ein entsprechendes Labeling nach jetzigem Stand für Kläranlagen abzulehnen.

4.6 Zwischenfazit

Die bisher zur Verfügung stehenden Möglichkeiten einer vergleichenden Selbsteinschätzung der Anlagen im Hinblick auf die Energieeffizienz sind alle mit den beschriebenen Schwächen behaftet.

Trotzdem können hier – insbesondere bei Anwendung mehrerer Systematiken wie

- > Absolutwerte des Strom- und Wärmeverbrauches
- > spezifische Kennwerte
- > Zeitreihenvergleiche und Richtwerte
- > Abstand zum Toleranz- und Zielwert sowie dem Idealwert

wertvolle Informationen zum Potenzial der eigenen Anlage gewonnen werden.

5 Energetische Situation in Baden-Württemberg

5.1

Allgemeines

In Baden-Württemberg wurden bisher durch die

- > Bereitstellung von Praxisleitfäden [1,2] für die Kläranlagenbetreiber,
- > Studien zur energetischen Situation in BW [3],
- > Landesförderung von Energiestudien nach der Förderrichtlinie Wasserwirtschaft und
- > Durchführung des jährlichen DWA-Leistungsvergleiches

umfängliche Informationen zur energetischen Situation der Kläranlagen gesammelt und Anregungen zur Verbesserung gegeben.

Aktuelle Ergebnisse werden jährlich im Rahmen des Leistungsvergleichs der Nachbarschaften des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg publiziert (zuletzt [5]). Zudem sind Kennzahlen auch dem 2-jährlichen Lagebericht des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft [6] zu entnehmen.

5.2

DWA-Leistungsvergleich

Seit dem Jahr 2002 wird der Stromverbrauch der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg im Rahmen des DWA-Leistungsvergleichs erhoben, ab 2012 wurde die Abfrage der (abwasserinduzierten) Eigenstromerzeugung ergänzt. Im DWA-Leistungsvergleich werden zudem seit dem Betriebsjahr 2016 eine Reihe von Kenndaten für die Energieeffizienz auf Kläranlagen erhoben, wobei bei allen Anlagen der Stromverbrauch der Belüftung im Belebungsbecken zusätzlich abgefragt wird, bei den Kläranlagen mit Faulung (253 Anlagen in 2019) werden bis zu neun weitere Parameter erhoben, die alle in die Berechnung der Kenngrößen für den Energiecheck nach DWA-A 216 einfließen.

Diese Parameter betreffen die Themen

- > Faulgasanfall, -einsatz und -qualität
- > Co-Vergärung
- > zugeführte organische Trockenmasse zur Faulung sowie
- > extern zugeführte Wärmeenergie und Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen.

In der Tabelle 2 sind die wesentlichen Ergebnisse des DWA-Leistungsvergleichs für das Jahr 2019 in Baden-Württemberg zusammengestellt.

5.3

Projekt Energiecheck

Der Energiecheck gemäß DWA-A 216 dient dazu, dass die Betreiber anhand weniger Kennwerte eine energetische Selbsteinschätzung ihrer Anlage durchführen können. Durch den Energiecheck können erste Defizite erkannt werden, eine vertiefende Betrachtung kann dann weitergehend angebracht sein. Eine jährliche Wiederholung des Energiechecks ergibt Langzeitbetrachtungen und so werden auch „schleichende“ Entwicklungen besser erkannt.

Als unterstützendes Hilfsmittel wird vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg aktuell (Stand Sommer 2020) in einem von der DBU und dem Land Baden-Württemberg geförderten Projekt eine cloudbasierte Softwarelösung für einen vereinfachten Energiecheck entwickelt. Hierdurch wird jeder Betreiber eine umfassende jahresübergreifende Auswertung und Einschätzung für seine Anlage erhalten, in der er sich mit ähnlichen und benachbarten Anlagen vergleichen und einen automatisierten Energie- und Umweltinformationsbericht erzeugen kann. Die Datenbank wird voraussichtlich ab dem Jahr 2021 verfügbar sein.

Tabelle 2: Ergebnisse des Leistungsvergleichs 2019 für Baden-Württemberg [5]:

Leistungsvergleich 2019	Anzahl der Kläranlagen	Einwohnerwert [E]	Mittlere Belastung [E]	Absoluter Wert	Spezifischer Wert
Insgesamt Baden-Württemberg	896	21,5 Mio.	15,4 Mio.	–	–
Gesamtstromverbrauch	887	21,2 Mio.	15,1 Mio.	512,9 Mio. kWh	38,5 kWh/[E × a]
Eigenstromerzeugung	267	17,51 Mio.	12,1 Mio.	205,9 Mio. kWh	17,0 kWh/[E × a]
Stromverbrauch Belüftung	326	14,6 Mio.	10,4 Mio.	144,1 Mio. kWh	15,7 kWh/[E × a]
Faulgaserzeugung	253	16,1 Mio.	11,4 Mio.	119,9 Mio. m ³	–
Co-Fermentation	31	3,8 Mio.	2,8 Mio.	38,5 Mio. m ³	–

6 Perspektiven

6.1

Motivation und Qualifikation

Ein energetisch optimierter Betrieb von Kläranlagen – unter den nachfolgenden Prämissen – erfordert eine entsprechende Qualifikation und Motivation der Betreiber wie der Planungsbüros. Eigeninteresse an energetischen Themen sowie eine qualifizierte Aus- und Fortbildung sind hier wesentliche Komponenten einer sachgerechten Betriebsorganisation.

Der DWA-Landesverband Baden-Württemberg beabsichtigt hier mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg mit dem „Cluster Energieeffizienz“ auf Kläranlagen in Baden-Württemberg das Wissen, die Betriebserfahrungen und die Instrumente zur energetischen Optimierung kommunaler Kläranlagen zu bündeln, gezielt zu koordinieren und gute Beispiele aus der Praxis verfügbar zu machen sowie neue Impulse und Werkzeuge für die Behörden und Betreiber zu entwickeln. Durch ein modulares zielgruppenspezifisches Schulungsangebot, der Vergabe eines Innovationspreises und weitere Bausteine soll das Bewusstsein des Betriebspersonals und der Entscheidungsträger, zielgerichtete Maßnahmen zur Effizienzsteigerung vor Ort durchzuführen, erhöht werden.

6.2

Technische Entwicklungen

Technische Neuerungen zur energetischen Optimierung von Kläranlagen im In- und Ausland sollten von den Betreibern und Planern interessiert wie kritisch verfolgt werden. Als besonders interessant werden hier die weitergehende Ausstattung der Anlagen mit Photovoltaik wie bei der Thematik des Solarfaldaches [9] (Abbildung 8) als auch die fortschreitende Entwicklung der Wärmerückgewinnung von Aggregaten (insbesondere der Drucklufterzeugung) und der Wärmenutzung aus Abwasser [44, 47] benannt. Auch die Thematik von „thermoaktiven Bodenplatten“ und der Einsatz einer oberflächennahen Geothermie werden weiterentwickelt.

International wie im Einzelfall auch in Deutschland wird verfahrenstechnisch – die altbekannte – **Vorfällung** eingesetzt, um neben einer wesentlichen Entlastung der biologischen Stufe auch eine höhere Biogasproduktion zu erzeugen [10]. Die weitgehende Vorfällung ist auch ein wesentlicher Bestandteil innovativer und neuartiger Abwasserkonzepte [30]. Hauptproblem ist jedoch bei konventionellen Verfahren der Abwasserreinigung die durch die Vorfällung erfolgte, weitergehende Entnahme des CSB für die Denitrifikation, welche den

Kohlenstoff zur Umsetzung des Nitratstickstoffes zum elementaren Stickstoff benötigt. Eine Lösung kann hier nur ein großer, anoxischer Volumenanteil – aber im Rahmen des Regelwerkes nach DWA-A 131 [23] – und/oder die Zugabe von extern bereitgestellten Kohlenstoffverbindungen sein. Das führt dann zu höheren Kosten bei der Beschaffung, der Lagerung/Dosierung/Automatisierung und zum Handling des zusätzlich anfallenden Überschussschlammes. Hier ist daher für die notwendige Umsetzung der Stickstoffelimination weitere Entwicklungsarbeit notwendig. Unabhängig davon wird die Vorfällung auf einigen Anlagen in Baden-Württemberg schon jetzt auch aus energetischer Sicht erfolgreich betrieben, ohne dass ständiger Kohlenstoff in die Anlage dosiert werden muss.



Abbildung 8: Solarfaldach auf der Kläranlage Chur (Schweiz)

Auch wird verschiedentlich eine **Mikrosiebung** anstelle einer Vorklärung [32,42] als energetisch vorteilhaft angesehen. Hier ist vor allem die höhere Faulgasausbeute bei der anaeroben Schlammstabilisierung durch die höhere CSB-Entnahme zu benennen, wobei der gelöste, gut abbaubare Kohlenstoff weiter für die Denitrifikation zur Verfügung stehen sollte. In Baden-Württemberg liegen hierzu bisher keine umfänglichen Betriebserfahrungen vor. Das gilt auch für den Einsatz unterschiedlicher **Desintegrationsverfahren** bei der Schlammbehandlung.

Die **Deammonifikation** im Hauptstrom der Kläranlage mit allen energetischen Vorteilen ist Stand der Forschung [33,39], eine Umsetzung auf kommunalen Kläranlagen nicht absehbar.

Bei der Automatisierung von Kläranlagen kann auch zukünftig die Einbindung von **Wetterdaten** bzw. Wetterprognosen möglicherweise helfen, den Energieverbrauch positiv zu beeinflussen (vgl. [41]).

6.3

Struktur der Kläranlagen in Baden-Württemberg

Die zunehmende Zentralisierung der Abwasserreinigung sollte in der Summe zu einem geringeren Gesamtenergieverbrauch führen. Mit steigender Ausbaugröße der Einzelanlage wird der spezifische Energiebedarf gegenüber mehreren kleineren Anlagen zurückgehen. Auch dieser Aspekt sollte bei Strukturgutachten zur Zusammenlegung mehrerer Kläranlagen entsprechend bewertet werden.

6.4

Energieeffizienz versus Ablaufqualität

Die Sicherstellung der gewünschten Ablaufqualität hat jederzeit Vorrang vor energetischen Optimierungen. Das bedeutet auch, dass eine Erhöhung der Reinigungsleistung in der Regel mit einer Steigerung des absoluten Energiebedarfes (in [kWh/a]) einhergeht und akzeptiert werden muss. Dies gilt insbesondere für die Ergänzung einer Anlage zur Spurenstoffelimination und/oder einer Abwasserfiltration. Weiterhin kann bei begrenztem Flächenangebot oder neuen Anforderungen an den Hochwasserschutz bei ergänzenden Baumaßnahmen eine zusätzliche Abwasserhebung notwendig werden.

Der Sachverhalt ist bei allen Bewertungen und Vergleichen zu beachten.

6.5

Energieeffizienz versus Wirtschaftlichkeit

Maßnahmen zur Energieoptimierung müssen im Interesse des Gebührenzahlers auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Kaufentscheidungen von Aggregaten sollen bei technischer Gleichwertigkeit zudem aufgrund der Jahreskosten und nicht allein in Bezug auf die Investitionskosten getroffen werden.

Dabei ist zu beachten, dass die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit keine statische und fixierte Größe darstellen. Sowohl der Energiebezugspreis wie die Rahmenbedingungen des EEG sind dynamisch und unterliegen auch politischen Einflussfaktoren. Auf der anderen Seite ist – entkoppelt von der finanziellen Thematik – die Schonung von Energieressourcen ein strategisches Thema – sowohl für die Länder wie für die Kommunen. Daher kommt dem Gestaltungswillen der Projektbeteiligten (Stakeholder) vom Betreiber bis

zum Planer bei der energetischen (Neu-)Ausrichtung einer Kläranlage eine sehr hohe Bedeutung zu.

Denkbare Fördermöglichkeiten des Landes oder Bundes sind zudem im Vorfeld einer Umsetzung von separaten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz zu prüfen.

6.6

Kläranlagen im Bestand

Bei Kläranlagen im Bestand sind energetische Optimierungen durch betriebliche Anpassungen im Bereich der biologischen Stufe oft einfach möglich. Hilfestellungen für denkbare Maßnahmen sind [1,2,3,4] zu entnehmen. Dies betrifft in der Regel

- > die saisonale Einstellung des Trockensubstanzgehaltes
- > die variable und gezielte Einstellung des O₂-Überschusses in der N-Phase durch entsprechende Automatisierungslösungen
- > die Intensivierung der Stickstoffelimination durch zusätzlichen O₂-Rückgewinn bei Beibehaltung einer sehr weitgehenden Nitrifikation und
- > im Einzelfall einen angepassten Rührwerks- und Pumpwerksbetrieb.

Anlagen mit **simultaner, aerober Schlammbestabilisation** sollten mit zunehmender Ausbaugröße im Hinblick auf eine Umwandlung in eine anaerobe Schlammbestabilisation mit Faulgasverstromung geprüft werden. Dadurch wird zwar der absolute Energiebedarf nicht zwangsläufig verringert, dafür kann der Strombezug aus dem Netz durch den deutlich erhöhten Eigenstromanteil signifikant gesenkt werden. Die damit einhergehenden, verfahrenstechnischen Aspekte (Notwendigkeit einer Vorklärung, Verkleinerung des belüfteten Beckenvolumens bzw. Erhöhung der Reinigungskapazität) sind angemessen zu berücksichtigen.

Auch Anlagen mit **Faulungsanlage**, aber ohne Faulgasverstromung sollten die Ergänzung um ein Blockheizkraftwerk (BHKW) oder eine Mikrogasturbine unter wirtschaftlichen und betrieblichen Kriterien prüfen.

Bei Anlagen mit **anaerober Schlammbestabilisierung und Faulgasverstromung** ist der optimale Betrieb des Blockheizkraftwerks mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad sowie die maximierte Biogasausbeute von Bedeutung. Letztere kann durch eine **Co-Fermentation**, d. h. die externe Zugabe von gut abbaubaren, organischen Stoffen in den Faulbehälter gefördert werden.

6 Perspektiven

In Baden-Württemberg ist nach [6] aktuell auf 31 Anlagen zumindest temporär eine Co-Fermentation in Betrieb. Hilfestellung zur Umsetzung einer Co-Fermentation können eine ältere Arbeitshilfe des Landes Bayern [24] sowie das neu erschienene DWA-M 380 [22] bieten, aktuelle Betriebserfahrungen sind u.a. in [25] dokumentiert. Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Co-Fermentation in Baden-Württemberg sind mit der zuständigen Behörde zu klären.

Auf die Möglichkeit der Vorfällung zur P- und CSB-Elimination wurde bereits unter 6.2 hingewiesen.

6.7 Neubau oder weitgehende Umbaumaßnahmen auf Kläranlagen

Bei Neubauten oder weitgehenden Umbaumaßnahmen sollte im Rahmen der Vorplanung zumindest für die verfahrenstechnischen Vorzugsvarianten eine umfängliche Strom- und Wärmebilanz aufgestellt werden, hier sind dann unterschiedliche Möglichkeiten einer energetischen Gesamtoptimierung zu untersuchen und zu bewerten (vgl. 2.2). Dazu gehören neben baulichen Themen der Energieeffizienz von Gebäuden auch die Eigenversorgung von Strom und Wärme (konventionell mit Faulungsanlagen und Verstromung des Biogases), aber auch die Wärmenutzung aus Abwasser oder der Abwärmerückgewinnung aus Aggregaten sowie die Installation von PV-Anlagen in unterschiedlicher Ausführung bzw. an unterschiedlichen Standorten. Hier sind die bauliche Gestaltung und Ausrichtung der Dachflächen zu berücksichtigen sowie alternative Lösungen auf der zur Verfügung stehenden Fläche zu suchen. Auch weitere Optionen der Energiegewinnung (vgl. 6.2ff) sind zu prüfen.

Die dazu erforderlichen Qualifikationen im Planungsbüro sind ggf. extern bereitzustellen und sollten nach HOAI durch angepasste Sätze oder Leistungsbilder verütet werden.

6.8 Klimawandel

Bei zunehmender, wenn auch nur saisonaler, Erwärmung des Abwassers durch länger andauernde Hitzeperioden ist in diesen Zeiträumen tendenziell mit einem erhöhten Energiebedarf zu rechnen. Neben zusätzlichem Aufwand zur Klimatisierung von Gebäuden und technischen Einrichtungen nimmt auch der energetische Aufwand bei der Druckluftbelüftung zu (geringere Löslichkeit des Sauerstoffs im Abwasser und geringere

Luftmenge/m³ Ansaugvolumen bei den Verdichtern). Gleichzeitig steigt jedoch die Umsatzgeschwindigkeit der Mikroorganismen an, so dass mit einem geringeren, aeroben Schlamalter hier in Abhängigkeit der betrieblichen Möglichkeiten eine Teilkompensation des energetischen Mehraufwandes erfolgen kann. Eine hohe Flexibilität der Anlage im Hinblick auf die Zuordnung von anoxischen und aeroben Zonen zur Einstellung des aeroben Schlamalters ist dabei von Vorteil.

In der Jahressumme führen geringere Niederschlagsmengen zudem zu einem geringeren Energiebedarf für die Hebwerke des Abwassers. Wenn die Jahresniederschlagsmenge sich nur anders als bisher über das Kalenderjahr verteilt, ist kein Einfluss mehr gegeben.

Insgesamt sind die genannten Effekte auf den Energiebedarf – mit Ausnahme der Klimatisierung von Gebäuden – jedoch marginal.

6.9 Treibhausgase

Die ganzheitliche Klimabetrachtung gewinnt auch in deutschen Kommunen zunehmend an Bedeutung. Dazu gehören neben einem energieoptimierten Betrieb auch eine kritische Auseinandersetzung mit der Produktion von Treibhausgasen wie CO₂, CH₄ und N₂O (Lachgas) (oft zusammengefasst als CO₂-Fußabdruck etc.).

Seit dem Jahr 2019 erarbeitet die DWA-AG 6.7 ein Merkblatt zu „Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung“, eine Veröffentlichung des Entwurfes wird auf Basis von [36] für 2021 erwartet.

Indirekte Klimaemissionen entstehen durch die Strom- und Wärmeerzeugung für den Betrieb der Kläranlage. Diese sind vor allem von den Ausgangsstoffen der Energieerzeugung abhängig (fossile Brennstoffe, regenerative Energieträger etc.), ein geringerer Energiebedarf führt immer auch zu einer Verminderung von klimarelevanten Emissionen. Nach [34, 37] können bei Kläranlagen bei einem Energiebedarf von je 3 kWh/(E × a) rund 2 kg CO₂/(E × a) als Emissionswert angegeben werden.

Die **direkten Klimagasemissionen** der Kläranlage stehen oftmals in direkter Abhängigkeit zur gewählten Verfahrens- und Automatisierungstechnik. Wichtig ist dabei anzumerken, dass sich eine energetische Optimierung auch negativ auf die direkten Klimagasemissionen der Kläranlage auswirken kann – und damit auch

auf die Klimabilanz. Die Vorgänge der Lachgasemissionen als auch des CH₄-Schlupfes (Emission von Methan mit den abgetrennten Restgasen vor allem bei der Schlammstapelung und Schlammentwässerung) bei der anaeroben Stabilisierung sind derzeit noch Gegenstand der aktuellen Forschung. Es wird hier davon ausgegangen, dass die Produktion von Lachgas mit einer Störung der mikrobiellen Prozesse (Nitrifikation und Denitrifikation), verursacht durch suboptimale Wachstumsbedingungen, in Beziehung steht [34]. Vereinfacht gilt dabei:

- > Je höher das Schlammalter, umso geringer die Lachgas-Emission
- > Bei einer Minimierung des aeroben Schlammalters oder der Sauerstoffkonzentration in der N-Zone bzw. N-Phase steigt das Risiko einer vermehrten N₂O-Emission
- > Verfahrensweisen mit erhöhter Nitrit-N-Bildung führen ebenfalls zu erhöhten N₂O-Emissionen

Das freigesetzte CO₂ aus der Atmung der Mikroorganismen zum biologischen Umsatz beim Kohlenstoffabbau, der Denitrifikation und der anaeroben Schlammbehandlung stammt aus dem biologischen Abbau von ursprünglich mittels Photosynthese aufgebauten, organischen Kohlenstoffverbindungen, die Bestandteil des kurzfristigen Kohlenstoffkreislaufes der Erde sind. Daher ist das hier freigesetzte CO₂ als klimaneutral zu benennen [36]. Dies gilt jedoch nicht für die Veratmung von industriell erzeugten Substraten, die zur Verbesserung der Denitrifikation und Schlammm Faulung eingesetzt werden.

Die Sachverhalte sind bei einer energieoptimierten Betriebsweise einer Kläranlage zu beachten.

6.10

Kommunale Zusammenarbeit

Die Nutzung von auf Kläranlagen erzeugter Energie im kommunalen Netz spielt bisher nur eine untergeordnete Rolle. Beispielhaft sei hier das Vorgehen der Gemeinde Ilsfeld und des Hofgut Sternen erwähnt, welche die Wärmeleistung der Kläranlage im kommunalen bzw. privaten Nahwärmenetz nutzen (vgl. Steckbrief Nr. 14 und 15 sowie [45]). Ein Beispiel zur Abwasserwärmenutzung mit einem kalten Fernwärmenetz aus der Schweiz ist in [46] beschrieben. Entsprechende Konzepte können in Zukunft – auch bei der kommunalen Wärmeplanung – eine deutlich größere Rolle als bisher spielen (vgl. [43]).

6.11

Energiemanagementsysteme und Zertifizierung

Eine Option zur Dokumentation eines energieeffizienten Betriebes – oder zumindest der Implementierung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses – ist die Umsetzung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 [15] oder eine Zertifizierung nach der EMAS-Verordnung [16]. Der Aufwand dafür ist jedoch vergleichsweise hoch. Klassische Managementsysteme wurden vereinzelt für Kläranlagen außerhalb von Baden-Württemberg umgesetzt (vgl. [20, 21]). Hintergrund war hier in der Regel eine nachfolgende Steuerentlastung nach dem Stromsteuergesetz.

In Baden-Württemberg ist bislang keine Kläranlage bekannt, die nach diesen Managementsystemen zertifiziert wäre. Den Betreibern ist es jedoch unbenommen, die Grundsätze der genannten Managementsysteme im sogenannten PDCA-Zyklus (PDCA: Plan – Do – Control – Act) für sich selbst ohne eine externe Zertifizierung umzusetzen (vgl. [31]).

6.12

Öffentlichkeitsarbeit

Die energetische Leistungsfähigkeit von öffentlichen Einrichtungen – wie der Abwasseranlagen – stößt auf ein zunehmendes Interesse bei der Bevölkerung. Die offensive Darstellung der energetischen Leistungsfähigkeit der Anlagen in Geschäftsberichten (vgl. auch [13]) wie auch entsprechende, aktuelle Infodisplays an den Anlagen sind ein wirksames Element einer positiven Öffentlichkeitsarbeit. Dazu gehört auch die Teilnahme an entsprechenden Wettbewerben. Die Kläranlage Biberach (AZV Kinzig-Harmersbachtal) wurde beispielweise von der dena (Deutsche Energie-Agentur) im Jahre 2012 mit dem Label „Good Practice“ ausgezeichnet. Der internationale Energieeffizienz-Wettbewerb der dena zeichnet private und öffentliche Unternehmen aus, die durch innovative Ansätze ihre Energieeffizienz deutlich steigern [14].

Auch der Energie- und Umweltinformationsbericht der DWA (vergleiche Abschnitt 5.3) kann künftig für die Öffentlichkeitsarbeit von Abwasserbetrieben genutzt werden.

7 Stand und Entwicklung der Energieeffizienz in Baden-Württemberg

Die Darstellung der Entwicklung der Energieeffizienz von Kläranlagen in Baden-Württemberg wird anhand von Auswertungen auf Basis des DWA-Leistungsvergleiches vorgenommen. In der Abbildung 9 ist der Strombedarf sowie der mittlere, spezifische Strombedarf der Kläranlagen in Baden-Württemberg dargestellt.

Der spezifische Strombedarf hat sich demnach in den Jahren 2015–2019 auf rund **33 kWh/(E × a)** eingependelt, obwohl auf einer Reihe von Anlagen Maßnahmen zur Verbesserung der P-Elimination, der Feststoffabtrennung wie der Spurenstoffelimination durchgeführt wurden. Auch die Umstellung des DWA-Leistungsvergleiches (seit 2017) zur Kennwertermittlung für den CSB im Zulauf vom arithmetischen Mittel der Konzentrationen auf eine frachtbasierte Methode führte zu einer Verringerung der bisher errechneten Einwohner-

werte und damit zu höheren, spezifischen Stromverbräuchen in einer Größenordnung von ca. 4–5% (geschätzt) in Bezug auf die Vorjahre.

Der Gesamtstromverbrauch sank 2019 auf einen Tiefstwert von **512,9 Mio. kWh/a** und ist daher ein sehr guter Indikator für die laufenden, energetischen Optimierungen auf den Kläranlagen.

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Kläranlagenanzahl und der Reinigungsverfahren im selben Zeitraum von 2002–2019. Die Anzahl der Kläranlagen hat sich signifikant von 1.119 auf 896 Anlagen vermindert, die Zunahme einer gezielten P-Elimination (mit einem überschaubaren Energiebedarf) sowie die zusätzliche Einführung von Abwasserfiltrationen (von 31 auf 46) und Anlagen zur Spurenstoffentfernung (von 3 auf 16) ist ebenfalls sichtbar.

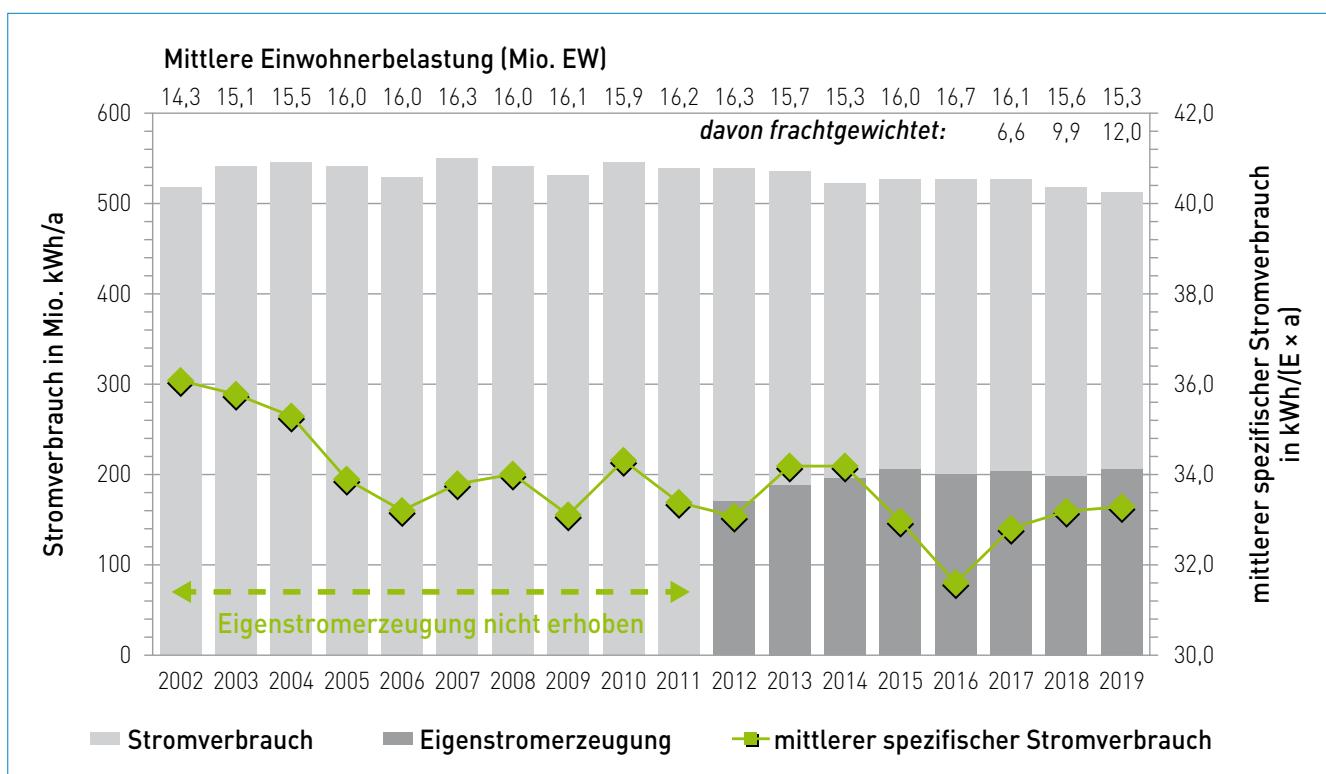


Abbildung 9: Kennwerte zum Strombedarf kommunaler Kläranlagen in Baden-Württemberg auf der Basis des DWA-Leistungsvergleiches 2002–2019 [5]

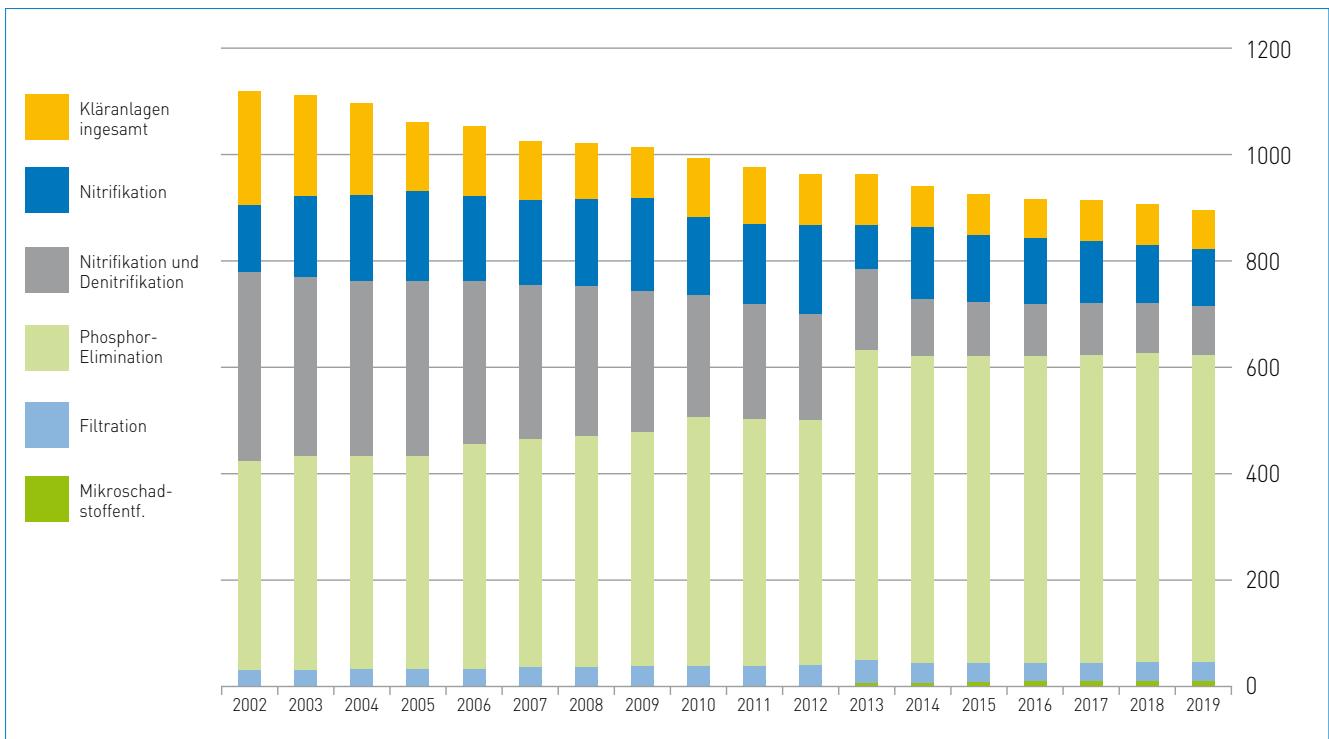


Abbildung 10: Entwicklung der Kläranlagen in Baden-Württemberg von 2002 – 2019 im Hinblick auf Anzahl und Reinigungsstufen

In Abbildung 11 ist der spezifische Stromverbrauch in Abhängigkeit der Größenklassen dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass mit abnehmender Größenklasse, insbesondere von Größenklasse 3 zur Größenklasse 1, der spezifische Stromverbrauch in [kWh/a] zunimmt. Auf der anderen Seite wird die Sicherheit der errechneten Werte durch die geringere Datendichte für die Belastung in ([E]) bei kleineren Anlagen vermutlich auch geringer.

Der positive Effekt einer Aufgabe von kleineren Kläranlagen und Überleitung zu größeren Einheiten wird in dieser Darstellung jedoch auch in einer Zeitreihe nicht sichtbar, da nicht nur Kläranlagen mit vergleichsweisen schlechteren Kennwerten aufgegeben werden.

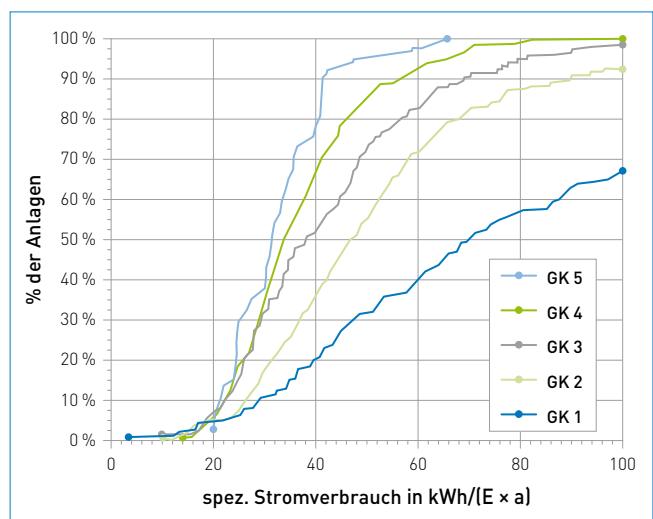


Abbildung 11: Spezifischer Stromverbrauch nach Größenklassen 2019 [5]

Ergebnisse der Energiebilanzierung

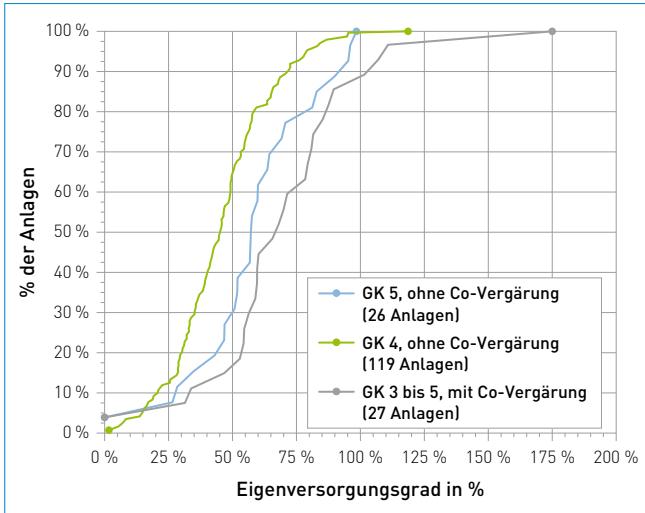


Abbildung 12: Eigenversorgungsgrad der Anlagen mit Faulung GK 3–GK 5 2019 [5]

In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass bei der Größenklasse 5 rund 50% der ausgewerteten Anlagen mit anaeroben Schlammbestabilisierung einen Eigenstromversorgungsgrad von über 55% aufweisen, bei den Anlagen der GK 4 beträgt dieser rund 45%. Es ist auch sichtbar, dass die Anlagen mit Co-Vergärung – unabhängig von der Größenklasse – den höchsten Eigenstromversorgungsgrad erreichen. Viele der Anlagen weisen hier einen Eigendeckungsgrad von > 75% auf.

Es steht zu erwarten, dass zukünftig der Stromverbrauch durch

- > die Ertüchtigung von Anlagen im Hinblick auf die P-Elimination sowie eine weitergehende Feststoffabtrennung durch Filtrationsanlagen bzw. eine Spurenstoffentfernung mit Ozon oder dem Einsatz von Aktivkohle moderat steigen wird
- > die laufende energetische Optimierung von Anlagen durch Erneuerung der Belüftung (Belüfterelemente und/oder Verdichter), der Optimierung der Homogenisierung von unbelüfteten Reaktoren und von Pumpwerken moderat verringert wird
- > die fortlaufende Zentralisierung der Kläranlagen in der Summe ebenfalls verringert werden kann.

Daher wird für die kommunalen Kläranlagen von Baden-Württemberg in den nächsten Jahren trotz steigender Reinigungsleistung ein Stromverbrauch von < 500 Mio. kWh/a bei einem mittleren, frachtgewichteten spezifischen Wert von < 32 kWh/a erwartet.

Durch

- > den weiteren Ausbau der anaeroben Schlammbestabilisierung bzw.
- > die Nutzung des Faulgases durch Verstromung bei bereits bestehenden Faulungsanlagen,
- > die Verbesserung des Wirkungsgrades bei der Faulgasverstromung als auch durch
- > die weitere Anwendung einer Co-Fermentation (wobei in vielen Fällen eine Konkurrenzsituation zu den landwirtschaftlichen Biogasanlagen besteht) und
- > den sukzessiven Ausbau der regenerativen Energieträger auf den Kläranlagen

ist eine Erhöhung des Eigenstromanteils auf den Kläranlagen von Baden-Württemberg auf 230–250 Mio. kWh/a anzustreben.

8 Steckbriefsammlung (Best-practice)

Im Rahmen der vorliegenden Broschüre sollen einerseits Kläranlagen mit einem sehr guten, energetischen Ergebnis auf der Basis des DWA-Leistungsvergleiches vorgestellt werden. Aber auch einzelne, interessante Elemente der energetischen Optimierung – ohne dass der Gesamtenergiebedarf außergewöhnlich hervorzuheben ist – werden benannt.

Es handelt sich dabei um eine subjektive Auswahl von 15 Anlagen, um die gesamte Palette der Möglichkeiten und die Innovationskraft der baden-württembergischen Betreiber zu zeigen und – bei Beachtung der lokalen Rahmenbedingungen – zur Nachahmung anzuregen. Die Kläranlagen und Projekte wurden dabei in drei Gruppen aufgeteilt:

> Kläranlagen mit besonders guten energetischen Kennzahlen in kWh/(E × a)

- [1] Kläranlage Notzingen (8.300 E)
- [2] Kläranlage Böbingen (36.000 E)
- [3] Kläranlage Albtal-Neurod (40.000 E)
- [4] Kläranlage Rottweil (52.000 E)
- [5] Kläranlage Häldehmühle (80.000 E)
- [6] Kläranlage Metzingen (120.000 E)
- [7] Kläranlage Göppingen (330.000 E)

> Kläranlagen mit interessanten Teilprojekten zur optimierten Eigenstromversorgung

- [8] Faulgasnutzung auf der Kläranlage Bergatreute (5.000 E)
- [9] PV-Anlage auf der Kläranlage Schömberg (6.500 E)
- [10] Co-Fermentation auf der Kläranlage Oberkirch (18.000 E).
- [11] Co-Fermentation auf der Kläranlage Altensteig (34.000 E)
- [12] Wasserkraftnutzung auf der Kläranlage Wendlingen (170.000 E)
- [13] PV-Anlage und Wasserkraftnutzung auf der Kläranlage Mannheim (725.000 E)

> Kommunale und private Projekte mit Einbindung der kommunalen Kläranlagen zur energetischen Optimierung in einem Verbundsystem

- [14] Abwasserwärmenutzung in der Gemeinde Ilsfeld (Kläranlage GKA Schözachtal)
- [15] Wasserkraft- und Abwasserwärmenutzung im Hofgut Sternen (Breitnau)

1 Kläranlage Notzingen



Ansprechpartner:
Rainer Hauff
ZV Gruppenklärwerk
Wendlingen am Neckar
Vorstadtstraße 101
73240 Wendlingen am Neckar

In der Kläranlage Notzingen wird das Abwasser der Gemeinde Notzingen gereinigt. Die Anlage wurde 1984 grundlegend erweitert und modernisiert. Die wesentlichen Bauwerke sind ein Trennbauwerk (mit Regenüberlauf), Rechenanlage (Feinrechen, Rechengutverdichter), belüfteter Sand- und Fettfang, Belebungsbecken und Nachklärbecken (als Rundbecken), Ablaufmengenmessung und Schlammeindicker/Stapelung.



Abb. 2: Kombibecken mit innenliegender vorgeschalteter Denitrifikation und außenliegender Nitrifikation



Abb. 3: PV-Anlage auf dem Dach des Betriebsgebäudes

Weitere Potenziale der Energieoptimierung:

- Kein weiteres Potential mehr nutzbar
- Lediglich Ergänzungen der PV-Elemente denkbar

„Eine Anlage, auf der alle nur denkbaren Randbedingungen passen und daher nahe am Optimum ausgenutzt sind.“

(Dipl.-Ing. Rainer Hauff, Geschäftsführer)

Belüftung

Die biologische Anlage besteht aus einem Belebungsbecken als einsträfiges Kombibecken mit innenliegender vorgeschalteter Denitrifikation. Im äußeren Ring befindet sich die Nitrifikation (Gesamtvolumen = 2.755 m^3). Die Gebläsestation umfasst zwei Drehkolbengebläse (Delta-Hybrid mit je $Q_e = 466 - 1.328 \text{ m}^3/\text{h}$ bei $P = 30 \text{ kW}$). Die beiden Rührwerke in den DN- und DN/N-Becken sorgen für die Umwälzung. Das Becken wurde mit einer neuen Belüftung ausgestattet, welche über eine Ringleitung an die bestehende Luftversorgung in der Gebläsestation angeschlossen ist. Dabei wurden insgesamt 168 St. Membran-Plattenbelüfter Typ Oxyflex MF 1100 der Firma Supratec im Becken auf 6 gleichartige Belüftungsgitter à 28 St. Plattenbelüfter aufgeteilt.

Randbedingungen und energetische Optimierung:

- Keine Regenwasserbehandlung auf der Anlage
- Durchfluss im Freispiegel ohne Förderung
- Keine Schlammbehandlung auf der Anlage
- Hocheffiziente Hybrid-Gebläse mit hohem Wirkungsgrad
- Anlage hat Ressourcen für A/P-Betrieb in der N-Zone
- PV-Anlage auf dem Betriebsgebäude und einer weiteren Halle

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	3	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	79.941
Ausbaugröße [EW]:	8.300	Einstufige Belebungsanlage	Intermittierende N/DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	16,8
Jahresabwassermenge [m³/a]:	715.040	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	20.260
CSB [mg/l]:	13	Weitergehende Reinigung:	–	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	–
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	3,3	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	–	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	–
Phosphor [mg/l]:	0,61	Schlammbehandlung	Simultan, teilweise aerob	Faulgaserzeugung [m³/a]:	–

2 Kläranlage Böbingen



Ansprechpartner:
Klaus Barth
AZV Lauter-Rems
Im Fellbach 1
73560 Böbingen

Die Anlage mit anaerober Schlammbestabilisierung (Faulbehälter: 1.625 m³) wurde bis 2017 zu einer zweisträfigen Kläranlage erweitert und besteht aus einer AN-Zone (585 m³), DN-Zone (800 m³) und zwei Belebungsbecken mit intermittierender N/DN (2.500 m³ + 3.465 m³). Großer Wert wird bei Planung und Betrieb auf eine im Detail durchdachte Automatisierung aller Teilprozesse im Hinblick auf Energieoptimierung und Betriebssicherheit gelegt.



Abb. 2: BHKW zur Verstromung des Faulgases



Abb. 3: Neue Verdichterstation mit abgestuften Gebläsen

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht seit 2017 aus 2 + 2 + 1 Verdichtern (Aerzener Hybrid) und feinblasiger Druckluftbelüftung 90 + 70 Belüftungsplatten (RMU, V20M50). Automatisierung über O₂- und Störgrößen- aufschaltung mittels NH₄-N-Messung und Regenprognose.

Randbedingungen und energetische Optimierung:

- > Anlage ohne Hebwerk in freiem Gefälle durchflossen
- > Weitgehende Stickstoffelimination (N_{anorg} im Jahresmittel < 5 mg/l)
- > Hocheffizientes Belüftungssystem und Lastmanagement zur Vermeidung von Stromspitzen
- > Automatisierung aller wesentlichen Teilprozesse mittels Fuzzy-Regelung
- > Intermittierender Betrieb der Rührwerke in der vorgeschalteten DN und BB 2
- > Impulsstoßbelüftung in BB 1
- > Intermittierender Betrieb der Rücklaufschlammpumpen bei Trockenwetter
- > Faulbehälter mit BHKW (2 × 40 kW_{el}, 2007) und Eigenstromversorgung von ca. 75% und Einspeisung des temporären Stromüberschusses in das Netz
- > PV-Anlagen (26,98 und 23,18 kWp) auf zwei Dächern (seit 2009/2011) mit vergüteter Einspeisung in das Netz.

Weitere Potenziale der Energieoptimierung:

- > Mittelfristig Erneuerung der BHKW-Anlage
- > Mittelfristig Verbesserung der kontinuierlichen Messtechnik

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	575.100
Ausbaugröße [EW]:	36.000	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete und Intermittierende N/DN,	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	14,2
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	6.399.299	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	547.602
CSB [mg/l]:	16	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	241.858
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	4,4	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	-	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	6,0
Phosphor [mg/l]:	0,23	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	323.191

3 Kläranlage Waldbronn-Neurod

Ansprechpartner:
Markus Bertolini
Kläranlage Neurod
Kochmühle 6
76275 Waldbronn

Die Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulbehälter 1.800 m³) besteht aus einer vorgeschalteten DN-Zone (2.470 m³, davon 800 m³ belüftbar) und zwei parallel betriebenen Belebungsbecken (2.660 m³). Die kompakte Anlage mit kurzen Fließwegen wurde über einen längeren Zeitraum konsequent im Hinblick auf einen optimierten, energetischen Betrieb weiterentwickelt.



Abb. 2: Einzelstehende Gebläse am Beckenrand und Pumpwerk der Internen Rezirkulation mit Propellerpumpen



Abb. 3: Rücklauschlammförderung mit energieeffizienten Motoren

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus vier direkt an der Nitrifikation aufgestellten KAESERgebläsen EB 291 C (je 37 kW) aus 2012/2019 und 4 × 160 = 640 Roeflex®-Tellerbelüftern (2012)

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	1.134.670
Ausbaugröße [EW]:	40.000	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	18,4
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	6.645.252	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	446.122
CSB [mg/l]:	24	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	-
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	9,1	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	-	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	-
Phosphor [mg/l]:	0,36	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	439.224

4 Kläranlage Rottweil

Die Kläranlage in Rottweil ist eine konventionelle, zweistraßige Belebungsanlage ($V_{ges} = 6.400 \text{ m}^3$) mit anaerober Schlammbestabilisation ($V = 3.300 \text{ m}^3$). Die Anlage ist im Freigefälle angelegt, behandelt bei Q_M bis zu 440 l/s und ist seit dem Jahr 2010 nach dem Branchenstandard „Technisches Sicherheitsmanagement“ (TSM) zertifiziert. Im Zeitraum 2013 – 2014 erfolgt eine umfängliche, energetische Ertüchtigung der Anlage.



Abb. 2: Gebläsestation für die BB 3



Abb. 3: Belebung 1 mit Luftverteilung

Randbedingungen und energetische Optimierung:

- > Faulgasverwertung in zwei BHKW ($2 \times 100 \text{ kW}_{el}$) mit Zugabe von Fremdschlamm
- > Co-Fermentation mit extern angelieferten Fetten aus Gewerbebetrieben
- > Intermittierende Stickstoffelimination mit Impuls-Stoßbelüftung zur Umwälzung des belebten Schlammes (keine Rührwerke)
- > Nutzung der dynamischen Simulation zur Optimierung der Verfahrenstechnik und Belüftung
- > PV-Anlage auf dem Dach des Betriebsgebäudes (32 kWp)

Weitere Potenziale der Energieoptimierung:

- > eventuell energieoptimierte Prozesswasserbehandlung

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus sechs Aerzener Drehkolbenbelüftern ($1 + 1 + 2 + 2$) mit unterschiedlicher Förderleistung, die Luftverteilung erfolgt auf vier Regelkreise. Zur feinblasigen Belüftung sind in allen Becken Plattenbelüfter (RMU V20M50) eingesetzt. Die Automatisierung erfolgt mit einer kombinierten O_2 - und NH_4 -N-Regelung.

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	944.121
Ausbaugröße [EW]:	52.000	Einstufige Belebungsanlage	Intermittierende N/DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	23,0
Jahresabwassermenge [m³/a]:	5.075.294	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	1.010.730
CSB [mg/l]:	21	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	-
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	10,8	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	-	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	-
Phosphor [mg/l]:	0,27	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m³/a]:	576.411

5 Kläranlage Hälde mühle

Das 1971 in Betrieb genommene Gruppenklärwerk Hälde mühle reinigt mit einer einstufigen Belebung ($V_{BB} = 12.240 \text{ m}^3$) und anaerober Schlammstabilisation ($V = 1.500 + 3.500 \text{ m}^3$) die Abwässer aus den Gemeinden Benningen, Erdmannhausen (seit 1998) und Murr sowie der Städte Großbottwar, Marbach am Neckar und Steinheim. Zur Behandlung des Filtratwassers existiert seit 2010 eine SBR-Biologie.



Abb. 2: YADOS-BHKW in einem Container



Abb. 3: SBR-Biologie zur Prozesswasserbehandlung

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus einem Gebläse (Aerzener Delta Hybrid, 2013) und zwei älteren Turboverdichtern (HV-Turbo). In den Belebungsbecken sind 1.800 Supratec Oyflex EPDM-Belüftter bei mittlerer bis hoher Belegungsdichte installiert.

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	1.667.542
Ausbaugröße [EW]:	80.000	Einstufige Belebungsanlage	vorgeschaltete DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	19,0
Jahresabwassermenge [m³/a]:	5.023.775	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	1.425.487
CSB [mg/l]:	29	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	664.530
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	8,4	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	5,70 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	7,6
Phosphor [mg/l]:	0,28	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m³/a]:	609.403

6 Kläranlage Metzingen

Die Kläranlage des AV Ermstal ist eine einstufige, zwei-sträßige Belebungsanlage ($2 \times 4 \times 1.250 \text{ m}^3 = 10.000 \text{ m}^3$) mit Nitrifikation/Denitrifikation und nachfolgender anaerober Schlammbestabilisierung in zwei Faulbehältern und Gasverstromung. Das Filtrat der Schlammentwässerung wird in einer separaten SBR-Anlage behandelt. Eine Besonderheit stellt das Flusskraftwerk mit einer Ausbauwassermenge von $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ an der Erms dar, dessen Energie auf der Kläranlage genutzt wird.



Abb. 2: Zwischenhebewerk zur Förderung von Ablauf Vorklärung und Rücklaufschlamm



Abb. 3: Flusskraftwerk mit doppelt geregelter Kaplanturbine ($H = 5,10 \text{ m}$, $P_{\max} = 87 \text{ kW}$)

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus 3+1 Turboverdichtern (je $110 \text{ kW}_{\text{el}}$), in der Regel ist nur der neue Verdichter von SULZER HST™ 2500 (90 kW, 2020) in Betrieb, die drei HV-Turboverdichter dienen als Lastreserve. Die Belebungsbecken sind flächig mit Membranbelüftern der Firma Rehau (Raubioxon Silicon, 3.400 Stück) ausgestattet.

Randbedingungen und energetische Optimierung:

- > Gemeinsame Förderung von Ablauf Vorklärung und Rücklaufschlamm in einem frequenzgeregelten Schneckenhebewerk ($3 \times 750 \text{ l/s}$)
- > Voreindickung des Überschusschlammes in der zweistufigen Vorklärung ($2 \times 1.800 \text{ m}^3$)
- > Kombination von vorgeschalteter und intermittierender N/DN ohne interne Rezirkulation mit eigenem Regelungssystem für die Belüftung
- > Prozesswasserbehandlung in einem SBR ($V_{\max} = 750 \text{ m}^3$, $Q \text{ ca. } 150 \text{ m}^3/\text{d}$)
- > Lange Verweildauer des Schlammes in den Faulbehältern (45 d bei $2 \times 3.600 \text{ m}^3$) und 2 BHKWs ($130 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $250 \text{ kW}_{\text{th}}$)
- > PV-Anlage auf dem Dach des Betriebsgebäudes (11 kW_p)
- > Flusskraftwerk an der Erms mit einer Jahresleistung von ca. 400.000 kW/a

Weitere Potenziale der Energieoptimierung:

- > Erneuerung der BHKW-Anlage (auf $3 \times 100 \text{ kW}_{\text{el}}$) in 2020 geplant
- > Aufbau eines automatisierten Energiemanagementsystems ab 2021

Angaben zur Kläranlage [Kennwerte Stand 2019]

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	5	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	1.730.503
Ausbaugröße [EW]:	120.000	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete DN und Intermittierende N/DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	20,1
Jahresabwassermenge [m³/a]:	13.116.754	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	1.196.881
CSB [mg/l]:	16	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	730.687
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	7,1	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	4 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	8,5
Phosphor [mg/l]:	0,29	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m³/a]:	878.623

7 Kläranlage Göppingen

Die Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulbehälter: $2 \times 3.000 \text{ m}^3$) besteht in der Biologie aus einer AN-Zone (7.060 m^3) und vier abgedeckte, kaskadenförmige Belebungsbecken (33.940 m^3). Das in den Faulbehältern anfallende Gas wird in zwei BHKW [je $366 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $430 \text{ kW}_{\text{th}}$] verstromt. Die auf den Dächern der Betriebsgebäude installierte PV-Anlage (70 kWp) ist in Besitz der Energieversorgung Filstal und geht nicht in die Energiebilanz der Kläranlage ein.

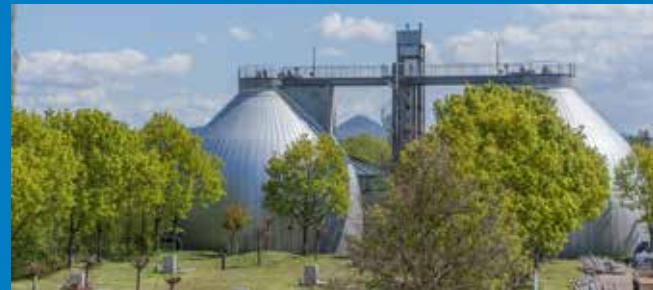


Abb. 2: Verdichterstation mit Schwachlastverdichter, Teststellung und zwei Volllastverdichtern incl. Redundanz



Abb. 3: Abwasserturbine im Kläranlagenablauf in die Fils

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus drei Turboverdichtern (ein ABS Sulzer HST 20 und zwei HV-Turbo, zusätzlich ein Testverdichter von HOWDEN (EasyAir) Turbo). Als Belüftungselemente sind ca. 4.000 Stück Oxyflex MF 1100 (2014) eingesetzt.

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	5	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	4.708.899
Ausbaugröße [EW]:	330.000	Einstufige Belebungsanlage	vorgeschaltete DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	21,3
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	15.636.665	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	3.687.801
CSB [mg/l]:	25	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	1.897.994
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	8,4	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	1 ZHW mit ca. 4 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	8,6
Phosphor [mg/l]:	0,29	Schlammbehandlung	Anaerob und Trocknung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	1.767.518

8 Kläranlage Bergatreute



Ansprechpartner:
Herr Schäfer
Gemeindeverwaltung Bergatreute
Ravensburger Str. 20
88368 Bergatreute

Die KA Bergatreute ging im Jahr 1978 mit einer Ausbaugröße von 4.000 EW in Betrieb. In den 90er Jahren wurde die Anlage in der mechanischen Reinigungsstufe modernisiert und mit einer Phosphatfällung nachgerüstet. Im Jahr 2010 konnte die Reinigungskapazität mit einer Erweiterung der Biologie auf 5.000 EW erhöht werden. Im Jahr 2014 wurde die ursprünglich kalte Faulung zu einer mesophilen Faulung (450 m³) umgerüstet und ein BHKW installiert.



Abb. 2: BHKW mit 15 kW_{el}



Abb. 3: Biologische Stufe (eingehaust)

„Die Entscheidung, ein BHKW in der Kläranlage zu installieren, haben wir bis heute nicht bereut. Abgesehen von den eingesparten Stromkosten, leisten wir damit auch noch einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz.“

(Herr Schäfer, Bürgermeister)

Randbedingungen und energetische Optimierung:

- > Optimierung Sandfangbelüftung
- > Installation eines BHKWs (15 kW_{el})
- > Co-Substratverwertung (Sauermolke)
- > Optimierung der Prozessabläufe
- > Hinweis: Die auf der Anlage installierte PV-Anlage gehört einer Bürgergenossenschaft und hat somit keinen Nutzwert für die Kläranlage selbst

Weitere Potenziale der Energieoptimierung:

- > Effizientere Rückschlammppumpe
- > Effizienteres Belüftungssystem

Belüftung

Das Belüftungssystem besteht aus drei Gebläsen mit zwei Luftregelschiebern sowie Membranrohrbelüftern mit Silikonmembranen (Belüfterlänge: 150 m, Firma Thoreka)

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	2	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	87.140
Ausbaugröße [EW]:	5.000	Einstufige Belebungsanlage	Intermittierende DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	26,6
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	411.319	Chemische P-Elimination	Vor- und Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	84.056
CSB [mg/l]:	13	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	37.539
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	16,0	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	-	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	11,5
Phosphor [mg/l]:	0,20	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	58.468

9 Kläranlage Schömberg

Die Kläranlage Schömberg wurde im Jahr 2015 letztmalig modernisiert. Hervorzuheben ist die Konzeption der ehemaligen Schreiber-Anlage als zweistufige Biologie mit je drei Kaskaden (DN (optional AN) – N/DN – N). Die ersten beiden Zonen mit ca. 50% der Belebung (je 800 m³) sind in der Regel unbelüftet, die interne Rezirkulation wird infolge der hohen Rücklaufschlammführung (bis über 250%) im Regelbetrieb nicht benötigt.



Ansprechpartner:
GVV Oberes Schlichemtal
Siegbert Peter
Schillerstr. 29
72355 Schömberg



Abb. 2: Belebungsbecken (Außenring) mit Schlamm puffer (Innenring)



Abb. 3: Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Gebläse

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	3	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, Fettfang	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	166.260
Ausbaugröße [EW]:	6.500	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	18,7
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	1.348.700	Chemische P-Elimination	Simultanfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	25.000
CSB [mg/l]:	16	Weitergehende Reinigung:	–	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	–
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	6,0	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	–	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	–
Phosphor [mg/l]:	0,36	Schlammbehandlung	Simultan, aerob Mobile SE	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	–

„Auf jede Kläranlage mit geeigneten Freiflächen gehört eine PV-Anlage vorgeschrieben.“

(Siegbert Peter, Betriebsleiter der Kläranlage)

Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Auf einer Freifläche des Kläranlagengeländes wurde im Herbst 2018 eine Photovoltaikanlage mit insgesamt 66 Solarpanelen (PV-Anlagenleistung von 19,8 kWp) errichtet. Bei einem Gesamtaufwand von rund 50 T€ und einer jährlichen Stromproduktion von rund 22.500 kWh (2019) können somit jährlich ca. 5.500€ an Bezugskosten eingespart werden. Die nach Süden ausgerichtete Anlage ist zudem so weit aufgeständert, dass eine einfache Pflege der Grünflächen ermöglicht wird.

Hervorzuheben ist, dass seit 2015 zudem eine Wärmerückgewinnung aus der Luftversorgung der biologischen Stufe installiert ist, die über eine Fußbodenheizung das Betriebsgebäude erwärmt.

Belüftung

Zur Belüftung stehen zwei (+ 1) Gebläse mit einer Flächenbelüftung (RMU, 2 × 32 Platten V20M50) zur Verfügung

10 Kläranlage Oberkirch

Die Kläranlage Oberkirch (18.000 E) ist eine zweistufige Kläranlage mit Belebung – Zwischenklärung und einer zweistufigen Tropfkörperanlage zur Nitrifikation. Die Schlammbehandlung wird mit einer anaeroben Stabilisierung realisiert. Da im Einzugsgebiet der Kläranlage eine große Anzahl kleinerer Brennereien betrieben werden, wurde ein Konzept zur Verwertung der anfallenden Brennschlempe auf der Kläranlage mit einem Bring-System entwickelt.



Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Oberkirch im Renchtal wird auch als Europas heimliche Hauptstadt der Schnapsbrenner betitelt – in der großen Kreisstadt (20.277 E) sind immerhin 796 Brennereien ansässig. Die umgangssprachlich auch Brennschlempe genannten und beim Brennvorgang entstehenden, organikreichen Rückstände, werden ganzjährig von der Kläranlage der Stadt Oberkirch in zwei edelstahlverkleideten, je 30 m³ großen Speicherschächten angenommen und mit Hilfe von Exzenterorschneckenpumpen zum Entstehen einer Passiermaschine zugeführt. Der Brennsaisonhöhepunkt ist üblicherweise im Winter. Durch das hohe Gasbildungspotenzial kann die zeitversetzt der Faulung zugeführte Schlempe (ca. 4.700 m³/a) einen bedeutsamen Beitrag zur Eigenstromversorgung der Kläranlage (430.000 m³/a Gaserzeugung) leisten.

Die Gasverwertung erfolgt in zwei BHKWs (jeweils 50 kW_{el}, 84 k W_{th}). Damit gelingt es, den Eigenstromversorgungsgrad der Anlage trotz des eher hohen spezifischen Energieverbrauches der Anlage (44,3 kWh/E × a) auf ca. 71 % zu steigern. Nach einer avisierten verfahrenstechnischen und energetischen Optimierung der Abwasserreinigung wird zukünftig von einer weitgehenden Energieautarkie der Anlage ausgegangen.

„Schnaps fördert nicht nur die Verdauung im Magen. Auch die Brennrückstände erweisen sich im Faulturm als außerordentlich nützlich bei der Gasproduktion.“

(Johannes Schulz, Betriebsleiter)



Abb. 2: Annahmeschacht der Brennschlempe



Abb. 3: Lagerung der abtrennten Steine aus der Brennschlempe im offenen Container

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sand- und Fettfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	1.072.403
Ausbaugröße [EW]:	18.00	Einstufige Belebungsanlage	vorgeschaltete DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	44,3
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	2.046.740	Chemische P-Elimination	Simultanfällung (2-Punkt-Fällung)	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	765.078
CSB [mg/l]:	18	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	184.745
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	12,6	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	3 PW mit insgesamt 10,90 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	7,6
Phosphor [mg/l]:	0,58	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	430.358

11 Kläranlage Altensteig

Das Sammelklärwerk Altensteig ist eine konventionelle einstufige Belebungsanlage. Energetische Besonderheiten sind der Teilstrombetrieb der Vorklärung (70% / 30%) mit Umgehung direkt in DN-Zone und der Betrieb einer Co-Fermentation zur Auslastung der anaeroben Schlammstabilisierung (mesophil, V = 1.940 m³) und einer optimierten Gasverwertung.

ABWASSER
ZWECKVERBAND
ALTENSTEIG

Ansprechpartner:
Tobias Weiß
Abwasserzweckverband Altensteig
Nagolder Str. 70
72213 Altensteig



„Gut für das KLIMA und unsere UMWELT, mit sauberer ENERGIE zu sauberem WASSER.“

(Tobias Weiß, Betriebsleiter)



Abb. 2: Annahmestelle für das Flotat aus der Fleischverarbeitung



Abb. 3: Abluftreinigung des Vorlagebehälters mit Aktivkohle

Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Die Firma Müller Fleisch GmbH entsorgt über den AZV Altensteig, die in der Großschlachterei für Rinder mit Standort in Birkenfeld anfallenden Flotatschlämme (rund 4.000 t/a). Der Entsorgungsbetrieb BaWü Industrientsorgung GmbH, welcher die Schlämme transportiert, hat über eine Vereinbarung freien Zugang auf die Kläranlage. Hier können die Schlämme in einen Zwischenspeicher (70 m³) mit GFK-Abdeckung und Aktivkohle-Abluftfilteranlage gepumpt und dort zwischengelagert werden. Über einen Mazerator und Exzenterorschneckenpumpen wird alle 90 Minuten 1 m³ Flotat in den Faulturm gefördert. Die behördlichen Auflagen zur Annahme und Verwertung von maximal 15 m³/d werden dauerhaft eingehalten. Der Gasanfall konnte durch die Co-Fermentation von täglich 500 m³ auf heute 1.200 m³ erhöht werden. Ein neues, hocheffizientes BHKW mit 155 kW_{el} erzeugt 1.000.000 kWh Strom im Jahr. Damit ist die Kläranlage energetisch autark, zudem werden ca. 250.000 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aktuell wird die Möglichkeit geprüft, einen kleinen Ortsteil in der Nähe über eine Fernwärmeleitung mit der Abwärme des BHKW zu beheizen, direkt mit Gas zu versorgen oder den 900 m³ großen Nacheindicker als Wärme puffer zu nutzen.

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	4	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	744.517
Ausbaugröße [EW]:	34.000	Einstufige Belebungsanlage	vorgeschaltete N/DN, intermittierend	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	28,0
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	4.085.826	Chemische P-Elimination	Simultanfällung und Nachfällung	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	521.990
CSB [mg/l]:	19	Weitergehende Reinigung:	-	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	-
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	9,3	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	7 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	-
Phosphor [mg/l]:	0,43	Schlammbehandlung	Faulung	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	-

12 Kläranlage Wendlingen



Ansprechpartner:
Rainer Hauff
ZV Gruppenklärwerk
Wendlingen am Neckar
Vorstadtstraße 101
73240 Wendlingen am Neckar

Der 1961 gegründete ZV Gruppenklärwerk Wendlingen (GKW) betreibt seit 1966 ein eigenes Klärwerk, 1973 wurde die Anlage um eine biologische Stufe und Schlammentwässerung ergänzt. In den Jahren 1980/1990er Jahren wurde die Kläranlage weiter ausgebaut und eine BHKW-Anlage installiert. Eine gezielte Nährstoffelimination wird seit 1994 betrieben, seit 2018 betreibt das GKW eine 4. Stufe zur Spurenstoffelimination mit Pulveraktivkohle



„Der Neubau der 4. Reinigungsstufe liegt hochwassersicher deutlich über Gelände. Eine eigene Ablaufleitung bis ins Gewässer ermöglichte daher die einmalige Chance, den gesamten Höhenunterschied an einer Stelle energetisch zu nutzen. Diese Lösung stellt eine nachhaltige CO₂-Einsparung dar.“

(Dipl.-Ing. Rainer Hauff, Geschäftsführer)



Abb. 2: Wasserkraftanlage im Ablauf der 4. Reinigungsstufe



Abb. 3: Wasserkraftanlage im Ablauf der 4. Reinigungsstufe

Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen der 4. Stufe und dem Neckar beträgt rund 5,50 m, so dass im Vorfeld die Wirtschaftlichkeit einer Turbineinstallation nachgewiesen werden konnte. Der bemesungsrelevante Zufluss zur Kläranlage liegt im Mittel bei 312 l/s, für die hydraulische Auslegung ist die Teilstrombehandlung mit 700 l/s maßgebend. Damit können ca. 88 % des Gesamzuflusses zwischen 160 l/s und 700 l/s energetisch genutzt werden. Über den Turbinenregler wird der Wasserspiegel im Oberwasser (= Ablauf Tuchfilter) konstant auf einem möglichst hohen Niveau gehalten, um die Fallhöhe zu maximieren. Die hier eingesetzte Durchströmturbine zeichnet sich durch einen Wirkungsgrad von > 80 % über das gesamte Spektrum und einen geringen Wartungsaufwand aus.

Der Turbinenraum ist unter Flur begehbar, über der Turbine besteht eine Lichtkuppel. Es wird erwartet, dass etwa 25 % des Gesamtenergiebedarfs der 4. Reinigungsstufe CO₂ – neutral durch die Wasserkraftanlage gedeckt wird.

Angaben zur Kläranlage [Kennwerte Stand 2019]

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	5	Mechanische Stufe:	Feinrechen, Sandfang Vorklärung	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	3.224.021
Ausbaugröße [EW]:	171.013	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete N/DN, AN Simultanfällung	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	31,4
Jahresabwassermenge [m ³ /a]:	14.572.791	Chemische P-Elimination	ja	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	2.750.584
CSB [mg/l]:	13	Weitergehende Reinigung:	PAK-Zugabe mit Tuchfiltration im Teilstrom	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	-
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	10,5	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	5 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	-
Phosphor [mg/l]	0,26	Schlammbehandlung	anaerob	Faulgaserzeugung [m ³ /a]:	1.338.735

13 Kläranlage Mannheim

Die Kläranlage Mannheim ist die drittgrößte Kläranlage in Baden-Württemberg und weist zusätzlich zur konventionellen Abwassereinigung seit dem Jahre 2016 eine 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen mittels Aktivkohle auf. Im Klärwerk Mannheim wurde die gezielte 4. Reinigungsstufe erstmals großtechnisch realisiert. Der anfallende Klärschlamm wird ausgefault, vor Ort getrocknet und in der Zementindustrie verwertet.

„Als zertifizierter Eigenbetrieb sehen wir die Abwasserreinigung und die Energieerzeugung als permanenten Verbesserungsprozess. Wir haben eine große Verantwortung für die Umwelt, die wir unseren Kindern hinterlassen.“

(Alexander Mauritz, Betriebsleiter)



Abb. 2: Detail PV-Anlage



Abb. 3: Wasserrad im Ablauf

Angaben zur Kläranlage (Kennwerte Stand 2019)

Allgemeine Infos:		Verfahrenstechnik:		Energetische Kennzahlen:	
Größenklasse:	5	Mechanische Stufe:	Grobrechen, Feinrechen, Sandfang, VKB	Gesamtstromverbrauch [kWh/a]:	21.609.398
Ausbaugröße [EW]:	725.000	Einstufige Belebungsanlage	Vorgeschaltete N/DN	Spez. Stromverbrauch [kWh/EW × a]:	35,0
Jahresabwassermenge [m³/a]:	28.686.767	Chemische P-Elimination	Simultanfällung (nur im Winter, sonst Bio-P-Elimination)	Eigenstromerzeugung [kWh/a]:	12.719.871
CSB [mg/l]:	17	Weitergehende Reinigung:	Spurenstoff-elimination und Filtration	Stromverbrauch Belüftung [kWh/a]:	4.986.133
Gesamt-Stickstoff [mg/l]:	5,0	Förderhöhe der Pumpwerke im Hauptstrom:	6 m	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung [kWh/E × a]:	8,1
Phosphor [mg/l]	0,10	Schlamm-behandlung	Faulung, Entwässerung, Trocknung	Faulgaserzeugung [m³/a]:	8.394.534



Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Im Dezember 2006 wurde auf der Abwasserfiltration eine **Photovoltaikanlage** mit einer Panel-Fläche von 2.300 m² in Betrieb genommen (kWp 270). Die Jahresstromproduktion beträgt ca. 250.000 kWh und leistet dabei einen Beitrag zur Eigenstromversorgung der Kläranlage.

Im September 2011 ist zusätzlich ein **Wasserrad** (Durchmesser 6m, Breite 1,60m) im Ablauf der Filtrationsanlage errichtet worden. Die Jahresstromproduktion von ca. 40.000 kWh wird ebenfalls in das Stromnetz der Kläranlage eingespeist.

Durch den Einsatz von Klärgas, Kraftwärmeleitung und die Gewinnung von Strom aus Sonnenenergie und Wasserkraft ist der Energiebedarf des Klärwerks heute zu ca. 60 Prozent durch Eigenenergieproduktion gedeckt. Nach Fertigstellung der neuen Klärschlammtröcknung und dem Bau des Wärmespeichers wird der Fremdenergiebezug voraussichtlich gegen Null gehen.

14 Gemeinde Ilsfeld

Bei dem kommunalen Verbundprojekt wird der Wärmeinhalt des geklärten Abwassers der GKA Schötzachtal (35.000 EW) in einer nahe gelegenen, kommunalen Heizzentrale genutzt. Dazu sind zwei Tauchpumpen (je 45 m³/h) am Ablaufgerinne installiert, die FU-geregelt das gereinigte Abwasser zu den Wärmepumpen (je 300 kW_{th} und 85 kW) in der Heizzentrale fördert. Diese bilden eine Einheit mit den drei Erdgasbetriebenen BHKW (je 112 kW_{el} und 220 kW_{th}).



Abb. 2: Wärmepumpenzentrale mit BHKW und dem 1800 kW Gas-Spitzenlast und Reservekessel



Abb. 3: Wärmepumpe (Fabrikat Combitherm)

„Klimaschutz ist keine leichte Aufgabe, aber wir sind es unseren Kindern und Enkeln schuldig eine Welt zu hinterlassen, in der auch sie noch leben können. Es wird zu viel mit dem Finger auf andere gezeigt, anstatt bei sich selbst anzufangen.“

(Thomas Gessler, Gemeinde Ilsfeld)

Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Die Wärmepumpen heben das im Jahresschnitt 10°C warme Abwasser auf 60 – 65°C an, durch die BHKW wird das Temperaturniveau auf 75 – 80°C weiter erhöht. Der Vorlauf für das Wärmenetz wird mit dieser Temperatur im Netz verteilt, die Rücklauftemperatur beträgt ca. 50 – 55°C. Durch die Entnahme des geklärten Abwassers nach der Nachklärung wird nur die Abwassertemperatur im Ablauf um 4 – 5°C vermindert, ein Einfluss auf die biologischen Vorgänge in der Anlage ist ausgeschlossen. Diese Temperaturabsenkung sorgt im Sommer zudem für eine „Kühlung“ des Gewässers.

An das Nahwärmenetz sind aktuell 300 private wie kommunale Gebäude angeschlossen, eine Erweiterung auf 420 Einheiten ist für das Jahr 2021 vorgesehen. Die Versorgung aus einem Energiemix mit einer Biogasanlage, der Abwasserwärme, des BHKW und Gaskesseln deckt einen Verbrauch von ca. 10 Mio. kWh/a ab, der in erster Linie aus erneuerbaren Energien stammt. (Einsparung: 2.400t CO₂/a). Diese Maßnahme hat insofern Modellcharakter, als die Abwasserwärmenutzung zwar technisch ausgereift, in der Praxis jedoch noch nicht weit verbreitet ist.

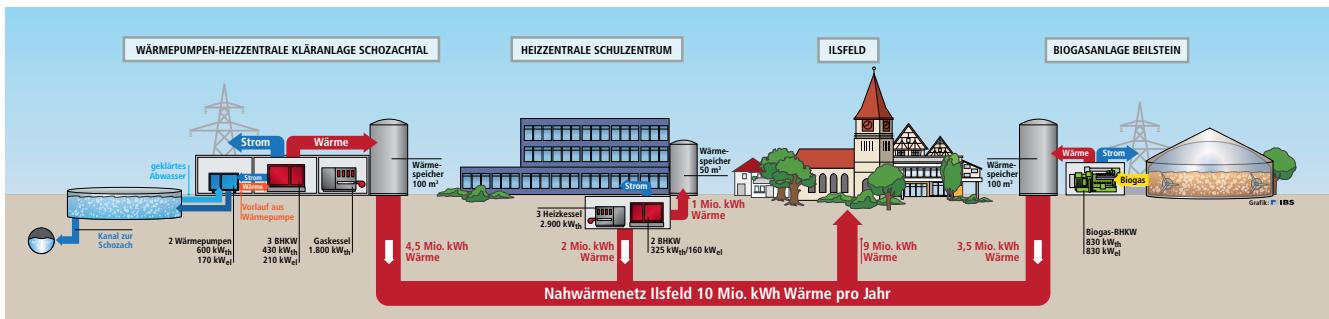


Abb. 4: Grafik Ilsfeld

Digitale Version. Weitergabe und Vervielfältigung verboten.

15 Hofgut Sternen

Mit dem Bau des EnergieWerks des Hofgut Sternen (Breitnau) im Jahr 2016 wurde eine zentrale Energieerzeugung für das 11 Hektar großen Areal geschaffen. Hier werden Strom und Wärme ausschließlich aus regenerativen und lokalen Energieträgern (Holz) produziert. Einen großen Anteil daran hat die Nutzung der Wasserkraft und der Abwasserwärme aus dem Ablauf der Kläranlage Hinterzarten (7.350 E, $Q_M = 74 \text{ l/s}$), in der das Abwasser aus Hinterzarten und Breitnau gereinigt wird.

„Das EnergieWerk Hofgut Sternen ist ein Synonym für das Konzept Schwarzwald 4.0. Die jahrhundertealte Tradition der Selbstversorgung, der Wahl der Energiequellen und der Energiegewinnung wird im EnergieWerk Hofgut Sternen mit moderner Technologie in die Gegenwart übersetzt und ist somit ein wegweisendes Projekt für die Zukunft.“

(Jan Ruf, Technischer Leiter)



Ansprechpartner:
Jan Ruf
Hofgut Sternen GmbH & Co. KG
Höllsteig 76
D-79874 Breitnau



Beschreibung des Sonderprojektes zur energetischen Optimierung:

Der Ablauf der Kläranlage Hinterzarten wird über eine 1.200 m lange Druckleitung (Fallhöhe 152 m) zum Hofgut Sternen geführt und dort über eine Pelton-Turbine (zweidüsig, $Q_{\text{max}} = 60 \text{ l/s}$, 78 kW) geleitet. Unterhalb der Turbine befindet sich ein Unterwasserbecken (25 m³) mit Freistromwärmetauscher, über den die Wärme des Abwassers (im Jahresmittel 10°C) zu einer Wärmepumpe (Kälte 30 kW, Wärme 40 kW) geführt wird. Dadurch wird beim Wärmeentzug eine Abkühlung des „Grauwassers“ um ca. 5–6°C erreicht, bevor es in den Rotbach als Quellfluss der Dreisam eingeleitet wird. Die dadurch entstehende

Wärme (oder Kälte) wird in das EnergieWerk mit eingebunden und durch Fernleitungen zu den Verbrauchsstellen im Areal geleitet.

Durch das System werden ca. 200.000 kWh/a Strom und 150.000 kWh/a Wärme gewonnen, die im Hofgut mit insgesamt 107 Hotelzimmern verwertet werden.

Zur Ergänzung wird eine Holzverstromungsanlage (250.000 kWh/a Strom und 400.000 kWh/a Wärme) sowie eine Photovoltaikanlage (20.000 kWh/a) betrieben.



Abb. 2: Pelton-Turbine (rechts) und ein Teil der Energiezentrale (links)

9 Literatur

- [1] Baumann, P. und M. Roth (1999): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen – Leitfaden für das Betriebspersonal. ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg
- [2] Baumann, P., Maurer, P. und M. Roth. (2014): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen – Praxisleitfaden. Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen Heft 4. DWA-Landesverband Baden-Württemberg
- [3] Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen (2015). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg
- [4] Energie in Abwasseranlagen Handbuch NRW (2018). 2. vollständig überarbeitete Fassung. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 40190 Düsseldorf. www.mulnv.nrw.de
- [5] Morck, T.; Schwentner, G. und L. Banek (2020): 46. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg – Reinigungsleistung, Phosphorelimination und Energieeffizienz der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg im Betriebsjahr 2019. BWGZ, Stuttgart.
- [6] Lagebericht Kommunales Abwasser 2019. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg
- [7] DWA (2011): DWA-Leistungsvergleich 2011.
- [8] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Juni 2020 (BGBl. I S. 1287) geändert worden ist
- [9] Müller, E.A. und M. Vogelsanger (2019): Solarstromkraftwerk für Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser, 8/2019 S. 661 – 662
- [10] Baumann, P., Meyer, C., Maier, W., Schmid, S., Schönberger, H., Tamas, J., Ányos, J., Szabó, I., Bakondi, P. (2019): Kutatási jelentés a magyarországi kommunális szennyvíztisztító telepek energiahatékonysági vizsgálatának módszertani megalapozásáho (Forschungsvorhaben zur Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen in Ungarn) Belügyminisztérium, Budapest, 192 p., 2019. ISBN: 9789634901358 (in ungarisch). In deutscher Sprache zur Zeit nicht öffentlich verfügbar.
- [11] Loderer, C. (2020): Powerstep. Aqua & Gas, No. 7, S. 52 – 56
- [12] DWA (2015): Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. DWA-Regelwerk
- [13] AZV Breisgauer Bucht. Geschäftsbericht 2018 (2019)
- [14] Dena – <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/energiesysteme/energy-efficiency-award/>
- [15] DIN EN ISO 50001 (2018): Energiemanagementsysteme mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2018), Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018
- [16] EMAS-Verordnung (2009): Europäischen Verordnung (EG) 1221/2009
- [17] Yang, L.; Zeng, S., Chen, J., M. He, und W. Yang (2010): Operational energy performance assessment system of municipal wastewater treatment plants. Wat. Sci. Tech., 62.6, S. 1361 – 1370. IWA Publishing
- [18] Svardal, K. und H. Kroiss (2011): Energy requirements for waste water treatment. Wat. Sci. Tech., 64.6, S. 1355 – 1361. IWA Publishing
- [19] Halbach, U. (1999): Zielfunktion für den Energieverbrauch von Kläranlagen. Wwt, 2/99, S. 58 – 59
- [20] Einführung eines Energiemanagementsystems für die Kläranlage Waginger See und der Wasserversorgung Waging am See (2016). <https://www.gemeindewerke-waging.de/29-gemeindewerke-waging/aktuelles/108-einfuehrung-eines-energiemanagementsystems>
- [21] Qualitäts- und Energiemanagement – Wasserverband Nord ist zertifiziert (2018). https://www.wv-nord.de/de/ueber_uns/qualitaetsmanagement_energiemanagement.php
- [22] DWA (2020): Merkblatt DWA-M 380. Co-Vergärung in kommunale Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen. DWA-Regelwerk
- [23] DWA (2016): Arbeitsblatt DWA-A 131. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. DWA-Regelwerk
- [24] Co-Vergärung auf kommunalen Kläranlagen (2011). Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.

- [25] Schaum, C., Steiniger, B., Hubert, C., Bockreis, A., Lichtenegger, T., Wehner, M., Athanasiadis, K. und C. Ebner (2020): Co-Vergärung – Chance oder Risiko? Zeitschrift wwt, 3/2020, S. 42 – 46
- [26] Silva, C. und M. J. Rosa (2015): Energy performance indicators of wastewater treatment: a field study with 17 Portuguese plants. *Wat. Sci. Techn.*, 72.4, S. 510 – 519
- [27] Longo, S., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., Campo, P., Fatone, F., Eusebi, A. L., Akkersdijk, E., Stefani, L. und A. Hospido (2019): ENERWATER – A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants. *Applied Energy*, Vol. 242, May 2019, S. 897 – 910
- [28] Mauricio-Iglesias, M., Longo, S. und A. Hospido (2020): Designing a robust index for WWTP energy efficiency: The ENERWATER water treatment energy index. *Science of Total Environment* 713 (136642)
- [29] ENERWATER – www.enerwater.eu
- [30] Powerstep: www.powerstep.eu
- [31] Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities (2013). A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs. U.S. Environmental Protection Agency.
- [32] Schubert, R.-L., Miehe, U., Remy, C., Loderer, C., Biegel, M. und B. Lesjan (2020): Das Mikrosieb als Vorklärung zur Verringerung des Energiebedarfes kleiner Kläranlagen. *wwt*, 4/2020, S. 29 – 34
- [33] Maktabifard, M., Zaborowska, E. und J. Makinia (2018): Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol* 17:655 – 689, S. 655 – 687
- [34] Joss, A. (2020): N_2O – Dynamik der Lachgasemissionen bei nährstoffeliminierender Abwasserreinigung. <https://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/abwasser/n2o-dynamik-der-lachgasemissionen/>
- [35] Cunningham, M. Fink, A. und U. Baier (2015): Methane-emissionen auf Kläranlagen. *Aqua & Gas*, No. 3, S. 60 – 62
- [36] DWA (2017). Arbeitsbericht der DWA-AG 6.7 „Treibhaus-emissionen bei der Abwasserbehandlung“. Korrespondenz Abwasser, 9/2017, S. 779 – 788
- [37] Land Baden-Württemberg (2010): Drucksache des Landtages 14/7291, 06.12.2010
- [38] Knörle, U., Buchmüller, M. und L. Hier (2016): Betriebs-erfahrungen mit der thermischen Schlammdesintegra-tion auf der Kläranlage Lingen/Ems. *Korrespondenz Abwasser*, 3/2016. S. 193 – 201
- [39] Lackner, S.; Gilber, E. M.; Agrawal, S.; Horn, H. (2014): Einsatz der Deammonifikation im Hauptstrom als neue Möglichkeit zur Stickstoffelimination? In: H. Steinmetz und C. Meyer (Hrsg.): Energiepotenziale kommunaler Kläranlagen erkennen, nutzen und kritisch bewerten. 89. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium (Stutt-garter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 221), S. 65 – 77.
- [40] Quarenghi, S. und E.A. Müller (2019): Feinanalyse – Richtig ein- und umgesetzt. *Aqua & Gas*, 9/2019, S. 44 – 50
- [41] Moser, R., Möhl, M. und P. Zai (2019): Steigerung der Energieeffizienz einer ARA. *Aqua & Gas*, 9/2019, S. 52 – 56
- [42] Fumasoli, A., Bützer, S., Kraft, T., Derlon, N., Behl, M. und B. Maissen (2019): Trommelsieb als Vorklärbecken-ersatz. *Aqua & Gas*, 10/2019, S. 76 – 82
- [43] V. Kienzlen (2020): Die Kläranlage als Energie-Zentrale der Kommune. *Die Gemeinde*, 7/2020, S. 46 – 47
- [44] DWA (2020): Merkblatt DWA-M 114: Abwasserwärme-nutzung. DWA-Regelwerk
- [45] www.hofgut-sternen.de/media/54007/energie-d-1653203.pdf
- [46] Steiner, M. (2020): Abwasserwärmennutzung nach der ARA: Fallbeispiel Yverdon-Les-Bains. *Aqua & Gas*, 10/2020, S. 41 – 44
- [47] Hurni, A. und B. Kobel (2020): Nutzung der Wärme von Abwasser. *Aqua & Gas*, 10/2020, S. 36 – 40

Alle genannten Web-Adressen in diesem Leitfaden waren zur Zeit der Publikation aktiv. Die angegebenen Links können sich mit der Zeit jedoch ändern oder deaktiviert werden.

10 Bildnachweis

Titelbilder: Bild 1 und 2: P. Baumann, Stuttgart
Bild 3: Stadtentwässerung Mannheim

Abbildung 1: Werner Maier, iat-Ingenieurberatung, Stuttgart

Abbildung 2: Peter Baumann, Stuttgart

Abbildung 3: Mario Bitsch, Weber-Ingenieure GmbH, Pforzheim

Abbildung 4: Peter Baumann, Stuttgart

Abbildung 5: Philipp Nentwich, Stadt Murrhardt

Abbildung 6: Leuser, AZV Mittleres Jagsttal, Krautheim

Abbildung 7: DWA-Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart

Abbildung 8: Peter Baumann, Stuttgart

Abbildung 9 – 12: DWA-Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart

Steckbriefe

[1] Kläranlage Notzingen:
Abbildung 1 – 3: Gruppenklärwerk Wendlingen

[2] Kläranlage Böbingen:
Abbildung 1: AZV Lauter-Rems,
Abbildung 2 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[3] Kläranlage Albtal-Neurod:
Abbildung 1 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[4] Kläranlage Rottweil:
Abbildung 1 – 3: ENRW Rottweil

[5] Kläranlage Häldenmühle:
Abbildung 1 – 3: Jedele und Partner GmbH, Stuttgart

[6] Kläranlage Metzingen:
Abbildung 1: KA Metzingen,
Abbildung 2 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[7] Kläranlage Göppingen:
Abbildung 1: Stadtentwässerung Göppingen
Abbildung 2 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[8] Kläranlage Bergatreute:
Abbildung 1 – 3: Jedele und Partner GmbH, Stuttgart

[9] Kläranlage Schömberg:
Abbildung 1 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[10] Kläranlage Oberkirch:
Abbildung 1: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
Abbildung 2 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[11] Kläranlage Altensteig:
Abbildung 1: AZV Altensteig
Abbildung 2 – 3: Peter Baumann, Stuttgart

[12] Kläranlage Wendlingen:
Abbildung 1 – 3: Gruppenklärwerk Wendlingen

[13] Kläranlage Mannheim:
Abbildung 1 – 3: Stadtentwässerung Mannheim

[14] Gemeinde Ilsfeld:
Abbildung 1 – 3: Gemeinde Ilsfeld

[15] Hofgut Sternen:
Abbildung 1 – 2: Hofgut Sternen



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

Landesverband Baden-Württemberg

www.dwa-bw.de

DWA-Landesverband Baden-Württemberg

Rennstraße 8
70499 Stuttgart

Telefon 0711 896631-0
Fax 0711 896631-111
info@dwa-bw.de
www.dwa-bw.de