

EU-KARL – worum geht es?

Die Richtlinie (EU) 2024/3019 vom 27.11.2024 ist eine Neufassung der „alten“ Kommunalabwasserrichtlinie, 91/271/EEC vom 21. Mai 1991 (also besteht schon seit mittlerweile 33 Jahre). Der EU-Ministerrat stimmt am 5. November 2024 mit breiter Mehrheit der Mitgliedsstaaten zu.

Verkündet wurde die Richtlinie im Amtsblatt der Europäischen Union am 12. Dezember 2024 und trat demnach 20 Tage später in Kraft: Inkrafttreten der KARL: **1. Januar 2025**^[1]

Damit bleibt der Bundesregierung insgesamt 30 Monate Zeit, die Richtlinie in deutsches Recht zu überführen. Das wäre dann **Ende Juni 2027**. Spätestens dann müssen Kläranlagen bereit sein, die Vorschriften vollständig umzusetzen.

Information: Im Nachgang zu dieser Einführung finden sie Erläuterungen und Hinweise zu unsern Verfahren mit **Praxisbeispielen** und erzielten **Ergebnissen**. (ab Seite 4)

1 KARL-Abwasserrichtlinie: Neufassung, aber was ist eigentlich neu an der Kommunalabwasserrichtlinie?

Es gibt einige wesentliche Änderungen gegenüber der alten Richtlinie aus dem Jahr 1991:

- So wird die Verpflichtung, kommunale Kläranlagen zu errichten, auf alle Siedlungsgebiete mit mindestens 1.000 Einwohnern ausgedehnt (derzeit liegt die Grenze bei 2.000 Einwohnern).
- Außerdem werden die Anforderungen an die Nährstoffelimination (d. h. Entfernung von Stickstoff und Phosphor) verschärft.
- Auf lokaler Ebene sollen integrierte Pläne für die Bewirtschaftung von kommunalem Abwasser erstellt werden, um Mischwasserüberläufe (kommunale Abwässer und Regenüberläufe) besser zu kontrollieren. Man rechnet hier mit einer verstärkten Belastung, da als Folge des Klimawandels Starkregenereignisse häufiger werden.
- Für den Sektor der kommunalen Abwasserbehandlung wird ein verbindliches Ziel der Energieneutralität auf Ebene der Mitgliedstaaten eingeführt.
- Es werden neue Überwachungspflichten eingeführt, die unter anderem das Monitoring von Mikroplastik (auch im Klärschlamm) und bestimmter Viren wie SARS-CoV-2 in kommunalem Abwasser betreffen.
- Die Mitgliedstaaten sollen verpflichtet werden, den Zugang zu sanitären Einrichtungen für alle, insbesondere für gefährdete und ausgegrenzte Menschen, zu verbessern und aufrechtzuerhalten.
- Auch neue Bestimmungen über die Information der Öffentlichkeit, den Zugang zu Gerichten und Entschädigungen sind enthalten.

2 KARL Art. 11: Energieneutralität der Abwasserbehandlung

Kläranlagen haben einerseits einen hohen Energiebedarf (vor allem für die Belüftung bei der aeroben Abwasserbehandlung) und andererseits ein hohes Potenzial, diesen Bedarf selbst zu decken. Abwasser enthält viel Energie [(155 bis 180 kWh/(E·a) [Kaleß, 2018; Dichtl, 2023)]. Laut DWA-Leistungsvergleich von 2020 werden davon im Mittel 18,4 kWh/(E·a) durch Verstromung von Klärgas in Deutschland genutzt (10,2 – 11,9 %).

Unser Beitrag in der aeroben Stufe der Biologie mit einem sorgfältigen, bedarfsgerechten und sparsamen Umgang der Begasung durch sauerstoffhaltiger Druckluft (energieintensiv) oder alternativ Reinsauerstoff umzugehen. **UNSER BEITRAG: Das C-N-P - Konzept**

Prozesseigene Biomasse abgetrennt in Vorklärungen und dem maschinell eingedickten Überschussschlamm der biologischen Stufe werden seit langem in Faulbehältern zu Biogas umgewandelt und in Blockheizkraftwerken (Mikrogasturbinen/ Brennstoffzellen) zur Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie genutzt. Zur vollständigeren Umsetzung der organischen Inhaltsstoffe im Rohschlamm lässt sich der Faulturm durch den Einsatz unseres Entec® FK600 steigern und so zu einem guten Teil zur Erhöhung der Eigenenergieerzeugung beitragen.

^[1] Leptien, C.; KARL-Sprechstunde der DWA: Die neue Kommunalabwasserrichtlinie im Überblick, Folienvortrag Februar 2025

Insbesondere bei der externen Annahme von Co-Fermenten in Faultürmen wirkt das Produkt leistungssteigernd, wie unseren Erfahrungen in Biogasanlagen zur Speiserestverwertung eindrücklich zeigen.

UNSER BEITRAG: Entec® FK600

Nutzung von Biogas, Wärmepumpen, PV-Anlagen und Windkraftanlagen.

Kläranlagen verfügen oft über große Flächen, die für die Installation von Photovoltaik- und Windkraftanlagen genutzt werden könnten. Aus diesem Grund sieht die Neufassung der Kommunalabwasserrichtlinie Energieneutralität auf nationaler Ebene als Ziel bis Ende 2045 vor. Auf nationaler Ebene deshalb, weil nicht alle Kläranlagen die gleichen Voraussetzungen für eine ausreichende Nutzung erneuerbarer Energien haben. Die Richtlinie erlaubt auch die Anrechnung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien außerhalb der Kläranlage, sofern sie dem Betreiber oder Eigentümer der Kläranlage gehören.

Nachteilig an diesen Technologien ist, dass die elektrische Energie nicht 24/7 das ganze Jahr zur Verfügung stehen. Deshalb unsere Überzeugung: Anstelle von fluktuierender Energie wie Photovoltaik oder Windkraft lieber das ganze Jahr verfügbare „Klärschlamm – Energie“ zum Betrieb einer energieautarken bzw. -positiven Kläranlage zu nutzen: **UNSER BEITRAG: PEGAKA-Verfahren**

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs gibt es bereits Kläranlagen, die die Wärmeenergie des Wassers mittels Wärmepumpen nutzen.

Durchführung von Energieaudits: Mindestens alle vier Jahre sind Energieaudits durchzuführen. Dabei sollen Potentiale zur Nutzung erneuerbarer Energien bewertet, Energieeinsparungen identifiziert, aber auch solche Themen wie die Nutzung von Abwärme (z. B. als Fernwärme) betrachtet werden. Für Anlagen mit mehr ab 100.000 EW müssen die ersten Energieaudits bis Ende 2028 durchgeführt werden, für Anlagen ab 10.000 EW bis zum 31.12.2032.

3 KARL Art. 7 (Drittbehandlung) Neue Grenzwerte für Phosphor und Stickstoff

Stufenweise Umsetzung der Nährstoffelimination bis 2045

Bisher waren viele Kläranlagen nicht zur weitergehender Nährstoffelimination (Tertiärstufe) verpflichtet. Nur Kläranlagen, die in sensible Gewässer einleiten, mussten diese durchführen (z.B. Nord- und Ostsee/ Bodensee). Dazu waren beispielsweise für Phosphor 1 mg/l im Kläranlagenablauf bei Anlagen ab 100.000 EW einzuhalten. Für kleinere Anlagen (ab 10.000 EW) war ein Grenzwert von 2 mg/l vorgeschrieben, sofern nicht nationale Regelungen strengere Vorgaben machten. Da aber gerade große Kläranlagen wesentlich zur Eutrophierung der Gewässer beitragen, müssen künftig alle Kläranlagen ab 150.000 EW (auch in nicht als sensible eingestuft Gebieten) Stickstoff und Phosphor aus dem Abwasser entfernen.

Darüber hinaus müssen zukünftig auch alle Siedlungsgebiete mit Kläranlagen ab 10.000 EW eine Nährstoffelimination durchführen, sofern sie ihr Abwasser in empfindliche Gewässer einleiten, wobei die empfindlichen Gebiete teilweise in der Kommunalabwasserrichtlinie definiert sind und weitere von den Mitgliedsstaaten festgelegt werden können.

Stickstoff-Grenzwerte für große und kleine Anlagen

Die EU – Richtlinie verschärft die Grenzwerte für Kläranlagen der Größe ≥ 150.000 EW auf 8 mg/l oder eine Reduktion von ≥ 80 %; Kläranlagen der Größenklasse 10.000 – 150.000 EW sollen zukünftig 10 mg/l oder eine Reduktion von ≥ 80 % erzielen. Die Überwachung erfolgt durch 24-h-Messwerte (Mischproben), daraus soll ein Jahresmittelwert gebildet werden.

Die bisherige Regelung in Deutschland schreibt eine Überwachung durch qualifizierte Stichproben bzw. eine 2-h-Mischproben auf Basis einer 4 aus 5 Regelung vor. Diese Regelung wird zumindestens zur Ermittlung der Abwasserabgabe beibehalten^[2]. In der Fachwelt gibt diese widersprüchliche Regelungen Anlass zur Diskussion.

UNSER BEITRAG: weitergehende Stickstoffelimination/ C-N-P - Konzept

Phosphor-Grenzwerte für große und kleine Anlagen

Die künftigen Grenzwerte für Phosphor betragen 0,5 mg/l für große und 0,7 mg/l für kleinere Anlagen. Die Umsetzung erfolgt stufenweise mit den ersten Anlagen bis Ende 2033. Bis zum 31.12.2039 müssen alle

^[2] Mennerich, A.; Optimierung der Stickstoffelimination im Zeichen der Kommunalabwasserrichtlinie Folienvortrag im Rahmen der DWA – KARL – Sprechstunde (02.07.2025)

Kläranlagen ab 150.000 EW die Tertiärstufe umgesetzt haben, bis zum 31.12.2045 dann auch die Anlagen ab 10.000 EW in den empfindlichen Gebieten.

UNSER BEITRAG: weitergehende Phosphatelimination/ C-N-P - Konzept

4 KARL Art. 8 Die vierte Reinigungsstufe

Sogenannte Mikroschadstoffe, d. h. Stoffe, die bereits in geringsten Konzentrationen – wenige Mikrogramm pro Liter – ein Risiko für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt darstellen können, müssen laut Neufassung der Kommunalabwasserrichtlinie zukünftig im Rahmen einer weitergehenden Behandlung entfernt werden.

Vorrang für große Anlagen und empfindliche Gewässer

Analog zur Nährstoffelimination gilt diese Verpflichtung vorrangig für große Anlagen (>150.000 EW) und zusätzlich auch für Anlagen ab 10.000 EW, die in Gewässer einleiten, die hinsichtlich Mikroverunreinigungen als empfindlich einzustufen sind. Dabei kann es sich um Gewässer handeln, bei denen der Kläranlagenablauf einen wesentlichen Beitrag zum Gewässerabfluss leistet (Verdünnungsverhältnis kleiner als 10) oder um Gewässer, die zur Trinkwassergewinnung, für die Aquakultur oder als Badegewässer genutzt werden.

Die Mitgliedstaaten müssen diese empfindlichen Gebiete bis Ende 2030 ausweisen und erstmals 2033 und danach alle sechs Jahre neu bewerten. **UNSER BEITRAG: Membrantechnologie**

Zu berücksichtigende Stoffe

Die Richtlinie legt eine Liste von 12 Stoffen in zwei Kategorien fest, die für die vierte Reinigungsstufe zu berücksichtigen sind. Die Anforderungen der Neufassung der Kommunalabwasserrichtlinie gelten als erfüllt, wenn mindestens sechs dieser Stoffe im Mittel zu 80 % aus der Zulauftracht entfernt werden. Dabei müssen doppelt so viele Stoffe der Kategorie 1 wie aus der Kategorie 2 erfasst werden. Die Liste ist von der Kommission fortlaufend zu evaluieren und gegebenenfalls an neue Erkenntnisse anzupassen.

Bis spätestens 31. Dezember 2033 müssen die ersten Anlagen und bis Ende 2045 alle Anlagen mit mehr als 150.000 EW sowie alle Anlagen mit mehr als 10.000 EW in sensiblen Gebieten die Anforderungen des Artikels 8 erfüllen.

5 KARL Art. 21 d)/ Art. 22 Treibhausgasbilanz

Die Treibhausgase sollen einschließlich mindestens CO₂, N₂O und CH₄, die von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen mit 10 000 EW und mehr ausgestoßen werden, je nach Zweckmäßigkeit anhand von Analysen, Berechnungen oder Modellierungen überwacht werden.

Die Ergebnisse sollen bis zum 31. Dezember 2030 einen Datensatz mit Informationen über die nach den verschiedenen Gasen aufgeschlüsselten Treibhausgasemissionen und über die von jeder kommunalen Abwasserbehandlungsanlage mit 10 000 EW und mehr verbrauchte Gesamtenergie und erzeugte erneuerbare Energie übermitteln werden. **UNSER BEITRAG: Klimabilanz erstellen/ Messprogramm**

6 KARL Art. 24 (23) Informationen für die Öffentlichkeit

"Durch die Richtlinie werden neue Informationspflichten gegenüber Verbrauchern und der Öffentlichkeit geschaffen, die zu einem zusätzlichen Erhebungs- und Verwaltungsaufwand bei den Betreibern führen wird. Hier braucht es ein einheitliches und praxistaugliches Vorgehen mit Augenmaß. Unnötiger Erhebungsaufwand ist zu vermeiden. Im Vordergrund muss die adressatengerechte Bereitstellung von hilfreichen und relevanten Informationen für die Bürgerinnen und Bürger stehen. Dabei sollten neue Berichtspflichten an bestehende Prozesse geknüpft werden, um den Aufwand für Betreiber und Behörden möglichst gering zu halten.

Zusätzlicher Berichtsaufwand ist aus den Anforderungen aus Artikel 23 zu erwarten, wonach die Mitgliedstaaten erstmalig 36 Monate nach Inkrafttreten der Richtlinie und danach alle 6 Jahre gegenüber der EU-Kommission über den Stand der nationalen Umsetzung und der damit verbundenen Kosten und Investitionen berichten müssen. Auch hier gilt es mit Blick auf die generellen Informationspflichten doppelten Erhebungs- und Berichtsaufwand zu vermeiden, um die Aufgabenträger zu entlasten.^[3]"

Die Information für die Öffentlichkeit ist sehr umfassend und muss rückwirkend bis zum 01.01.2025 lückenlos online vorliegen. Also warten sie nicht auf Ende Juli 2027, wenn KARL in Kraft tritt! Gerne beraten wir Sie zu diesem Thema info@pro-enteceast.de **UNSER BEITRAG: Erstellung der Bilanz nach Bedarf**

^[3] VKU-Positionspapier Umsetzung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie – Dezember 2024

https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Positionen/Kommunale_Wasserwirtschaft/241205_VKU-Positionspapier_Umsetzung_KARL_final.pdf

7 KARL Art. 11: Einsatz von Entec® FK600 in Faultürmen von Kläranlagen

Die europäische Rahmenrichtlinie über die Behandlung von kommunalen Abwasser (KARL) fordert die Betreiber von Abwasseranlagen auf, in abgestuften Zeiträumen bis 2045 die Energieneutralität zu erreichen.

Etliche Jahre vorher testet die PRO – Entec® – Gruppe das Produkt Entec® FK600 auch in Faultürmen kommunaler Kläranlagen. Der unmittelbare Anlass war die Auflage an einigen Kläranlagen, den P_{ges} im Ablauf auf niedrigere Konzentrationen zu begrenzen (höhere Auflagen bezüglich der P – Elimination). Dabei spielen bisher nicht beachtete Rückbelastungen aus den anaeroben Bereichen der Kläranlage eine nun zu beachtende Größe. Das sind z.B. Verluste von o- PO_4 -P – an Eisen gebundene Phosphate durch Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+} . $3 Fe(III)PO_4 + 3 e^- \rightarrow Fe_3(II)(PO_4)_2 + PO_4^{3-}$ (Reduktion von Eisen). Auch die durch Bio-P gebundenen Phosphate gelangen durch den Abbau der Organik zu Biogas als Rückbelastung in die Biologie zurück (KARL Abs. 7). Ganz nebenbei haben wir eine Mehrproduktion an Klärgas erwartet.

Einsatz Entec® FK600 in Faultürmen

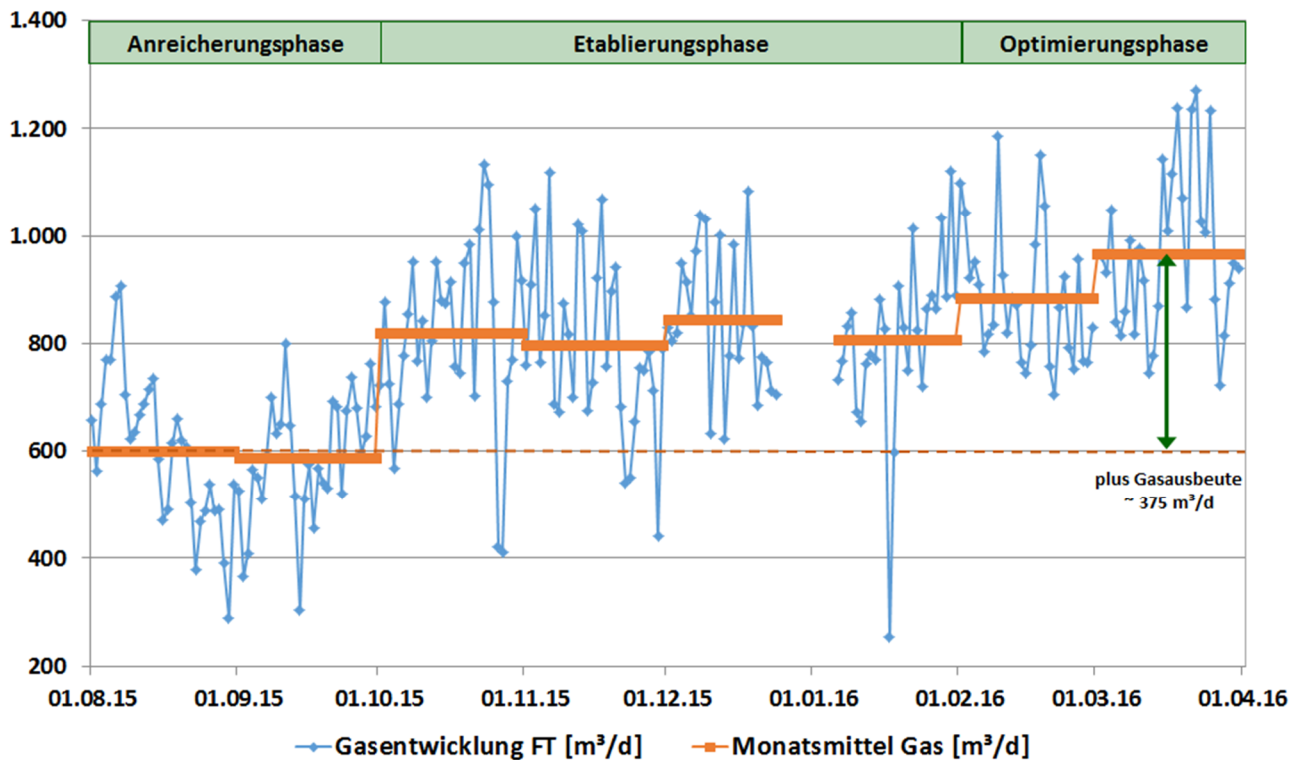


Abb. 1: Entwicklung der Gasausbeute nach dem Einsatz von Entec® FK600 in einer 40.000 EW - Anlage

Bei der nominell ausgebauten Kläranlage für 40.000 EW mit einem Faulturm ($V = 1.250 m^3$) und einer Rohschlammzugabe von $60 m^3/d$ erfolgte nach einer 2 – monatigen Anreicherungsphase eine sukzessive Erhöhung der Klärgasmenge um etwa $200 m^3/d$ über einen längeren Zeitraum. In einer Optimierungsphase der letzten zwei Monate stieg der Klärgasanfall noch einmal deutlich, so dass im letzten Monat ein Plus von $\sim 350 m^3/d$ zu konstatieren war.

Den Anforderungen von KARL folgend, eine Energieneutralität zu erreichen, ergibt sich folgende Bilanzierung: BHKW = 39 % | Klärgasmethangehalt = 61 % | Energiegehalt Methan = $10 kWh/Nm^3 CH_4$

$$P_{Plus} = 375 Nm^3/d \cdot 365 d/a \cdot 61 \% \cdot 10 kWh/Nm^3 \cdot 39 \% = 325.625 kWh/a \text{ mehr an Eigenstrom}$$

Bei Stromkosten aus dem Netz = $0,22 \text{ €/kWh}$ ergibt sich eine **Einsparung von 71.637,5 €/a**

Insgesamt dosierten wir eine Menge von $80 kg/d$ zu einem Preis von ca. $52.- \text{ €/d}$ bzw. **18.980 €/a an Kosten**. Letztendlich wurde das Ziel der Absenkung der Rückfrachten der Parameter CSB, TOC und P_{ges} mit etwa 50 % erreicht. Die Rückbelastung an NH_4 -N und TN sind als indifferent zu betrachten. Für weitere Ansätze zu diesem Thema kommt die PEGA_{KA} – Technologie in Frage.

8 KARL Art. 11: PEGA_{KA}-Technologie "Verdoppelung Klärgas (Energie) Halbierung Klärschlamm"

Durch einen insgesamt etwa 10 Monate dauernden Betrieb einer Versuchsanlage in Containerbauweise, fasste die Gutachterin C. Busch vom TÜV – Süd – Industrie Service die Ergebnisse zusammen. Die wurden dann auf der Groß-Kläranlage am Standort übertragen.

Scale-up Kläranlage 35.000 EW:

Mehr Gas im Faulurm durch höhere Umwandlung der Organik im Faulschlamm ➔ Erhöhung der Eigenstromquote (inkl. Prozesswasserbehandlung/ Rücklast zur Belebung)

Kenndaten des Blockheizkraftwerks:

(mit BHKW $\eta_{el.} = 38\%$ | CH_4 -Gas = 65 % | $1\text{ Nm}^3\text{ CH}_4 = 10\text{ kWh}$)

234.695 Nm^3/a klassische Gasproduktion (Betriebsergebnis):

579.697 kWh/a Eigenstrom

157.315 Nm^3/a Ergänzung Gas durch PEGA_{KA}-Stufe:

388.568 kWh/a Erhöhung Eigenstrom

Summe: **968.265 kWh/a** $\hat{=}$ **Energieneutralität**

Erfüllung KARL Art. 11 ➔ Energieeinsparungen

=> Minimierter Klärschlammfall zur Verwertung (thermisch/ stofflich)

(➔ maximiert die Abfallvermeidung gemäß Abfallhierarchie Artikel 4 der Richtlinie 2008/98/EG)

2.000 t/a OS – 740 t/a OS (PEGA_{KA}) = **1.260 t/a OS** (Reduktion: – 37 %)

Die hohen NH_4-N – Rückbelastungen der maschinellen Schlammwässerung vermindern sich in der PEGA-Biologie um ca. 90 %

➔ Unterstützt KARL Art. 7 "3. Behandlungsstufe" durch deutliche Minderung der Stickstoffrückbelastung in die biologische Stufe (auch andere Parameter)

8.1 KARL Art. 11: 3 Jahre Praxisversuch zum PEGA_{KA} – Verfahren

Auf einer 35.000 EW ausgebauten Anlage wurden in knapp 3 Jahren unter suboptimalen Bedingungen im Vergleich zu unseren **Patentsprüchen DE 10 2015 118 988 B4** das PEGA_{KA} – Verfahren in einem vorhandene 850 m^3 SBR - Reaktor durchgeführt.

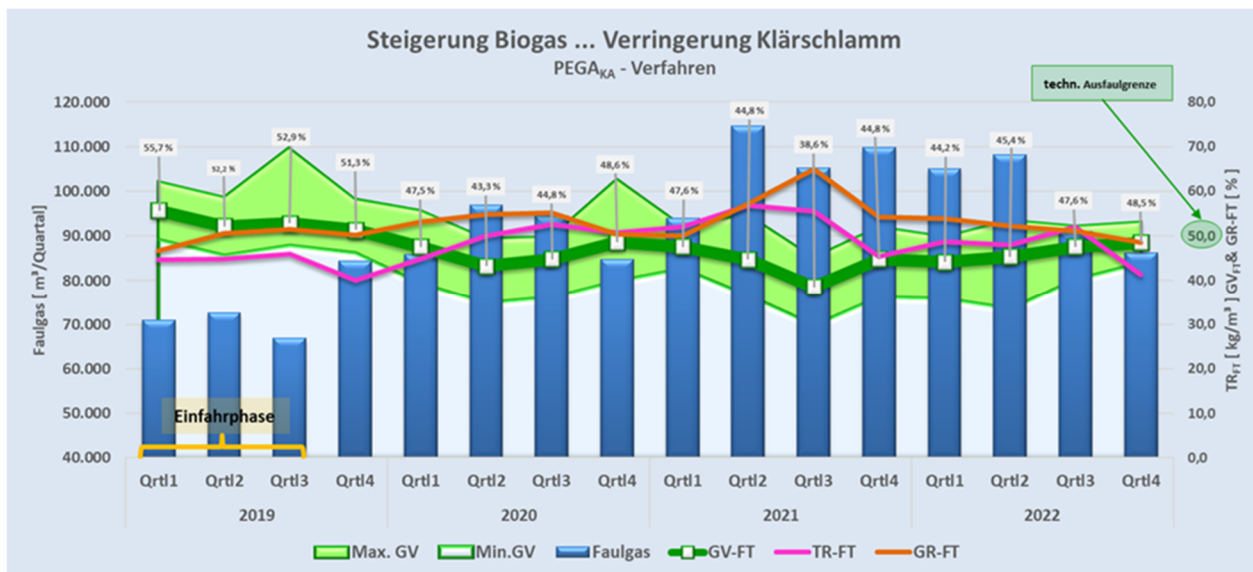


Abb. 3: Gasproduktion und Entwicklung der Kennzahlen des Faulturms (TR_{FT} , GV_{FT} , GR_{FT}) unter PEGA_{KA} – Konditionen. Ab 2020 unterschritt der Mittelwert des GV_{FT} die als technische Ausfallgrenze bezeichnete Größe von 50% {Jardin (2012) | Svardal (2014) | DWA M368 "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm" | Fernandez-Arevalo et al. (2017)}

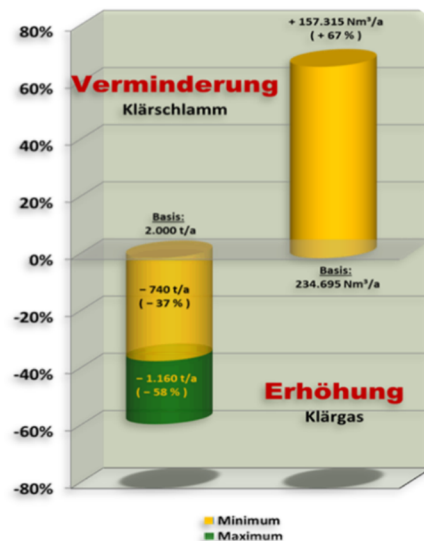


Abb. 2: Durch PEGA_{KA} – Verfahren erhöhte Gaserzeugung und daraus folgernd die Klärschlammverminderung

Das erste Jahr 2019 war geprägt durch den Umbau mit entsprechenden Einschränkungen der PEGA-Biologie – danach griff das PEGA_{KA} – Verfahren bis etwa Mitte 2022. In diesem Zeitraum unterschritt der Mittelwert beim oTS permanent die technischen Ausfallgrenze von 50 % (siehe Abb. 3 Seite 5).

In den letzten beiden Jahren 2021/22 erzielte die spezifische Gasausbeute einen Wert im Mittel von 440,5 bzw. 513,5 L/ kg oTS (im Bereich der Vorgaben DWA A216 mit Richtwert 500 L/ kg oTS bzw. 480 L/ kg oTS /Böhnke, Bischofsberger, Seyfried 1993/. Mit maximal 22,7 L/(E·d) übertrifft das PEGA_{KA} – Verfahren die spezifischen Angaben von 17,3 L/(E·d) (gleiche Autoren 1993) deutlich. Die Gasproduktion bei der Anwendung der PEGA_{KA} – Technologie ist im Zeitraum um 57 % gestiegen.

> MEYER hat bei eigenen Untersuchungen von 95 Kläranlagen einem mittleren spezifischen Gasanfall von 17,3 L/(E·d) ermittelt. Lediglich auf 20 Prozent der untersuchten Anlagen wurde ein Gasabfall von mehr als 20 L/(E·d) erreicht^[4] <

Mit zunehmender Gasausbeute konnte auch der Klärschlammfall um rd. 25 % abgesenkt werden (ca. 500 t/a).

PEGA _{KA}	Jahr	EW _{CSB}	Faulgas	TR _{FT}	GV _{FT}	GR _{FT}	Φ-Klär gas	spez. Gas (oTS)	spez. Gas (EW)	Klärschlamm (KS)	spez. KS
	2017	37.236	235.368 m ³ /a	k.A.	k.A.	k.A.	644,8 m ³ /d	k.A.	17,30 L/(E*d)	1.941 t/a	13,4 kg TR/(E*a)
	2018	49.170	270.096 m ³ /a	k.A.	k.A.	k.A.	740,0 m ³ /d	k.A.	15,00 L/(E*d)	1.999 t/a	12,0 kg TR/(E*a)
Start 05.02.19	2019	40.356	294.740 m ³ /a	44 kg/m ³	53,1 %	49,5 %	807,5 m ³ /d	392,7 L/kg oTS	19,80 L/(E*d)	1.778 t/a	11,9 kg TR/(E*a)
	2020	51.328	362.233 m ³ /a	50 kg/m ³	46,1 %	53,5 %	989,7 m ³ /d	342,0 L/kg oTS	19,30 L/(E*d)	1.628 t/a	9,5 kg TR/(E*a)
	2021	51.249	423.717 m ³ /a	52 kg/m ³	43,7 %	56,8 %	1.160,9 m ³ /d	440,5 L/kg oTS	22,70 L/(E*d)	1.503 t/a	8,3 kg TR/(E*a)
Abbruch Okt. 22	2022	57.069	390.662 m ³ /a	48 kg/m ³	46,4 %	51,5 %	1.070,3 m ³ /d	513,5 L/kg oTS	18,60 L/(E*d)	1.800 t/a	8,8 kg TR/(E*a)

Anstieg

Reduktion

Tab. 1: Wichtige Kennziffern des Faulturms der Kläranlage insbesondere die Gasproduktion und den Klärschlammfall. Spezifische Kennzahlen sind aufgeführt, soweit vorhanden

8.2 Optimal ausgeführte PEGA_{KA} – Anlage nach Patent DE 10 2015 118 988 B4

In der nachfolgenden Abbildung ist eine PEGA_{KA} – Anlage optimal in eine bestehende Kläranlage mit Faulturm dargestellt.

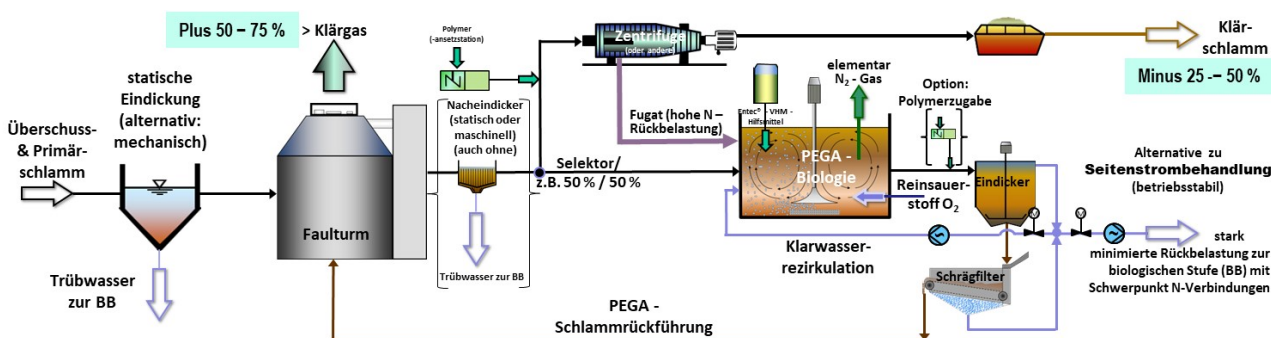


Abb. 4: Die PEGA_{BB} nimmt den ausgefaulten Klärschlamm abgetrennt durch einen Selektor auf (z.B. 50 % der Klärschlammmenge). Den verbleibende Rest entwässert man nach wie vor klassisch z.B. mit Zentrifuge. Das Trübwasser gelangt ebenfalls in die PEGA_{BB} und wird dort mitbehandelt (KARL Art. 7: Reduzierung der Rückbelastung an NH₄-N zur Reduzierung von GesN im Ablauf). Die Biologie erhält einen Begasung mit Reinsauerstoff bei möglichst erhöhten Temperaturen. Die Ausschwemmbiologie hat bezogen auf den Schlamm eine sehr kurze Verweildauer und gelangt in den statische Eindicker gefolgt von dem Schrägfilter. Der so eingedickte Schlamm gelangt mit einem TR – Gehalt von 9 – 12 % zurück in den Faulturm. Das abgetrennte Wasser aus den beiden Eindicker-Stufen wird mit einer hohen Quote des zwei- bis vierfachen zur PEGA_{BB} rezirkuliert. Der Rest des weitestgehend unbelasteten gereinigten Wassers (z.B. NH₄-N etwa 90 % reduziert) gelangt zurück in die Hauptbiologie. Dort kann die N – Belastung des Belebungsbeckens um etwa 20 % gemindert werden

Wir haben Konzepte entwickelt, um auch kleinere Kläranlagen im Bereich um 10.000 EW mit einer Faulung nachzurüsten und dann das PEGA_{KA} – Verfahren anzuwenden. Die Entlastung der Biologie, eigene Stromerzeugung und Einsparungen bei der Klärschlamm Entsorgung finanzieren die Investition – ganz im Sinne von KARL!

[4] Meyer, H.; Kaudelka, A.; Podewils, W.; Technisch/ wirtschaftliche Aspekte der Klärschlammgasverwertung auf Kläranlagen im Zusammenwirken von Abwasserreinigung und Energieautarkie. Mitteilungen der Oswald-Schulze-Stiftung, Heft 4 (1983) Seite 39-45

9 KARL Art. 7: Drittbehandlung Senkung der Stickstoffablaufkonzentrationen (C-N-P – Konzept)

Das **C-N-P – Konzept** schafft es durch eine globale Verfahrensweise in der Biologie, nicht nur den Klärschlamm zu reduzieren, sondern bei genügend flexibler Belüftungstechnik Strom einzusparen (KARL Abs. 11). Ein grundlegender Ansatz für das **C-N-P – Konzept** ist die Regelung der Atmungsaktivität der Biozönose einer Belebungsanlage. Als ersten Schritt setzt man einen speziellen Hilfsstoff aus der Entec® – Serie ein. Das Produkt ermöglicht es, dass der *Sauerstoffbedarf* der Biozönose langsam sinkt. Der Umbau der Biozönose bewirkt einen verstärkten Einbau von Kohlenstoff in die Biomasse. Der Einbau von Sauerstoff sinkt dagegen, so dass der Kohlenstoffgehalt im Klärschlamm steigt. Dadurch nimmt neben der Volumenreduktion auch die produzierte spezifische, kohlenstoffreiche Überschussmasse ab.

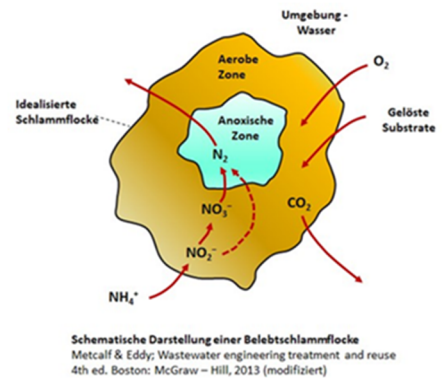


Abb. 5: Simultane Stickstoffelimination in Schlammflocke

9.1 Anlagen mit unzureichender Stickstoffelimination

Durch Einsatz des C-N-P – Verfahrens lässt sich für alle relevanten Stickstoffkomponenten (NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, N_{ges}, GesN) eine verbesserte Eliminierung erzielen – je nach Problematik z.B.

- ✦ Einhaltung der NH₄-N – Ablaufwerte, auch bei vorliegenden O₂-Mangel (O₂ – Mangel wird durch Verminderung des O₂-Bedarfs der Mikroorganismen behoben)
- ✦ Absenkung der NO₃-N-Werte, auch ohne Denitrifikationsmaßnahmen, auch ohne zusätzliche H-Donatoren (C-Quelle)
- ✦ Absenkung der N_{ges}-Ablaufwerte z.B. auch Einhaltung des abgesenkten N_{ges}-Ablaufwert von 13 mg/l für Anlagen der Größenklasse 5 (oder auch der Anforderungen von KARL Abs. 7 auf 8 mg/l für Anlagen > 150.000 EW oder Erhöhung Wirkungsgrad auf > 80 % bei der GesN – Elimination)

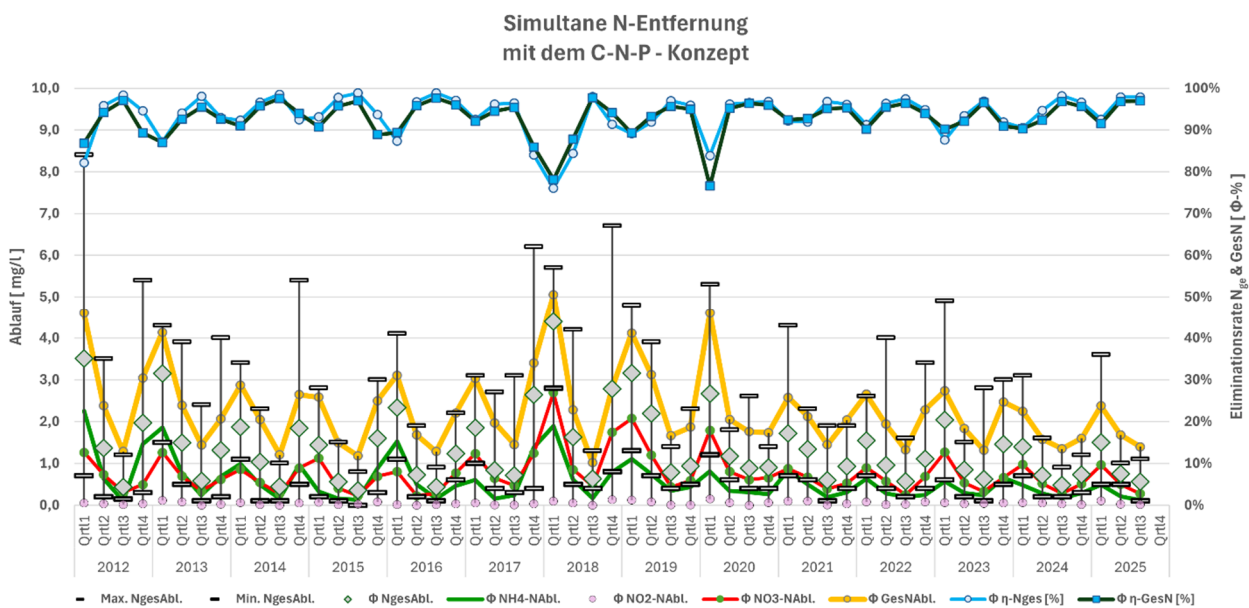


Abb. 6: Langzeiteinsatz des C-N-P – Konzeptes zur weitergehenden Stickstoffreduktion. Die Ergebnisse für GesN_{Abl.} (Relevanz für KARL) steigen selbst im Maximum der Messungen nicht über 7 mg/l

Bei den Ergebnissen der N – Ablaufkonzentrationen zeigen sich die jahreszeitlichen Schwankungen durch den Sommer- und Winterbetrieb. Der für N_{ges} erteilte Einleitgrenzwert von 18 mg/l für Kläranlagen der GK4 wird mehr als deutlich unterschritten. Auch der zukünftige anstehende Einleitgrenzwert von 10 mg/l nach KARL Art. 7 ist für die Anlage überhaupt kein Problem.

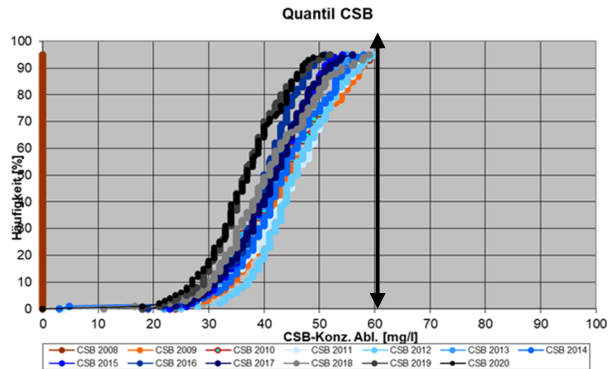
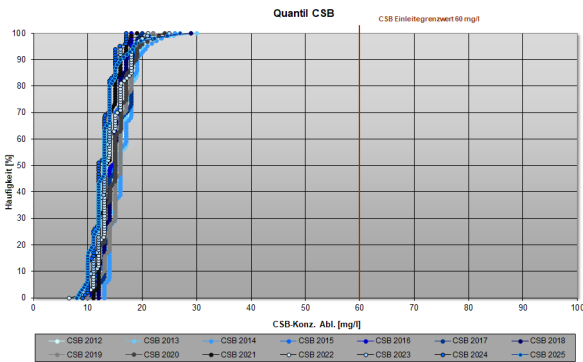
Die Kläranlage betreibt man mit stark reduziertem Sauerstoffbedarf: O₂ – Konzentration im Belebungsbecken:

Φ = 0,19 mg/l | max. 3,04 mg/l | min. 0,0 mg/l;

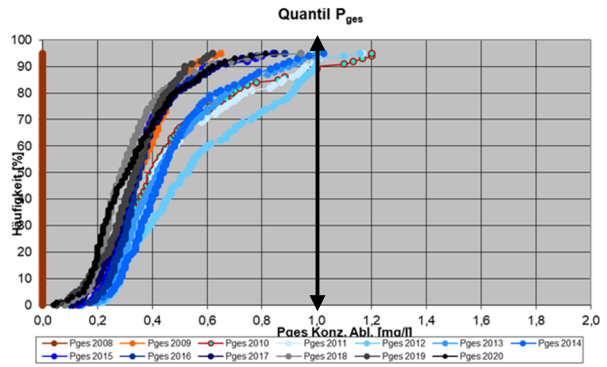
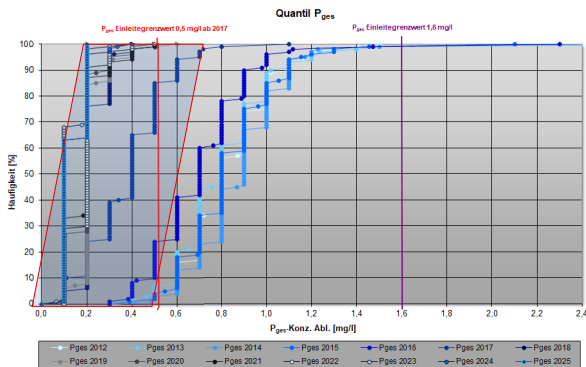
Redoxpotential: Φ + 20 mV | max.+ 124 mV | min. – 56,8 mV

10 Langzeitbetrieb von Kläranlagen unter C-N-P - Konzept

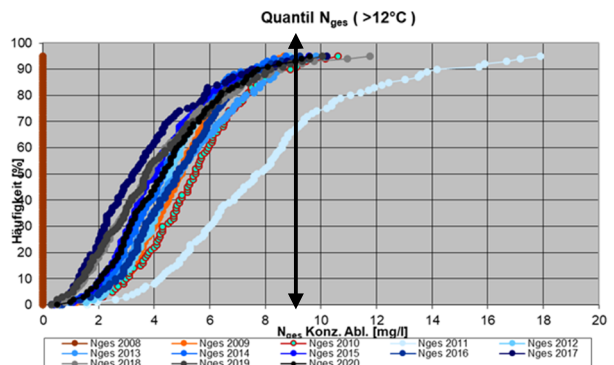
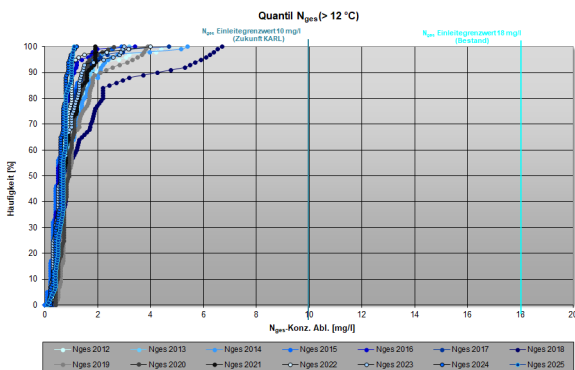
Die untenstehenden Grafiken zeigen Quantile für CSB, P_{ges} und $N_{ges} > 12^\circ C$ im Ablauf. Beide Kläranlagen gehören der GK 4 a) im unteren [links] und b) im oberen Bereich [rechts] an.



Im linken Diagramm ist zu erkennen, dass besonders in den letzten Jahren das Quantil für CSB selbst bei 100 % unter dem Schwellenwert von 20 mg/l liegt {Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - **AbwAG**) zuletzt geändert am 22.8.2018 (I 1327)}. Danach wäre für den Parameter CSB keine Abwasserabgabe zu entrichten. Allerdings muss auch die Jahresmenge an CSB-Fracht mit 250 kg/a unterboten werden. Das ist zu prüfen. Bei den rechts abgebildeten CSB – Quantilen der großen Anlage liegen alle Messwerte deutlich ≤ 60 mg/l.



Auf der kleineren Kläranlage wurden 2017 die Grenzwerte für P_{ges} von vormals 2,0 mg/l auf 0,5 mg/l abgesenkt. Zur Verrechnung der Abwasserabgabe hatte der Verband die Grenze auf 1,6 mg/l erniedrigt. Durch Einsatz der 2-Punkt-Fällung mit unserem Produkt Entec® ZADIAL (siehe 11.1 Seite 9) unterschritten die P_{ges} – Konzentrationen mit stetigen Verbesserungen Jahr für Jahr. Bei der größeren Anlage haben sich ebenfalls die P_{ges} – Ablauf – Konzentrationen stetig verbessert. Die nach KARL Abs. 7 einzuhaltenden P_{ges} – Konzentration von 0,7 mg/l für Kläranlagen von 10.000 bis 150.000 EW stellen für beide Anlagen kein Problem dar.



Die Anforderungen für N_{ges} nach KARL Abs. 7 kann von der kleinen Anlage mühelos eingehalten werden. Die letzten Messungen sind fast senkrecht. Die größere Anlage hat jetzt schon einen Grenzwert von 9 mg/l.

11 KARL Art. 7: Drittbehandlung Senkung der P – Ablaufkonzentrationen (modifiziertes C-N-P – Verfahren)

Die Kläranlage setzt seit ihrem Umbau im Jahr 2005 das C-N-P - Verfahren zur biologischen Optimierung ein. Das C-N-P - Verfahren ist ein ganzheitliches Verfahren, das zu erheblicher Erhöhung der Prozessstabilität und der Reinigungsleistung führt, wobei durch die Beeinflussung der Atmungsaktivität der Biocenose der Sauerstoffbedarf des biologischen Systems vermindert wird, so dass neben der hier diskutierten Senkung der Phosphor-Ablaufwerte insbesondere auch die Kohlenstoff- und Stickstoffeliminierung effektiver wird. Die Verfahrensumstellung und Beeinflussung der Atmungsaktivität erfordert die gezielte Zugabe eines Hilfsmittels der Entec®-118-Serie, welches neben anderen Wirksubstanzen Aluminium in Form von Superkationen (Universität Rostock – röntgenografische Untersuchungen – Juni 1995) enthält. Damit werden bisherige Fällmittel substituiert, und ein Großteil der P- Fracht bei geringerem Metalleinsatz, d.h. geringerem β -Faktor, eliminiert.

Wegen der vorhergesehenen Erniedrigung der zulässigen Phosphor-Ablaufwerte wurden von der Anlagenleitung bereits im Jahr 2010 Maßnahmen ergriffen, um den Phosphor-Ablaufwert niedriger zu deklarieren, und zwar zunächst von 2 mg/l auf 1,6 mg/l mit der Option auf weitere Absenkungen.

11.1 Einsatz von Entec® Zadial

Das Entec® ZADIAL Produkt soll bei eine Zweipunktfällung zum Einsatz kommen. Das Produkt kombiniert die Grundsubstanz der Entec® 118-Serie mit einem hocheffektiven biologisch abbaubaren Polymer, und stellt damit beide benötigte Funktionen bereit. Die Grundbestandteile aus aluminiumhaltigen Superkationen. Durch die große hydrophobe Oberfläche der Großmoleküle findet Adsorption und Bindung an die Flocke statt. Eine zusätzliche Verstärkung erfolgt durch ein eingearbeitetes Polymer – insgesamt werden die Flocken kompakter, so dass auftretende Feinflocken in den Schlamm inkorporiert und mit diesem abgezogen werden. Das Polymer ist auf Stärkebasis produziert, somit komplett biologisch abbaubar und ohne Einschränkung in die Landwirtschaft einzubringen. Durch den geringeren Metalleinsatz, die vermehrte Adsorption sowie die Bindung im biologischen System ist dieser Phosphor besser bioverfügbar, und damit in der Landwirtschaft effektiver nutzbar als reine Metallphosphate.

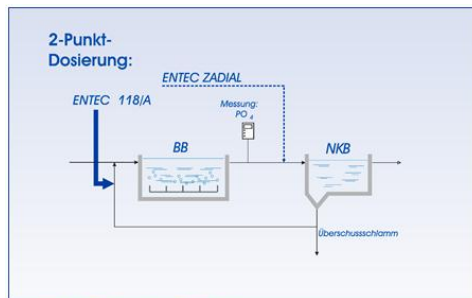


Abb. 7: Zweipunktfällung zur sicheren Einhaltung von niedrigen P - Ablaufkonzentrationen

11.2 Praxisergebnisse

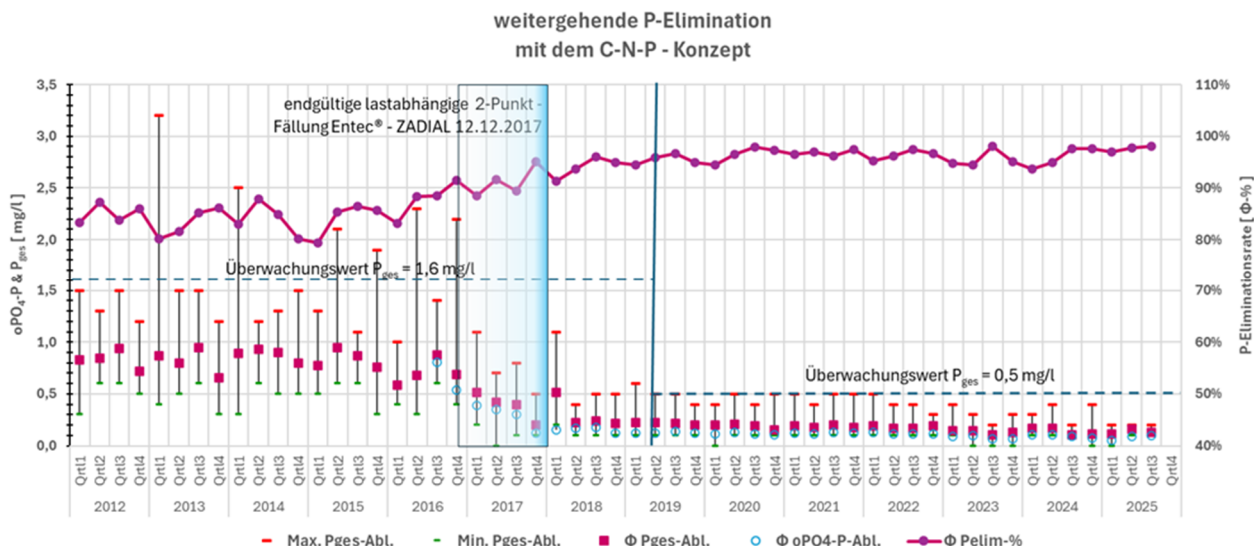


Abb. 8: Die selbst erklärten, reduzierten Grenzwerte und dann später die stark abgesenkten Überwachungswerte können betriebssicher unterschritten werden (gemäß KARL Abs. 7)

Ende 2016 deutete sich an, dass die Überwachungswerte der Anlage deutlich auf 0,5 mg/l abgesenkt wird. Das entsprach schon damals den Forderungen von KARL Abs. 7. Ende 2016 führte man eine Zweipunktfällung zunächst mit dem Produkt Entec® ZADIAL als fixe Dosierung ein. Aufgrund von Konzentrations- und Hydraulikstößen wurde auf lastabhängige Dosierung nach einer $o\text{-PO}_4\text{-P}$ – Onlinemessung umgestellt (ab Dez. 2017).

12 KARL Art. 21 d)/ Art. 22 Treibhausgasbilanz

Die vorliegend verabschiedete EU-KARL gültig vom 01.01.2025 strebt neben den nationalen Klimaschutzgesetzen, dem Pariser Klimaabkommens (2015) und den Europäischen Green Deal (2020) eine Reduzierung der Treibhausgase (THG) an KARL Art. 21d | Art. 22).

Die direkten THG – Emissionen stellt man auf den Kläranlagen selbst fest, das sind dann: Emission von Lachgas (N₂O), Emission von Methan (CH₄) und Verbrennung von fossilen Energieträgern z.B. zur Gebäudeheizung usw. (Scope 1).

Indirekte Emissionen sind aufgezählt: Bezug von Elektrizität/ Wärme/ Kälte durch EVU (Scope 2); Der Einsatz von Betriebsmitteln wie Fällmittel, Polymere zur Schlammwässerung, Kalk und andere Chemikalien. Dazu kommen alle Leistungen zum Bau von Investitionsgütern wie Material und die eingesetzte Energie. Transporte von und zur Kläranlage inkl. An- und Abfahrt Betriebspersonal/ Dienstleistungen, Entsorgung von Abfallstoffen und Klärschlamm. Außerdem noch N₂O und CH₄-Emissionen in empfangene Gewässer. (Scope 3).

Geschätzte Emissionen aus dem Abwassersektor betragen: **50 bis 125 kg CO₂-eq/(E·a)**^[5]

12.1 Abschätzung der Treibhausgasemissionen einer Kläranlage

Das Programm Klick-Tool: Klimabilanz für Kläranlagen „mit einem Klick“ der Umwelttechnik BW GmbH Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg erlaubt einen kostenlosen Einstieg zur Abschätzung einer THG – Bilanz ([Klick-Tool | Umwelttechnik BW](#)). Die nachfolgende Grafik zeigt die Auswertung der Ergebnisse aus diesem Programm in einer übersichtlichen Grafik.

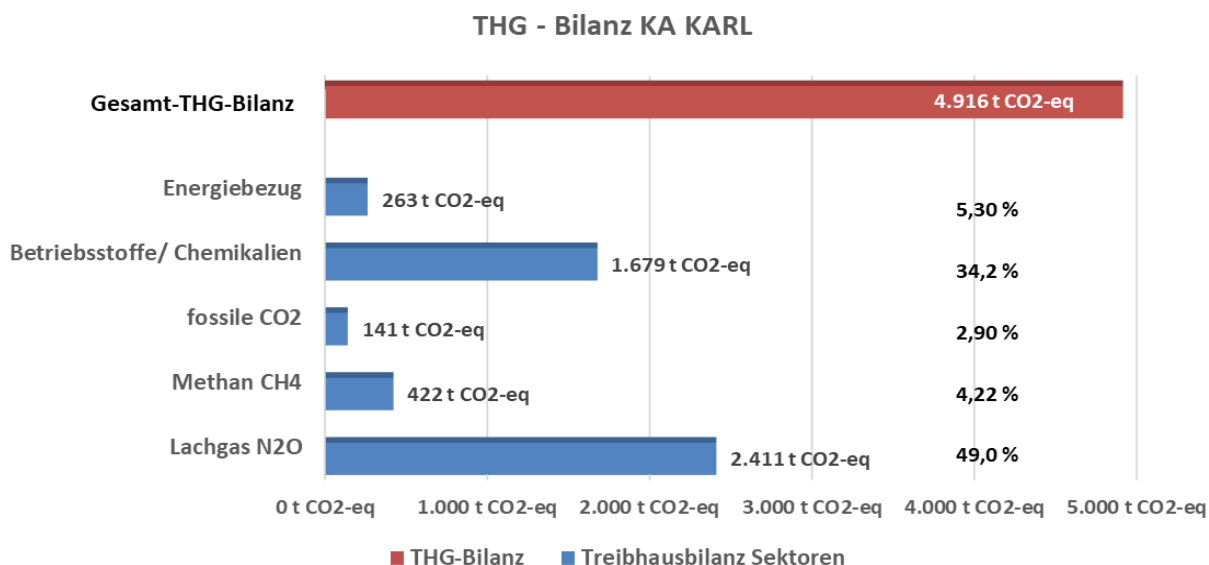


Abb. 9: Abschätzung einer Kläranlage mit einer Belastung von 85.000 EW_{CSB}. Nachteilig an dem Programm ist, dass es z.B. nur 3 Fällmittel zur Auswahl stellt. Man kann aber eigene recherchierte oder erfragte Klimafaktoren von Hilfsmittel, Chemikalien, Verfahrensstufen etc. in das Programm integrieren

Diese aufgestellten Bilanz stellt nur eine Abschätzung dar. Das Problem ist, dass z.B. die Hersteller von Chemikalien, Gasen, sonstigen Hilfsmitteln die Emissionsfaktoren (EF) nicht bestimmt haben. So berichtete ein Hersteller von Reinsauerstoff, dass der EF davon abhängt, welches Verfahren eingesetzt wird. Auch Standortfaktoren spielen eine Rolle: Im Werk Österreich steht 100 % grüner Strom aus Wasserkraft zur Verfügung, am Standort Deutschland müssen sie den EF des deutschen Strommix ansetzen. Auch der Transport zur Kläranlage spielt eine entscheidende Rolle.

Und was ist z.B. mit Emissionsfaktoren für die vierte Reinigungsstufe? Da stehen die Produktion und Verbrauch von granulierter oder pulverförmiger Aktivkohle, deren Entsorgung, Produktion von Ozon etc. zur Disposition. Aber fragen sie uns, wir helfen gerne! www.pro-enteceast.de

^[5] Parravicini, V.; Tauber, J., Svardal, K.; Krampe, J.; Treibhausgasemissionen - im Rahmen die ganzheitliche Bewertung der Kläranlage im Rahmen der SWA-Veranstaltung: „Vom Trinkwasser zum Klärschlamm - Vom Notfall zur Energiewende“ 18.-19.10.2023

13 KARL Art. 8 Die vierte Reinigungsstufe – Membrantechnologie

Die Membranbioreaktortechnologie ist eine zukunftssichere Lösung für die Behandlung von kommunalen und industriellen Abwässern. Es ermöglicht Ihnen, die Ressourcenrückgewinnung zu maximieren, Kosten zu minimieren und eine Kreislaufwirtschaftsperspektive in Ihren Betrieb zu implementieren. Die Membranmodule von Alfa Laval für Bioreaktoren vereinen die Vorteile von Hohlfaser- und Flachfolientechnologien. Durch die Kombination unserer einzigartigen LowResist™-, S-Aerator™- und QuickSwap-Technologien bieten unsere Systeme eine Reihe von Vorteilen für MBR-Prozesse™.

Die neue Version der Membranfiltrationsmodule von Alfa Laval zeichnet sich durch eine Reihe von Verbesserungen aus, die die Kapazität erhöhen, den Energieverbrauch senken und die Wartungskosten noch weiter senken. Basierend auf der bewährten Technologie, die wir seit 15 Jahren in Hunderten von Installationen einsetzen, garantiert die neue MBR-Membran von Alfa Laval einen zuverlässigen Betrieb bei möglichst niedrigen Gesamtbetriebskosten. <https://www.youtube.com/watch?v=0AeXflqJUHA> [Alfa Laval Video]

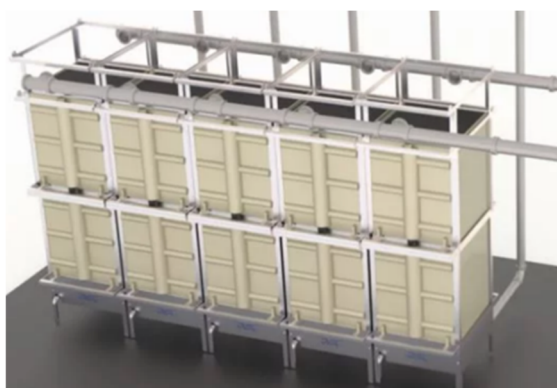


Abb. 10: Mehr-Modulbauweise in linearer Anordnung. Die Modullinien können nebeneinander eingebaut werden. Es genügt ein Wasserüberstand von $\geq 0,3$ m, um die Anlage ohne Pumpen zu betreiben: Einsparung von Energie!

Hervorragende Wasserqualität

Einer der größten Vorteile des Membranbioreaktors ist die hervorragende Qualität des behandelten Abwassers, die unabhängig von den Sedimenteigenschaften des Belebtschlammes ist.

Die Wirkung der Vordesinfektion von gereinigtem Abwasser - Die Membran ist eine absolute, physikalische Barriere, die alle **Bakterien** und eine Reihe anderer **Krankheitserreger** sowie jegliches **Mikroplastik** entfernt und sich daher für eine Reihe von vorteilhaften Wiederverwendungsanwendungen (water reuse) (KARL Art. 8 und 15) eignet, z. B. für die Bewässerung. In unseren Kläranlagen wird das Filtrat in das System zurückgeführt und als Prozesswasser genutzt, was sich in direkten Einsparungen für den Betreiber der Anlage niederschlägt.

Ein MBR-System ist auch eine hervorragende Lösung für die Entfernung von besorgniserregenden Verbindungen, Mikroverunreinigungen und Pharmazeutika aus kommunalen und

Krankenhausabwässern. Die MBR-Membranen von Alfa Laval sind nach California Title 22 akkreditiert und haben sich in jüngsten Studien einer Kläranlage in Dänemark als absolut wirksam bei der Entfernung von Mikroplastik-Schadstoffen erwiesen. So können Sie sicher sein, dass Sie Ihre zukünftigen betrieblichen Anforderungen und die Ihres lokalen Umfelds erfüllen. [Quelle: Schwander Polen]

13.1 Eigene Projekte

Biologie-Membran-Wasserpuffer - Einfachste Integration der Membran in die bestehende Anlage (als Nachrüstung).

Der Zulauf wird, wie bisher in die Biologie geleitet. Das Membranmodul wird ca. 30 cm unter dem Wasserspiegel hängend montiert und gegen Auftrieb gesichert. Damit sind die Voraussetzungen für einen drucklosen Ablauf geschaffen (ohne Pumpe) Die Membrane wird mit Luft umspült und so vor Schmutz geschützt.

Die Biologie kann mit einem höheren Feststoffgehalt betrieben werden, da kein Schlammabtrieb zu befürchten ist. Dies führt zu einer höheren und vollständigeren Abbauleistung.

Das Klarwasser läuft nur mit dem geringen Vordruck von 30 cm Wasserüberstand durch die Membran in den Wasserpuffer. Das Klarwasser läuft über das Membranmodul in den Wasserpuffer (frühere Nachklärung).

Der Wasserpuffer dient zur Vorlage für die gelegentliche Rückspülung der Membranen. Das überschüssige Wasser läuft wie bisher über den Ablauf ab.

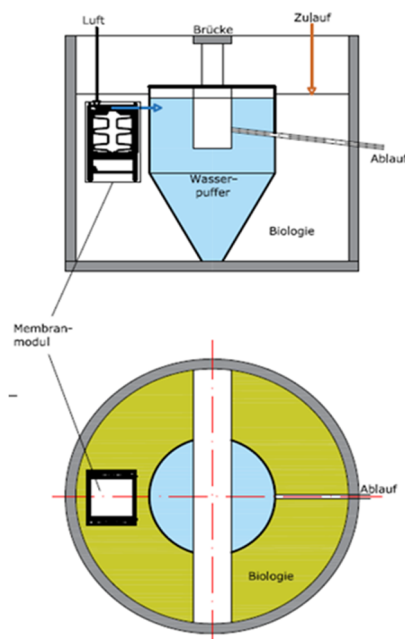


Abb. 11: Integration eines MBR-Moduls in eine bestehende Kläranlage zur Nachrüstung/ Ertüchtigung

Eine geringe Zugabe von Pro-Entec®- Additiven zur gezielten weitergehenden Phosphorelimination (C-N-P – Konzept) gewährleistet die sichere o-PO₄-P -Elimination. Im Klarablauf sind keine Schwimm- und Schwebstoffe vorhanden. Daher beeinflusst kein partikulär gebundener P_{ges} (nicht fällbar) den Überwachungswert der Kläranlage. Niedrigste Ablaufkonzentrationen von ≤ 0,1 mg/l P_{ges} sind daher zu erreichen (KARL Art. 7).

14 KARL Art. 15 Wasserwiederverwendung und Einleitungen von kommunalem Abwasser

Wo angebracht stärken die Mitgliedstaaten systematisch die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser aus allen kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen, vor allem in Gebieten mit Wasserstress und für alle geeigneten Zwecke. Wird behandeltes Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung wiederverwendet, so muss es die Anforderungen der Verordnung (EU) 2020/741 erfüllen.

National ist in der Zwischenzeit das Merkblatt DWA-M1200, Teil 1 – 3, im Gelbdruck erschienen (Juni 2025). Im Zuge der nationalen Umsetzung der EU-WasserWVVO wird mit der Merkblattreihe DWA-M1200 „Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland“ eine Handlungshilfe für die mit der Wasserwiederverwendung aufkommenden Planungs- und Betreiberaufgaben sowie die behördlichen Genehmigungsverfahren bereitgestellt.

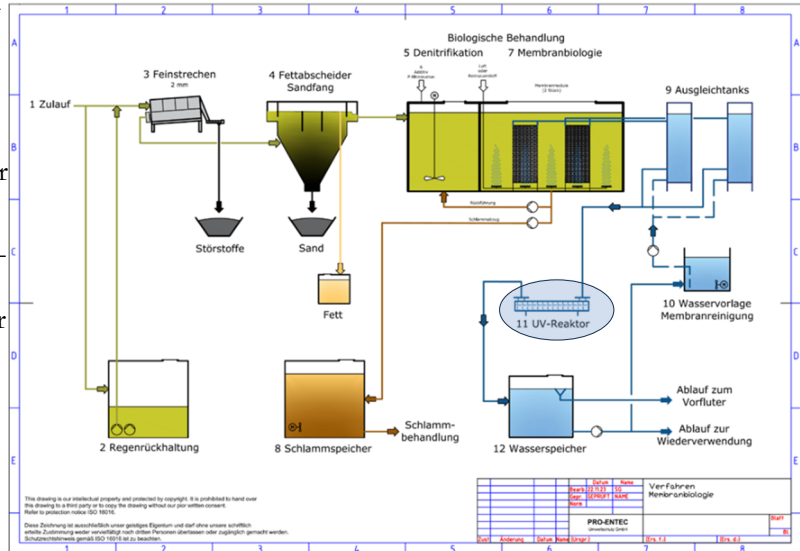


Abb. 12: Systembeschreibung einer Kläranlage mit Membran-Modulen, weitergehende Nährstoffentfernung an organischen N – und P – Verbindungen und anschließender Wasserbehandlung zur Wiederverwendung

In der obigen Abb. 12 ist mit der Kennnummer (11) UV – Reaktor angedeutet, dass man das hochgereinigte (Ab-)wasser nochmal einer Entkeimung unterzieht, um es zur Wasserwiederverwendung zu benutzen.

Neben der UV – Behandlung kann noch die Ozonung (Aufbereitung von Reinsauerstoff zu Ozon) als noch härteres Oxidationsmittel für verbliebene Verbindungen zu zerstören. Wasserstoffperoxid fällt als chemische Variante in diese Kategorie. Meist wird dann noch Aktivkohle als Pulverkohle oder Granulat verwendet. Auch die Nachschaltung von Sandfilter sind möglich und werden diskutiert.

Um ultrapures Wasser zu erhalten, können auch die Ultrafiltration mit anschließender Umkehrosiose eingesetzt werden. Das ist zum Beispiel eine Vorbehandlung, um in einer Elektrolyse Wasser- und Sauerstoff zu erzeugen.

Eine innovative Anwendung stellt die Plasmatechnologie dar. Bei der Abwasserreinigung mit Plasma wird das Abwasser mit einem energiereichen Gas, dem Plasma, in Kontakt gebracht. Im Plasma entstehen durch elektrische Entladungen energiereiche Teilchen, wie Ionen, Elektronen, freie Radikale und kurzweilige Strahlung. Diese Teilchen reagieren mit den Schadstoffen im Wasser und bauen sie ab, entweder durch Oxidation oder durch andere chemische Reaktionen.

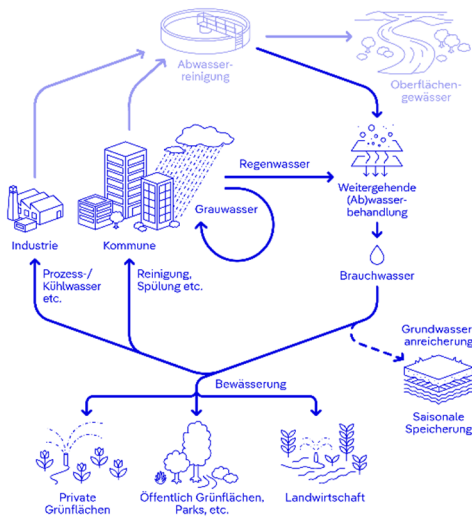


Abb. 13: Übersicht der Wasserwiederverwendung (water reuse), bei der die MBR – Technologie eine zentrale Rolle spielen kann /Quelle: Schumann, P. Projekt waterman - Förderung der Wasserwiederverwendung im Ostseeraum durch Kapazitätsaufbau auf lokaler Ebene KWB – Berlin (2024) bzw. <https://www.kompetenz-wasser.de/de/forschung/projekte/waterman/>