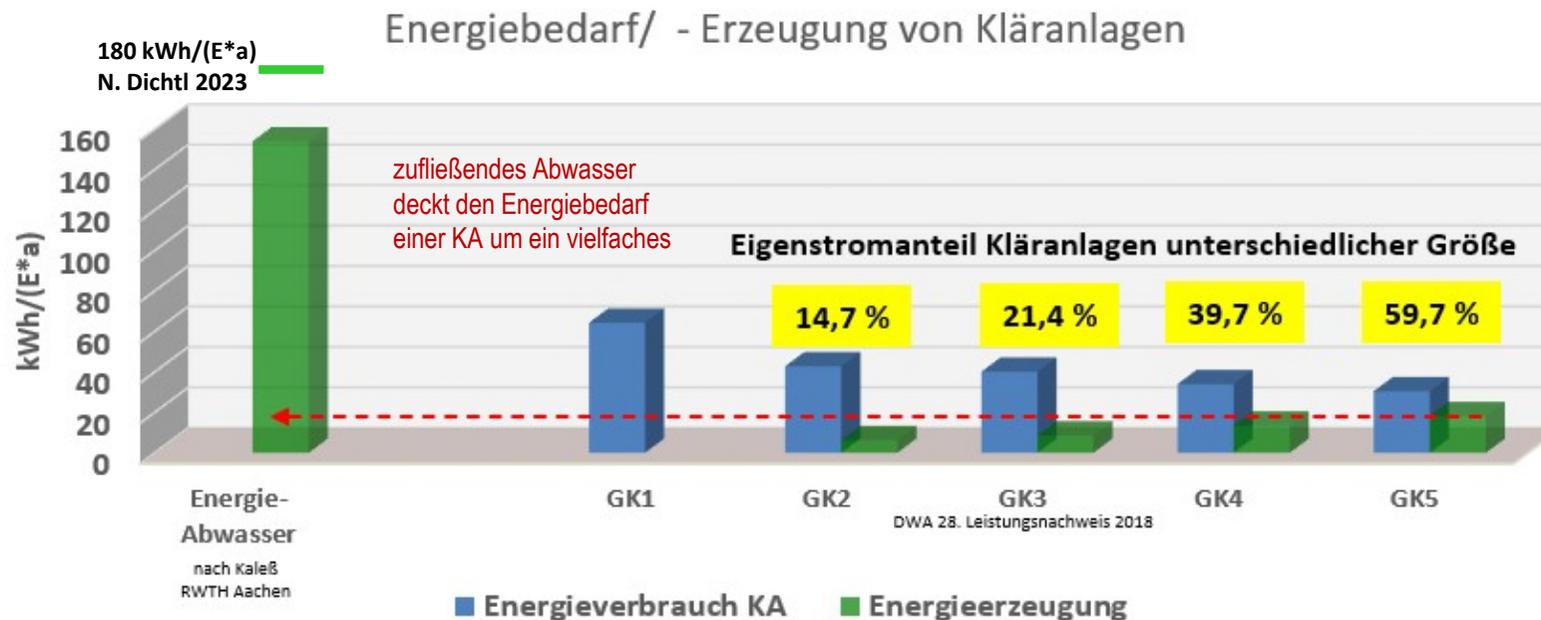
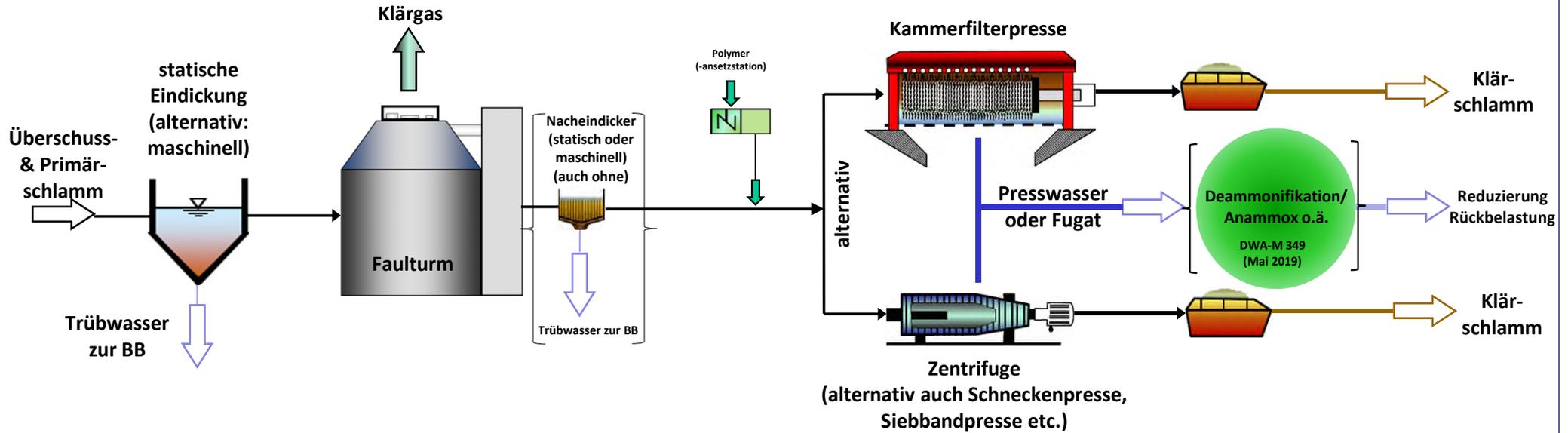


DWA Landesverband Hessen/ Rheinland-Pfalz/ Saarland

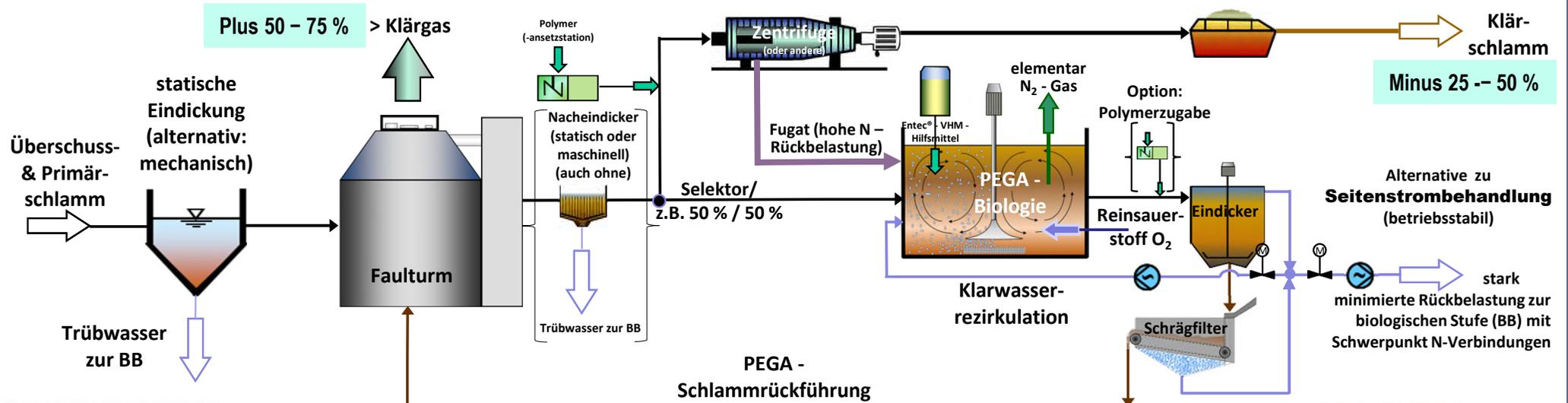
Energieautarke Kläranlage durch das PEGA_{KA}-Verfahren mit Klärschlammreduktion – Kohlenstoff-Management“



Klassische anaerobe Schlammbehandlung

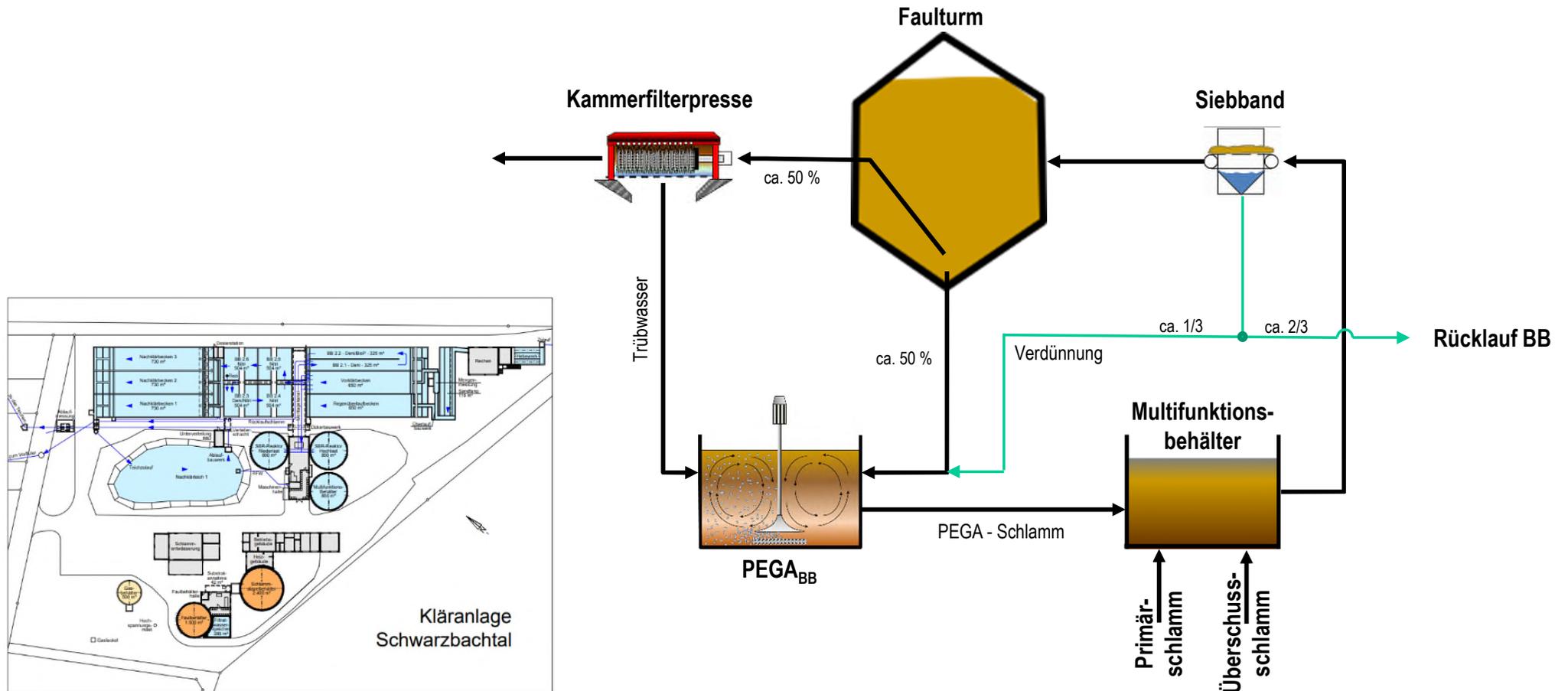


Anaerobe Schlammbehandlung mit PEGA_{KA}-Verfahren



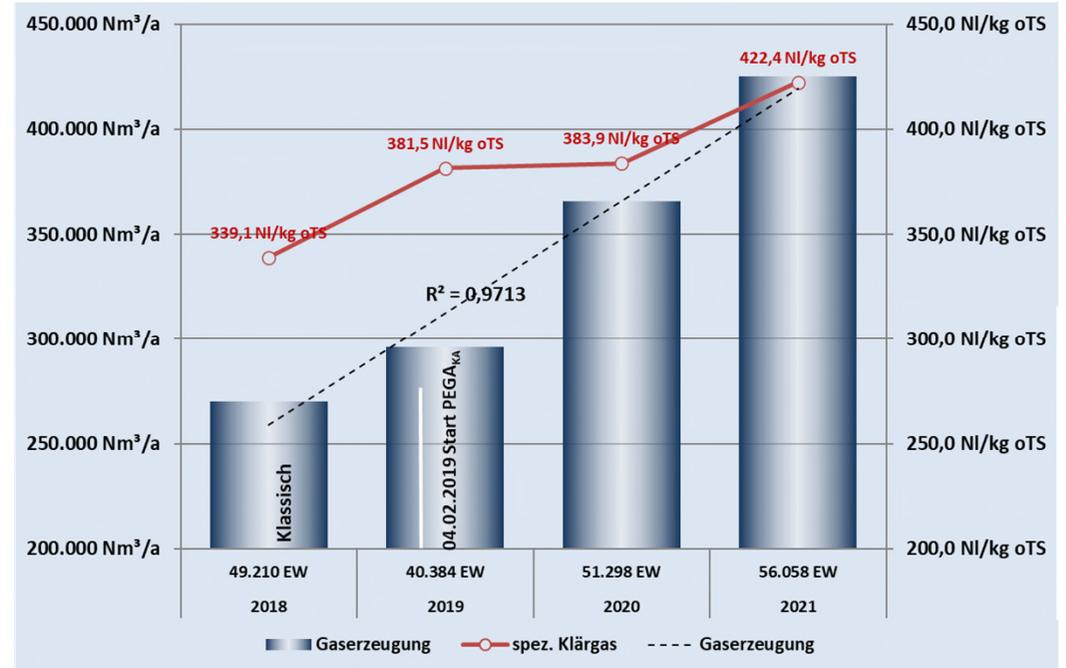
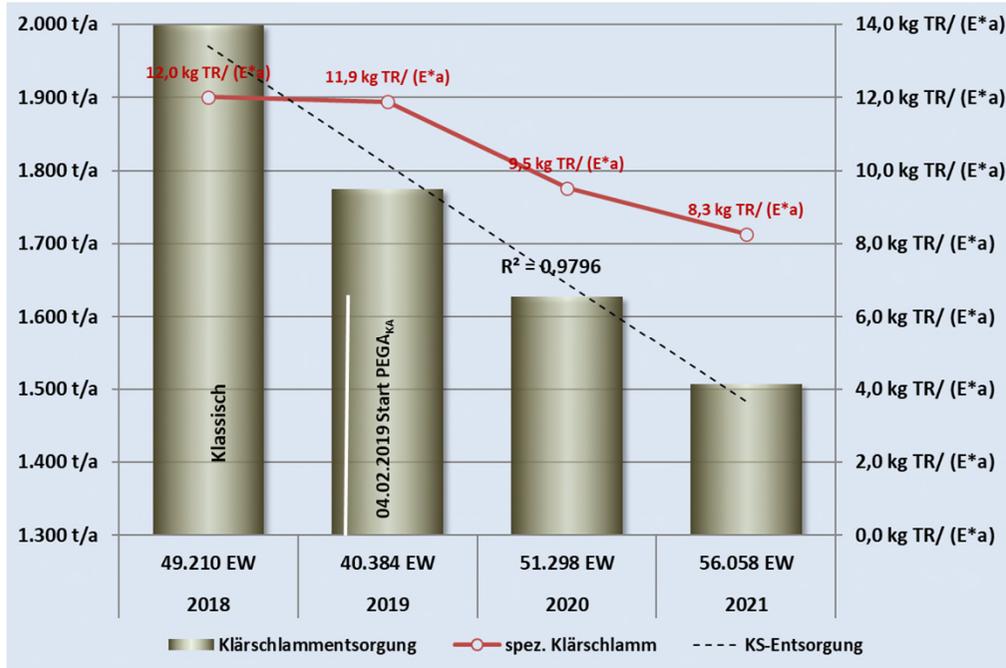
Aufgabenstellung: Einführung PEGA_{KA} – Verfahren

Bedingung: Nutzung vorhandener Strukturen, keine Kosten



PEGA_{KA} – Verfahren in der Praxis 2021

Nutzung einer vorhandenen SBR-Anlage als PEGA_{BB}



Klärschlamm – Reduktion – 24,6 %

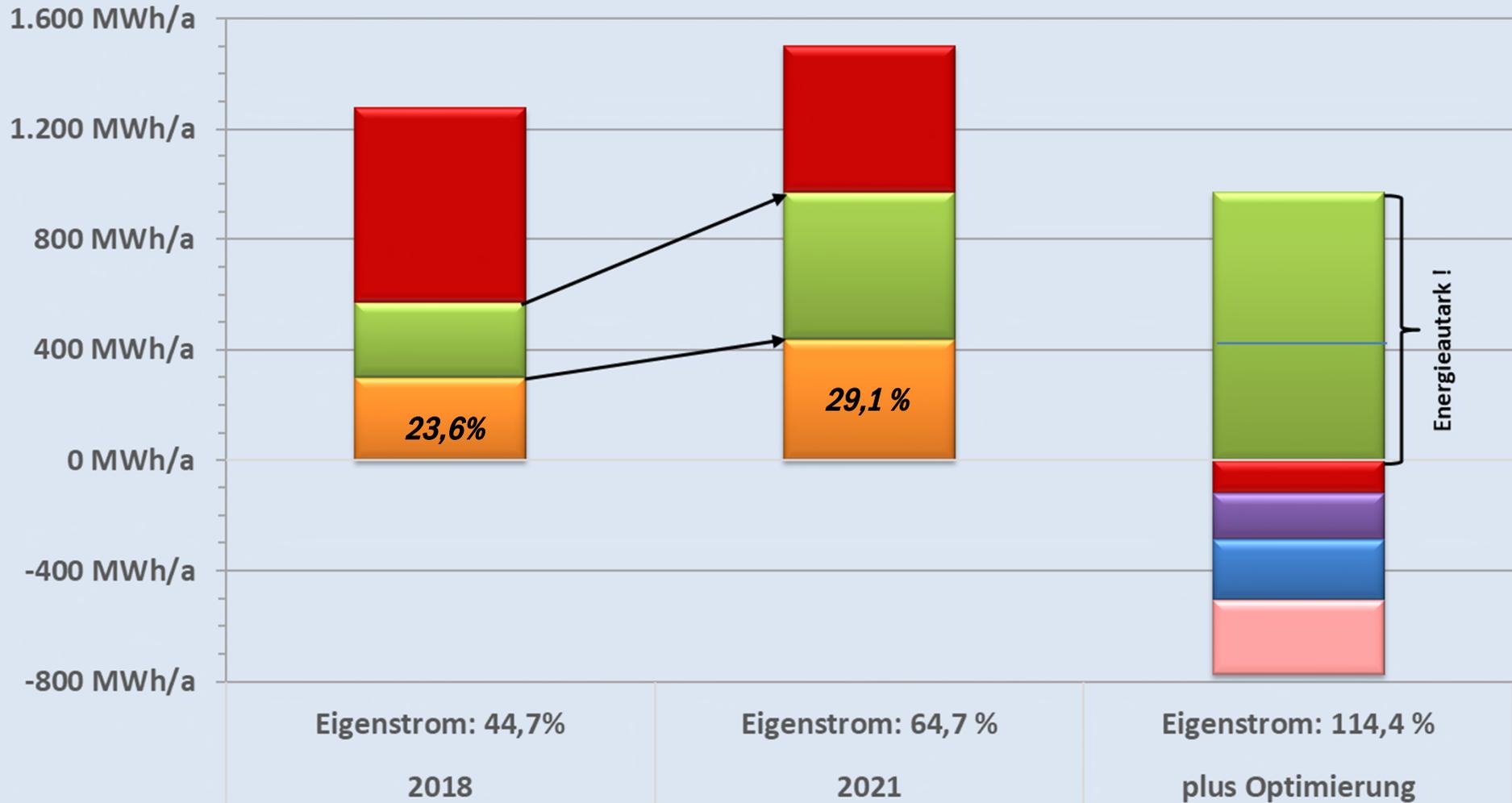
- Gegenüber 2018 erniedrigt sich der Klärschlammanfall um – 491 t/a
- Spezifischer Klärschlammanfall:
2018: 12,0 kg TR/(E·a) → 2021: 8,3 kg TR/(E·a)

Klärgas – Steigerung + 56,6 %

- Gegenüber 2018 erhöht sich der Klärgasanfall um 154.948 Nm³/a
- Spezifischer Gasanfall:
2018: 339,1 NI/kg oTS → 2021: 422,4 NI/kg oTS

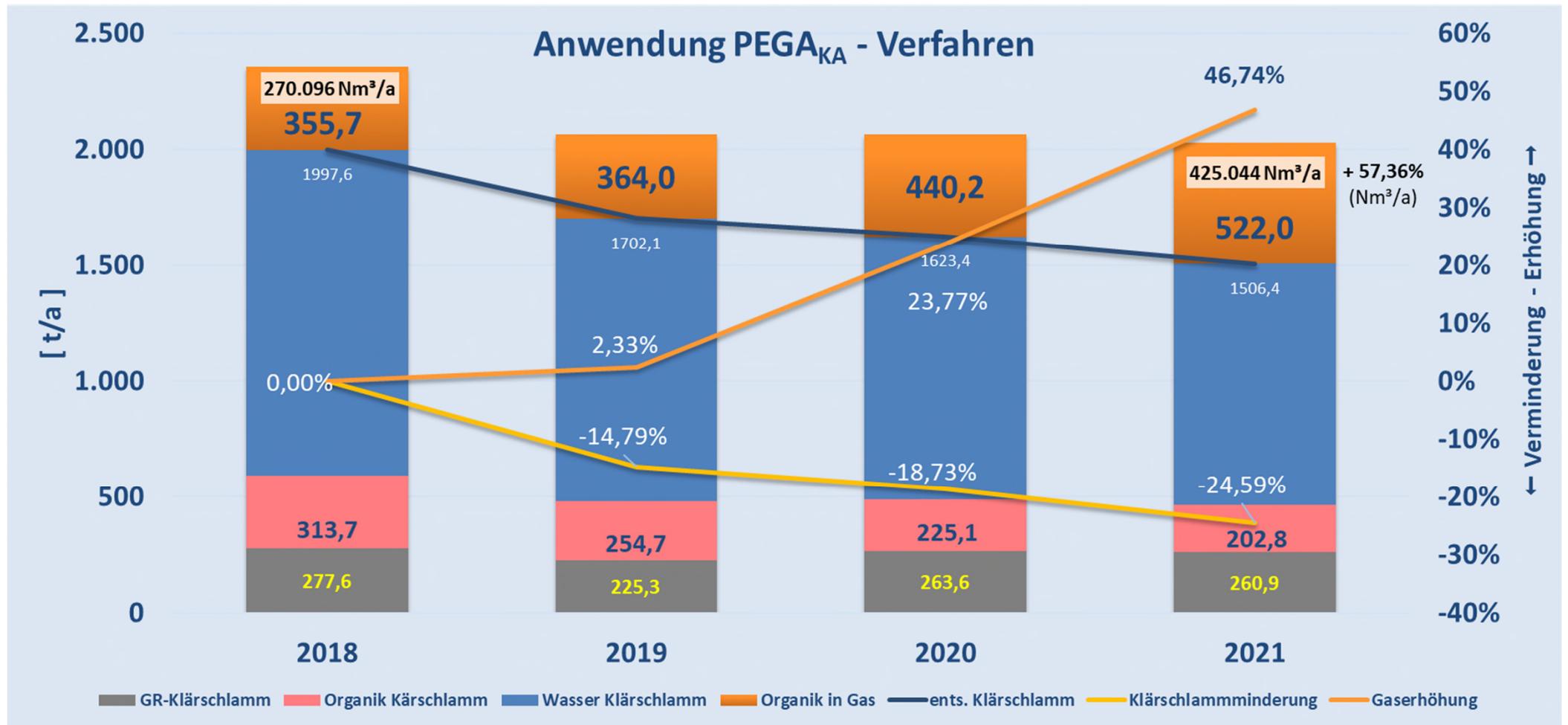
Stromverbrauch und -produktion - Wege zur Energieautarkie

■ BHKW (alt)
 ■ BHKW (neu) (on top)
 ■ Netzbezug/-einspeisung
 ■ PEGAKA-O2
 ■ C-N-P-Konzept
 ■ Abschaltung SBR-HL



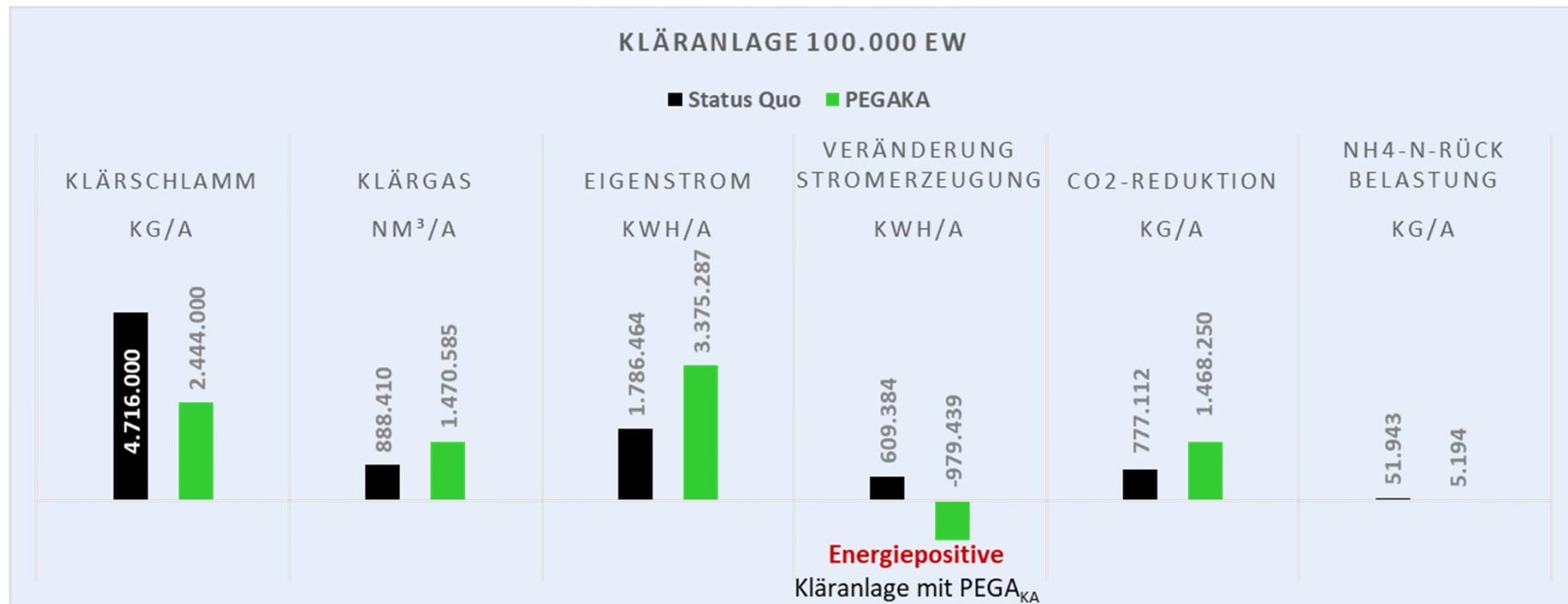
Massenbilanz PEGA_{KA} – Verfahren

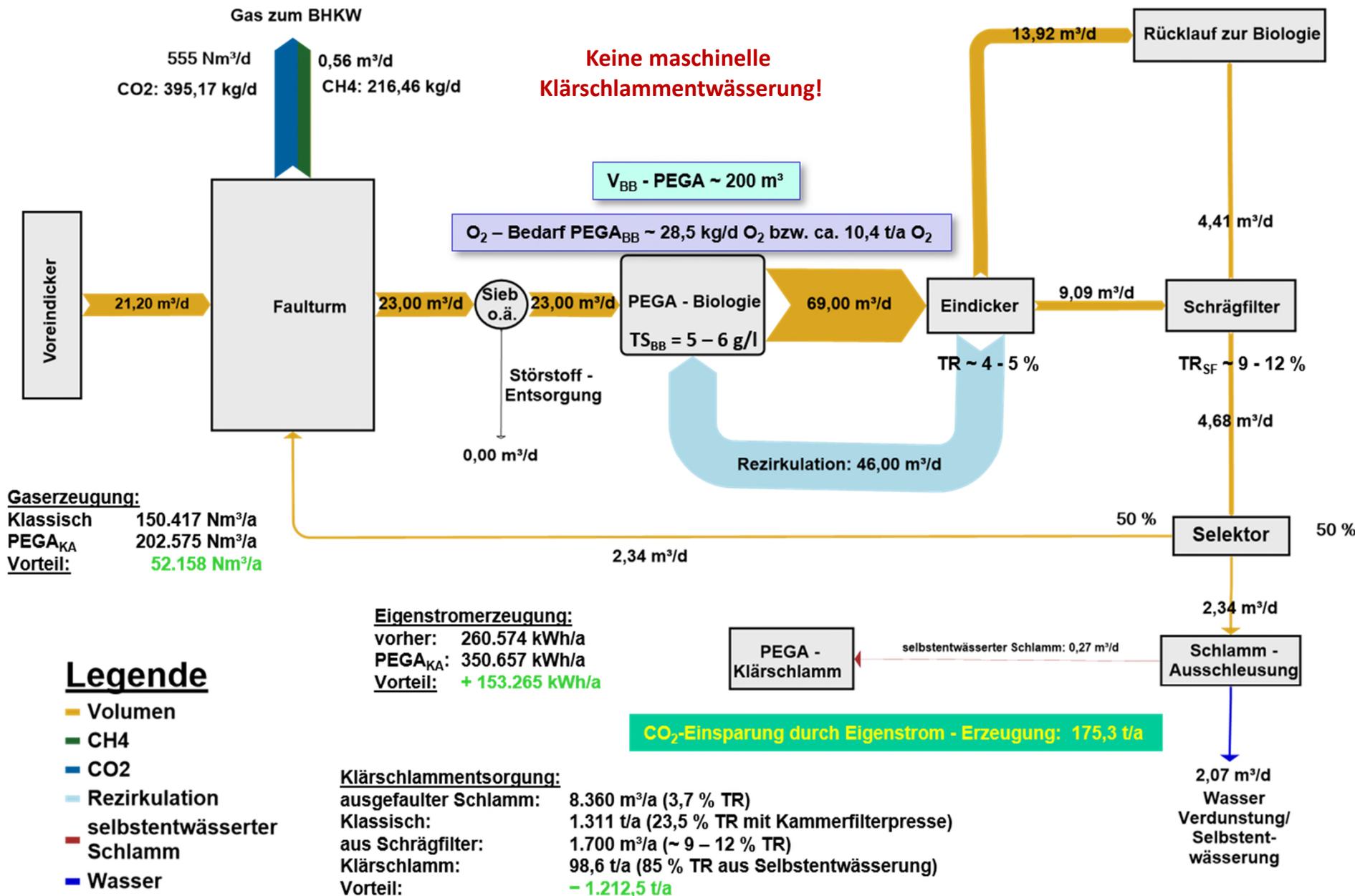
Klärschlamm/ Klärgas



Massen- / Energiebilanz einer 100.000 EW - Anlage

- **Stromkosten: 0,19 €/kWh**
- **Kosten für Klärschlamm: 100,00 €/t**
- **Einsparungen durch PEGA_{KA} - Verfahren:**
- **– 343.980 €/a**



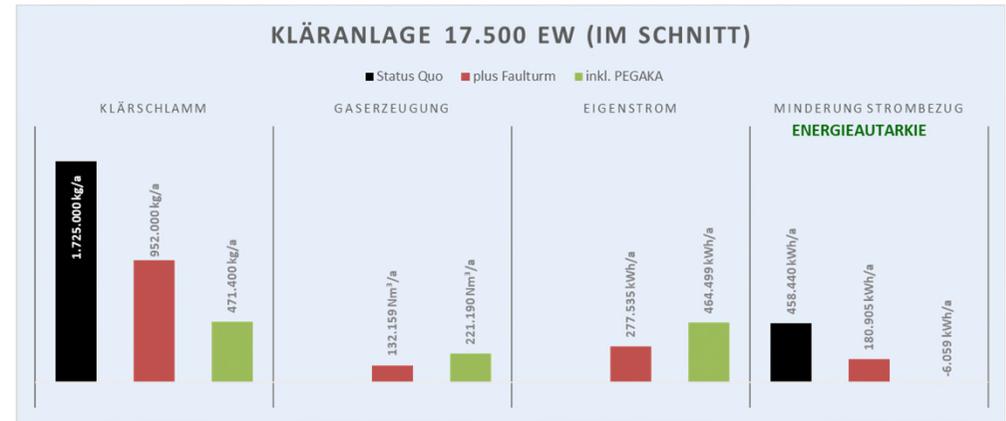
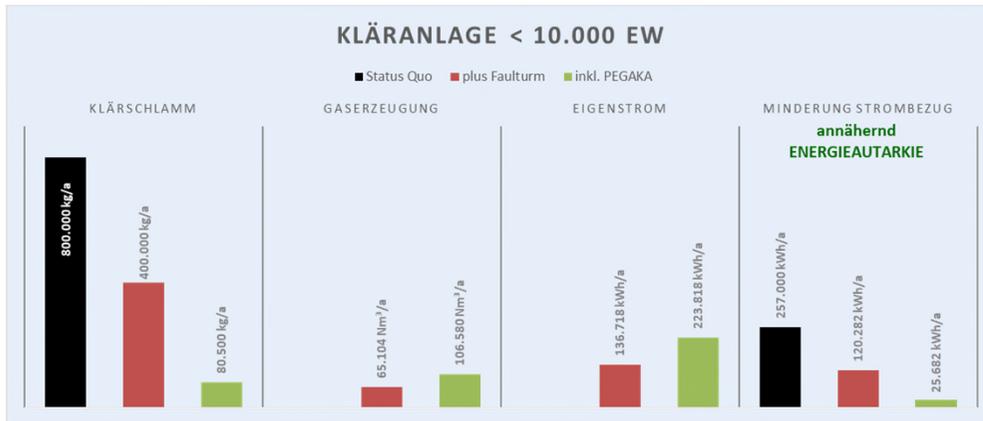


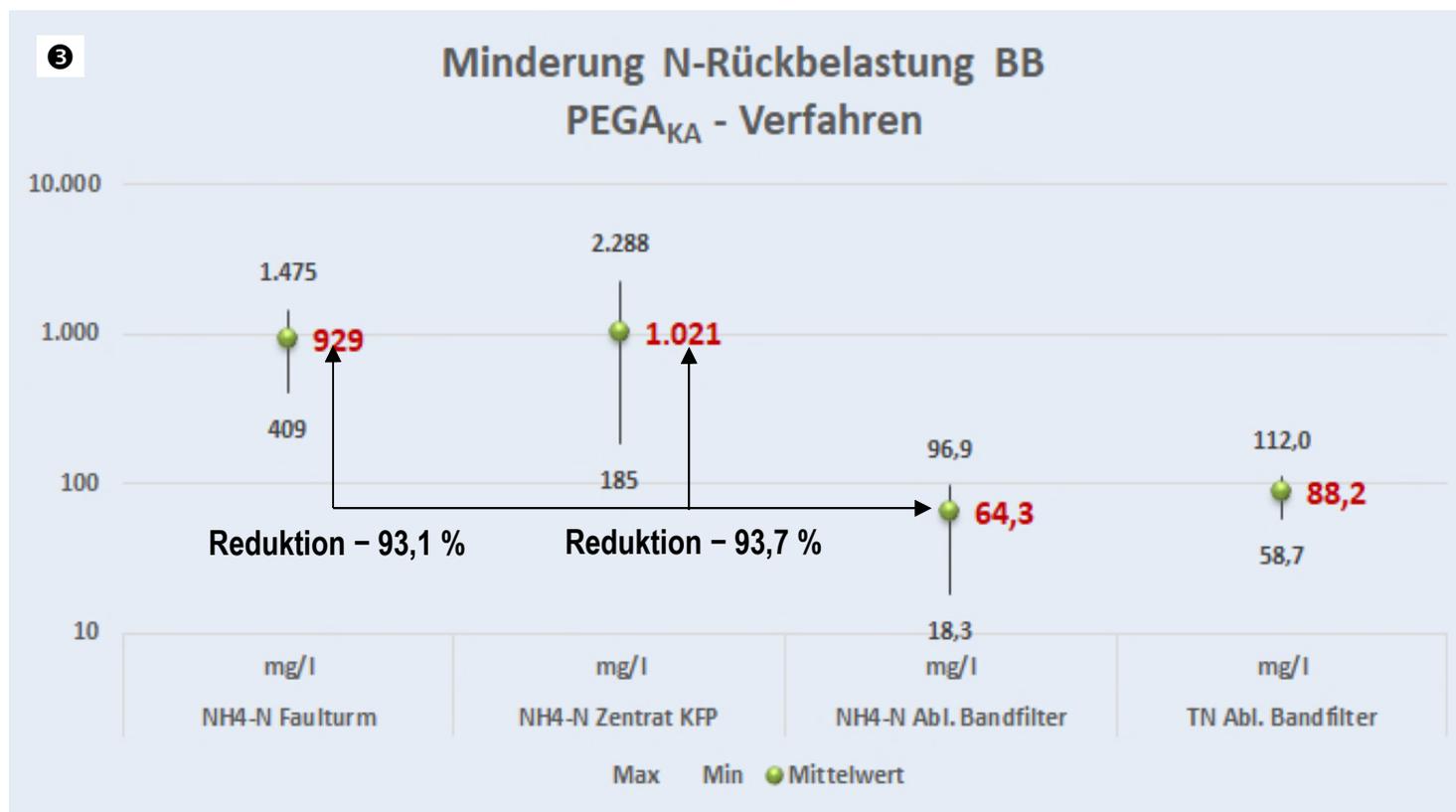
Nachrüstung kleine KA mit Faulung/ PEGA_{KA}-Verfahren

(durch Optimierungen lässt sich in der Praxis Energieautarkie erreichen)

- **Stromkosten: 0,28 €/kWh**
- **Kosten für Klärschlamm: 106,50 €/t**
- **Einsparungen durch anaerobe Umstellung:**
- **Einsparungen: – 178.960.- €/a**

- **Stromkosten: 0,43 €/kWh**
- **Kosten für Klärschlamm: 124,21 €/t**
- **Einsparungen durch anaerobe Umstellung:**
- **Einsparungen: – 354.980.- €/a**

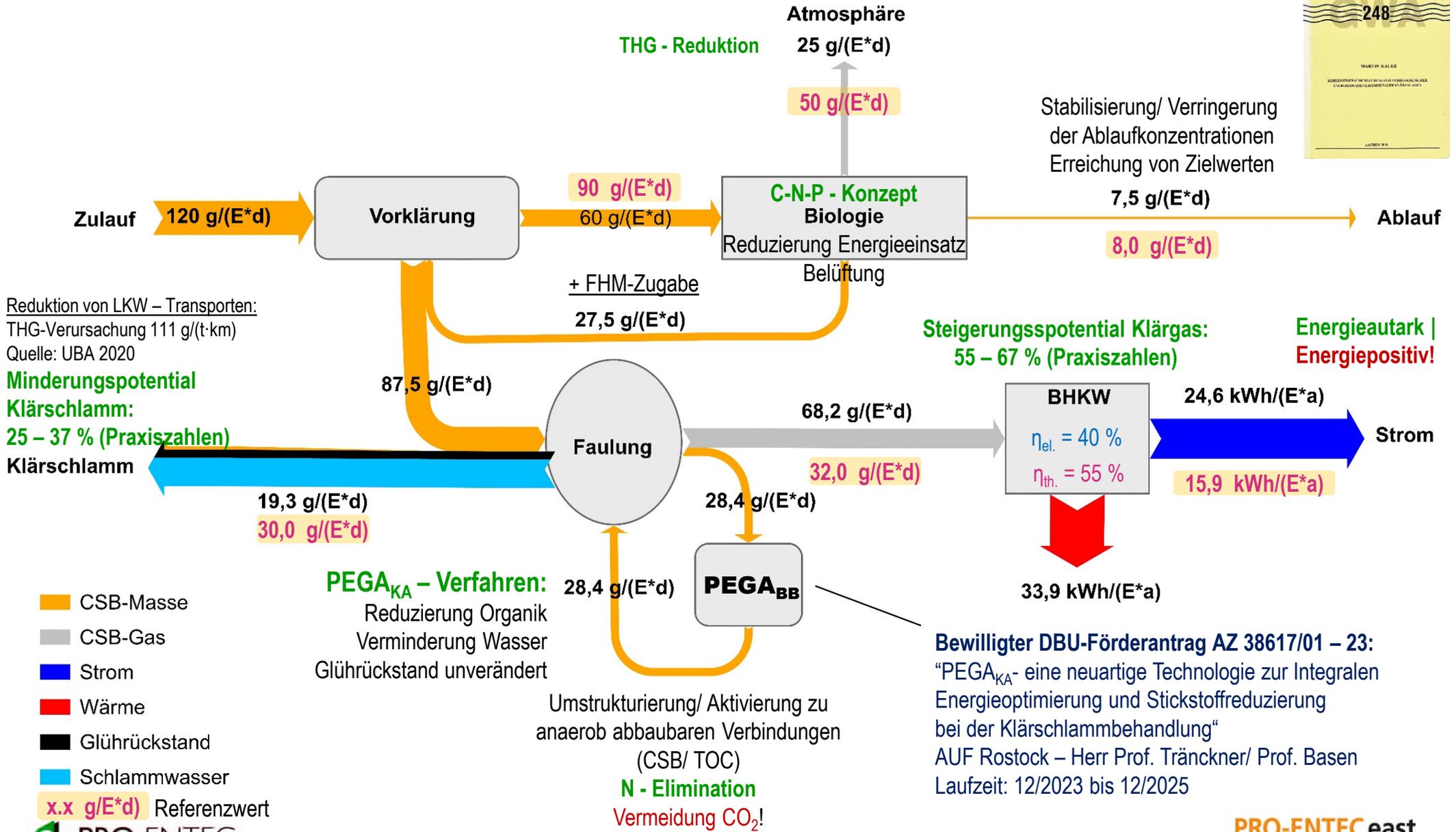
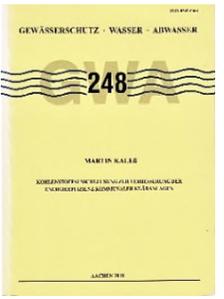




①	Zulauf PEGA - filtriert	Oxi - Becken - filtriert	Entnahme- rate [%]
TIC [mg/l]	434	45	90%
TOC [mg/l]	276	101	63%
TN [mg/l]	616	211	66%
CSB [mg/l]	684	316	54%
NH ₄ -N [mg/l]	590	92	84%
NO _x -N [mg/l]		82	
PO ₄ -P [mg/l]	24	6	75%

Parameter ②	Φ - Abbauleistung PEGA _{KA} - Versuche		
	Mittelwert	Minimum	Maximum
CSB	47,34 %	38,02 %	59,68 %
TOC	57,12 %	43,34 %	69,16 %
TN	73,57 %	49,55 %	95,13 %
NH₄-N	89,73 %	82,46 %	98,26 %
o-PO ₄ -P	72,73 %	55,76 %	91,90 %

Kohlenstoffmanagement 2.0 mit PEGA_{KA}-Verfahren



Reduktion von LKW – Transporten:
THG-Verursachung 111 g/(t·km)
Quelle: UBA 2020

Minderungspotential Klärschlamm: 25 – 37 % (Praxiszahlen)

- CSB-Masse
- CSB-Gas
- Strom
- Wärme
- Glührückstand
- Schlammwasser
- x.x g/(E*d) Referenzwert

Bewilligter DBU-Förderantrag AZ 38617/01 – 23:
“PEGA_{KA}- eine neuartige Technologie zur Integralen Energieoptimierung und Stickstoffreduzierung bei der Klärschlammbehandlung“
AUF Rostock – Herr Prof. Tränckner/ Prof. Basen
Laufzeit: 12/2023 bis 12/2025

PRO-ENTEC
Umweltschutz GmbH
© Alfred Albert
Patent: DE 10 2015 118 988 B4

Kohlenstoffmanagement 2.0 mit PEGA_{KA}-Verfahren spezifischer CSB-Abbau und Energiegewinnung

PRO-ENTEC east
bio engineering |
© Dr. Thomas Paust

Quelle: Kalß, M.; Kohlenstoffausschleusung zur Verbesserung der Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen

Hrsg. J. Pinnekamp (Aachen) Ges. z. Förderung d. Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (2018) (modifiziert/ ergänzt)

Zusammenfassung

- Das PEGA_{KA} – Verfahren ist etabliert, auch im Großen (56.000 EW) mittlerweile knapp 4 Jahre getestet und lässt sich reproduzierbar anwenden. 2023 zwei 100.000 EW-Anlagen vertraglich über Jahre gebunden, eine 40.000 EW – Anlage wird folgen (Stand 1. Quartal 2023)
- Anhand übermittelten Betriebsdaten: Einsatzvorschläge zeigen, dass die Autarkie zu erreichen ist – etliche sind sogar energiepositiv (besonders größere Anlagen bis + 55 %)
- Die Investitionen sind förderbar (z.B. Kommunalrichtlinie) oder mit Abwasserabgabe zu verrechnen – durch hohe Senkungen der Betriebskosten entsteht ein ROI von < 5 Jahren
- Volkswirtschaftlich lassen sich durch Ergänzung von Kläranlagen inkl. Faulturm mit dem PEGA_{KA} – Verfahren innerhalb von 1 – 2 Jahren der CO₂ – Ausstoß in Deutschland um ca. 300.000 – 600.000 t/a senken
- Etwa 800 Kläranlagen in dem Segment 10.000 – 35.000 EW haben noch keine anaerobe Stufen – da ist noch ein hohes Potential zu erschließen
- Nutzung innovative Ansätze:
 - Neben Einspeisung überschüssigen Strom in das Netz lässt sich mittels Elektrolyseuren grüner H₂ erzeugen (Netzeinspeisung) – als „Abfall“ entsteht grüner O₂ (Nutzung in Biologie/ Absenkung Strombezug)
 - Einsatz von innovative Brennstoffzelle mit einem $\eta_{el.} = 80\%$ zur Verstromung – (siehe oben)
 - Gasüberschuss von mindesten 150 Nm³/h – Aufbereitung von Klärgas zu Methan durch Drittanbieter – Vergütung des Methans 315.000 – 395.000 €/a (die Anlagen stellt der Anbieter, Einspeisung wird von ihm geregelt)
 - Nutzung von Strom bzw. Gas für Antrieb von Fahrzeugen



01|2023
Jahrgang 164 | ISSN 0016-3651 | B 5399

gwf Wasser + Abwasser

Vulkan-Verlag
www.gwf-wasser.de
SONDERDRUCK

Eine energieautarke oder energiepositive Kläranlage schon ab 10.000 EW

Thomas Paust, Alfred Albert

Nach einem knapp vier Jahre andauernden Praxisversuch in einer Referenzanlage für 35.000 EW und einer positiven Begutachtung durch den TÜV Industrie Service kann das PEGA_{air}-Verfahren zur Klärschlamm- und Gärrestaufbereitung als etabliertes Verfahren angesehen werden. Der Prozess ist ohne Anpflanzung unter Einhaltung der im Patent DE 10 2015 118 988 B4 beschriebenen Rahmenbedingungen anzufahren. Der original aus dem Fermenter anfallende, ausgefaulte Schlamm gelangt in den Bioreaktor PEGA_{air}. Unter eingeschränkter Reinsauerstoffzugabe wird, überwacht von etlichen Sensoren, die Zusammensetzung des Belebtschlammes deart aktiviert, dass bei der anschließenden Vergärung des eingedickten Schlammes im Faultrum mehr organische Masse in Biogas umgewandelt wird (in der Referenzanlage 55 %). Als Folge dessen reduziert sich die Organik im Klärschlamm. Zusammen mit dem zu beobachtenden Wasserverlust lässt sich der reduzierte Klärschlamm (Referenzanlage Klärschlamm um 25 %) besser und wirtschaftlicher entwässern. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Trübwässer aus der mechanischen Behandlung vollständig mitbehandelt werden. Die biologische Stufe der Kläranlage hat dadurch kaum noch unter der Rückbelastung zu leiden. Insbesondere wird die NH₄-N-Konzentration um ca. 90 % verringert. Aus diesem Prozess resultieren hohe finanzielle Vorteile, nicht zuletzt aus dem möglich erscheinenden energieautarken bzw. energiepositiven Betrieb. Gleichzeitig sinken die Umweltbelastungen durch weniger Treibhausgase wie CO₂.

Einleitung

Das aus Urin, Fäzes und Grauwasser bestehende Abwasser im Zulauf einer Kläranlage kann man aufgrund deren Vorgeschichte als regeneratives Substrat betrachten. Im zufließenden Abwasser ist ein Energiegehalt von 154 kWh/(E-a)[1] an grüner Energie enthalten. Lediglich Kläranlagen mit einer anaeroben Stufe können aus dem einem Faultrum zugeführten Primär- und Überschussschlamm Biogas erzeugen (grünes Gas). Zum überwiegenden Teil haben nur die Kläranlagen der GK4 (10.000 bis 100.000 EW) und GKS (> 100.000 EW) Faultürme. Daraus erzielen die Anlagen im Median 13,5 kWh/(E-a) GK4 bzw. 18,2 kWh/(E-a) GKS an Elektrizität, um einen Teil des Stromverbrauchs der Anlage zu decken (eine Autarkie ist selten anzutreffen). Das sind nur etwa 10 % der im Abwasser zugeführten Energie [1, 2] (Bild 1).

Verschiedene Arbeitsgruppen gehen davon aus, dass aus dem zugeführten Gemisch aus Primär- und Überschussschlamm eine Umsatzzrate zu Klärgas von etwa 50 % möglich ist. Schaum (2013) errechnet bei einem CH₄-Gehalt von 60 % eine spezifische Gasausbeute von 19 NL/(E-d) aus. Andere Arbeitsgruppen kommen ebenfalls zu einer etwa 50 %-igen Umwandlung des dem Faultrum zugeführten CSB (s. Jardin (2012) / Svardal (2014) / DWA M368 „Biologische Stabilisierung von Klärschlamm“ / Hartwig et al. (2010) / Fernandez-Arevalo et al. (2017) / alle in [1], Seite 35 f).

Die PRO-Entec-Gärrest-Aufbereitung für Kläranlagen, kurz PEGA_{air}-Verfahren genannt (patentiert [3, 4]), ist eine Technologie, um zu vor ausgefaulten Schlamm in einem Seitenstrom zusammen mit Trübwasser aus der mechanischen Schlammabwasserung in einer biologischen Stufe zu behandeln. Durch selektive, restriktive Begasung mit Reinsauerstoff entstehen neue Schlammmineralsstoffe aus gelösten und partikulären Bestandteilen des ausgefaulten Schlammes. Die Folge: Die wässrige Phase gelangt nahezu unbelastet in die Hauptstrombiologie zurück. Den mechanisch eingedickten PEGA_{air}-Schlamm rezirkuliert man erneut in den Faultrum

und das führt durch höhere Umwandlung der Organik (o-TS / GV) zu mehr Klärgas und weniger Klärschlamm. Die 50 %-ige Umwandlung des zugeführten Schlammgemisches in Klärgas verschiebt sich nach oben. Im Jahr 2021 hat der Wert im Mittel 68,3 % (PEGA_{air}) erreicht (Bild 2).

Durchführung auf der Kläranlage Schwarzbachtal (seit 04.02.2019)

Der Faulschlamm wird über das vorhandene Substratannahmepumpwerk (variabel über Selektor) in den SBR-NL gepumpt. Dazu kommt das Trübwasser gepuffert über einen Filtratwasserspeicher aus der Kammerfilterpresse (KFP). Der vorhandene SBR-NL dient in diesem Versuch als PEGA_{air}-Reaktor. Dieser ist in seiner Schrittkette angehalten, sodass er ständig über die vorhandenen Gebläse (kein Reinsauerstoff) belüftet (> 0,5 mg/l) bzw. über das vorhandene Rührwerk umgewälzt wird. Zur Regelung wird die vorhandene Sauerstoffsonde verwendet. Zur Auswertung wurde zusätzlich noch eine Redox-Sonde installiert. Die PEGA_{air}-Biologie wird mit ca. 6 g/l TS_{sl} betrieben.

Aus dem PEGA_{air}-Reaktor wird über die vorhandenen Überschussschlammumpfen täglich in etwa die gleiche Menge an Schlamm abgezogen, wie ihm aus dem Faulbehälter zugeführt wird. Er wird in den Multifunktionsbehälter gepumpt (nur Rührwerk). Der PEGA_{air}-Schlamm vermischt sich hier mit dem Primär- und Überschussschlamm aus der Hauptbiologie. Das Gemisch entwässert ein Bandfilter auf TR-Gehalte zwischen 9-12 % TR. Damit füttert man den Faultrum mit Substrat, in dem ein TR-Gehalt zwischen 4,0-5,5 % aufrechterhalten wird (Umwälzung mit Tauchpumpen)“, erklärt der Betriebsleiter der Kläranlage Felix Lohoff.¹

¹ Zitat modifiziert

fermentation



Article

Microbiome Characterization after Aerobic Digestate Reactivation of Anaerobically Digested Sewage Sludge

Pascal Otto ¹, Moshdeh Alipouresarbani ^{2,3}, Daniel Torrent ³, Adriel Latorre-Pérez ³, Thomas Paust ⁴, Alfred Albert ⁴ and Christian Abendroth ^{5,6*}

¹ Institute of Waste Management and Circular Economy, Technische Universität Dresden, 01796 Pirna, Germany; pascal.otto@tu-dresden.de

² Chair of Circular Economy, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Germany; alipoures@b-tu.de

³ Darwin Bioprospecting Excellence, S.L. Parc Científic de la Universitat de València, 46180 Paterna, Spain; dtorrent@darwinbioprospecting.com (D.T.); alatorre@darwinbioprospecting.com (A.L.-P.)

⁴ PRO-Entec East GmbH Bio Engineering, 16928 Gendshagen, Germany; info@pro-entecast.de (T.P.); alfred.albert@pro-entec.de (A.A.)

* Correspondence: christian.abendroth@b-tu.de

^{5,6} These authors contributed equally to this work.

Abstract: A demonstrator plant of a recently patented process for improved sludge degradation has been implemented on a municipal scale. In a 1500 m³ sewage sludge digester, an intermediary stage with aerobic sewage sludge reactivation was implemented. Thisoxic activation increased the biogas yield by up to 55% with a 25% reduction of the remaining fermentation residue volume. Furthermore, this process allowed an NH₄-N removal of over 90%. Additionally, 16S rRNA gene amplicon high-throughput sequencing of the reactivated digestate showed a reduced number of methane-forming archaea compared to the main digester. Multiple ammonium-oxidizing bacteria were detected. This includes multiple genera belonging to the family Chitinophagaceae (the highest values reached 18.8% of the DNA sequences) as well as a small amount of the genus *Candidatus nitrosoglobus* (<0.3%). In summary, the process described here provides an economically viable method to eliminate nitrogen from sewage sludge while achieving higher biogas yields and fewer potential pathogens in the residuals.

Keywords: anaerobic digestion; anaerobic microbiomes; aerobic sludge activation; 16S rRNA sequencing; water treatment

Citation: Otto, P.; Alipouresarbani, M.; Torrent, D.; Latorre-Pérez, A.; Paust, T.; Albert, A.; Abendroth, C. Microbiome Characterization after Aerobic Digestate Reactivation of Anaerobically Digested Sewage Sludge. *Fermentation* **2023**, *9*, 471. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050471>

Academic Editor: Konstantina Kourmentza

Received: 21 April 2023

Revised: 9 May 2023

Accepted: 9 May 2023

Published: 13 May 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Fermentation **2023**, *9*, 471. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050471>

www.mdpi.com/journal/fermentation

PRO-ENTEC
Umweltschutz GmbH
Alfred Albert

Patent: DE 10 2015 118 988 B4

www.gwf-wasser.de

Interesse an Sonderdrucken?

E-Mail an info@pro-entecast.de oder:

Geben sie mir ihre Visitenkarte!

PRO-ENTEC east
bio engineering |

©Dr. Thomas Paust
Fon: 033986-502290
Mobile: 0173-9518532