

Proceedings 15. Österreichisches IEA Wirbelschichttreffen 29. – 31.10.2025




Mit freundlicher Unterstützung von:



Norske Skog



RHI MAGNESITA

 **Bundesministerium
Innovation, Mobilität
und Infrastruktur**



Inhaltsverzeichnis

Überblick	3
Programm	4
Präsentationen	6
Sascha Koch, RHI Magnesita: „Feuerfest trifft Klärschlamm - Umsetzung eines Verbrennungsprojekts von A bis Z“	6
Benjamin Fleiß, Universität für Bodenkultur: „Aufwirbelnde Innovationen an der BOKU University“	38
Daniel Bernhardt, Technische Universität Dresden: „Oxyfuel-Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung bei der Abfallverbrennung - Auswirkungen auf den Betrieb von Abfallverbrennung“	57
Helga Stoiber & Friedrich Kirnbauer, UVP Environmental Management and Engineering: „Aktuelle Themen aus der Sicht eines Planungsbüros für Wirbelschichtverbrennungsanlagen“	87
Min Su Sohn, Technische Universität Dresden: „Treibhausgas-Emissionen bei der Klärschlammverbrennung - 1. Ergebnisse von Praxismessungen an deutschen Monoklärschlammverbrennungsanlagen“	102
Christian Steiner, Explosion Power: „Praxisbeispiele zur Optimierung von Dampferzeugern in der Papierindustrie und in Müllverbrennungsanlagen mittels Shock Pulse Generatoren“ ...	125

Überblick

Das 15. Österreichische IEA Wirbelschichttreffen fand von 29. bis 31. Oktober 2025 in Leoben statt und wurde in Kooperation mit Norske Skog veranstaltet. Das Programm bestand aus Vorträgen von Fachleuten im Bereich Wirbelschicht sowie einer Führung durch die Papierfabrik von Norske Skog in Bruck an der Mur und dem Technology Center von RHI Magnesita in Göss. Der Austausch von Expertise, Erfahrungen und Entwicklungen aus dem Feld Wirbelschicht stand an oberster Stelle. Teilnehmende aus den Bereichen Wissenschaft, Industrie und Anlagenbetrieb waren vertreten und konnten auf der Veranstaltung wertvolle Informationen sammeln und weitergeben, sowie Kontakte knüpfen.

Ein besonderer Dank geht an die Firmen Norske Skog und RHI Magnesita für die Unterstützung des 15. Österreichischen IEA Wirbelschichttreffens sowie an alle Vortragenden.

Wir bedanken uns auch herzlich bei allen Teilnehmenden und hoffen Sie nächstes Jahr wieder begrüßen zu dürfen.



Programm

Mittwoch, 29. Oktober 2025

Zeit	Aktivität
09:30-10:00	Eintreffen im Hotel
10:00-12:00	Betreibersession I
12:00-13:30	Mittagessen
13:30-15:00	Betreibersession II
15:00-15:30	Kaffeepause
15:30-17:00	Betreibersession III
18:00-21:00	Abendessen im Hotel

Donnerstag, 30. Oktober 2025

Zeit	Aktivität
09:15-09:30	Eintreffen bei Norske Skog Bruck
09:30-11:45	Anlagenbesichtigung Norske Skog Bruck
12:30-13:45	Mittagessen im Hotel
14:00-16:00	Besichtigung RHI-Forschungscenter
16:30-17:00	Kaffeepause
17:00-17:30	Vortrag RHI Magnesita, Sascha Koch „Feuerfest trifft Klärschlamm – Umsetzung eines Verbrennungsprojekts von A bis Z“
17:30-18:00	Vortrag BOKU, Benjamin Fleiß „Aufwirbelnde Innovationen an der BOKU University“
18:30-21:00	Abendessen im Hotel

Programm

Freitag, 31. Oktober 2025

Zeit	Aktivität
09:00-09:30	Vortrag BEST, Miriam Huber „Thermochemisches Kunststoffrecycling in der Wirbelschicht: Von Kunststoffabfällen im DFB Gaserzeuger zu Fischer Tropsch Produkt“
09:30-10:00	Vortrag TU Dresden, Daniel Bernhardt „Oxyfuel-Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung bei der Abfallverbrennung – Auswirkungen auf den Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen (Rostfeuerung vs. Wirbelschichtfeuerung)“
10:00-10:30	Kaffeepause
10:30-11:00	Vortrag UVP, Helga Stoiber und Friedrich Kirnbauer „Aktuelle Themen aus der Sicht eines Planungsbüros für Wirbelschichtverbrennungsanlagen“
11:00-11:30	Vortrag TU Dresden, Min Su Sohn „Treibhausgas-Emissionen bei der Klärschlammverbrennung – 1. Ergebnisse von Praxismessungen an deutschen Monoklärschlammverbrennungsanlagen.“
11:30-12:00	Vortrag Explosion Power, Christian Steiner „Praxisbeispiele zur Optimierung von Dampferzeugern in der Papierindustrie und in Müllverbrennungsanlagen mittels Shock Pulse Generatoren“
12:00-12:30	Abreise

„Feuerfest trifft Klärschlamm – Umsetzung eines Verbrennungsprojekts von A bis Z“

15. Österreichisches IEA Wirbelschichttreffen 29.- 31.10.2025



Agenda

- 1 **Allgemeine Information zu RHIM**
- 2 Projektentwicklung von A-Z
- 3 Theorie der unterschiedlichen CFB Aggregate
- 4 Praktische Anwendung
- 5 RHIM Materialien (Übersicht)

Zusammenfassung der RHIM-Geschichte aus der Sicht von RHI



1830 – 1900

1900 – 2000

2000 – 2017



1881 entdeckte Carl Spaeter in der Veitsch (Österreich) eine Magnesitlagerstätte und gründete 1899 die Veitscher Magnesitwerke Actien-Gesellschaft.



1908 erwarb Emil Winter die Schürfrechte für eine Magnesitlagerstätte auf der Millstätter Alpe (Österreich) und gründete die "Austro-American Magnesite Company" (später Radex Austria)



Im Jahr 1834 gründete Friedrich Ferdinand Didier die Schamottefabrik F. Didier in Podejuch bei Stettin, damals Preußen. Didier wurde damit zu einem der ersten Hersteller von feuerfesten Steinen in Deutschland.



Gegründet im Jahr 1919 von Attilio Franchi.

Veitsch-Radex

1993

Fusion Veitsch-Radex AG, heute ist die Veitsch-Radex GmbH & Co eine 100 %ige Tochter der RHI AG

1993

Erwerb von REFEL

1989
Erwerb von
NARCO

1966 Erwerb
von
STOPINC

1995

RHI erwirbt eine Mehrheitsbeteiligung an der Didier-Werke AG.

1993

RHI erwirbt eine Mehrheitsbeteiligung an Dolomite Franchi.

1999

Übernahme von GIT/HARBISON-Walker

2010

100% Übernahme der Didier Werke AG

2006

Heraklith verkauft

2012

100% Übernahme der Stopinc AG/CH

2001

Entflechtung von GIT/Harbison-Walker, NARCO

2007
Integration
Monofrax

2013

Erwerb einer Beteiligung von 43,6% an ORL Ltd./IN

2011

Erwerb ZAO Podolsk/RUPremier Periclase Ltd./IRLSMA AS/NOR

2017

Zusammenschluss von **RHI** und Magnesita zur RHI Magnesita, RHIM, notiert an der Londoner Börse

Weltmarktführer für feuerfeste Produkte

Für Sie da, wo immer Sie uns brauchen



RHI MAGNESITA

> 20,000

Mitarbeiter

€ 3.5bn

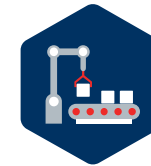
2024 Umsatz

€ 83m

Investitionen in F&E und
technisches Marketing,
einschließlich CO₂-armer
Produkte

+1,700

Aktive Patente



65

Produktionsstandorte
(einschließlich
Rohstoffstandorte)



12

Recycling-
Anlagen



+100

Versand in alle
Länder der Welt



5

F&E-Zentren

Werksübersicht weltweit

Wichtigste RHIM Produktionsanlagen – für die Energiegewinnung aus Abfall



Generelle RHIM Materialübersicht

Feuerfestprodukte und Lösungen / Systeme



Agenda

- 1 Allgemeine Information zu RHIM
- 2 **Projektabwicklung von A-Z**
- 3 Theorie der unterschiedlichen CFB Aggregate
- 4 Praktische Anwendung
- 5 RHIM Materialien (Übersicht)

Fahrplan von der Anfrage bis zur AS-Built-Zeichnung für „Turn Key“ Projekte

I. MARKT-ZU-BESTELLUNG-VERFAHREN – ANFRAGE EINGEGANGEN

Überprüfung der Anfrage – Entwicklung einer Projektstrategie – Angebotserstellung

Kontrolle des Angebots

Überprüfung der in der OKO vereinbarten Bedingungen - endgültige Preisgestaltung - vor dem Versand des Angebots an den Kunden.

Angebotserstellung

KAM und techn. Marketing wählen die Produkte aus, Engineering erarbeitet die QL (Material zu den Bereichen) & Projektteam erstellt das Angebot (QL=Quotation list)

Chance Kick-Off

Vertrieb organisiert das OKO mit Engineering, Projekt-Team, KAM. (OKO= Opportunity Kick-Off)

Chance - Abschluss

Vertrieb mit KAM organisieren ein Meeting mit Vertriebsleiter, Leiter PI, sobald der Auftrag gewonnen oder verloren wurde, bei einem Projekt >1M€

Pre-Opp. Kick-Off

Unmittelbar nach Eingang der Anfrage (nur bei unklaren Anfragen) erfolgt eine schnelle Analyse der Anfrage durch Vertrieb und KAM. Entscheidung, ob das Angebot sinnvoll ist oder nicht. Im Falle eines Angebots entscheidet KAM über die Gruppe, die für die OKO eingeladen wird. (KAM=Key account management)

II. BESTELLUNG-ZU-ZAHLUNGS-VERFAHREN – BESTELLUNG GEHT EIN

Überprüfung der Bestellung, Konstruktion, SAP-Eingabe, Produktion, Inspektionen, Vormontage, Lieferung, Rechnungsstellung = Projektmanagement

Projekt-Management (PM)

Engineering erarbeitet die Detailzeichnungen & BOM. PM erstellt/genehmigt Dokumente mit dem Kunden und entscheidet über Subunternehmer, prüft den Vertrag, organisiert Inspektionen, Dokumentation, Versand, Verkaufsunterstützung, Installation, Überwachung, Trocknung und bringt alle Beteiligten einschließlich CSRs auf den neusten Stand. (BOM= bill of material)

Cashflow

PM legt Meilensteine fest und informiert CSR, um Rechnungen gemäß dem vertraglich vereinbarten Zeitplan zu erstellen, mit dem Vertrieb abzustimmen, den Versand zu koordinieren, Rechnungen an den Kunden zu senden und den Cashflow des Projekts zu überwachen. (CSR=Customer Service)

Vertrieb prüft PO und lädt zum Projektstart ein

Sobald wir die Bestellung vom Kunden erhalten haben, informiert der Vertrieb das Projektteam, um das Kick-off-Meeting zu organisieren, an dem alle notwendigen Beteiligten wie Technik, Marketing, SCM, Installation teilnehmen. Während des Kick-Off-Meetings wird der Projektleiter bestimmt, der das Projekt bis zum Abschluss führt und die Leitung übernimmt.

Turn-Key-Projekt mit einem global agierenden Unternehmen

Alles-aus-einer-Hand-Lösung

Vorteile

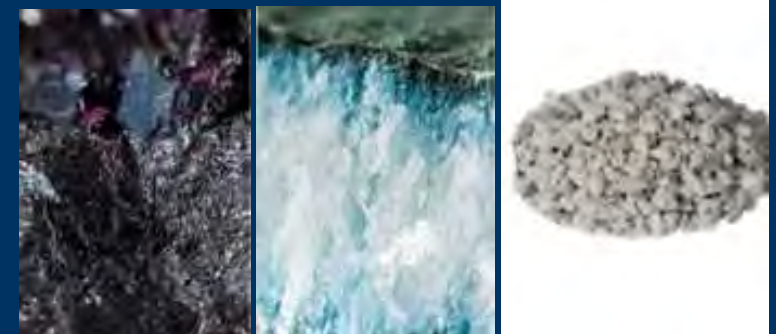
- Gesamtverantwortung beim Auftragnehmer
Keine/kaum Schnittstellen
- => daher weniger Fehlerquellen / Risiken

Planung

- Übersicht und Eingriffsmöglichkeit (z.B. Produktionsprozess) für alle Liefertermine
=> dadurch effektiver und flexibler

Beschaffung

- Verschiedene Produktionsstandorte, dadurch kürzere Lieferzeiten, weniger CO₂ und besseres Preis-Leistungs-Verhältnis
- Ökologischer Aspekt: Verwendung von CO₂-reduzierten Materialien durch eigenes Recyclingunternehmen (CO₂-Fußabdruck)



Turn-Key-Projekt mit einem global agierenden Unternehmen

Alles-aus-einer-Hand-Lösung

Installation und Konstruktion

- Materialien können bei Bedarf an die Situation angepasst werden (Verschiebung des Projektbeginns, Änderung der Abmessungen usw.)
- Auskleidungskonzepte können bei Bedarf auch während der Abwicklung geändert werden (durch kompetentes Engineering und technisches Marketing)
- Eigenes Serviceteam (vertraut mit den Eigenprodukten und somit fachgerechter Einbau) und oder Zukauf von geschultem externen Montagepersonal

Prüfung und Abnahme

- Abnahmeprüfungen können vor Ort oder virtuell durchgeführt werden
=> CO₂-Reduktion + Zeitersparnis



Herausforderung während/nach Installation

Unterschiedliche Klimazonen und Jahreszeiten



Lagerung der Materialien, gegenüber

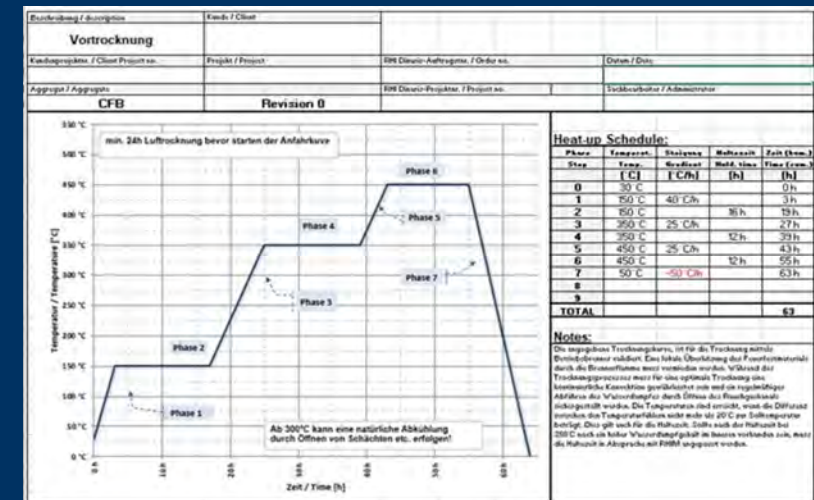
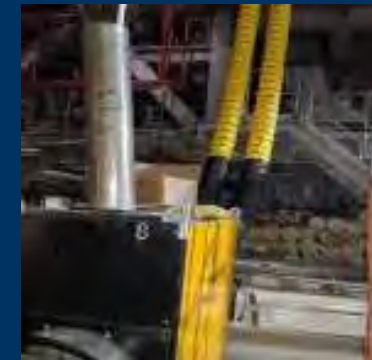
- Temperaturschwankungen / Feuchtigkeit
- Frost und Überschreitung der Lagertemperatur laut Vorschrift

Warmhaltung des Kessels bzw. des Zustellbereiches während der Installation

- Einsatz von Heizmedien

Nach Zustellung

- Keine Trocknung, Wasser im System => frostfreie Lagerung, d.h. evtl. Verwendung einer Wärmequelle
- Vortrocknung bis 450°C ; evtl. Restwasser => frostfreie Lagerung, d.h. evtl. Verwendung einer Wärmequelle
- Direkte Trocknung bis Betriebstemperatur => keine externe Erwärmung notwendig



Resumee eines modernen Projektmanagements

einer stationären Wirbelschichtverbrennung



- All-in-One-Hand (Turn Key) Lösungen sollten immer das Ziel sein, dadurch Reduzierung der Schnittstellen und Risiken einzelner Gewerke, d.h. globale EPC-Partner bringen viele Vorteile mit sich
- Einsatz von modernen Projektmanagement-tools verbessert die Projektplanung, gute Kommunikation und Zusammenarbeit im Team, verbessert aktiv das Risikomanagement sowie das Projektcontrolling und Reporting, steigert die Effizienz bei notwendigen Anpassungen, welches die Erfolgsaussichten und die Kundenzufriedenheit steigert



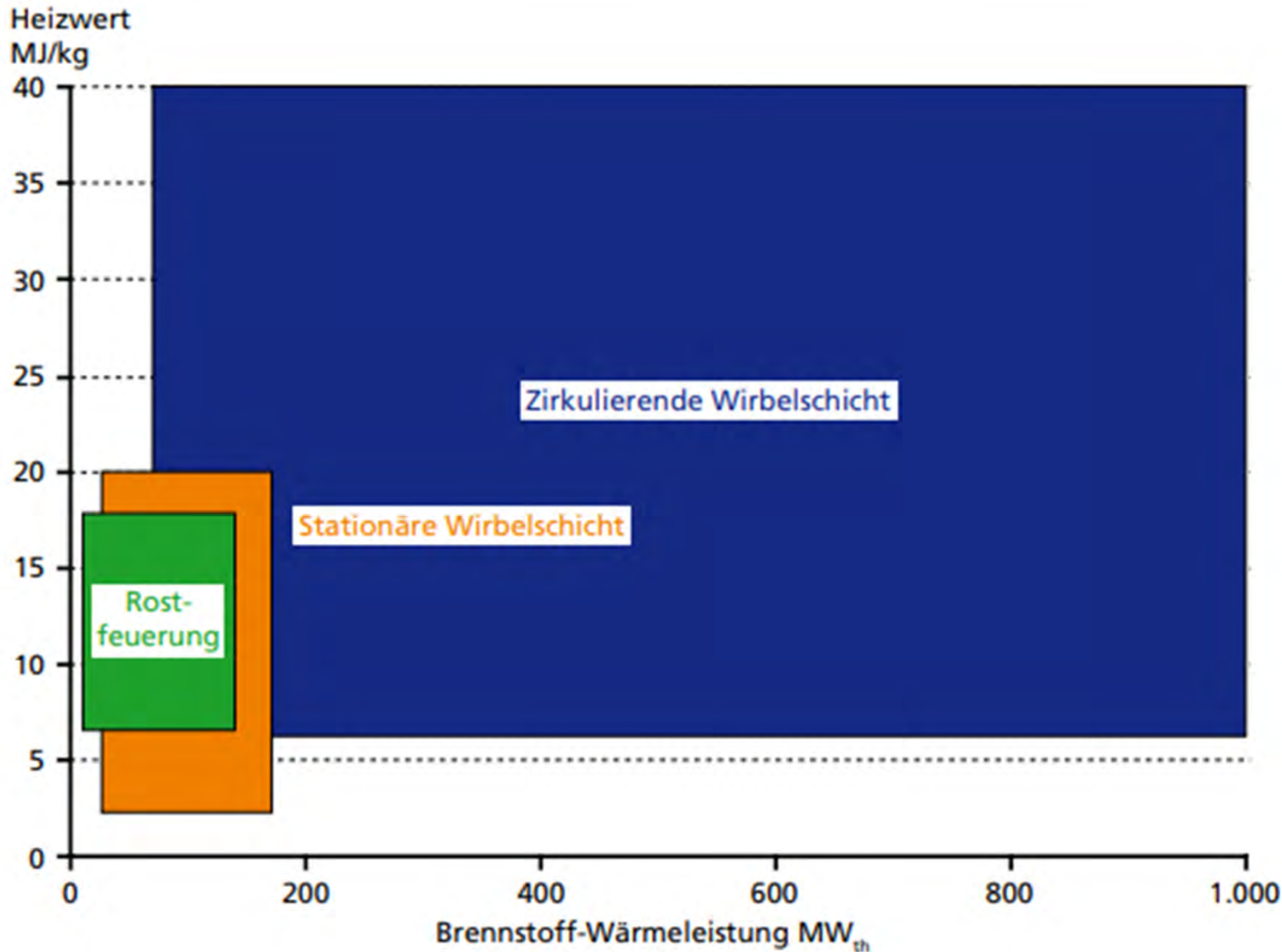
Agenda



- 1 Allgemeine Information zu RHIM
- 2 Projektabwicklung von A-Z
- 3 Theorie der unterschiedlichen CFB Aggregate**
- 4 Praktische Anwendung
- 5 RHIM Materialien (Übersicht)

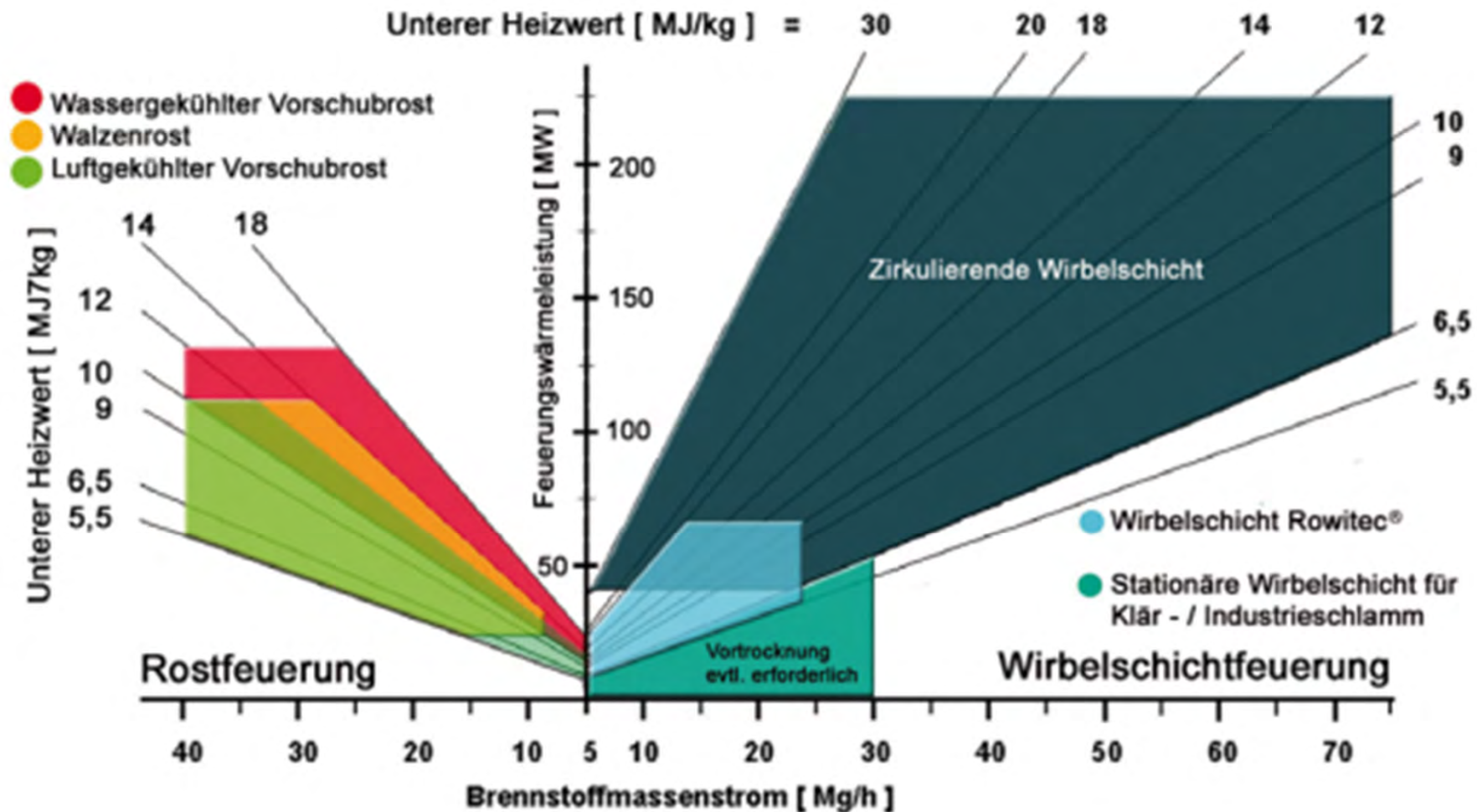
Unterschiedliche Aggregate

Stand der Technik



Einsatzbereiche der Rostfeuerung, der stationären und der zirkulierenden Wirbelschicht

Anwendungsbereiche für Rost – und Wirbelschichtverbrennungsöfen als Grafik



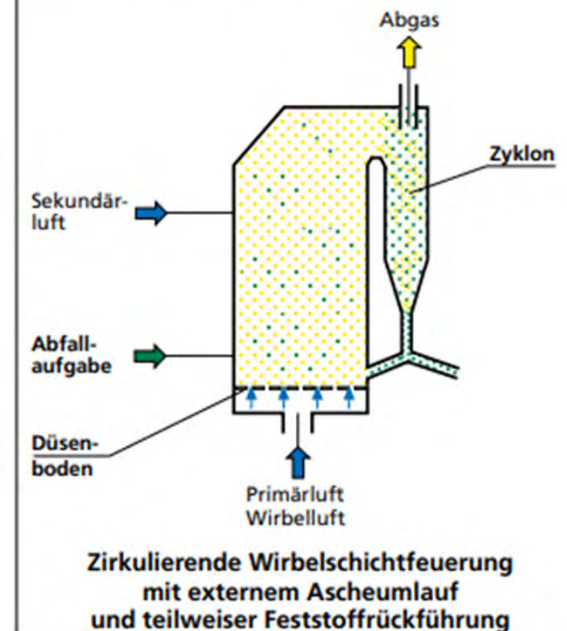
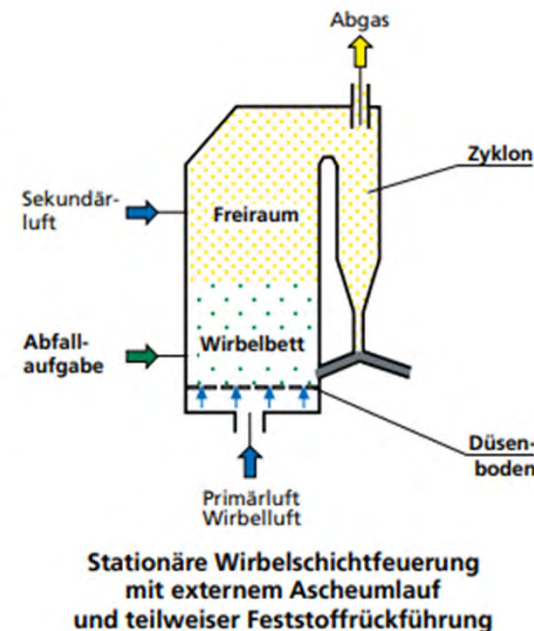
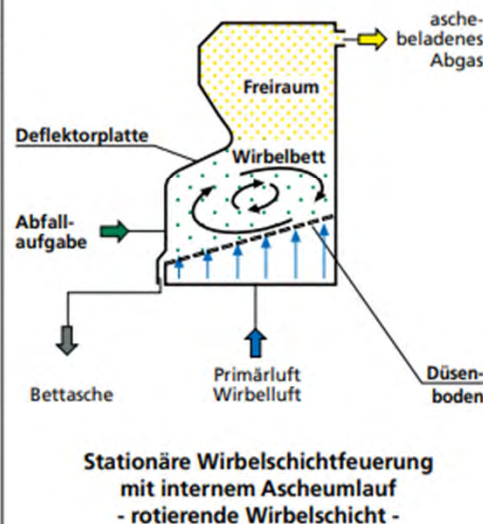
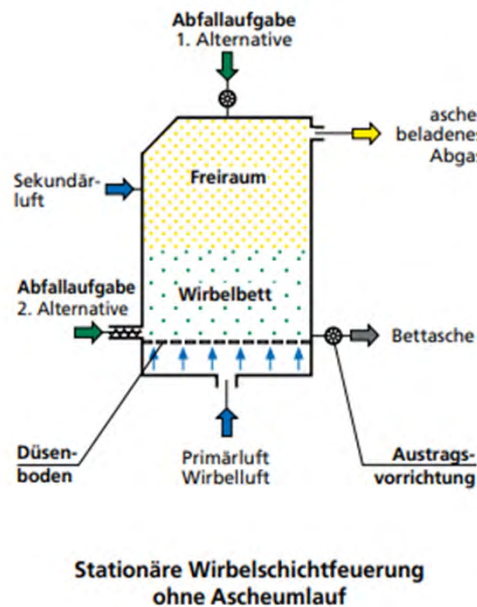
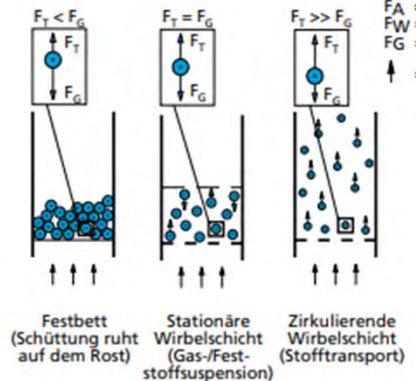
Verschiedene Wirbelschichttechniken

Im Vergleich



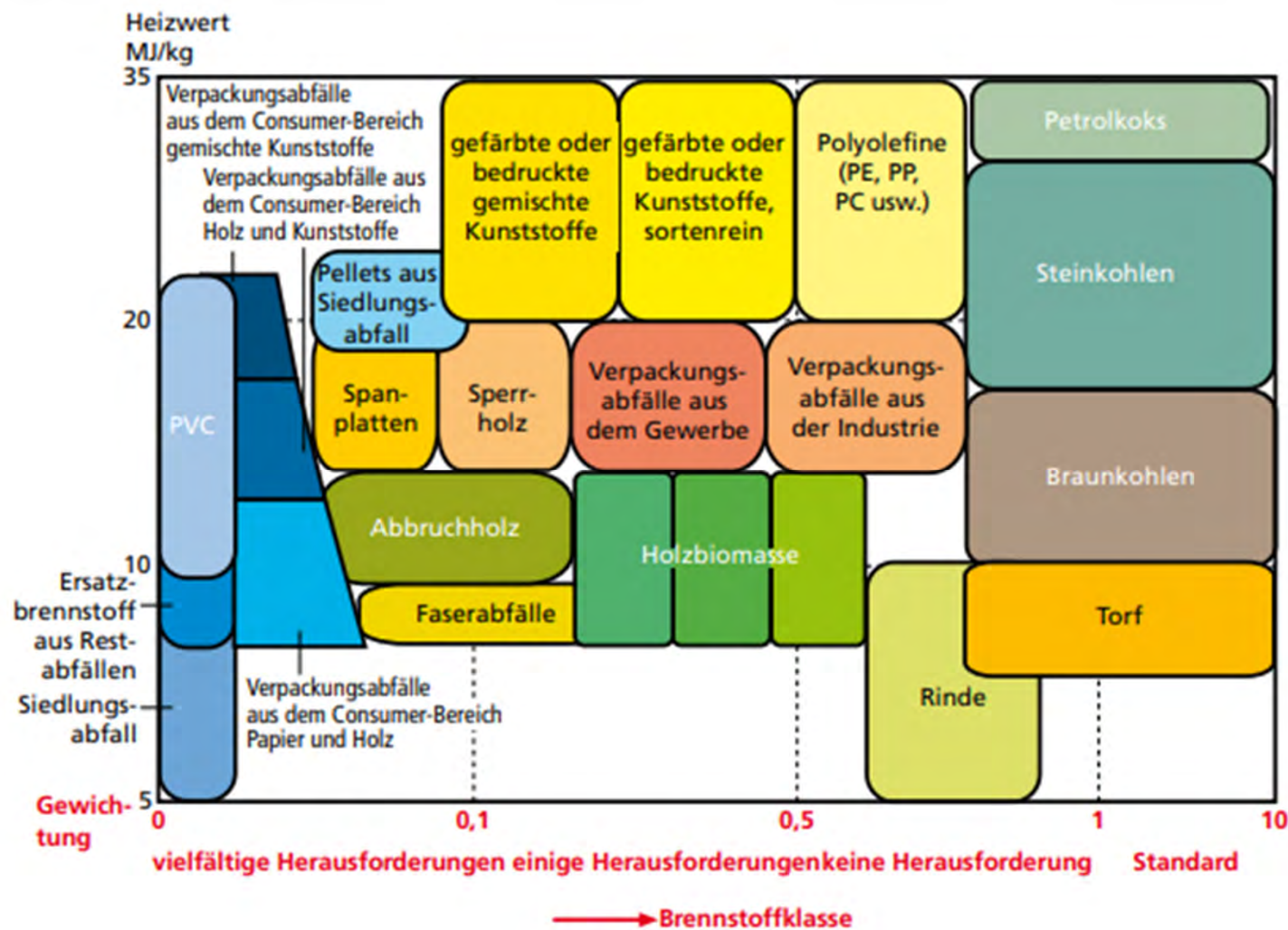
$F_T = F_A + F_W$
 $=$ Transportkraft
 $F_A =$ Auftriebskraft
 $F_W =$ Widerstandskraft
 $F_G =$ Schwerkraft
 $\uparrow =$ Bewegungsrichtung

Kraftwirkung auf den Feststoffpartikel



Verwendbare Brennstoffe in der Wirbelschichtfeuerung

Von Standard bis vielfältige Herausforderungen



Getrockneter Klärschlamm (~ 90% TS) hat ein Heizwert von ca. 10-15 MJ/kg

Warum eine Klärschlammverbrennung ?

Gründe für den Bau einer Wirbelschichtanlage



Klärschlammverbrennungsanlagen werden zunehmend errichtet, vor allem aufgrund verschärfter gesetzlicher Vorgaben, der Notwendigkeit zur Nährstoffrückgewinnung und aus Umwelt- sowie Entsorgungsgründen.

1. Gesetzliche Anforderungen:

Seit der Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) 2017 ist die landwirtschaftliche Nutzung von Klärschlamm stark eingeschränkt. Ab 2029 bzw. 2032 muss Klärschlamm aus großen Kläranlagen nahezu vollständig verbrannt werden.

2. Phosphorrückgewinnung:

Die Verordnung verpflichtet zur Rückgewinnung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors. Durch die Verbrennung wird dieser in der Asche konzentriert und kann leichter recycelt werden.

3. Schadstoffbeseitigung:

Thermische Behandlung zerstört organische Schadstoffe, Mikroplastik und Arzneimittelrückstände zuverlässig – im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Verwertung.

4. Volumenreduktion:

Die Verbrennung reduziert das Abfallvolumen erheblich und steigert die Entsorgungssicherheit.

5. Energetische Nutzung:

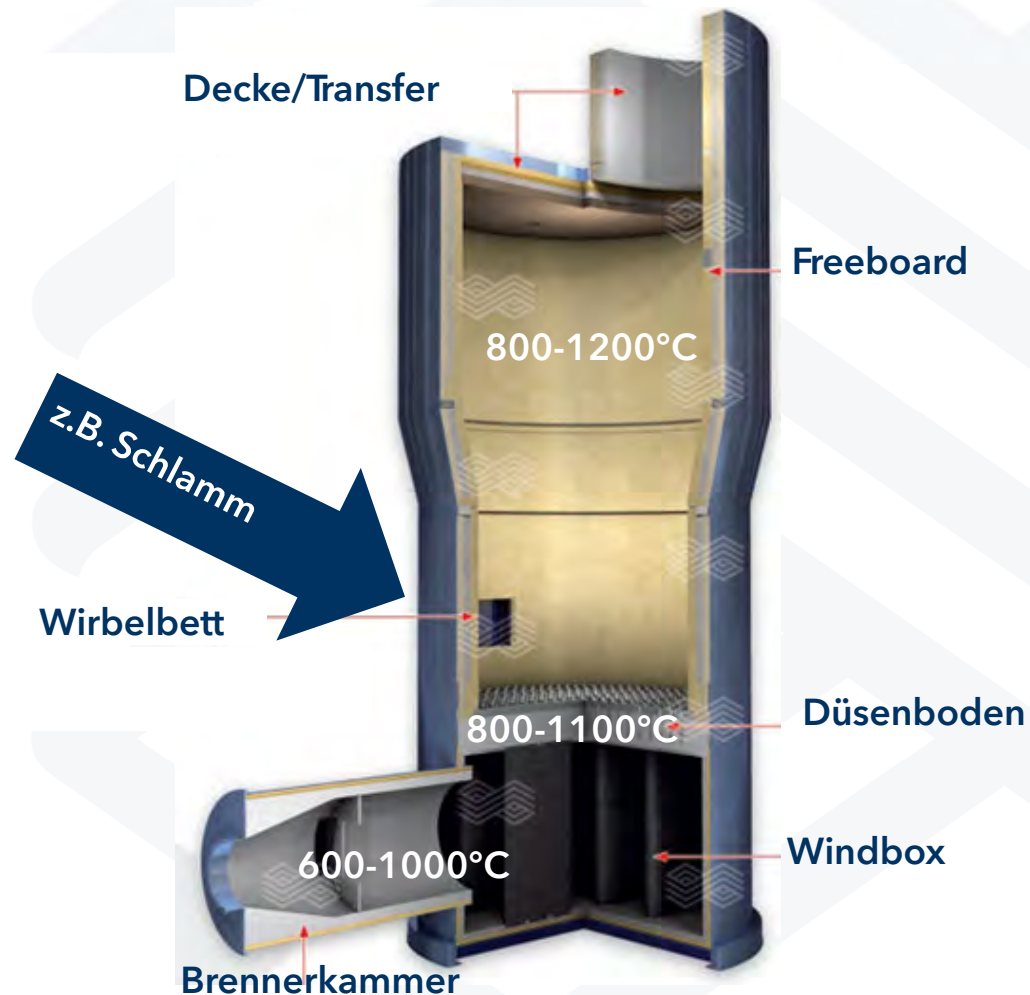
Der Brennwert des Klärschlammes (ca. 10-15 MJ/kg) ermöglicht Energiegewinnung, z. B. für Trocknung, Strom- oder Wärmeerzeugung.

6. Entsorgungssicherheit:

Die Verbrennung bietet eine langfristig sichere und flächenunabhängige Entsorgungslösung. 2022 wurden bereits rund 80 % des Klärschlammes in Deutschland thermisch verwertet.

Energiegewinnung aus Abfall

Stationäre Wirbelschichtanlage und deren Bereiche



Funktion

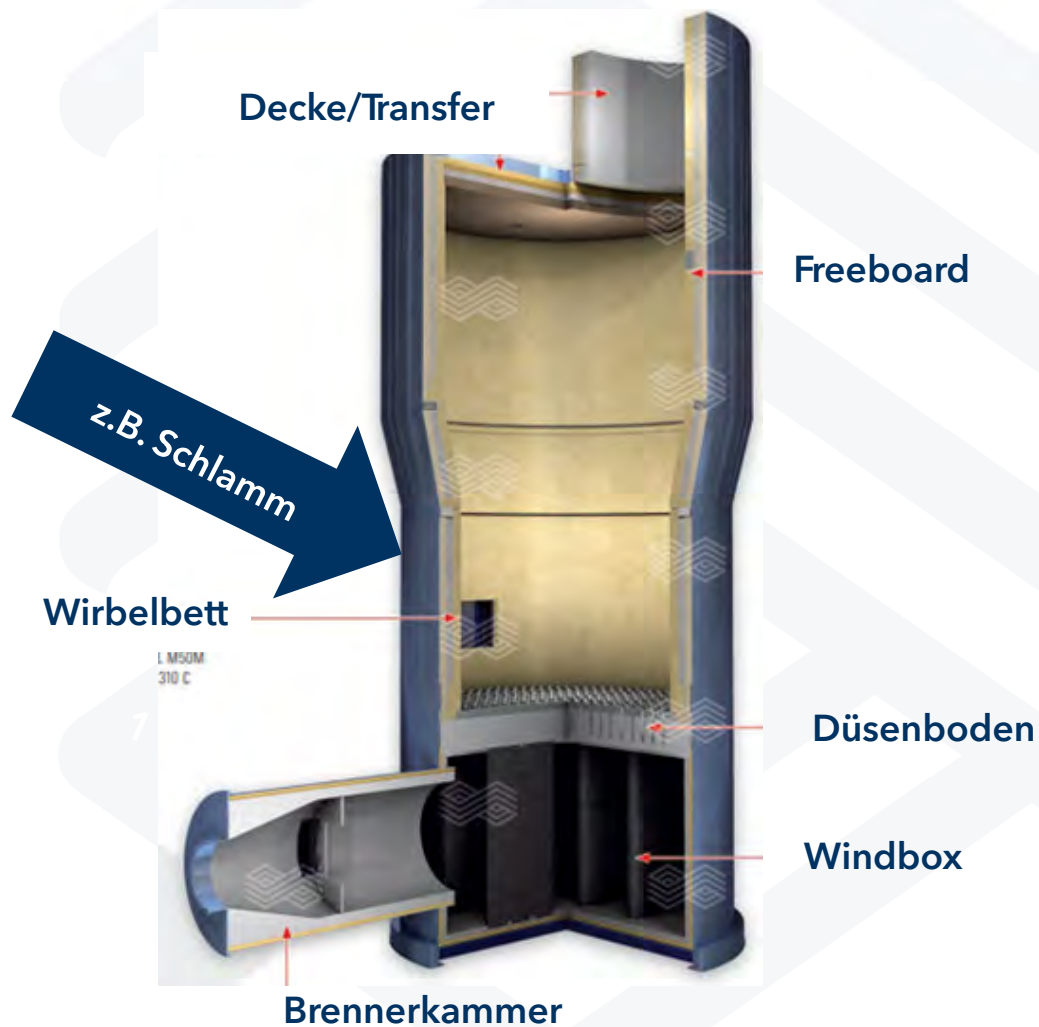
Der Brennstoff und das Bettmaterial werden durch die Zugabe eines fluidisierenden Mediums, z. B. Luft, zusammen in Schwebelage gehalten und somit fluidisiert. Die zerkleinerten Brennstoffpartikel haben eine große Oberfläche, so dass ein guter Ausbrand stattfinden kann. Die starke turbulente Strömung führt zu einem sehr guten Impuls- und Wärmeaustausch, so dass in der Wirbelschicht eine gleichmäßige Temperatur herrscht. Die Verbrennungstemperatur (800-1.100°C) kann durch den zugeführten Massenstrom an Brennstoff geregelt werden. Die Temperatur wird so eingestellt, dass die Bildung von Schadgasen (CO, NO_x) auf ein Minimum reduziert wird. Bei der Wirbelschichtverbrennung können sehr niedrige Stickoxidemissionen eingehalten werden, da relativ niedrige Verbrennungstemperatur ohne Temperaturspitzen genutzt werden kann. Niedrige Verbrennungstemperaturen haben den Vorteil, dass das relativ stark gebundene Stickstoffmolekül in der Verbrennungsluft nicht dissoziiert, was die Bildung von thermischen NO_x verhindert.

Agenda

- 1 Allgemeine Information zu RHIM
- 2 Projektabwicklung von A-Z
- 3 Theorie der unterschiedlichen CFB Aggregate
- 4 Praktische Anwendung**
- 5 RHIM Materialien (Übersicht)

Anwendungsbeispiel

an Europas größtem Wirbelschichtprojekt „Berlin“



Anforderungen an das Feuerfestmaterial

- Temperaturwechsel (Brennkammer)
- Hoher Feuerfestverschleiß im Düsenboden/Wirbelbett (Druck-/Abriebfestigkeit)
- Reaktion zwischen Feuerfestmaterial und den Verunreinigungen aus dem Prozess (Freeboard)

Produkte

Decke/Transfer (monolithische Produkte)

Basis: Schamotte

Bindung: Hydraulisch & Sol

Freeboard (Steine)

Basis: Schamotte

Bindung: Chemisch/Keramisch

Wirbelbett (Steine)

Basis: Andalusit

Bindung: Chemisch/Keramisch

Düsenboden (monolithische Produkte)

Basis: Schamotte

Bindung: Hydraulische & Sol

Zusatz: 2% Stahlnadeln

Windbox (Steine)

Basis: Schamotte

Bindung: Chemisch/Keramisch

Brennerkammer (Steine & monolithische Produkte)

Basis: Schamotte

Bindung: Hydraulische & Sol

Basis: Schamotte

Bindung: Chemisch/Keramisch

Brennkammer

Herausforderungen



- Übergang Brennkammer zur Windbox, sehr viel Schneidarbeiten zur Anpassung
- Konischer Verlauf, ohne Übergänge (Stufen)
- kleiner Durchmesser, nach Installation innen 800 mm, d.h. die Arbeiten mussten in knieender oder hockender Haltung durchgeführt werden.



Windbox

Herausforderungen



- Vorbereitung des Bodens,
100% waagrecht:
 - => Statik
 - => Exakte Ausrichtung für Aufbauarbeiten
 - => Funktion und NutzungEin waagrechter Boden ist die Grundlage für Stabilität, Genauigkeit, Funktionalität und Sicherheit eines Bauwerks.
- Anschluss der Stützen an den Düsenboden
- Planung und Einbringen der Luken und Öffnungen in das Mauerwerk

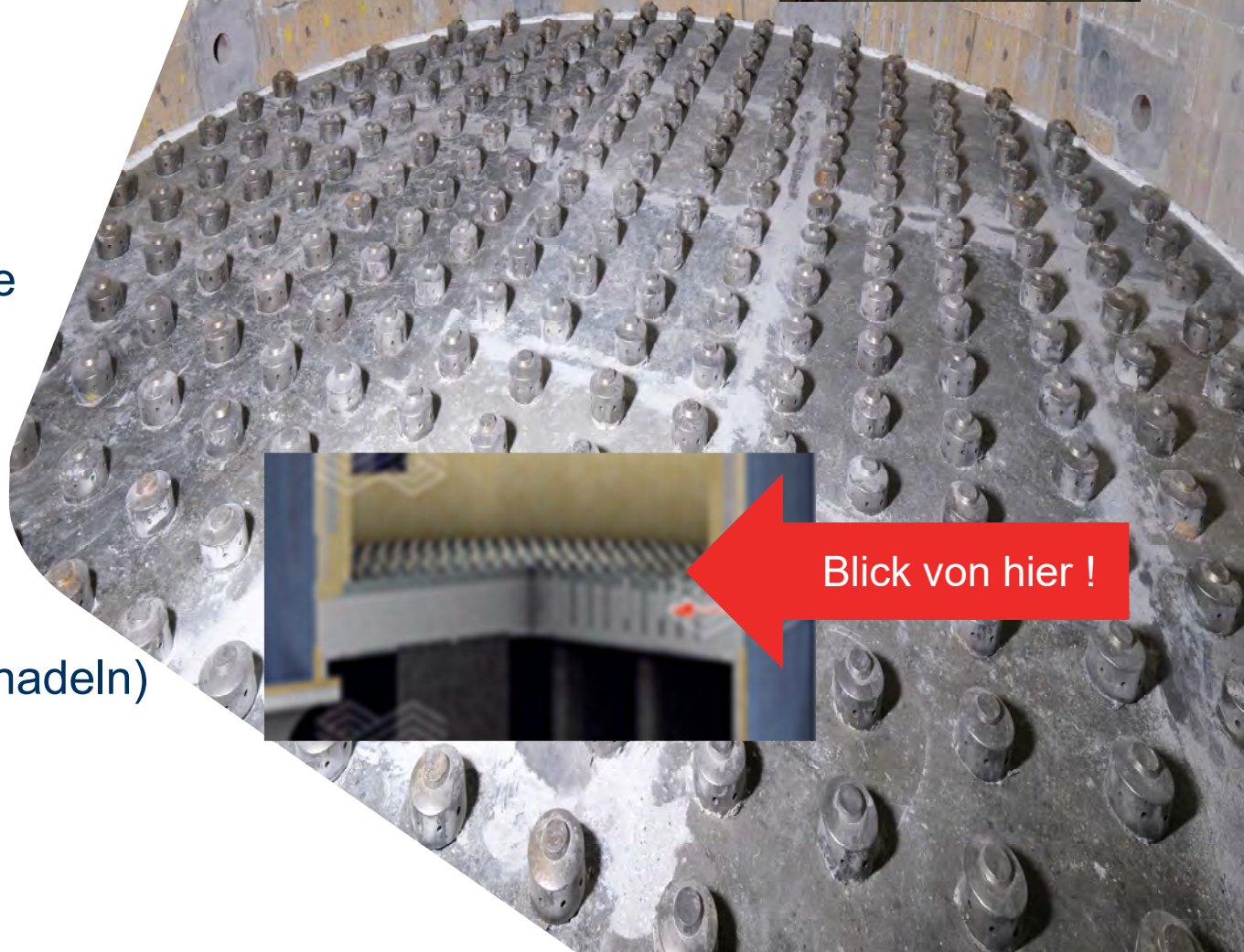


Düsenboden

Herausforderungen



- Schalungsarbeiten zum Vergießen der 1-Schicht ca. 380 mm
- Einbau der Düsenbleche mit Übergang in die Wandbereiche und einer gewissen Überlappung der Einzelbleche (für die Dichtigkeit)
- Düsen vor Materialeintrag schützen
- Vergießen der Verschleißschicht ca. 120mm (mit Stahlnadeln)
- Einbau der Sperrbleche



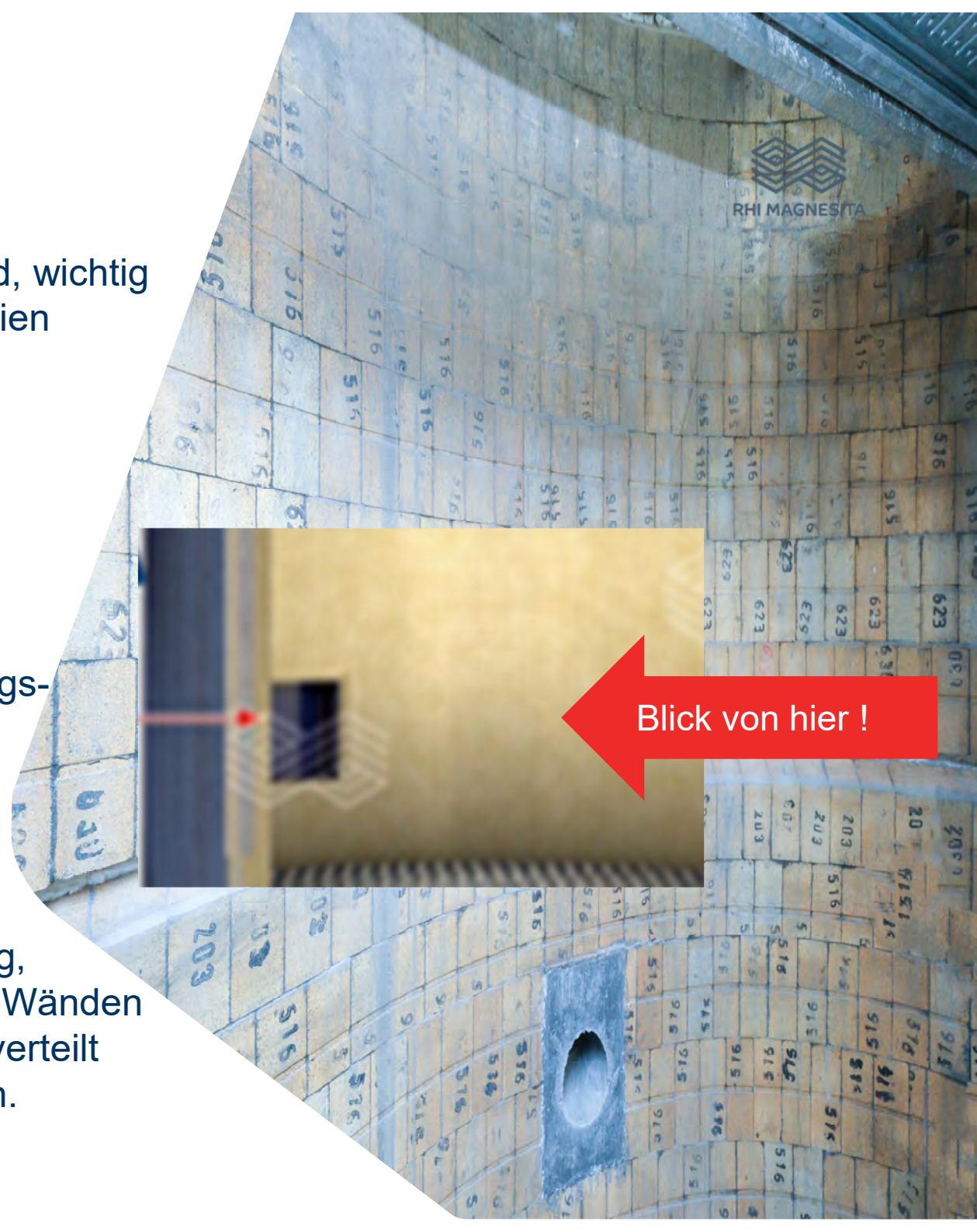
Blick von hier !

Wirbelbett

Herausforderungen



- Übergang von Wirbelbett auf Freeboard, wichtig Dehnfugenkonzept, da andere Materialien (Andalusit- auf Schamotte-Stein)
- Gleichmäßiges und gutes Fugenbild (wichtig, da Fugen immer ein Schwachpunkt sind, insbesondere bei hoher Belastung durch Partikel)
- Optimaler Schalungsbau für den Eintragsbereich, muss im gewissen Winkel sein, damit z.B. der Klärschlamm nicht an der Wand herunterfließt
- Auslegung der Konsolen ist sehr wichtig, Lasten aus Bauteilen wie Decken oder Wänden müssen abgefangen und gleichmäßig verteilt werden, um Spannungen zu reduzieren.



Freeboard

Herausforderungen



- Viele Luken und Öffnungen, daher viel Schneidarbeiten und Formenbau
- Gleichmäßiges und gutes Fugenbild (wichtig, Fugen sind immer Schwachpunkte insbesondere im Hinblick auf Infiltration von Prozessgasen, durch erhöhte Porosität)
- Übergang zwischen Wand und Decke, bezüglich unterschiedlicher Materialien und somit Beachtung des Dehnfugenkonzepts
- Zertifizierte Schweißarbeiten von Ankern (ca. 25 St/m²) im Deckenbereich



Decke/Transfer

Herausforderungen

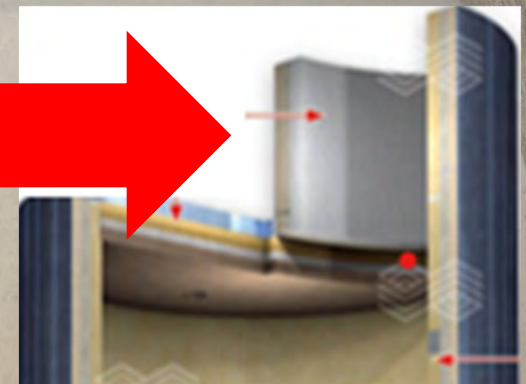


- Ausarbeitung einer Ellipse, diffiziler Formenbau
- Übergang von einer Ellipse auf einen quadratischen Transferkanal, ohne Übergang (Stufe)
- Sehr schmaler Kanal (innen 1222 mm nach Installation), daher ist Spritzen eine Herausforderung (>750 mm Abstand)
- Installation der Materialien im Transferkanal nur in zwei Schritten möglich, Boden gießen und Decke spritzen, daher sind die Übergänge sehr wichtig
- Gerüstbau spielt hier auch eine zentrale Rolle
- Zertifizierte Schweißarbeiten von Ankern (ca. 25 St/m²) im Übergangskanal (Decke) zum nachgeschalteten Kessel



Transferkanal

Blick von hier!

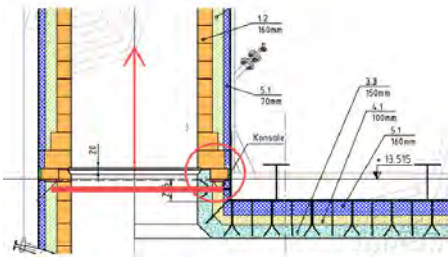


Generelle Punkte

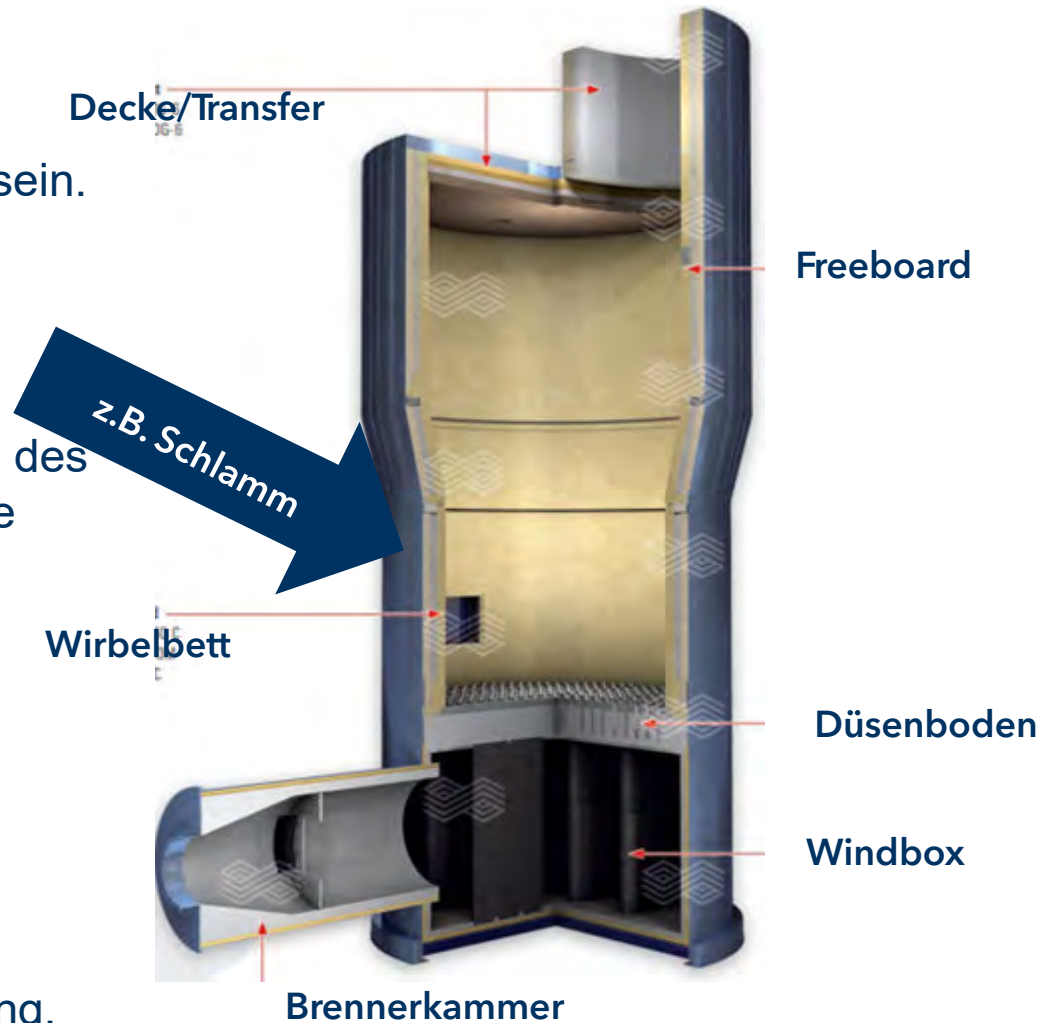
Herausforderungen



- Der Gerüstbau sollte grundsätzlich im Leistungsumfang des Anlagenbauers enthalten sein. Häufig wird er jedoch der Feuerfestfirma zugeordnet, kann zu höheren Kosten führen.
- Eine Abtrennung der Arbeitsbereiche im Transferkanal durch entsprechende Modifikation des Gerüstbaus erhöht die Effizienz und reduziert die Arbeitszeit.



- Die Auslegung der Konsolen erfolgt durch die Feuerfestfirma. Da die Konsolen jedoch dem Stahlbau zuzuordnen sind, sollten deren Lieferung, statische Berechnung und Montage durch den Anlagenbauer erfolgen.



Agenda

- 1 Allgemeine Information zu RHIM
- 2 Projektabwicklung von A-Z
- 3 Theorie der unterschiedliche CFB Aggregate
- 4 Praktische Anwendung
- 5 **RHIM Materialien (Übersicht)**

“Die wichtigsten Sorten für die thermische Abfallbehandlung”

Feuerfeste Massen / Steine



Grade	Al ₂ O ₃ %	CaO %	BD 1000°C Kg/dm³	CCS 1000°C N/mm²	Thermal conductivity				TL °C (1000°C)	AR³ cm³	Einsatz
					400°C	800°C	1000°C	1200°C			
					W/mK	W/mK	W/mK	W/mK			
RC-Massen											
Evercast MC F41-6	41,0	3,4	2,20	95,0	0,90	1,00	1,10	1,30	0,45	8,50	Siphon/Fließbettkühler /Kanäle/ Austritt / Düsenboden- Wirbelbett / Übergang
Evergun F50-6	53,0	7,7	2,20	70,0	0,87	0,85		0,93	0,53	14,00	Austritt / Decke- Zyklon
LC and NC refractory castables											
Everflow LC F56COR6											Einlaufkanal und Rückführzyklon/Free Board
Everflow LC M63ABR6	63,0	2,5	2,55 815	150,0	1,60	1,54		1,50	0,55	6,00	Wing Wall /Düsenboden- Windbox / Wirbelbett
Everflow Sol B89-6	89,0	0,8	2,86	1500	2,20	2,30		2,40	0,6	5,5	Wing Wall
Evergun DLC F53-6	53,0	2,3	2,23	70,0	0,95	0,97		1,05	0,55	10,50	Decke-Zyklon / Decke-Free Board
Evergun DLC B8-6	84,0		2,70	85,0	1,80	1,75		2,00	0,6	6,50	Decke-Zyklon
Evergun SB F53-6	50,0		2,05	45,0	1,30	1,40		1,60	0,5		Decke-Zyklon / Decke-Free Board
Evercast Sol F53-6	52,5		2,34	110,0	1,50	1,60		1,80	0,55	9,00	Siphon/Fließbettkühler /Kanäle / Free Board
Evercast Sol M64-6	64,0		2,42	110,0	1,80	1,75	1,83	1,95	0,60	6,00	Windbox/ Düsenboden- Wirbelbett / Wirbelbett
Evercast Sol B87-6	85,0	0,8	2,75	1400	2,20	2,30	2,40	2,40	0,6	5,0	Düsenboden-Windbox

“Die wichtigsten Sorten für die thermische Abfallbehandlung”

Feuerfeste Massen / Steine



Grade	Al ₂ O ₃ %	CaO %	BD 1000°C Kg/dm ³	CCS 1000°C N/mm ²	Thermal conductivity				TL °C	AR ³ cm ³	Einsatz
					400°C	800°C	1000°C	1200°C			
					W/mK	W/mK	W/mK	W/mK			
Ramm-Masse											
Everuni B85ABRP-3	85,0		2,90	180,0	2,30	2,40	2,40			2,70	Wing Wall
Steine											
Maxial 334	39,0	0,4	2,25	65,0	1,40	1,55	1,50	1,50	0,37		Wind box / Zyklon- konischer Bereich
Maxial 306	48,0	0,2	2,28	55,0	1,35	1,40	1,45	1,50	0,7		Free Board
Resistal SK60CH	60,0		2,57	110,0	1,91	1,92	1,97		0,65	7,0	Wirbelbett

1. Markierte Produkte sind besonders schnell aufheizbare Produkte / Highlighting products suitable for fast heat-up particularly enthalten bezieht sich die Anwendungsgrenztemperatur auf reduzierende
2. Für Sorten die SiC enthalten bezieht sich die Anwendungstemperatur auf reduzierte Atmosphäre / For SiC-containing grades the Temperature Limit relates to reducing atmospheres
3. ASTM C704

AP	offene Porosität / Apparent Porosity
AR	Abriebfestigkeit / Abrasion resistance
TL	reversible Längenänderung / linear change
BD	Rohdichte / Bulk density
CCS	Kaltdruckfestigkeit / Cold crushing strength
TSR	Temperaturwechselbeständigkeit / Thermal shock resistance
RUL	Druckerweichen / Refractoriness under load

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Get in Touch

Klingholzstrasse 7
65189 Wiesbaden
Phone: +49 611 2366 360
rhimagnesita.com

Sascha Koch, Dipl. Ing.
Sales Director, Head of Waste to Energy
Phone: + 49 151 58050725
Email: Sascha.Koch@rhimagnesita.com

Heike Schlosser
Technical Marketing
Phone: + 49 176 18750438
Email: Heike.Schlosser@rhimagnesita.com



Aufwirbelnde Innovationen an der BOKU University

15. Österreichisches IEA Wirbelschichttreffen

Universität für Bodenkultur Wien
Instituts für Verfahrens- und Energietechnik (IVET)

Benjamin Fleiß, Theresa Brunauer, Gregor Karte, Hanna Jagenteufel, David
Wöß, Florian Benedikt

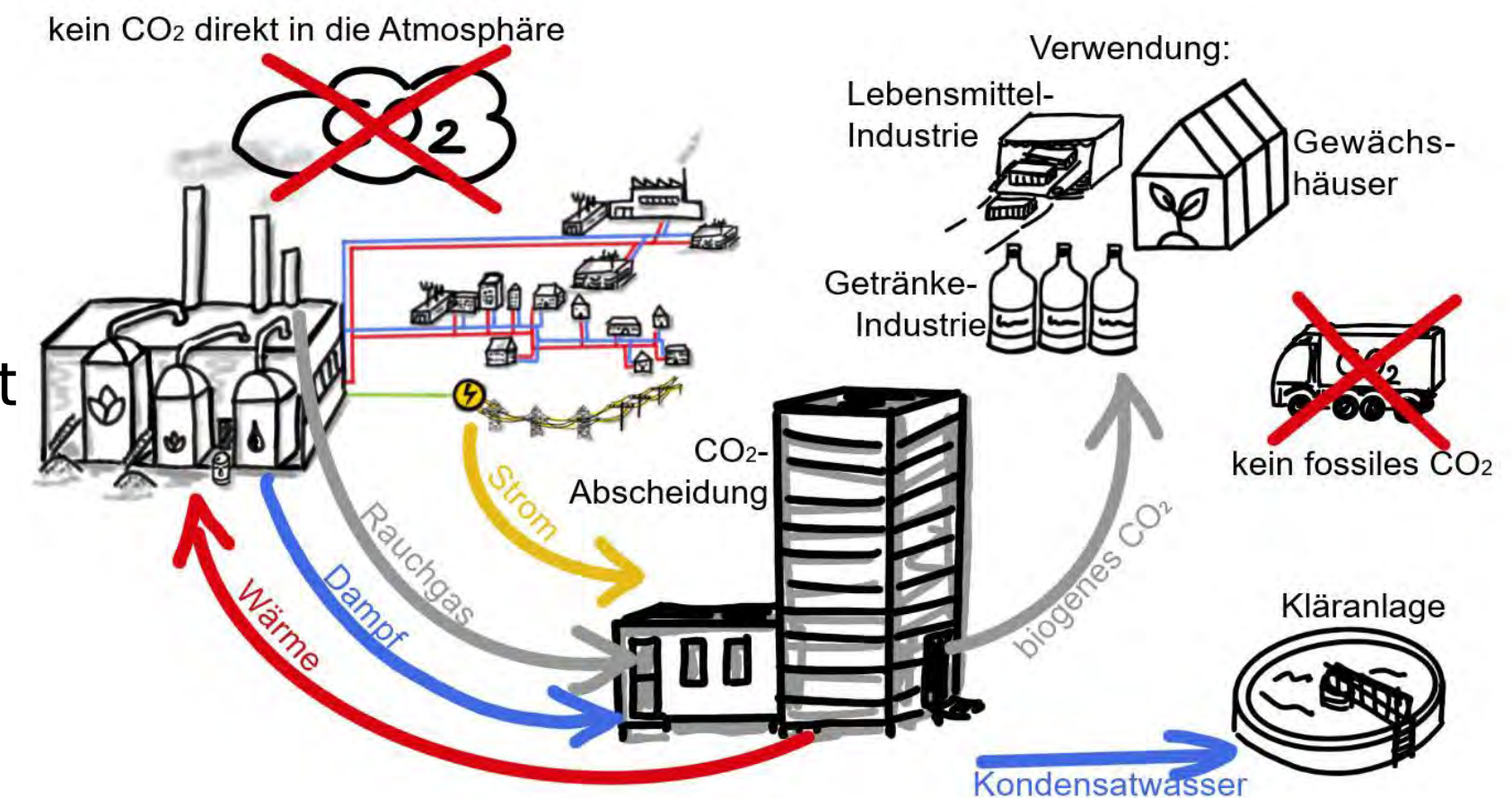


Agenda

- Hochreines CO₂ für die Lebensmittelindustrie
- Klärschlamm als Energiespeicher mit Phosphorrückgewinnung
- Elektrische Heizstäbe in Wirbelschichten
- Interne Koksabscheidung und Rückführung
- Hochreiner Wasserstoff aus Biomasse mit CO₂ Abscheidung

BioFizz Projekt - Bereitstellung von biogenem CO₂ mittels Wechseladsorption für die Lebensmittel- und Getränkeindustrie

- **Post Combustion** Capture Technologie
- Bessere Alternative zur Aminwäsche auf **TRL5**
- Ideal mit **Biomasseheizkessel** und **CO₂ Bedarf** vor Ort
- Lebensmittel-CO₂ (E 290) benötigt:
 - **Hohen Reinheiten** und keine Verunreinigungen wie
 - Schwefel, NO_x, Nitrosamine, NH₃
- Gute **Initialimplementierung** für BioCCS wegen:
 - Ähnlichen Reinheitsanforderungen wie für Kompression, Transport und Speicherung
 - CO₂ Preis bei etwa 100 €/tCO₂



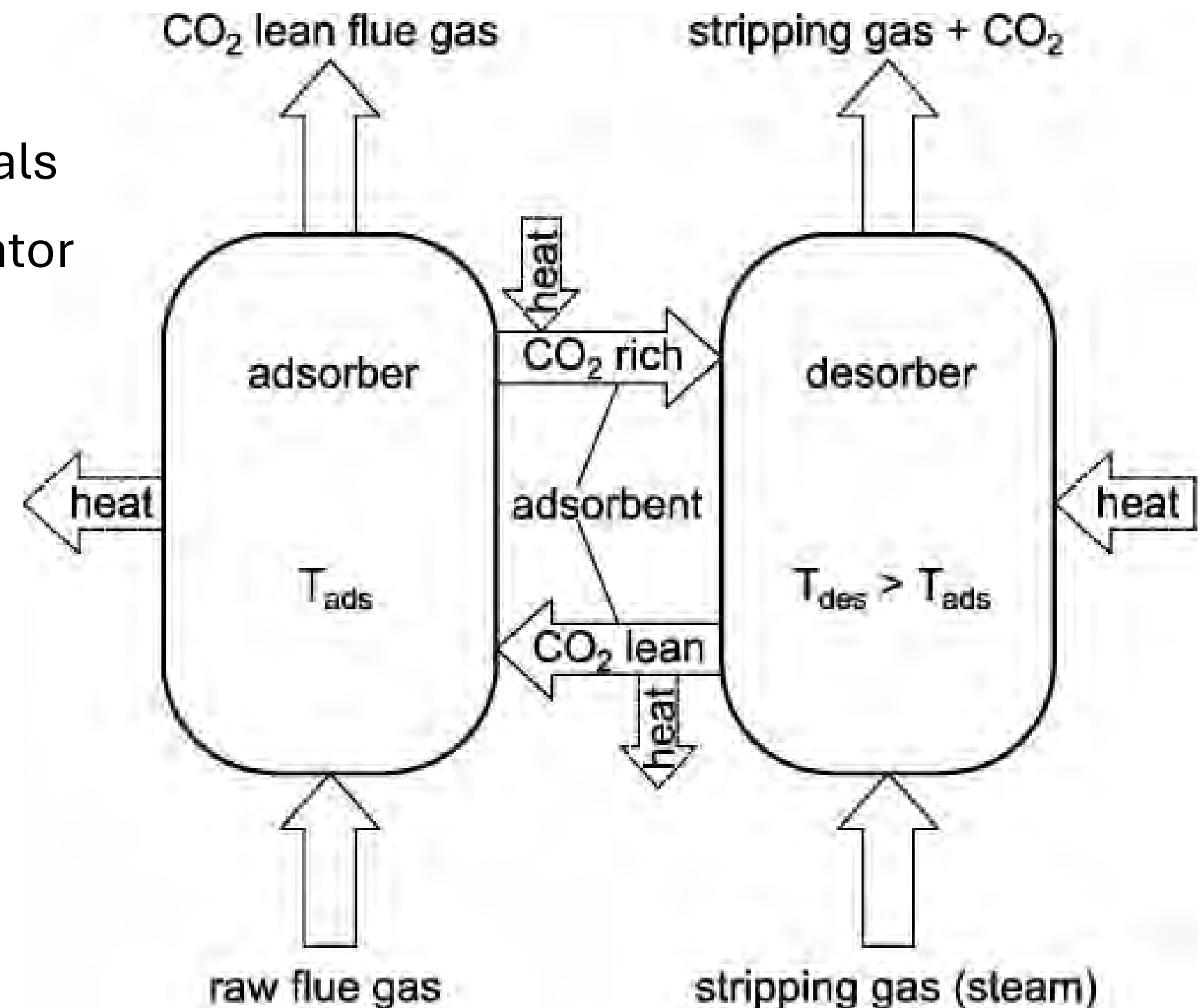
BioFizz Projekt - Temperaturwechsel Adsorption (TSA)

Bessere Energieeffizienz:

- Niedrigere **Wärmekapazität** des CO₂-Trägermaterials
- Keine **Wasserverdampfung** im Desorber/Regenerator
- Erhöhte CO₂ **Transportkapazität**
- Verbesserte **Wärmeintegration**

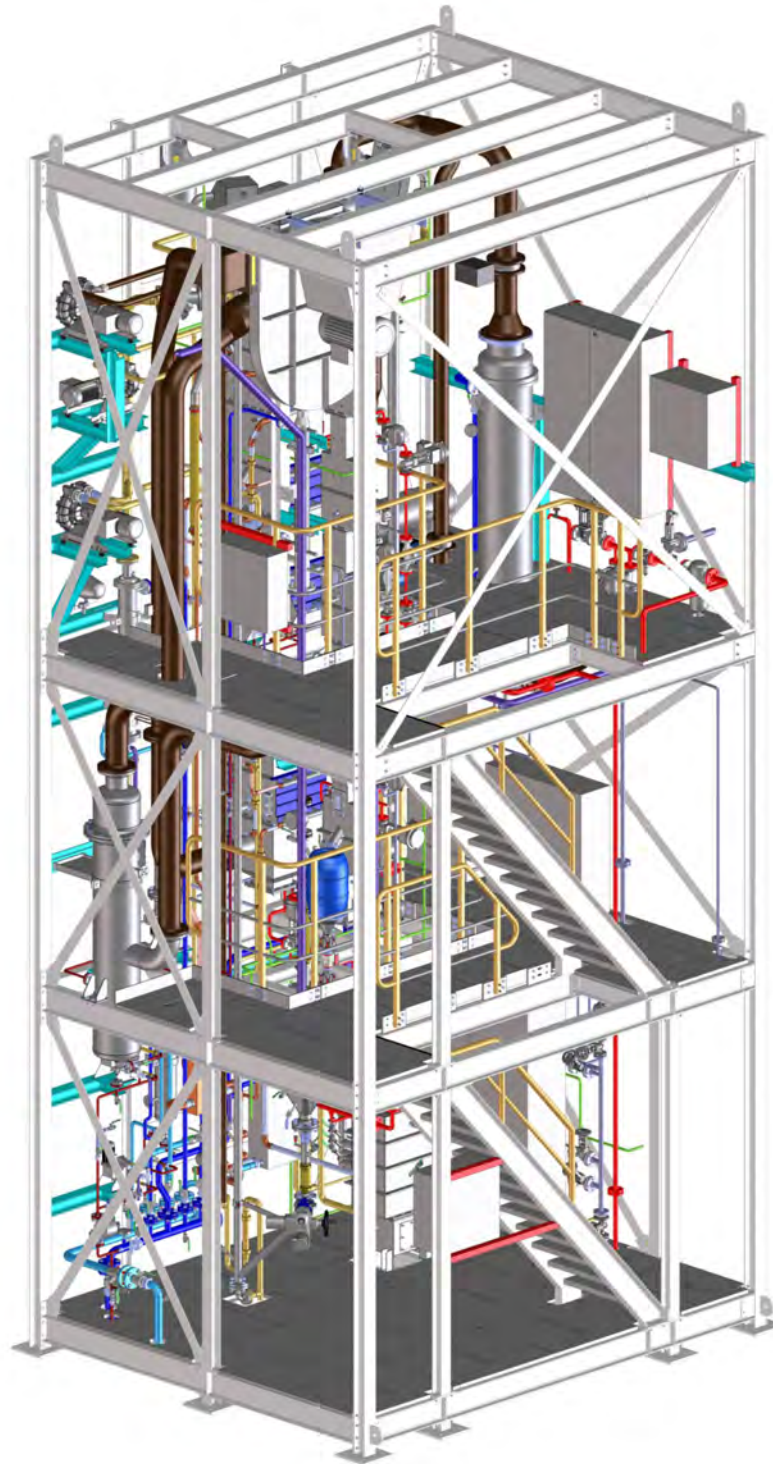
Reduzierte Investmentkosten:

- Signifikant **kleinere Adsorber** Kolonnen
 - Niedriger benötigte **Materialstandards**
 - Geringere Aufwand der **Emissionskontrolle**
- Höhere **CO₂ Reinheit**

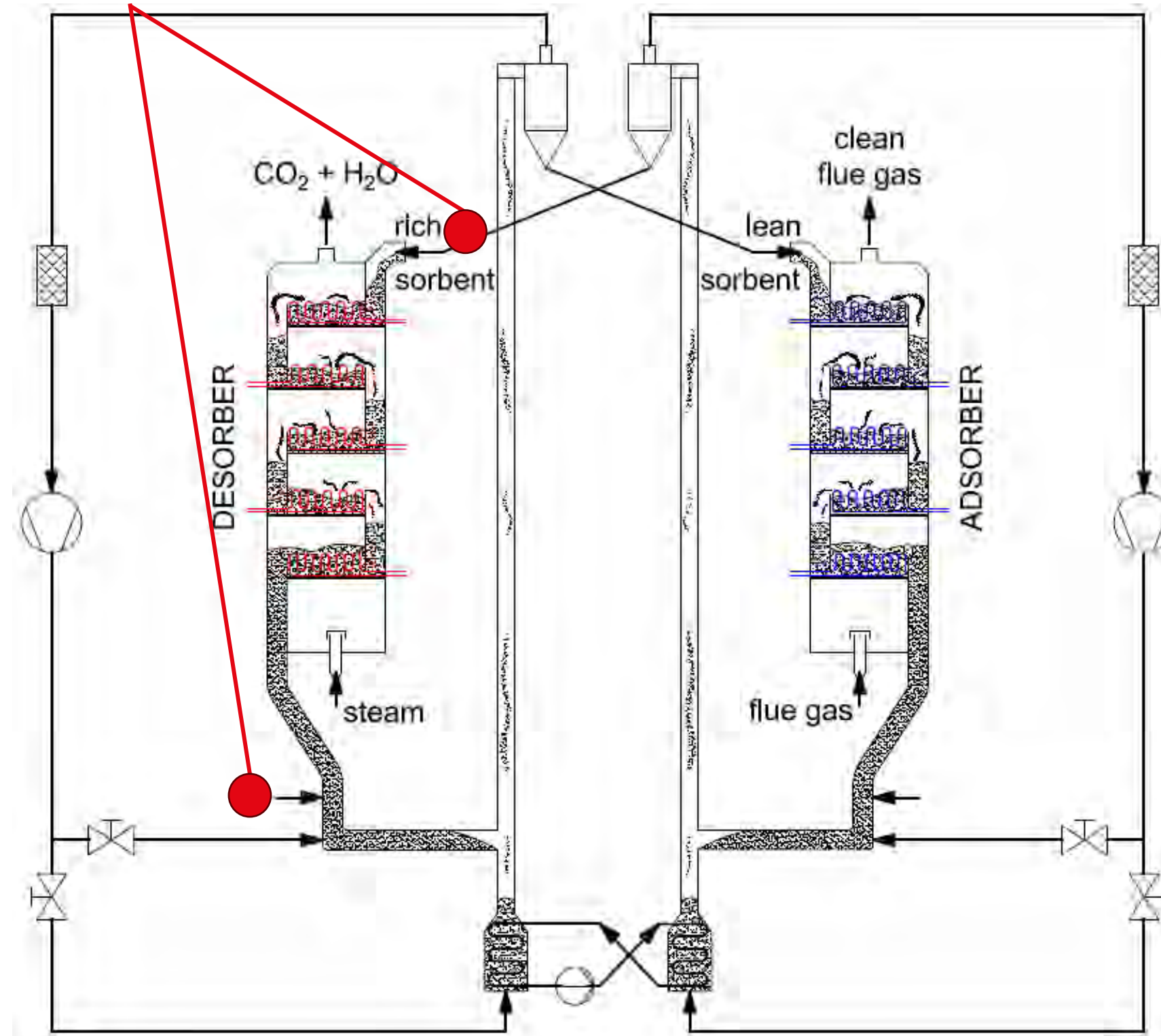


BioFizz Projekt - Pilotanlagen von 250-600 kgCO₂/day (TRL5)

Gasabdichtung ist essenziell



ViennaGreenCO₂



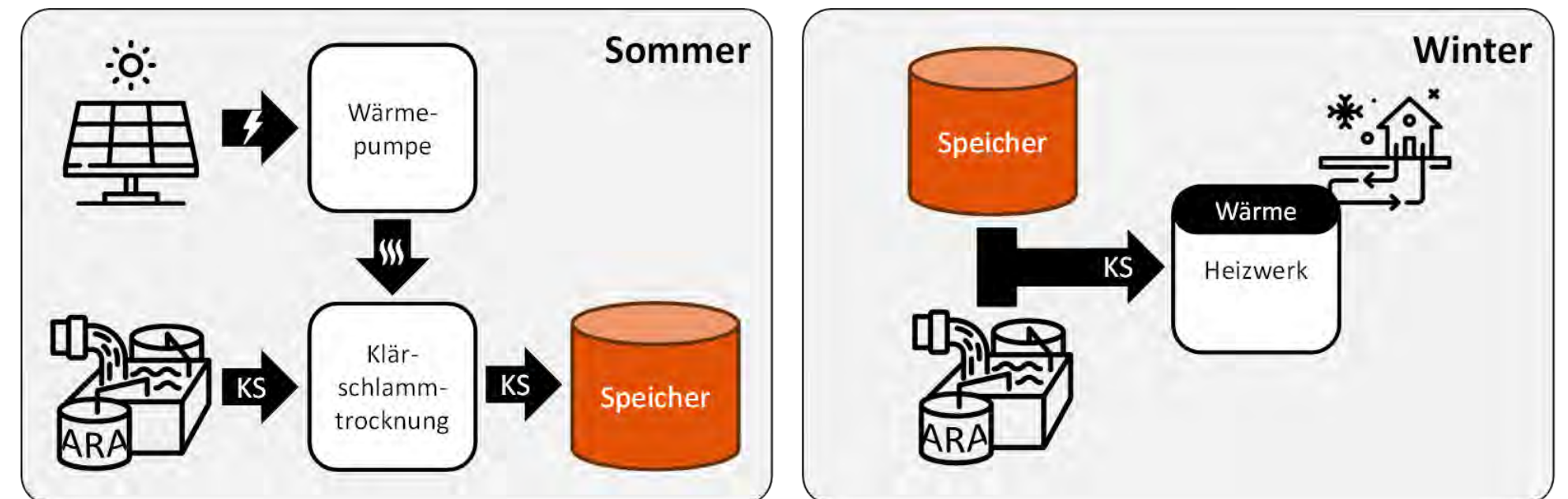
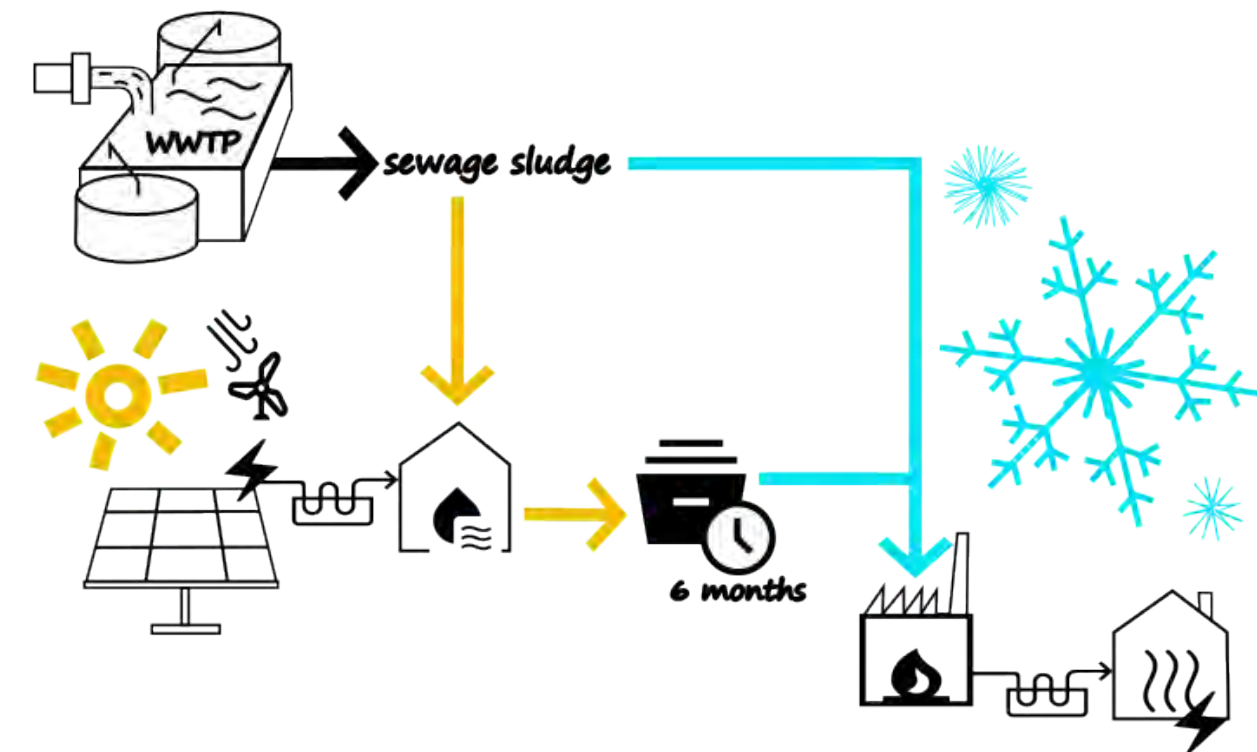
<https://doi.org/10.1007/s13399-017-0293-3>



scheuch
TECHNOLOGY FOR CLEAN AIR

K4S Projekt - Klärschlamm für saisonale Speicherung

- Klärschlamm als Brennstoff zur Wärmebereitstellung
 - Trocknung und Einlagern im Sommer bei Energieüberschuss (90%ige Trockensubstanz)
 - Verbrennung im Winter bei Wärmebedarf
 - Modellstudie,
 - Ökonomie und
 - Technologiescreening
- Trocknung: Solartrocknung
- Verbrennung: Wirbelschicht mit P-XTRACT



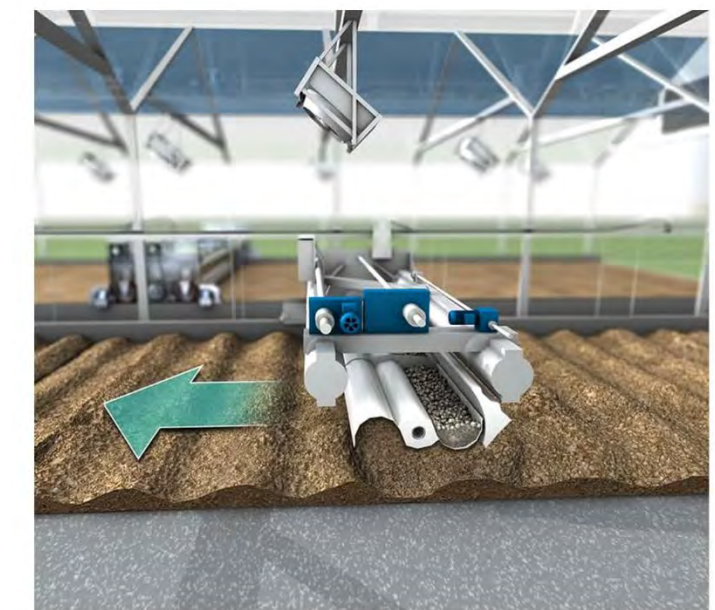
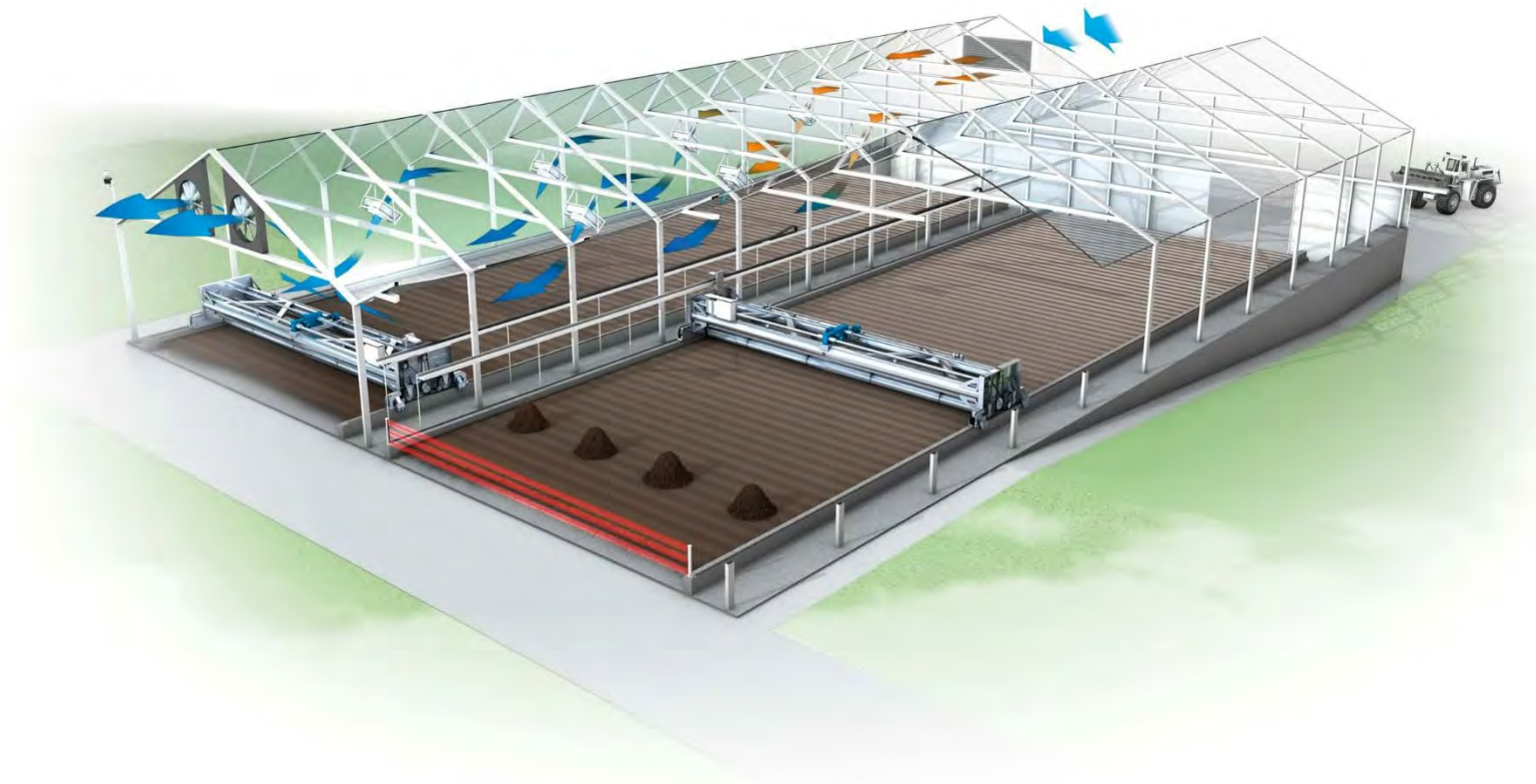
K4S Projekt - Klärschlamm-trocknung

Besonderheiten:

- Schlammwender: Verteilung, Granulierung, Belüftung, Mischen
- Rückmischung reduziert Gerüche und beschleunigt Trocknung
- Automatisierte Zuführung und flexible Entnahme

Vorteile:

- Geringerer Energieaufwand durch Sonnenenergie
→ 95% geringer Energieverbrauch (Gebläsetrocknung)
- Homogener, stabiler, trockener Schlamm
- Langlebige, wartungsarme Technologie



<https://www.huber-se.com>

K4S Projekt – Wirbelschichtverbrennung mit P-XTRACT

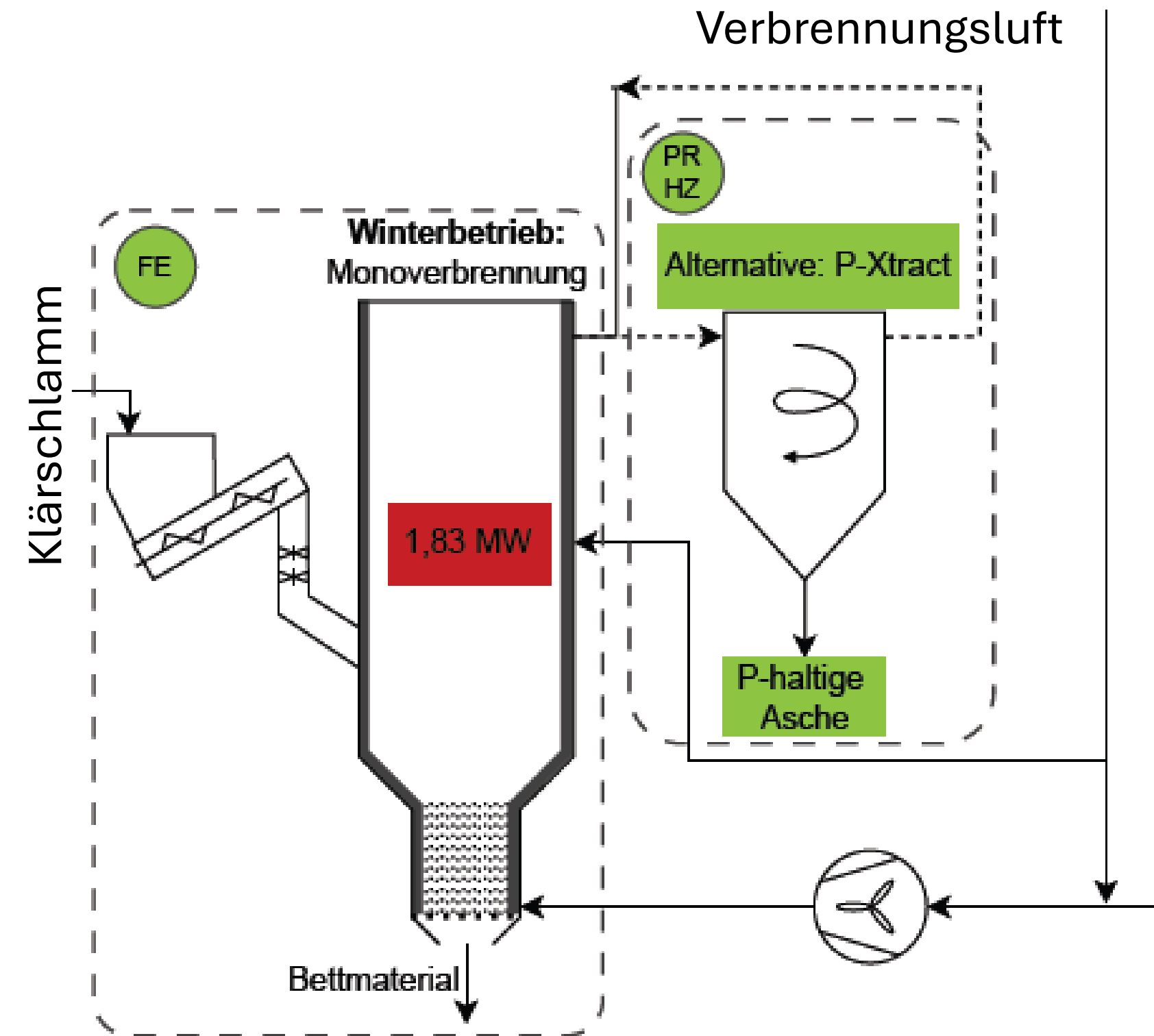
Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm

P-XTRACT-Verfahren:

- Wirbelschichtverbrennung mit (Erd-)Alkali-Additiven
- Reduzierende und oxidierende Atmosphäre
- Schwermetalle in Gasphase
- Phosphor in Flugasche ($> 700^{\circ}\text{C}$)
- Verbesserte Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors

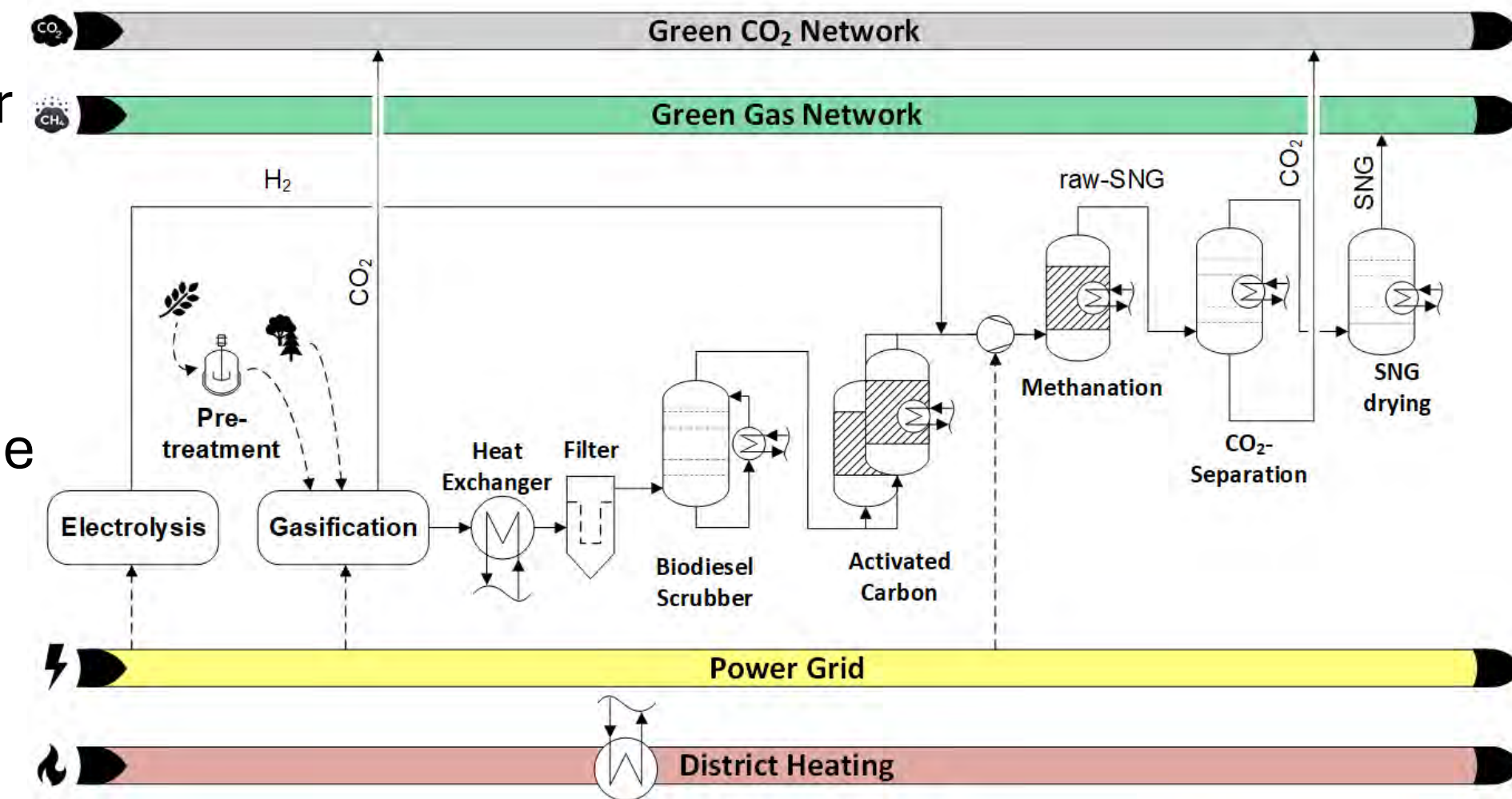
Die P-XTRACT Pilotanlage:

- **Kapazität:** 0,72 Mg/h (TS 25 %), 8000 Betriebsstunden/Jahr
- **Standort:** Kläranlage Staufener Bucht (114.000 EW)



I/O-Gas Projekt - Integration und Optimierung der Produktion von erneuerbarem Gas aus biogenen Reststoffen

- **I/O-Gas** untersucht die gesamte Prozesskette der Gaserzeugungsproduktion
- Behandlung zentraler Herausforderungen bei Vergasung, Gasreinigung und SNG-Produktion
- Sektorkopplung mit dem Energiesystem erhöht die Kohlenstoffnutzung
- Reduzierung der SNG-Produktionskosten



Zusätzliche Energiezufuhr durch elektrische Beheizung

Elektrische Widerstandsheizung im Wirbelschichtbett



Warum elektrisch beheizte
Wirbelschichtgaserzeugung?

Vollständige
Umwandlung von
Biomasse in
Synthesegas

Raue Umgebung

Konstruktions- und
Materialherausforder
ungen

Überschüssige
Energie integrieren
–
Langzeitspeicheru
ng von Energie

Frühes
Forschungsstadium

Verbesserte
Temperatur- und
Prozesskontrolle

Vereinfachtes
Reaktorsystem mit
vollständig
elektrischer
Beheizung

Hervorragende
Wärmeübertragung und
gleichmäßige
Temperaturverteilung.

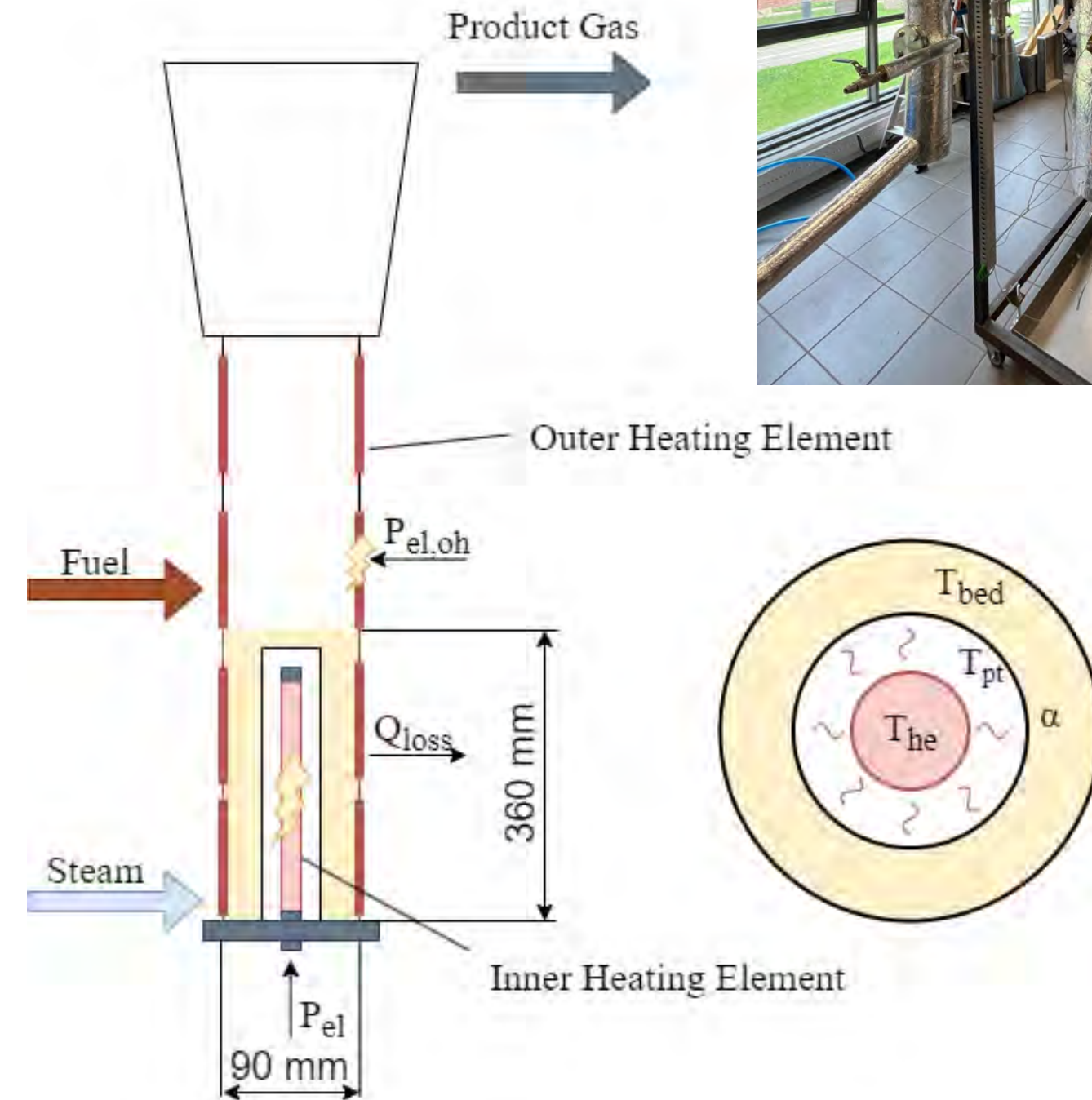
Hohe Kaltgas-
Wirkungsgrad

I/O-Gas Projekt – 20 kW Wirbelschichtreaktor

- Installation des inneren Heizelements mit Schutzrohr
- Durchführung von Experimenten zur Funktionalität, Systemleistung, Wärmeübertragung usw.
- Vergleich und Validierung von Simulationsergebnissen und experimentellen Ergebnissen

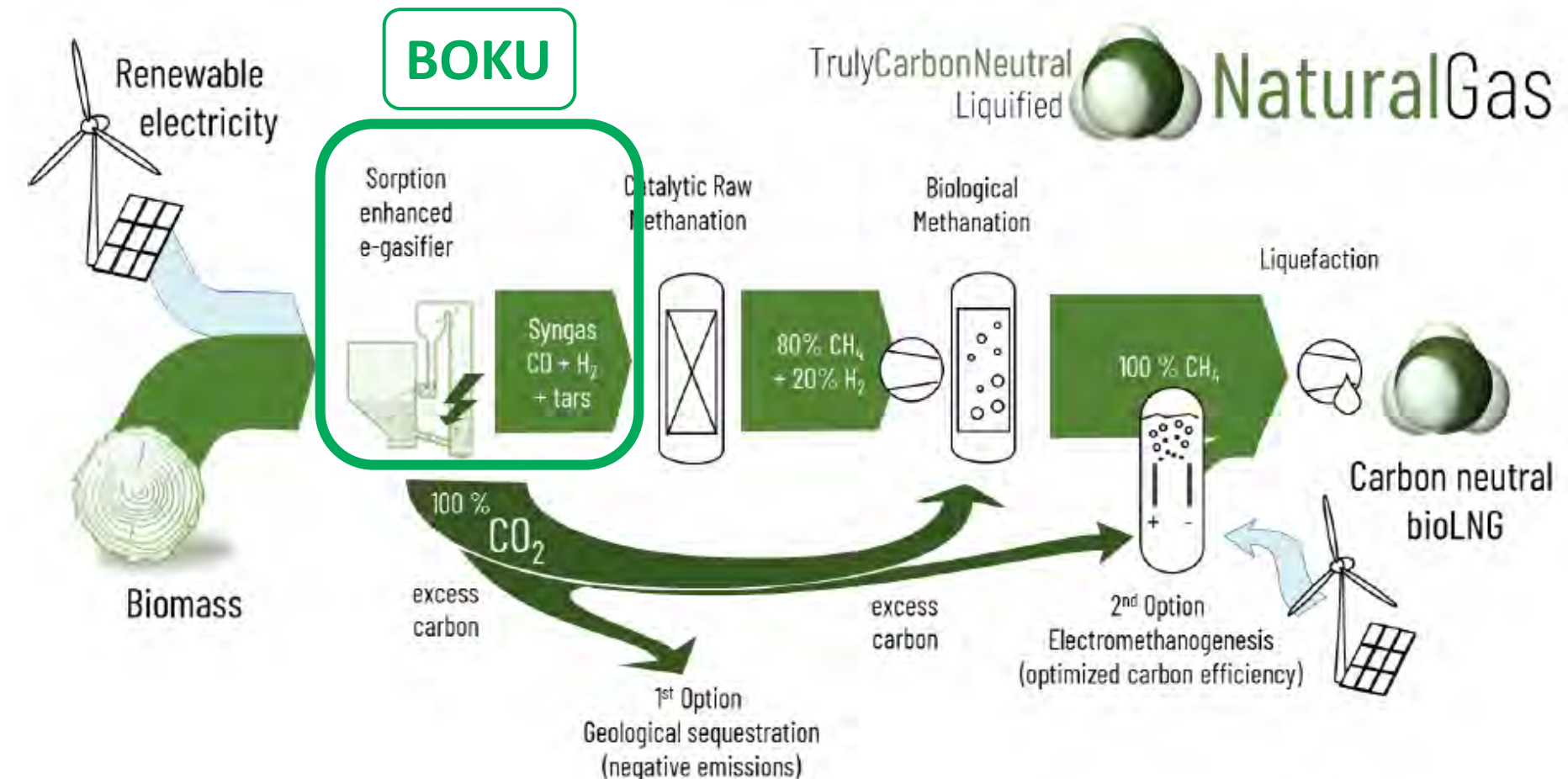
Allgemeines Ziel:

- Schließen von Forschungslücken in der Technologie elektrisch beheizter Wirbelschichtreaktoren
- Fortgeschrittenes Verständnis von Konstruktion, Betrieb und Effizienz
- Untersuchung von Optimierungsmöglichkeiten für industrielle Anwendungen



CarbonNeutralLNG - Truly Carbon Neutral electricity enhanced Synthesis of Liquefied Natural Gas (LNG) from biomass

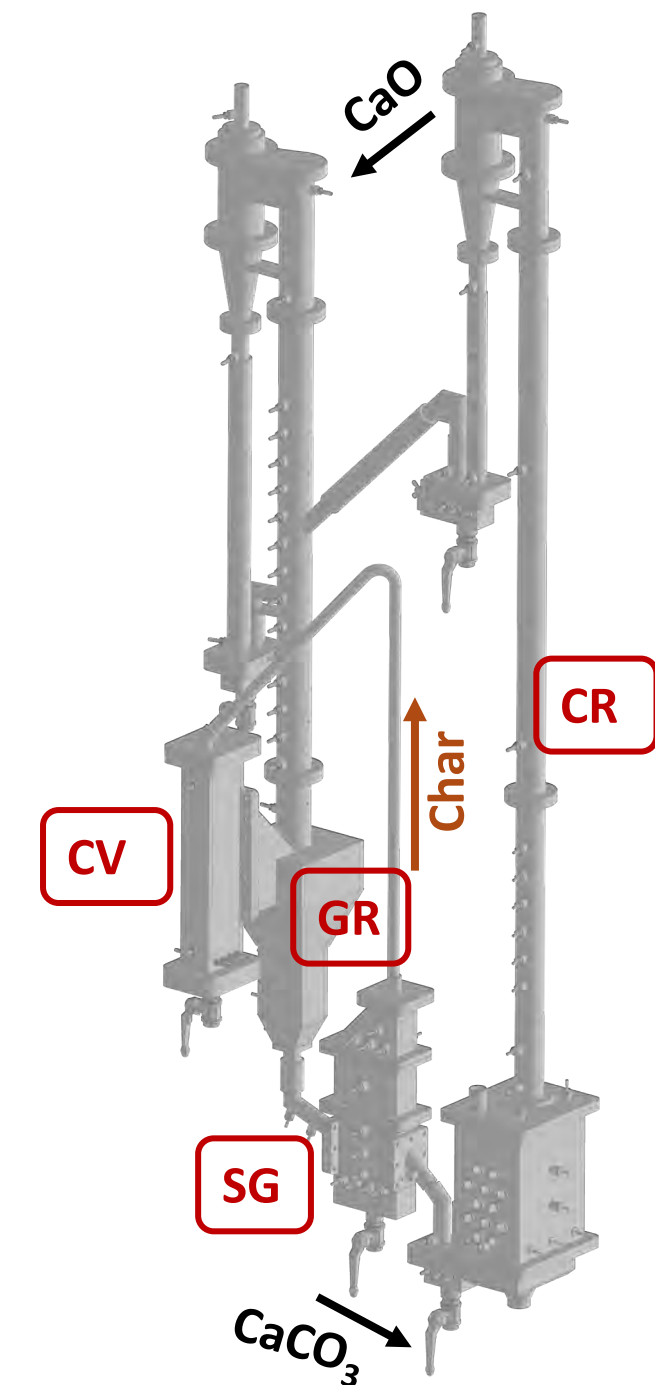
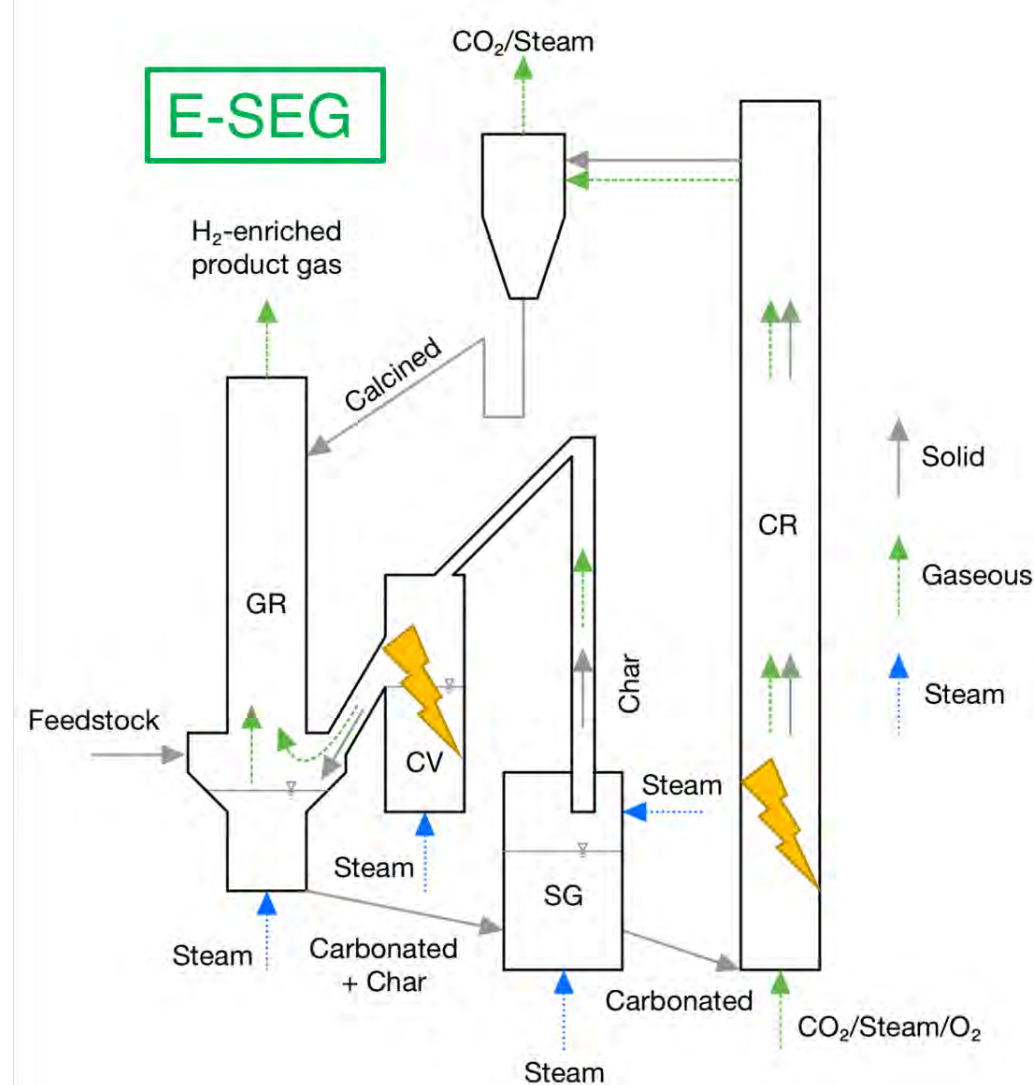
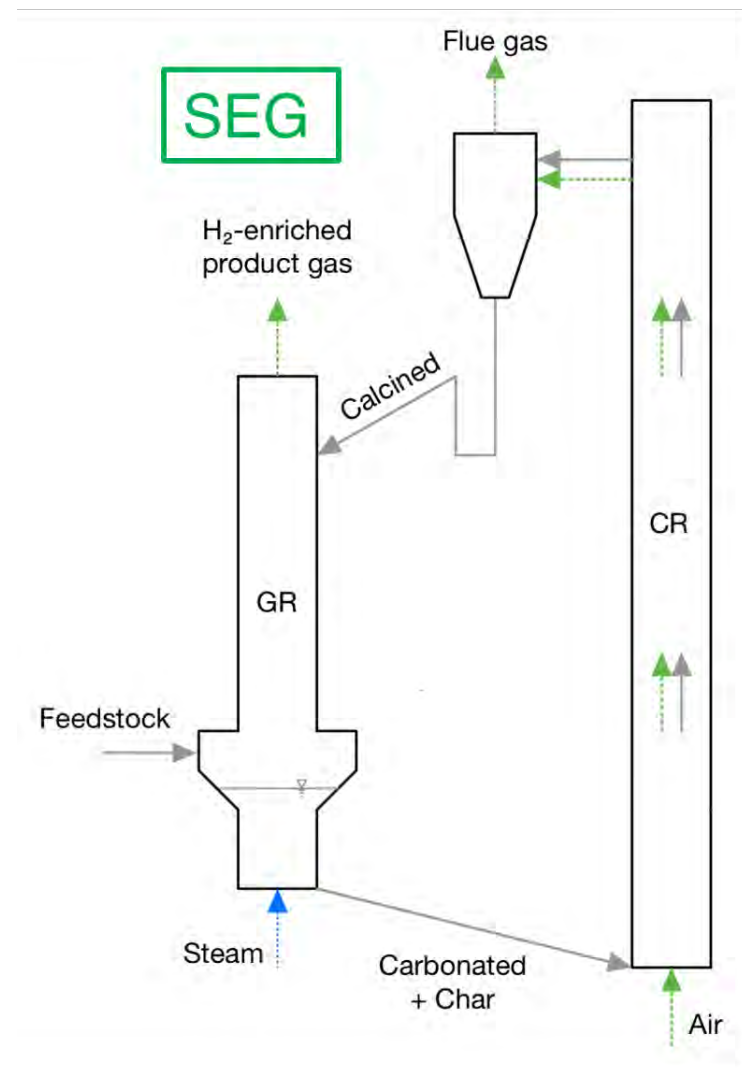
- **Neue Prozesskette für kostengünstige und kohlenstoffeffiziente LNG-Produktion vor:**
- **Elektrifizierte sorptionsunterstützte Vergasung (E-SEG)**
 - Verbesserte Kohlenstoffeffizienz
 - Wasserstoffreiches Produktgas
- **Katalytische Methanisierung mit in-situ Teerumwandlung**
 - Methan
- **Abscheidung von überschüssigem Kohlenstoff**
 - Negative Emissionen oder
 - erhöhte Kohlenstoffausbeute



CarbonNeutralLNG - Elektrifizierte sorptionsunterstützte Gaserzeugung

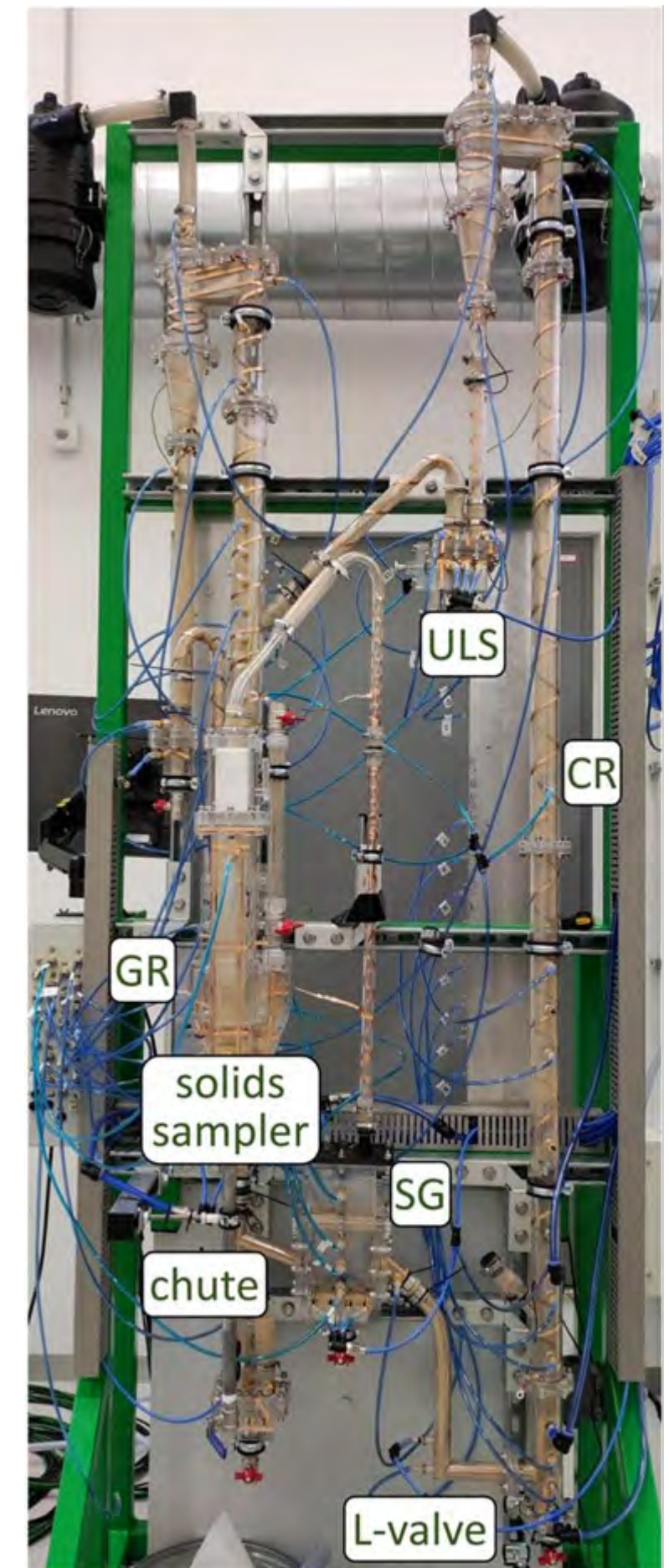
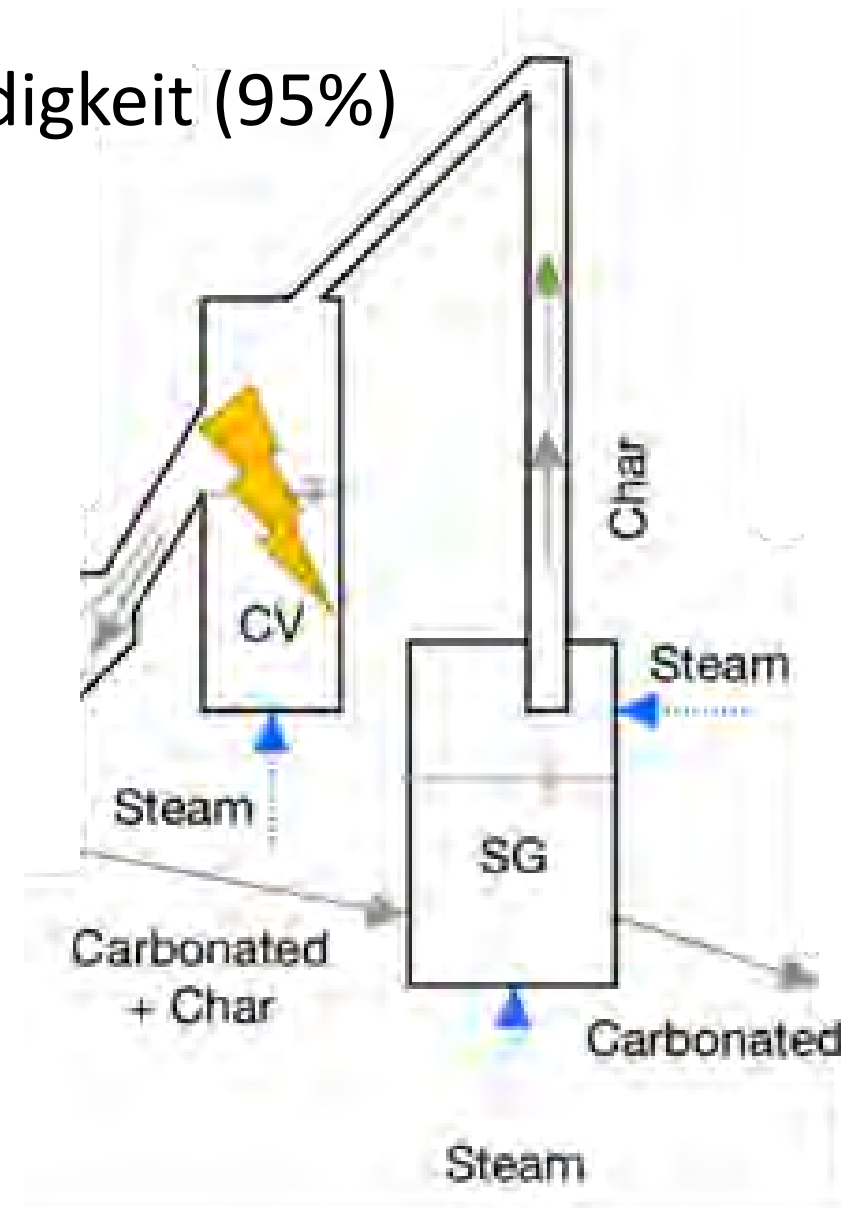
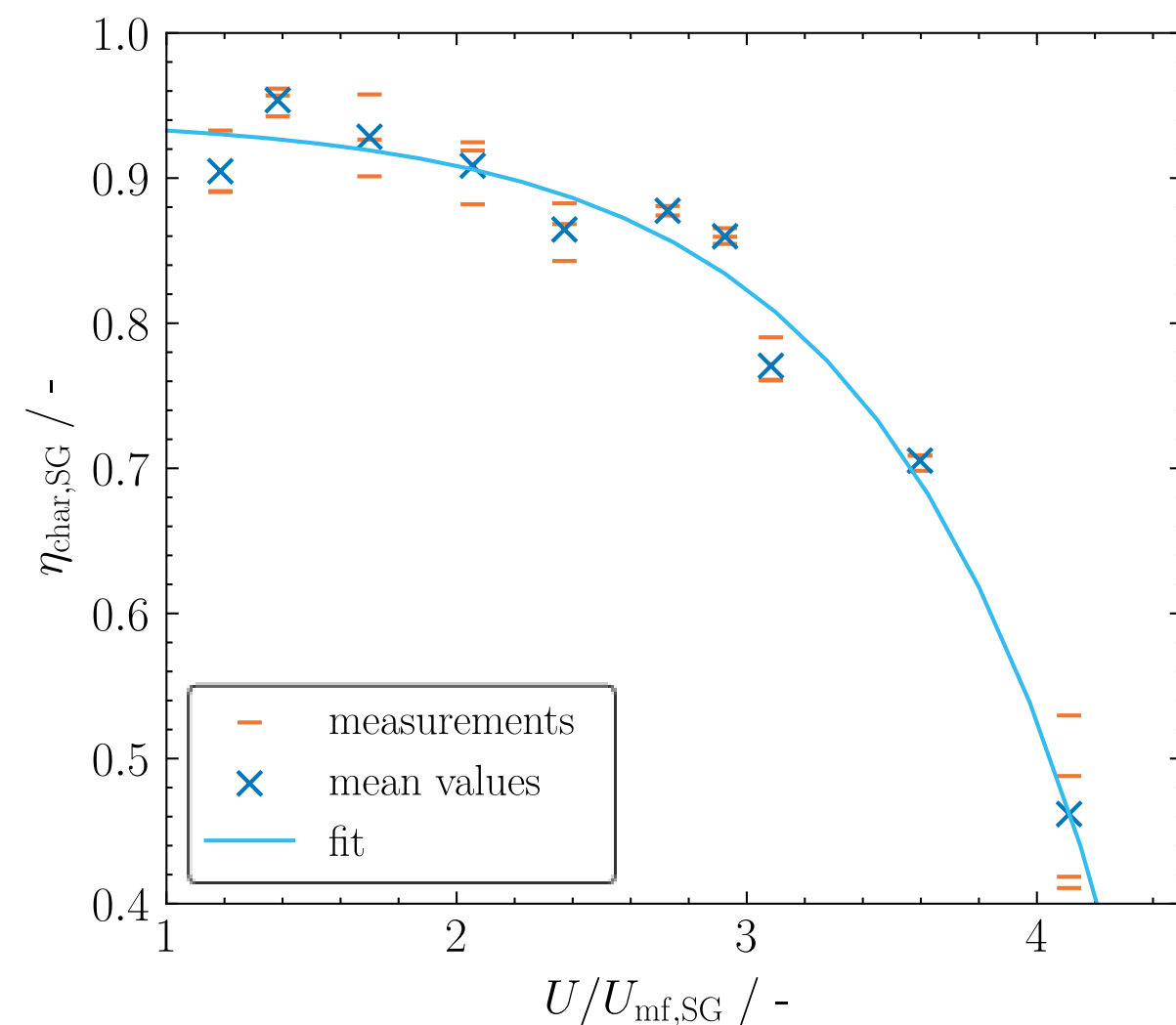
- Interne CO_2 Abscheidung für höheren Wasserstoffgehalt im Gas
- Dichteinduzierte **Kokstrennung** im leicht fluidisierten Segregator (SG)
- Elektrifizierte Kalzinierung im Riser mit blasenbildender Wirbelschicht (CR)
- Hochtemperaturgaserzeugung von Koks im Konverter (CV)

50 kW Pilotanlage
→ Winter 2026



CarbonNeutralLNG – Interne Koksabscheidung

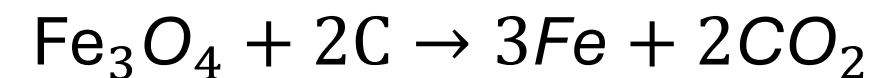
- **Fluiddynamische** Untersuchungen im **Kaltmodell**
- Koks als **Plastikpartikel** werden im SG **abgeschieden**
- Transport über **Riser** in den **Konverter (CV)**
- Koksabscheidung abhängig von der Gasgeschwindigkeit (95%)



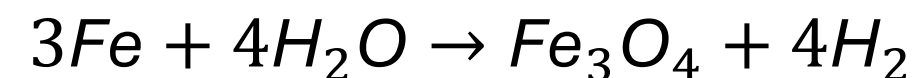
ENHANCED Projektantrag - Ermöglichung negativer Emissionen durch Wasserstoffproduktion mittels fortschrittlichem Chemical-Looping

- **Steam-Iron-Reaction (SIR)**
- **Entwicklung im 19. Jahrhundert:**
Methode zur Wasserstoffproduktion aus Koks für Luftschiffe

- **Reduktion:**



- **Oxidation:**



- **Projektziel:**
 - Wiederentdeckung für **ultra-grünen Wasserstoff** aus Biomasse.
 - Integration in **CCS** und **BECCS** für negative Emissionen.

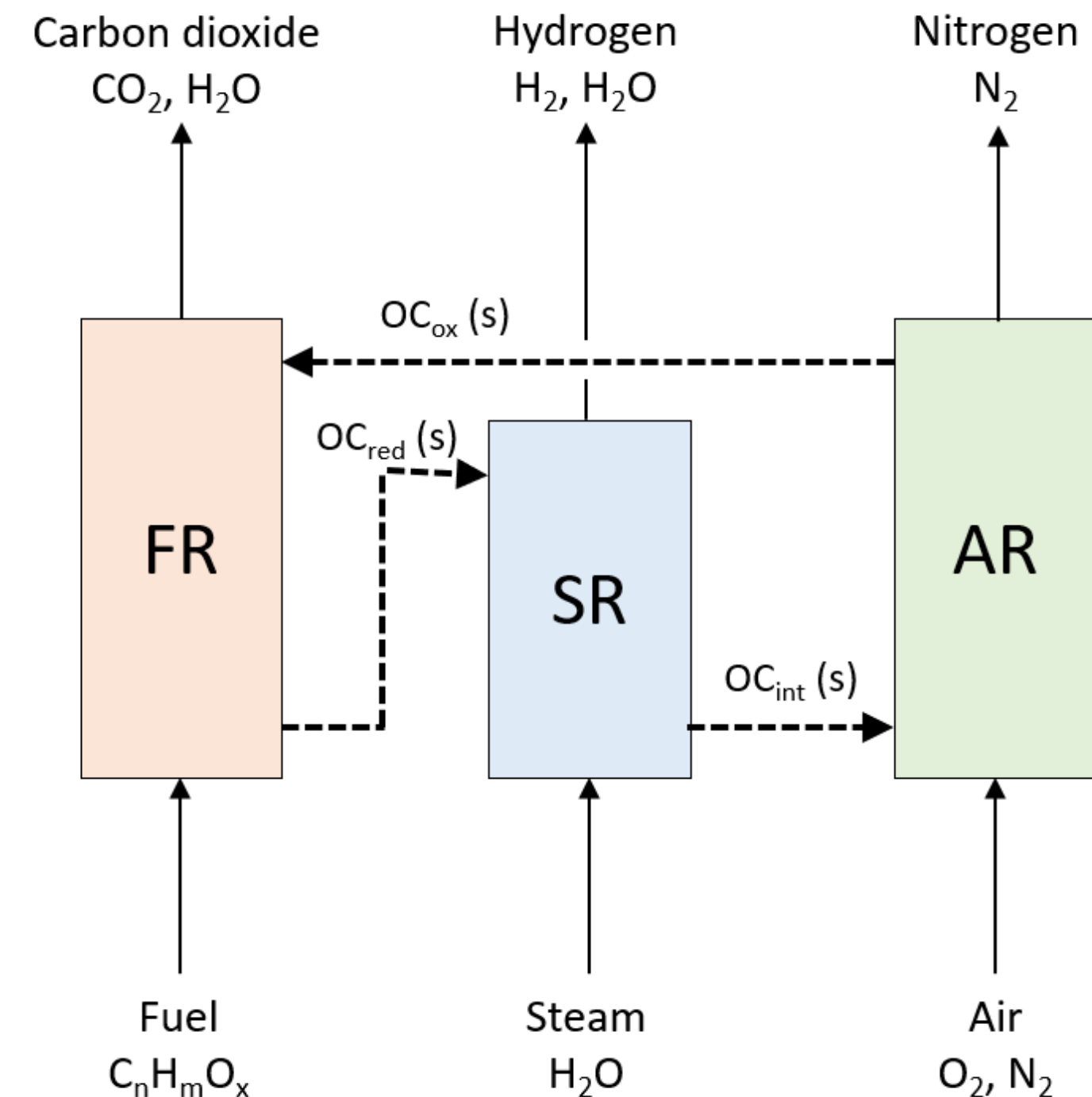


<https://www.zepplin-museum.de>



ENHANCED Projektantrag – Chemical Looping Hydrogen

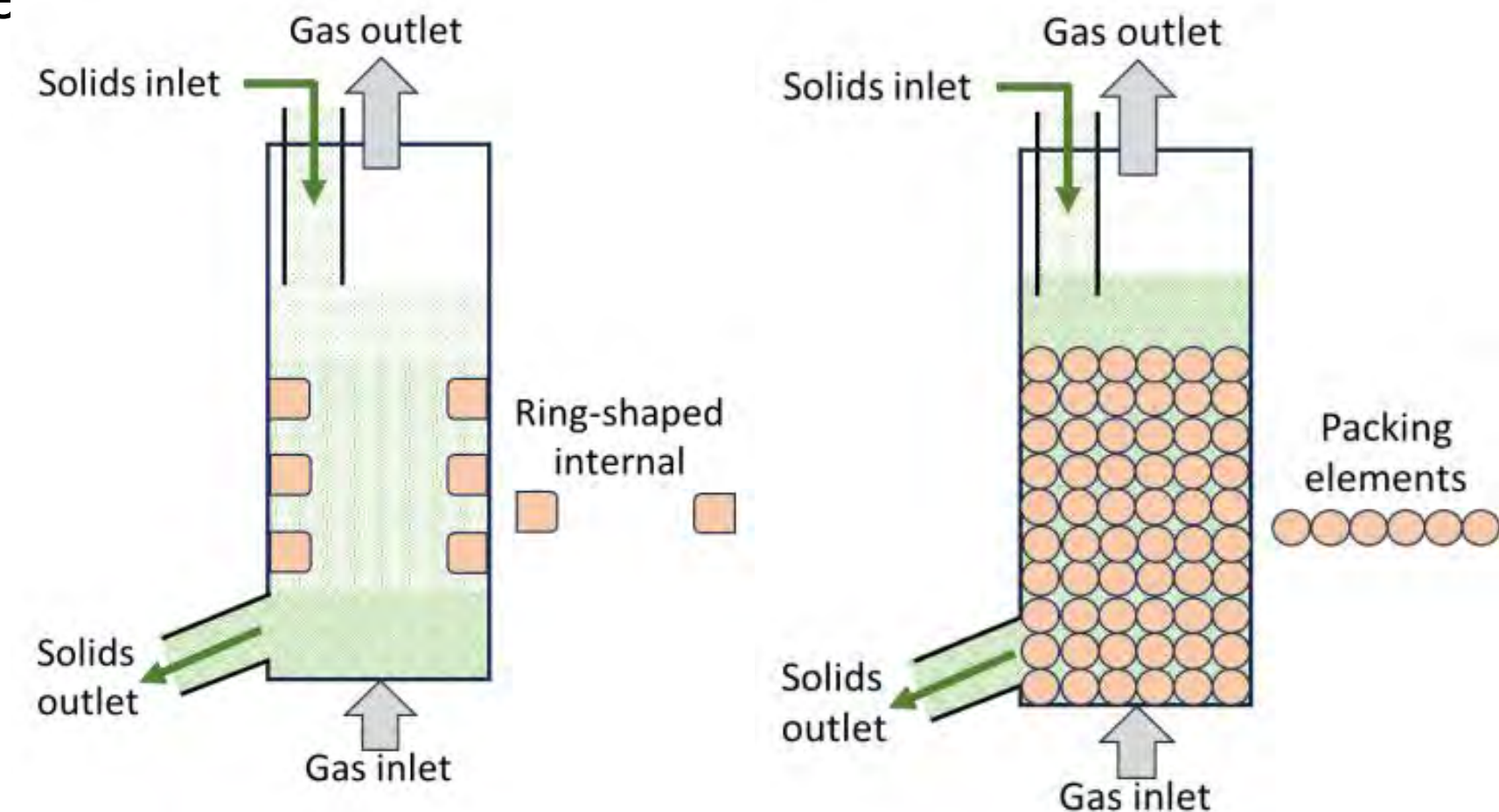
- Stationäre Prozessführung durch **3 gekoppelte Wirbelschichten**: Brennstoffreaktor (FR), Dampfreaktor (SR), Luftreaktor (AR)
 - Kombiniert CO₂-Abscheidung, Wasserstoffproduktion und Stickstoffproduktion in einem Reaktorsystem
 - Verbesserte Sauerstoffträger basierend auf einer Perowskitstruktur
 - Anwendung Biomasse zur Reduktion im Brennstoffreaktor (FR)
 - CO₂ Speicherung → negative CO₂ Emissionen
- **Negativ Emissionswasserstoff** (ultragrün)



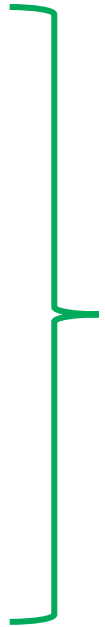
ENHANCED Projektantrag – Design des Dampfreaktor

Dampfreaktor(SR):

- $\text{OC}_{\text{red}}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{OC}_{\text{int}}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$
- **Gegenstrombetrieb** für erhöhte Wasserstoffausbeute
- **Einbauten** für erhöhten **Gas-Feststoffkontakt**
 1. Ringförmige Einschnürungen oder
 2. Füllkörperelemente
- Erhöhen des **TRL auf 5** innerhalb des Projekts
- Proof-of-Concept mit Biomasse ausstehend
- Problemstellungen:
 - Thermodynamische Limitierungen
 - Gasabdichtung zwischen den Reaktoren für hohe Gasreinheit



Innovative wirbelschichtsbezogene Forschung an der BOKU

- Entwicklung neuer Technologien
 - Untersuchung der Grundlagen
 - Kaltmodellstudien von innovativen Prozessen
 - Experimente im Heizbetrieb von Labormaßstab bis Pilotanlage
 - Makrowirbelschicht TGA
 - Laborwirbelschichten
 - Pilotanlagen
 - Modellierung von Prozessen
 - Simulation von detaillierten Massen- und Energiebilanzen
 - Scale-up von Technologien
- 
- Im neu errichteten Technikum



[Merci BOKU]



Benjamin Fleiß
Institute for Chemical and Energy Engineering
CESAR: Carbon Engineering, Separation and Removal
benjamin.fleiss@boku.ac.at
Muthgasse 107 (Staircase 2, 3rd Floor)



Provision of Biogenic CO₂ via Temperature Swing Adsorption for the Food and Drink Industry (BioFizz) , FO999926851
Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2024 durchgeführt.

M.Sc. Qiu Lu, Dr.-Ing. Daniel Bernhardt, M.Sc. Yushuo Wang, Prof. Dr.-Ing Michael Beckmann
Professur für Energieverfahrenstechnik, TU Dresden

Oxyfuel-Verfahren zur CO₂-Abscheidung bei der Abfallverbrennung – Auswirkungen auf den Betrieb von Abfallverbrennung

57. Kraftwerkstechnisches Kolloquium
Dresden, 7. und 8. Oktober 2025

Motivation und Hintergrund

- **BEHG:** seit 01.01.2024
Einbeziehung von **Abfall als Brennstoff**
- **EBeV 2030:** Biomasseanteil ist **abzugsfähig!**
- **EU-ETS:** keine CO₂-
Doppelbepreisung



**Bestimmung des biogenen CO₂-
Anteils!?**

CO₂-Emissionen

CO₂-Abscheidung



- **Pre-Combustion: Vergasung** mit
Luft, CO-Shift, CO₂-Abscheidung,
Verbrennung
- **Post-Combustion: Verbrennung**
mit **Luft**, Abgasreinigung, CO₂-
Abscheidung
- **Oxyfuel: Verbrennung** mit O₂,
Abgasreinigung, Abgasrezi, CO₂-
Abscheidung



**Prozesstechnische
Auswirkungen ?**

Zielstellung

- **Einfluss wichtiger Verfahrensparameter am Beispiel GMVA Oberhausen**
 - Sauerstoffreinheit und -bedarf
 - Sauerstoffbereitstellung (Luftzerlegung, Elektrolyse)
 - Ort der Abgasrezirkulation
 - Falschluf
 - Feuerungsart (~~Rostfeuerung~~, zirkulierende Wirbelschichtfeuerung)
- **Auf den Betrieb und die Effizienz einer realen Abfallverbrennungsanlage**
 - Erforderliche Anpassungen an der Abfallverbrennungsanlage
 - Eigenenergiebedarf
 - Elektrische Energieerzeugung
 - Fernwärme

AGENDA

1. Hintergrund und Motivation
2. Methodische Vorgehensweise - Modellierung Oxyfuel-Verfahren
3. Ergebnisse Modellierung Oxyfuel (ZWSF)
4. Zusammenfassung

2. Methodische Vorgehensweise

Modellierung Oxyfuel-Verfahren

Basisfall – Luftverbrennung GMVA Oberhausen IST-Zustand (Rostsystem)

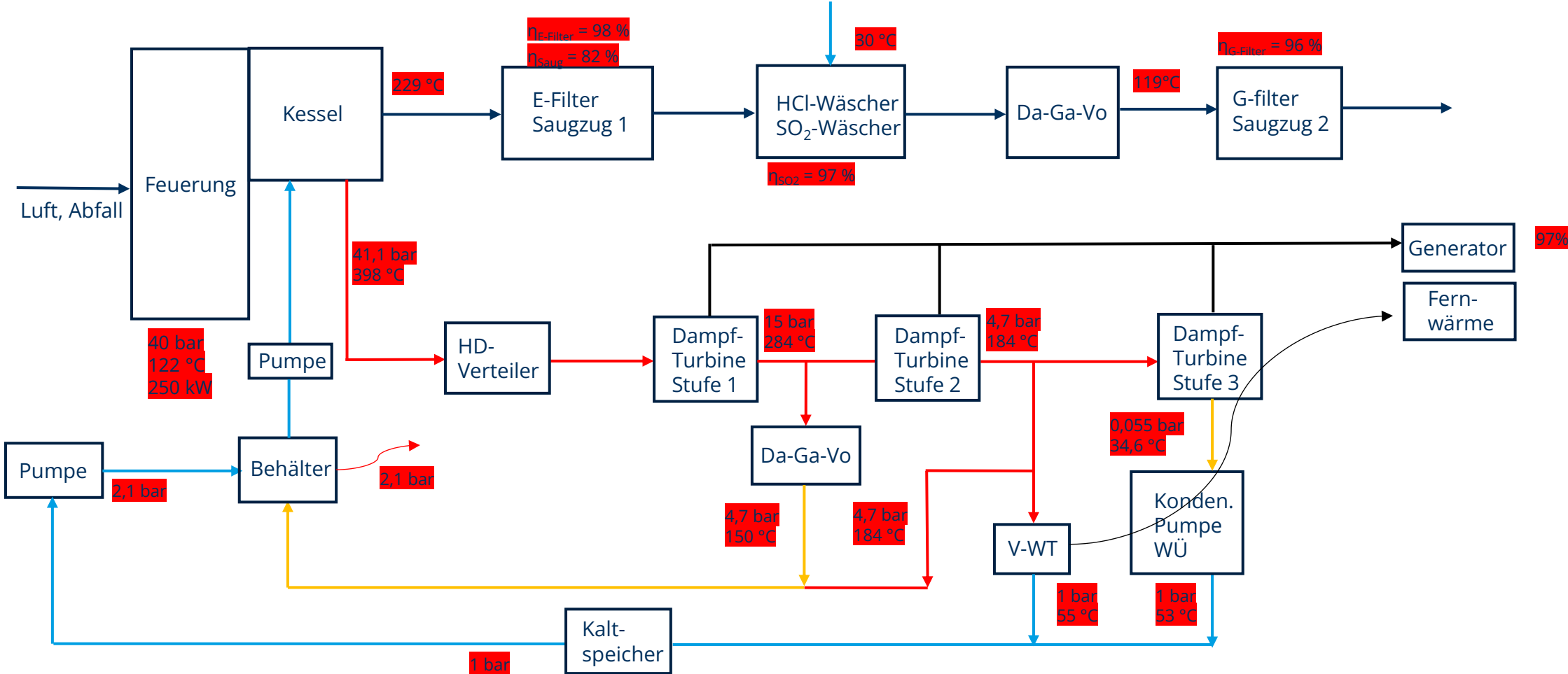
Abfalleigenschaften Roh								
\dot{m}	h_u	C	H	O	N	S	H ₂ O	A
23.240 kg/h	11.170 kJ/kg	28,24 %	3,78 %	14,41 %	0,73 %	0,13 %	28,71 %	24,00 %

Vorgabswert

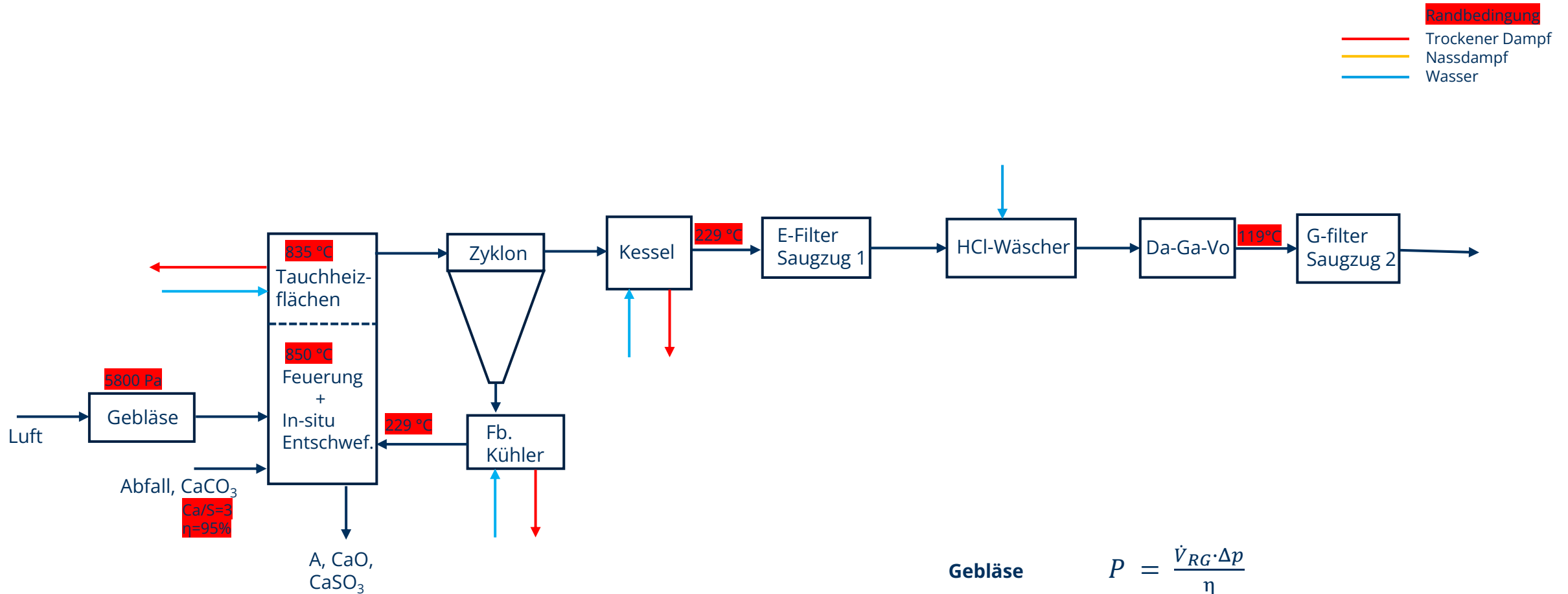
Trockener Dampf

Nassdampf

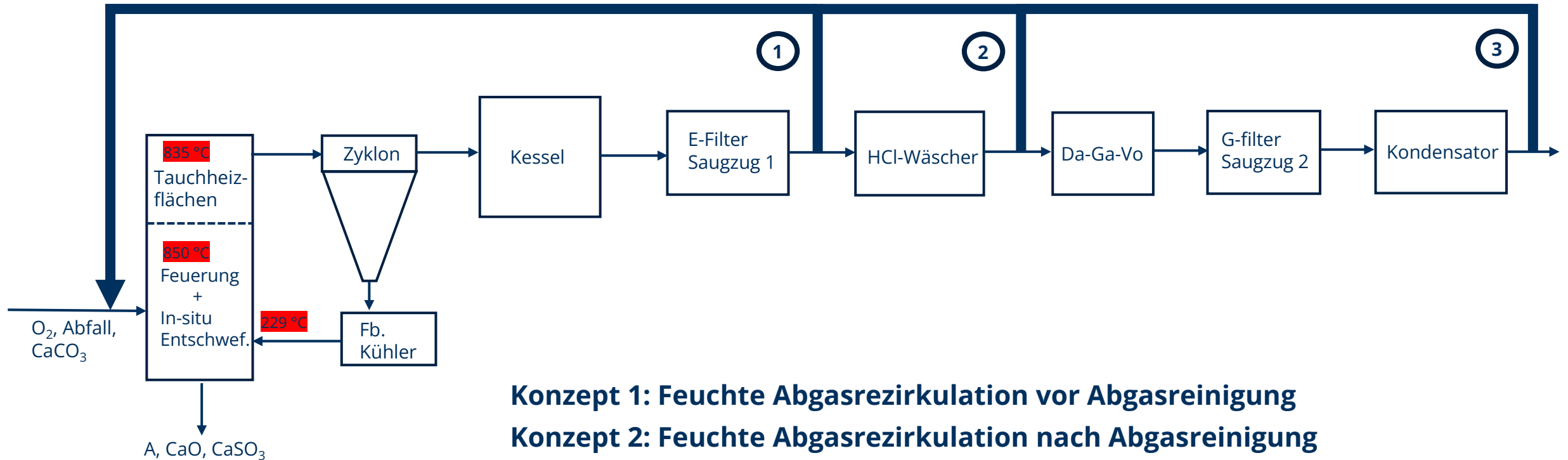
Wasser



Basisfall – Luftverbrennung (ZWSF)



Modellierung Oxyfuel-Verfahren (ZWSF)

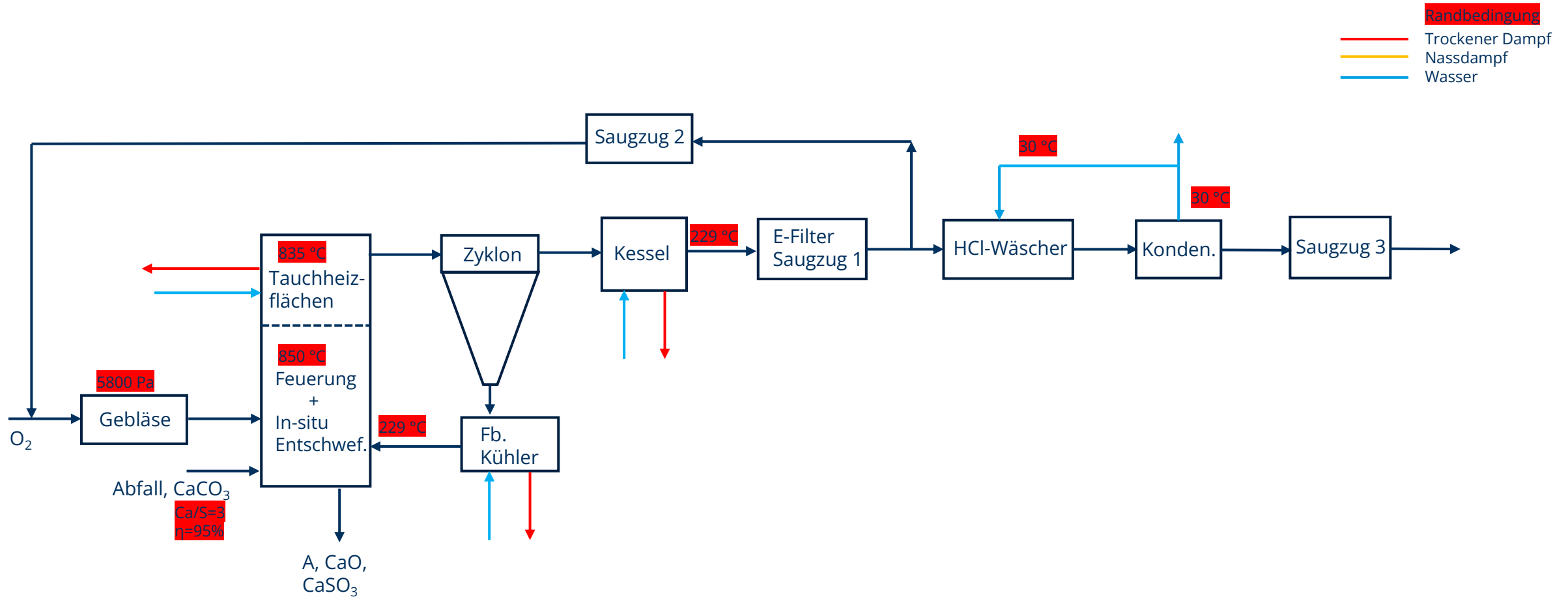


Konzept 1: Feuchte Abgasrezirkulation vor Abgasreinigung

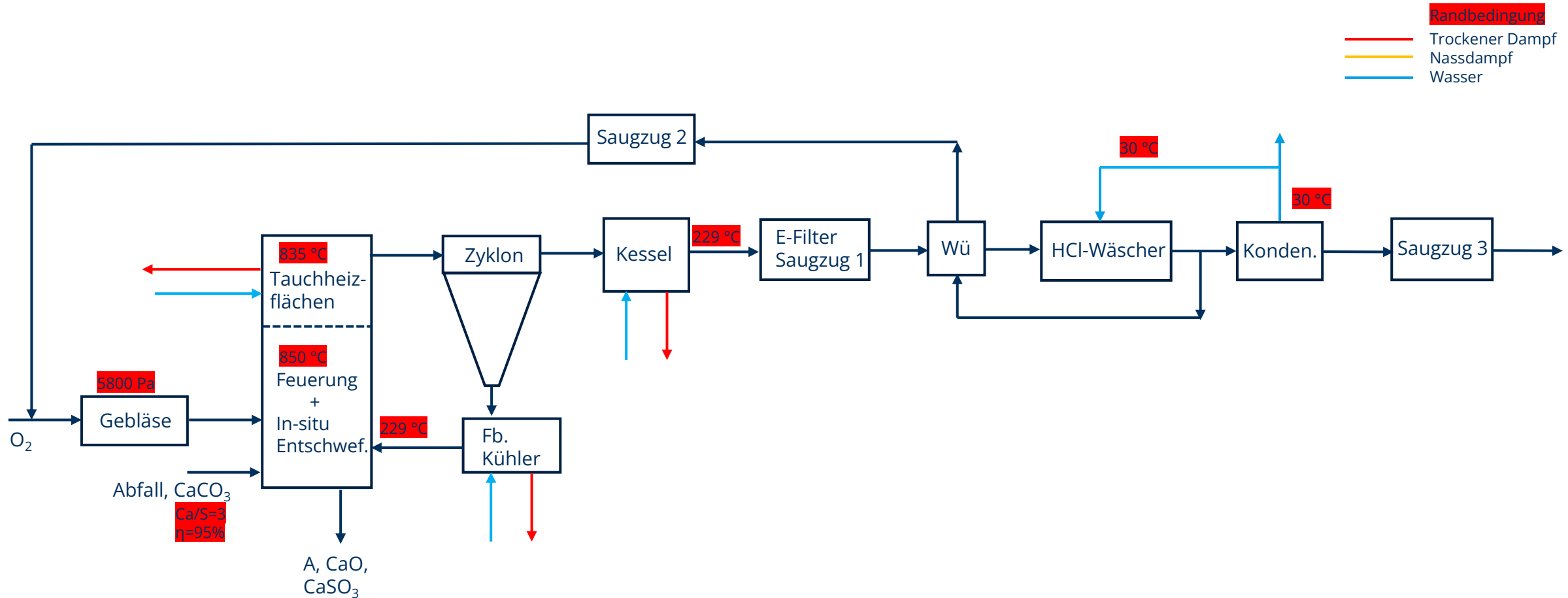
Konzept 2: Feuchte Abgasrezirkulation nach Abgasreinigung

Konzept 3: Trockene Abgasrezirkulation nach Kondensator

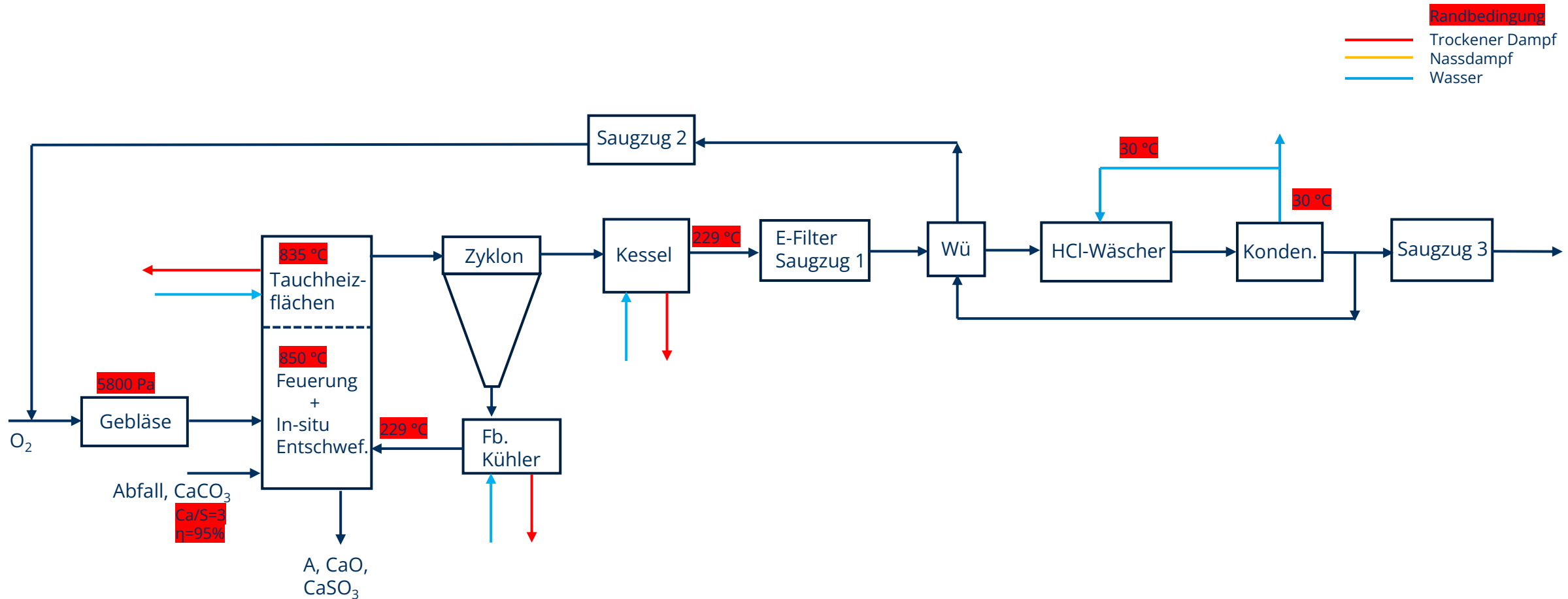
Oxyfuel-Verfahren (ZWSF) – Szenario 1



Oxyfuel-Verfahren (ZWSF) – Szenario 2

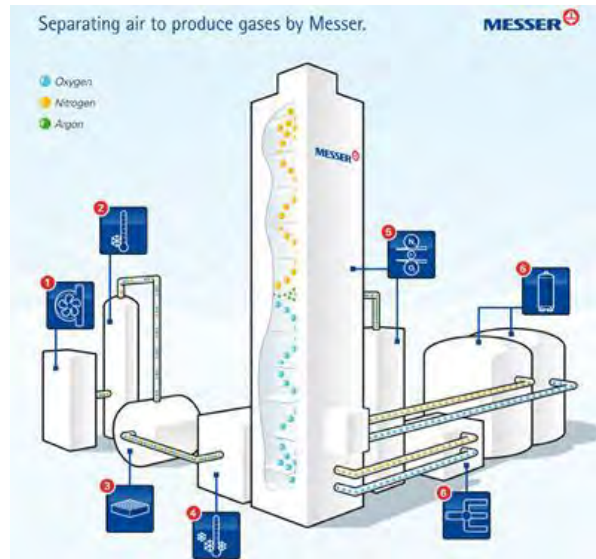


Oxyfuel-Verfahren (ZWSF) – Szenario 3

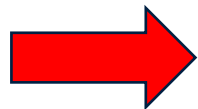


Oxyfuel-Verfahren - Sauerstoffbereitstellung

Air Separation Unit (ASU)



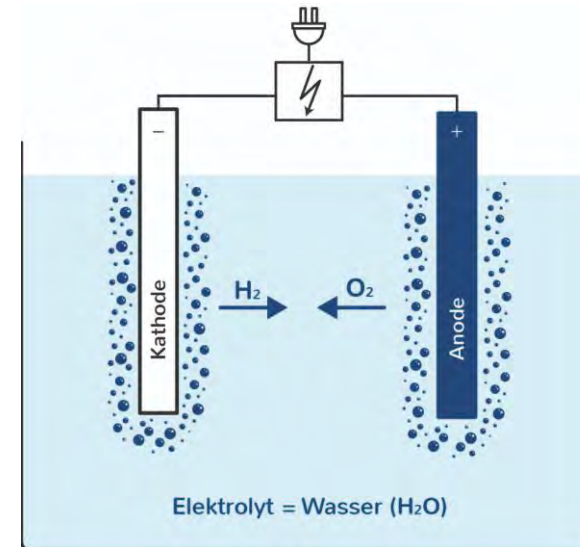
Quelle: Messer



95 Vol.-%

99 Vol.-%

Elektrolyse



Quelle: Elektrolyse und Wasserelektrolyse einfach erklärt. Kann man Elektrolyse verstehen, auch wenn man keine Expertin ist?

Elektrolyse – Alkaline Lösung

Spezifischer Systemenergieverbrauch: 4,5 – 7,5 kWh/m³ i.N. H₂

H₂-Reinheit: 99,3 Vol.-% - 99,9 Vol.-% [5]



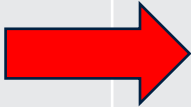
99,6 Vol.-%

9 - 15 kWh / m³ i.N. O₂

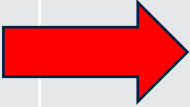
0,4 Vol.-% N₂

Spezifische Energieverbrauch ASU

		95 Vol.-%		99 Vol.-% and above	
Spezifische Energie Bedarf ASU	Daten aus theoretischer Berechnung	295 kWh/t	ASU Aspen Plus simulation result [6]	333 kWh/t	Aspen Plus Simulation result with O2 99,5% [10]
		260 kWh/t	Aspen Plus Simulation result [15]	245 kWh/t	>99,5% Conventional ASU. Enhanced cryogenic air separation – a proven process applied to oxyfuel. 1 st oxyfuel combustion conference [19]
		208 – 257 kWh/t	Aspen Plus Simulation result with O2 80%-98% [10]		
		247 kWh/t	ASU Aspen Plus simulation result [7]		
		245 kWh/t	ASU Aspen Plus simulation result [20]		
		229 kWh/t	Aspen Plus simulation for conventional cycle plant based on detailed exergy analysis [8]		
		206 kWh/t	Aspen Plus simulation for improved process (Dual reboiler cycle) based on exergy analysis [8]		
		202 kWh/t	ASU Aspen Plus simulation result [23]		
		175 kWh/t	Advanced energy optimized ASU. Enhanced cryogenic air separation – a proven process applied to oxyfuel. 1 st oxyfuel combustion conference [19]		
		160 kWh/t	Optimized ASU from air Liquide for oxy-combustion (i.e. low oxygen pressure, no nitrogen requirement, heat integration, transfer heat from the ASU compressor(s) to the steam cycle) [3]		
		150 kWh/t	Future energy consumption with increased efficiency and reduction on oxygen purity (95%) [18] Suggested by Air Liquide based on integrated process [14]		
		140 kWh/t	Further optimizations with heat integration under development [3]		
		49 kWh/t	The theoretical minimum work [8] [14]		
	Daten aus Versuchsanlage, Hersteller	200 kWh/t	Demonstrate applications from air Liquide, specific energy of separation in operating plants in Italy [3]	696 – 777 kWh/t	99,6% Cosmodyne Nekkiso Manufacturer's data [12]
				400 – 600 kWh/t	99,5%-99,8% Air Liquide Manufacturer's data [12]
				430 – 500 kWh/t	99,6% Hangzhou Fortune Gas Cryogenic Group Co., Ltd. Manufacturer's data [12]
				280 – 460 kWh/t	96%-99,6% Air Liquide Manufacturer's data [12]
				330 kWh/t	Schwarze Pumpe cryogenic ASU 99.5% purity [14]
	Schätzungswert	300 kWh/t	Conservative estimate value [4]	378 kWh/t	99% estimate value for simulation [4]
		200 – 240 kWh/t	empirical data, [Zheng L. Oxy-fuel combustion for power generation and carbon dioxide (CO2) capture. Woodhead Publishing Limited; 2011. S7.] [2][6][9][10]		

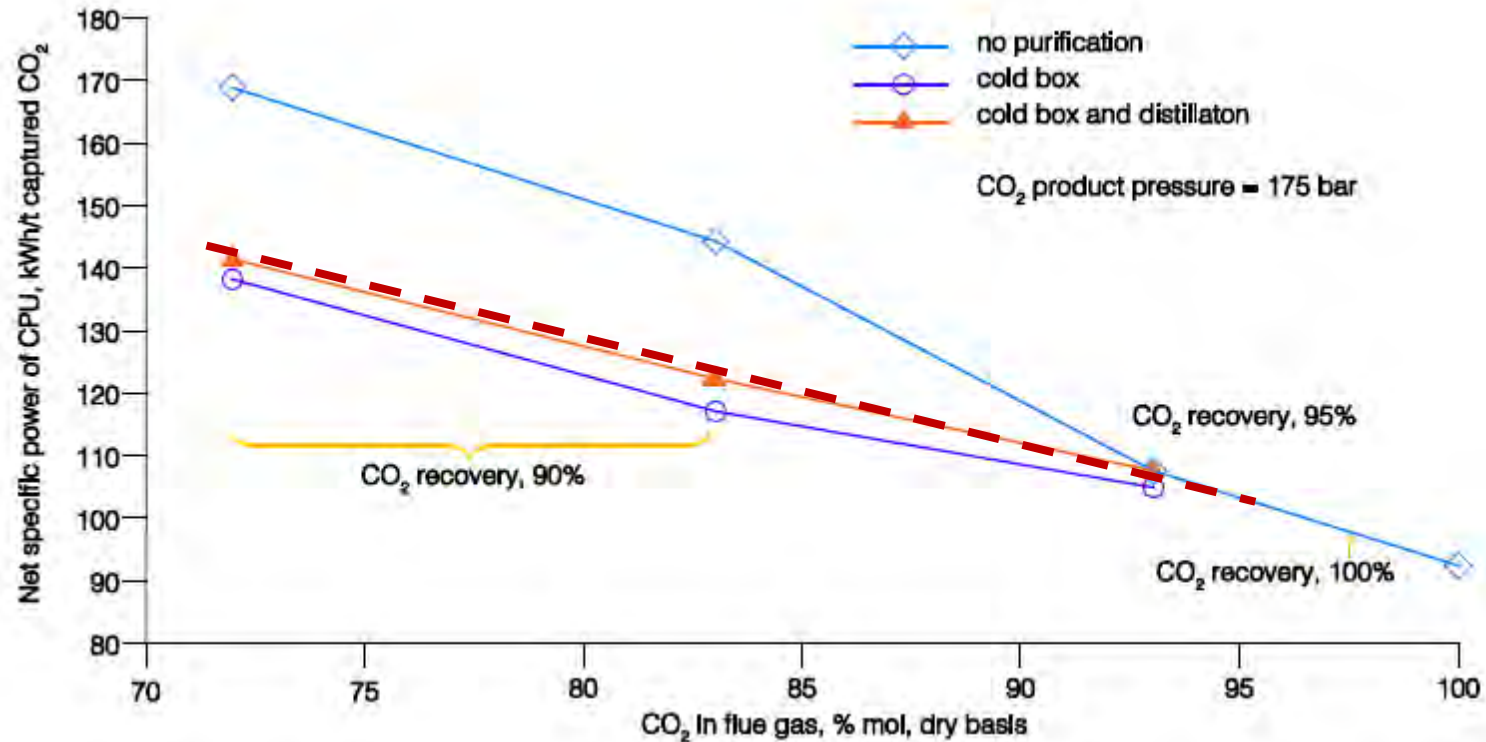


**99 Vol.-%
350 kWh/t
1 Vol.-% Ar**



**95 Vol.-%
240 kWh/t
2 Vol.-% N₂, 3 Vol.-% Ar**

Spezifische Energieverbrauch CPU



The effect of flue gas CO₂ content and purification method on CPU power consumption [14]

No purification

- Abgas wird nur getrocknet (Dehydration)
- $\psi_{\text{CO}_2} = \psi_{\text{CO}_2_{\text{AG}_{\text{tr}}}}$

Cold box

- Dehydration
- Verflüssigung ca. 30 bar
- ψ_{CO_2} ca. 95 Vol.-%

Cold box and distillation

- Dehydration
- Verflüssigung ca. 30 bar
- Destillation
- ψ_{CO_2} ca. 99 Vol.-%



Modellvorgaben

- CO₂-Reinheit: 99 Vol.-%
- Spezifischer Energiebedarf (cold box and destillation)

$$e_{\text{CO}_2} [\text{kWh/tCO}_2] = 257,6 - 161,9 \cdot \psi_{\text{CO}_2, \text{tr}}$$

3. Ergebnisse Modellierung Oxyfuel (ZWSF)

Konzeptübersicht - ZWSF

\dot{m}_{Abfall}	23.240 kg/h	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
h_u	11.170 kJ/kg	$\psi_{\text{O}_2, \text{RG}}$	20,63 Vol.-%
Falschluff	3 %	$\psi_{\text{O}_2, \text{AG}_{\text{tr}}}$	4 Vol.-%

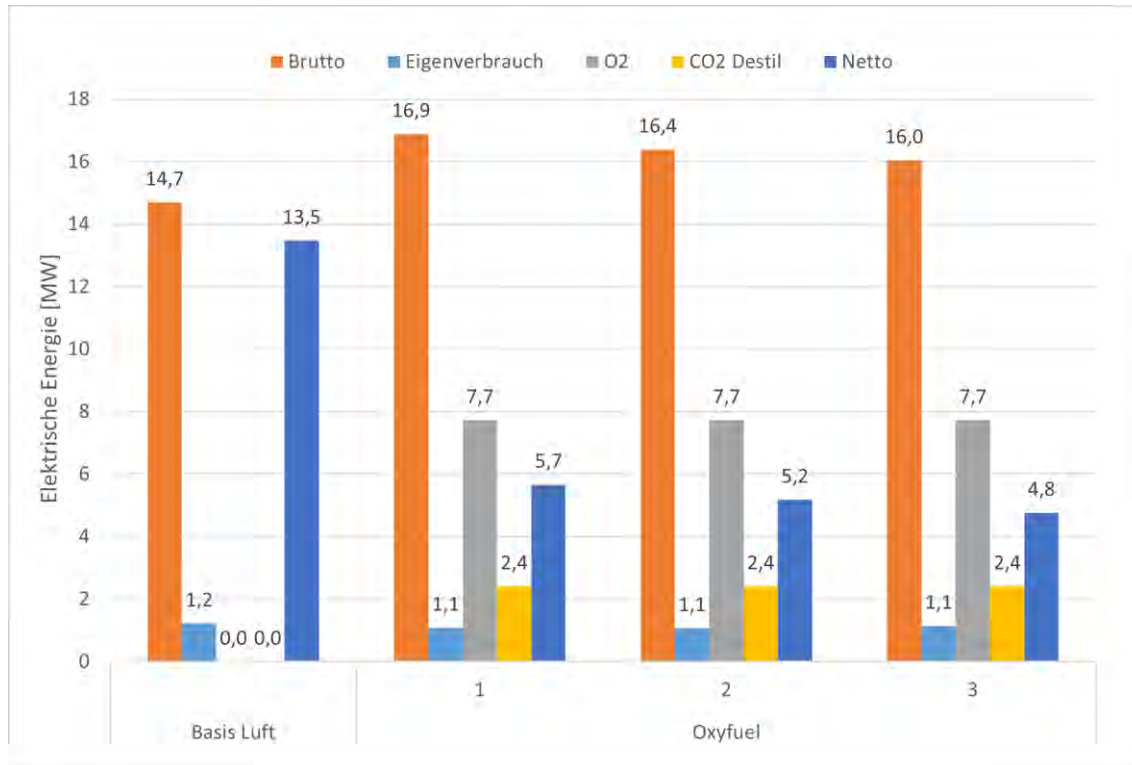
		Basis Luft	Oxyfuel		
			1	2	3
Feuerung	\dot{V}_{AG_F}	103.546 Nm³/h	105.931 m³ i.N. /h	103.932 m³ i.N. /h	132.423 m³ i.N. /h
	$\vartheta_{\text{theoretisch}}$	850 °C	850 °C	850 °C	850 °C
	ψ_{CO2}	11,8 Vol.-%	34,7 Vol.-%	31,0 Vol.-%	74,0 Vol.-%
	ψ_{H2O}	18,9 Vol.-%	61,2 Vol.-%	65,34 Vol.-%	17,3 Vol.-%
	ψ_{SO2}	29 mg/m³ i.N.	32 mg/m³ i.N.	33 mg/m³ i.N.	30 mg/m³ i.N.
Frischdampf	Gesamt	72.647 kg/h	78.285 kg/h	76.199 kg/h	75.128 kg/h
Rezi	ψ_{O2}	-	1,9 Vol.-%	1,6 Vol.-%	3,8 Vol.-%
	\dot{V}_{Rezi}	-	61.619 m³ i.N. /h (64 %)	60.738 m³ i.N. /h (60 %)	68.078 m³ i.N. /h (79 %)
	ϑ_{Rezi}	-	240 °C	176 °C	152 °C
Abgas zur CO ₂ -Abscheidung	\dot{V}_{AG_CPU}	-	16.809m³ i.N. /h	16.698 m³ i.N. /h	17.623 m³ i.N. /h
	ψ_{CO2}	-	73 Vol.-%	73 Vol.-%	69 Vol.-%
Kühlgrenze HCl Wäscher	ϑ	67,8 °C	85,6 °C	86,7 °C	66,5 °C

Volumenstrom in Normbedingungen

Einflussfaktor - EDA

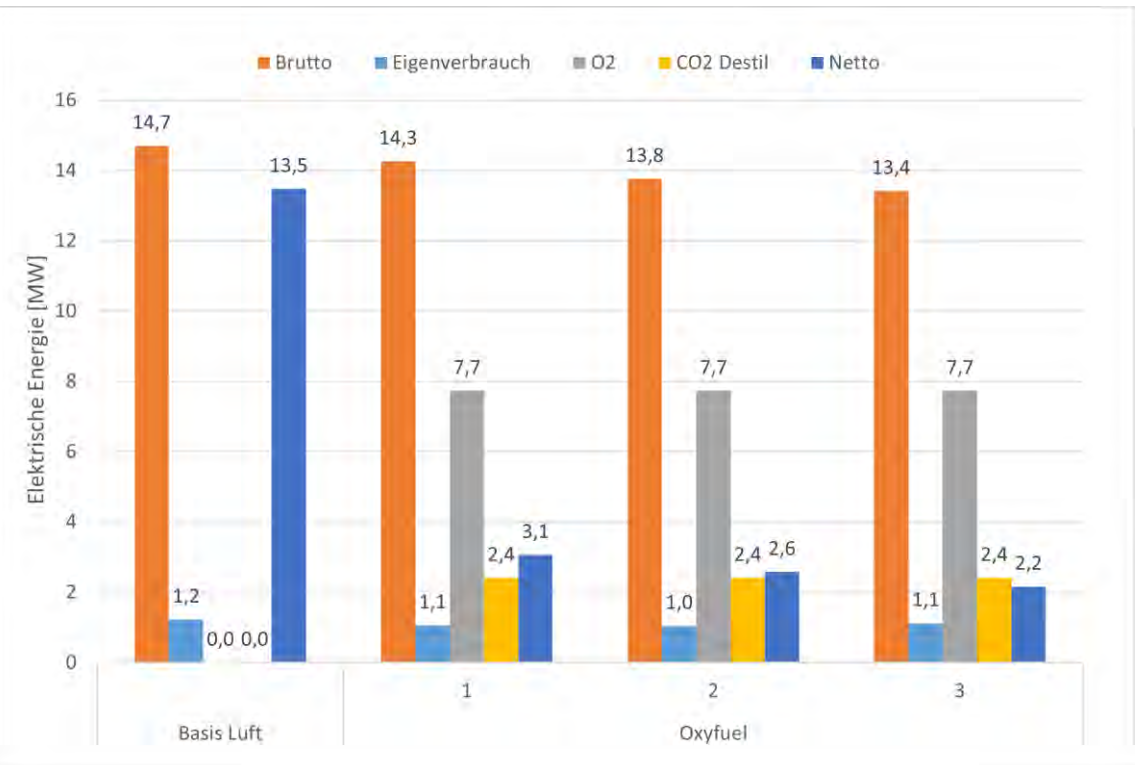
EDA	Ja vs. Nein	O ₂ Reinheit	99 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschluft	0 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	4 Vol.-%

ohne EDA



$\eta_{\text{Netto,el}}$ 18,7 % 8,3 % 7,9 % 6,7 %

mit EDA

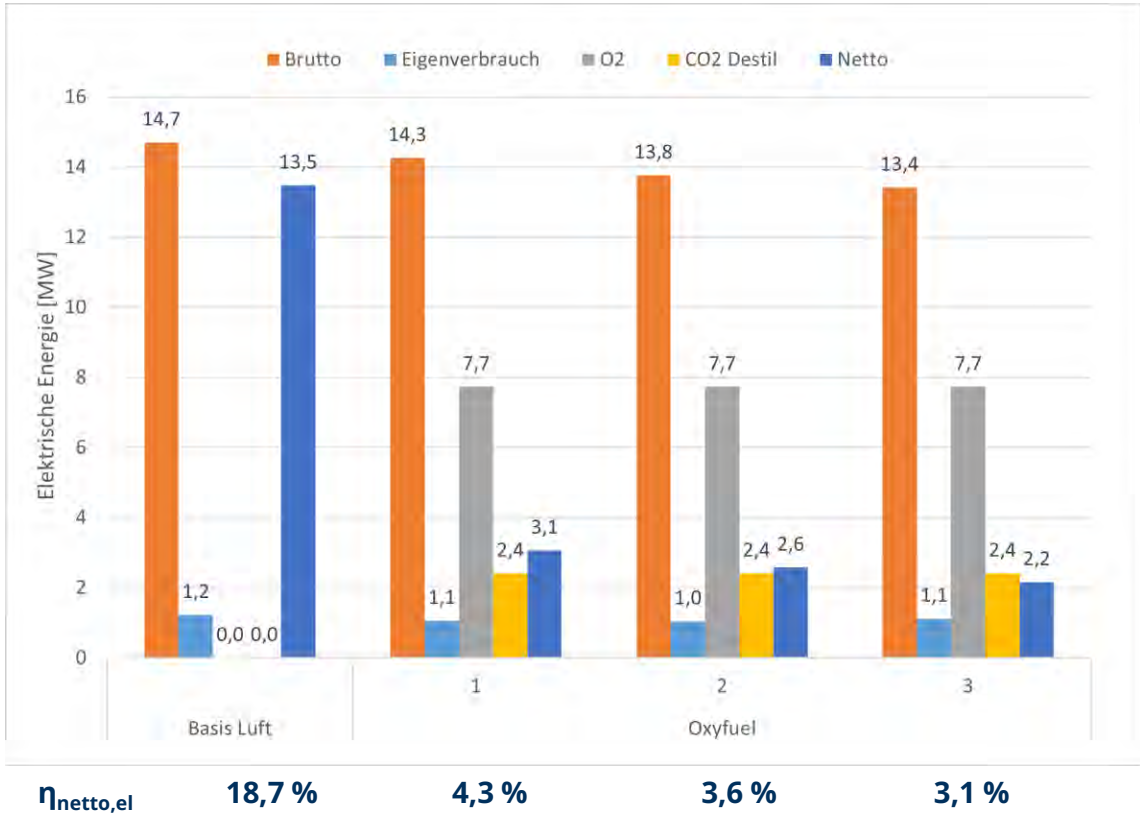


$\eta_{\text{Netto,el}}$ 18,7 % 4,3 % 3,6 % 3,1 %

Einflussfaktor - Jahreszeit

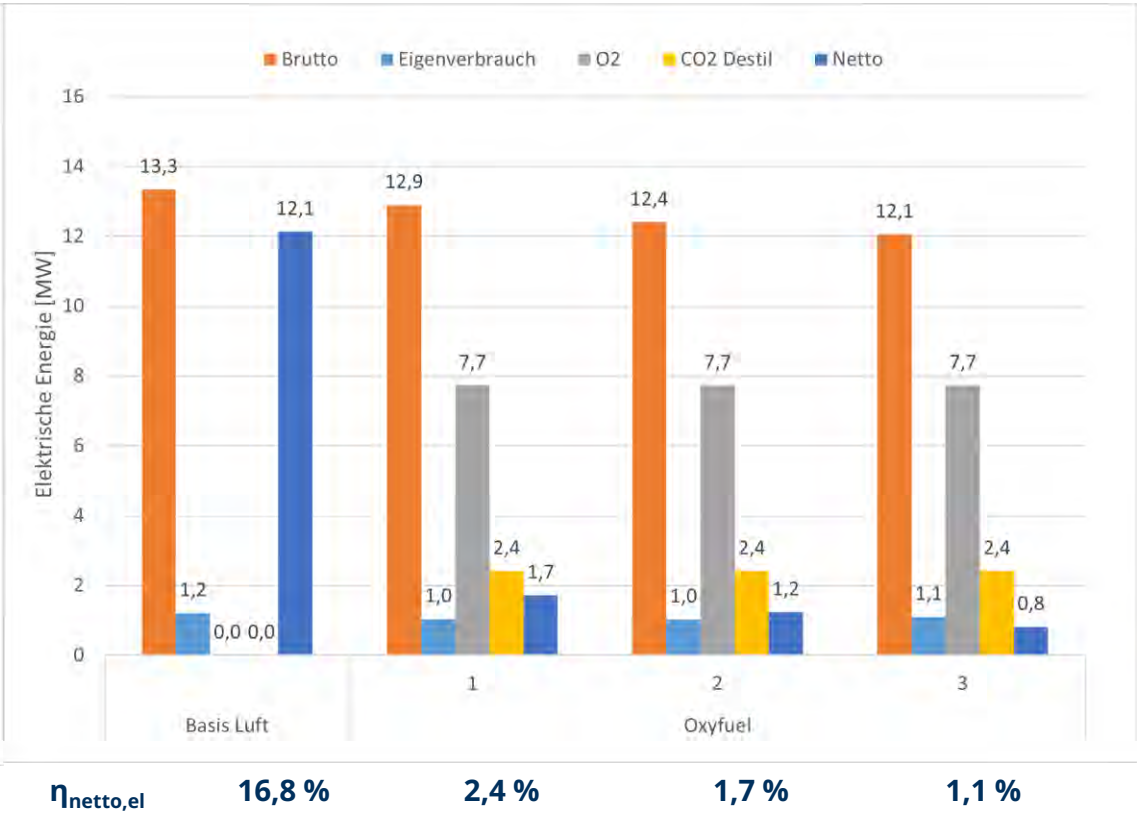
EDA	Ja	O ₂ Reinheit	99 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer vs. Winter	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschluff	0 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	4 Vol.-%

Sommer



0,65 MW Fernwärme für eine Linie

Winter

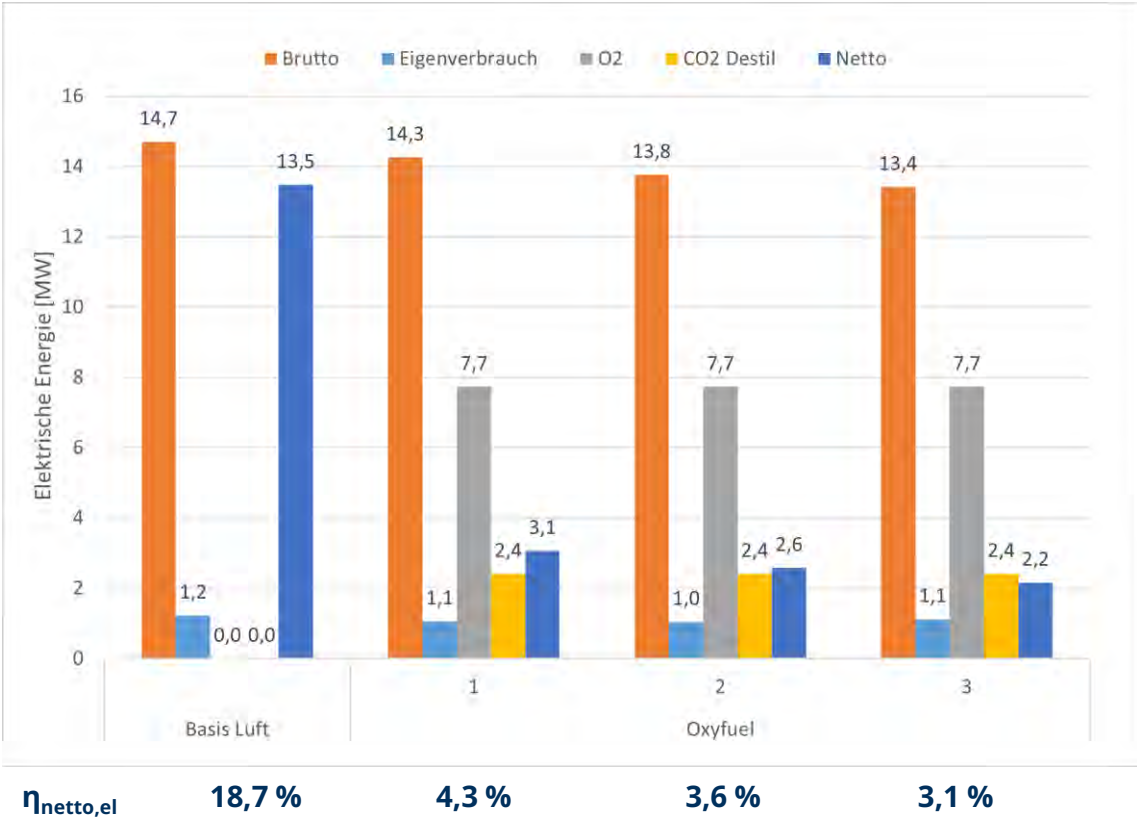


8,35 MW Fernwärme für eine Linie

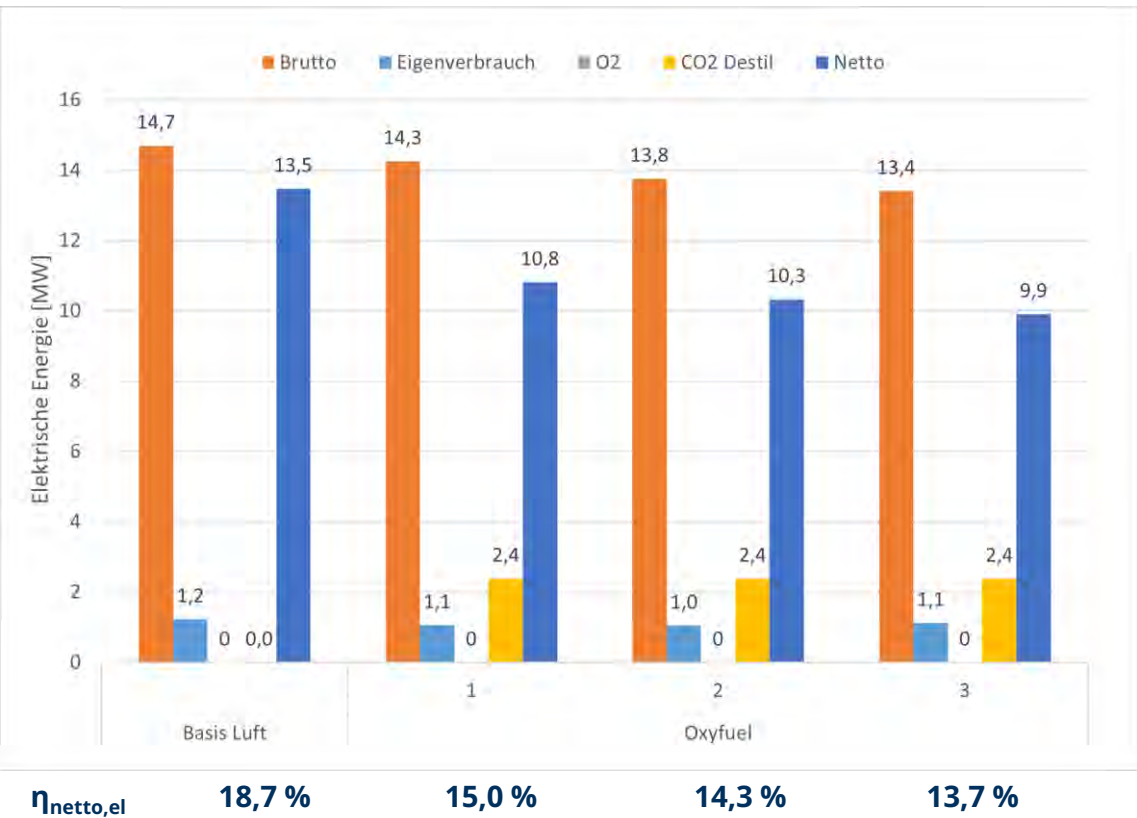
Einflussfaktor - O₂ Bereitstellung

EDA	Ja	ASU vs. Elektrolyse	
Jahreszeit	Sommer	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschluff	0 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	4 Vol.-%

ASU O₂ Reinheit 99 Vol.-%



Elektrolyse O₂ Reinheit 99,6 Vol.-%



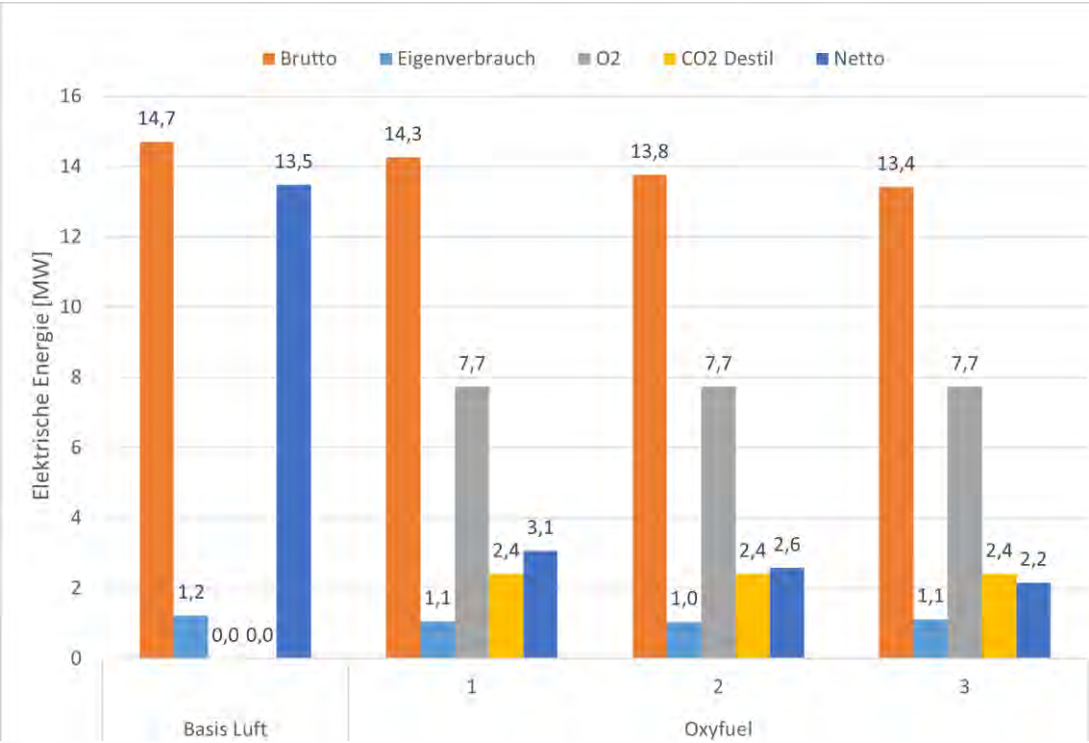
Brutto : ca. 14 MW

Elektrolyse: 144 - 239 MW

Einflussfaktor - O₂ Reinheit

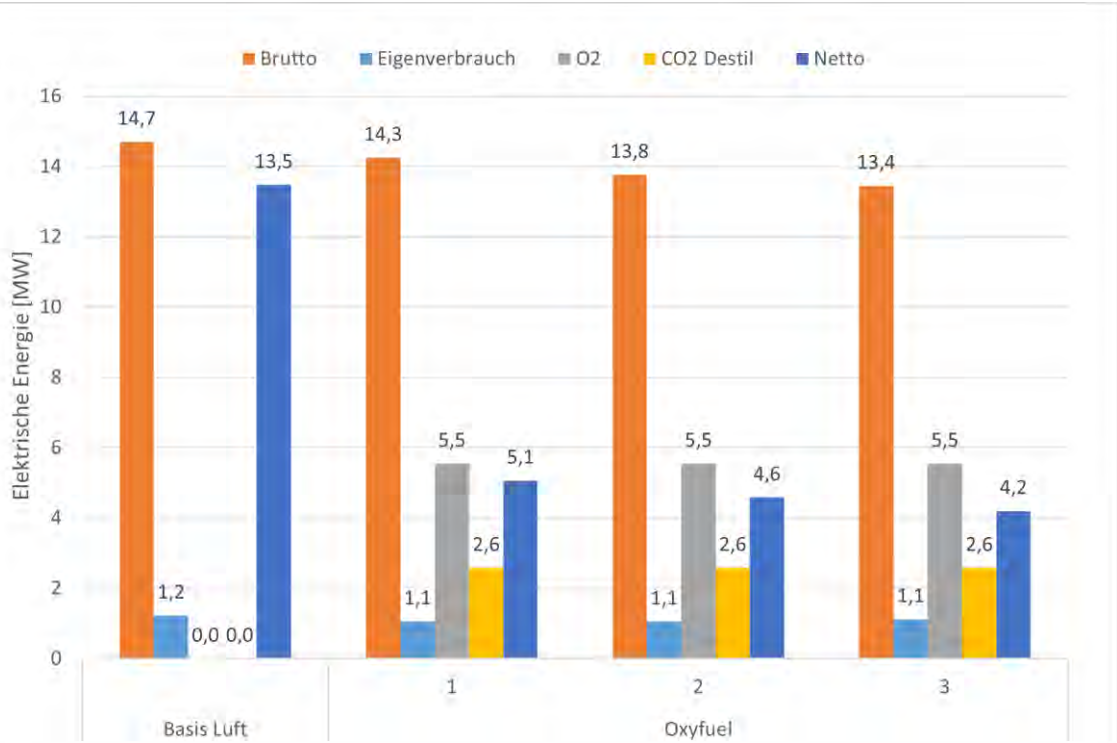
EDA	Ja	O ₂ Reinheit	99 Vol.-% vs. 95 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschluff	0 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	4 Vol.-%

O₂ Reinheit 99 Vol.-%



$\eta_{\text{Netto,el}}$ 18,7 % 4,3 % 3,6 % 3,1 %

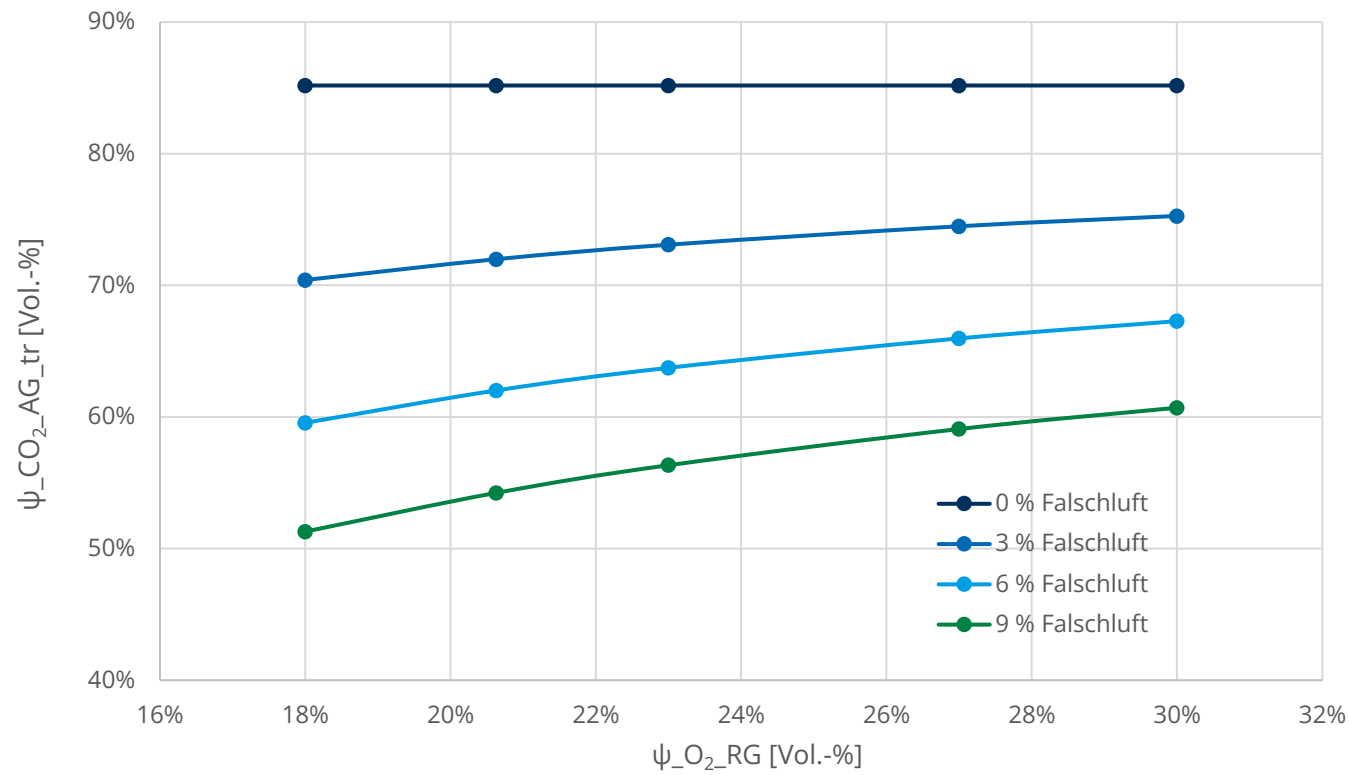
O₂ Reinheit 95 Vol.-%



$\eta_{\text{Netto,el}}$ 18,7 % 7,1 % 6,4 % 5,8 %

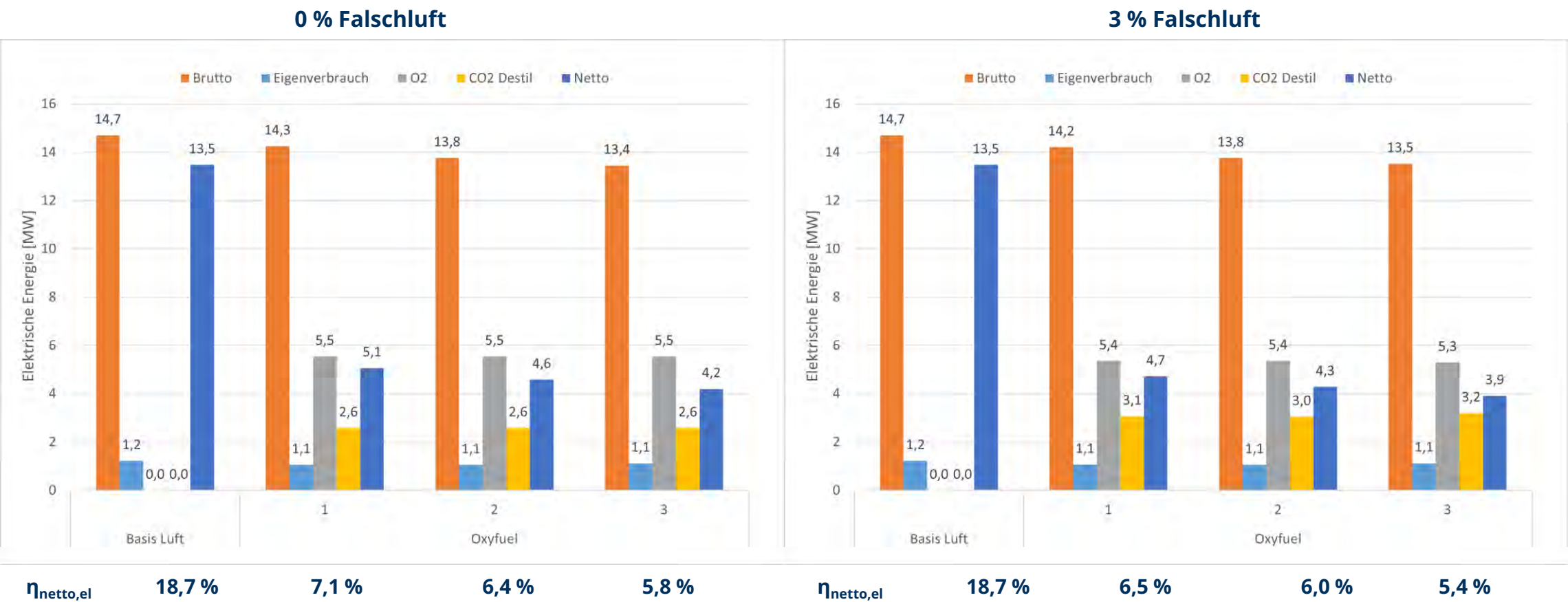
Einflussfaktor - Falschlufft

Rezi	Nassreingas	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
Falschlufft	0 % - 9 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	8 Vol.-%



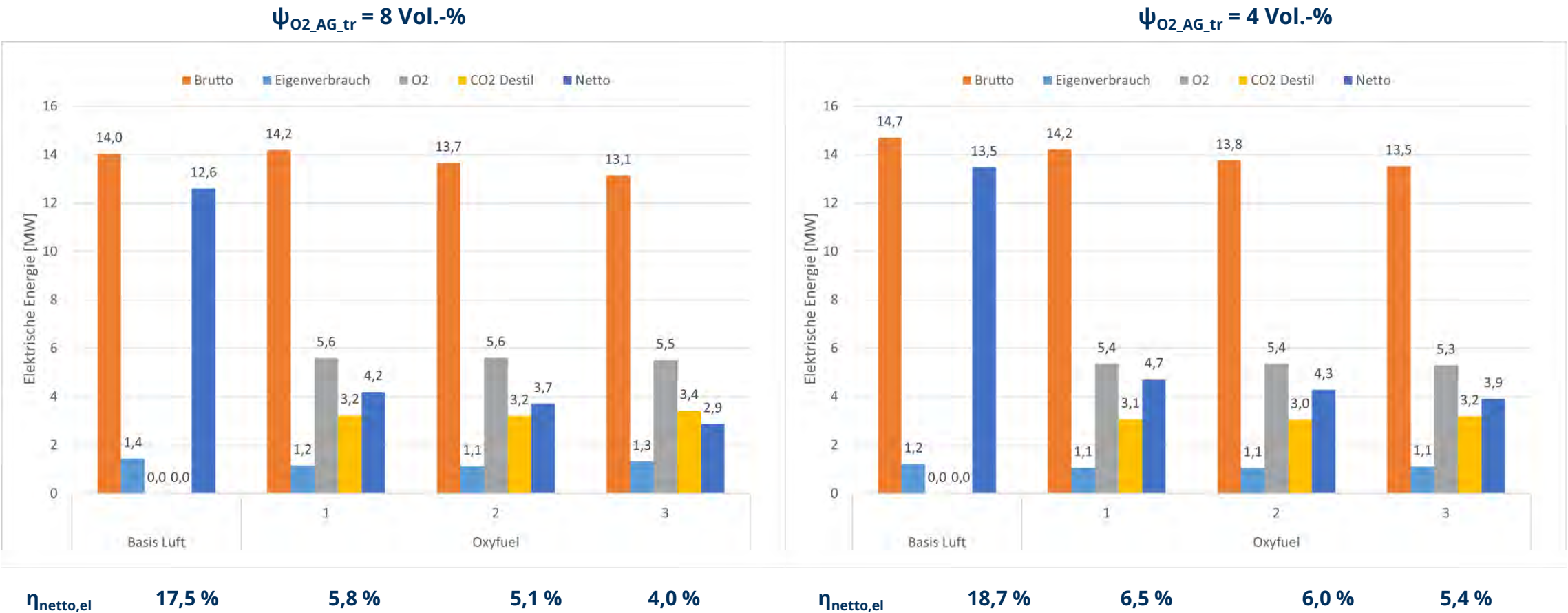
Einflussfaktor - Falschlufft

EDA	Ja	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschlufft	0 % vs. 3 %	$\psi_{O_2_AG_tr}$	4 Vol.-%



Einflussfaktor - $\psi_{O2_AG_tr}$

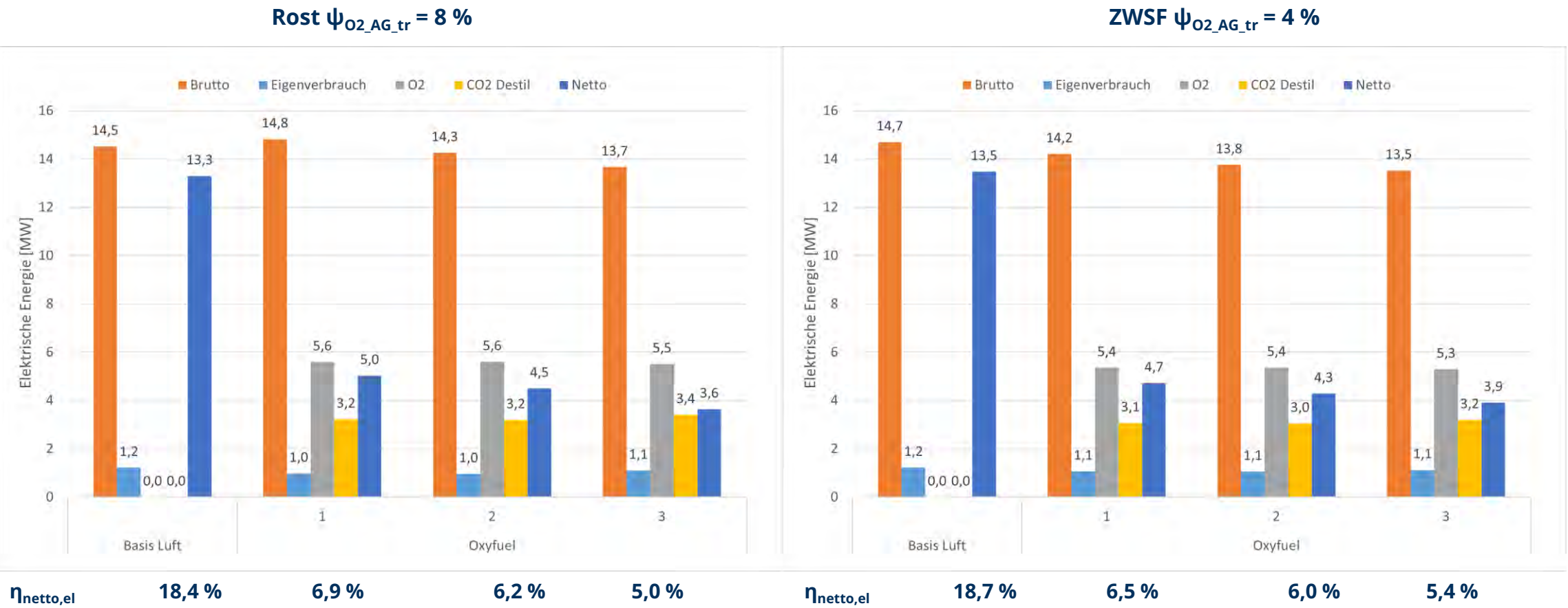
EDA	Ja	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	ψ_{O2_RG}	20,63 Vol.-%
Falschluff	3 %	$\psi_{O2_AG_tr}$	4 Vol.-% vs. 8 Vol.-%



$\psi_{O2_AG_tr}$ 8 Vol.-% \rightarrow 4 Vol.-%, kleiner $V_{AG} \rightarrow$ weniger Verlust durch Abgasstrang
Weniger Aufwand in ASU und CPU

Szenarien – Rost vs ZWSF

EDA	Ja	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	$\psi_{O_2_RG}$	20,63 Vol.-%
Falschluff	3 %	Rost vs ZWSF	



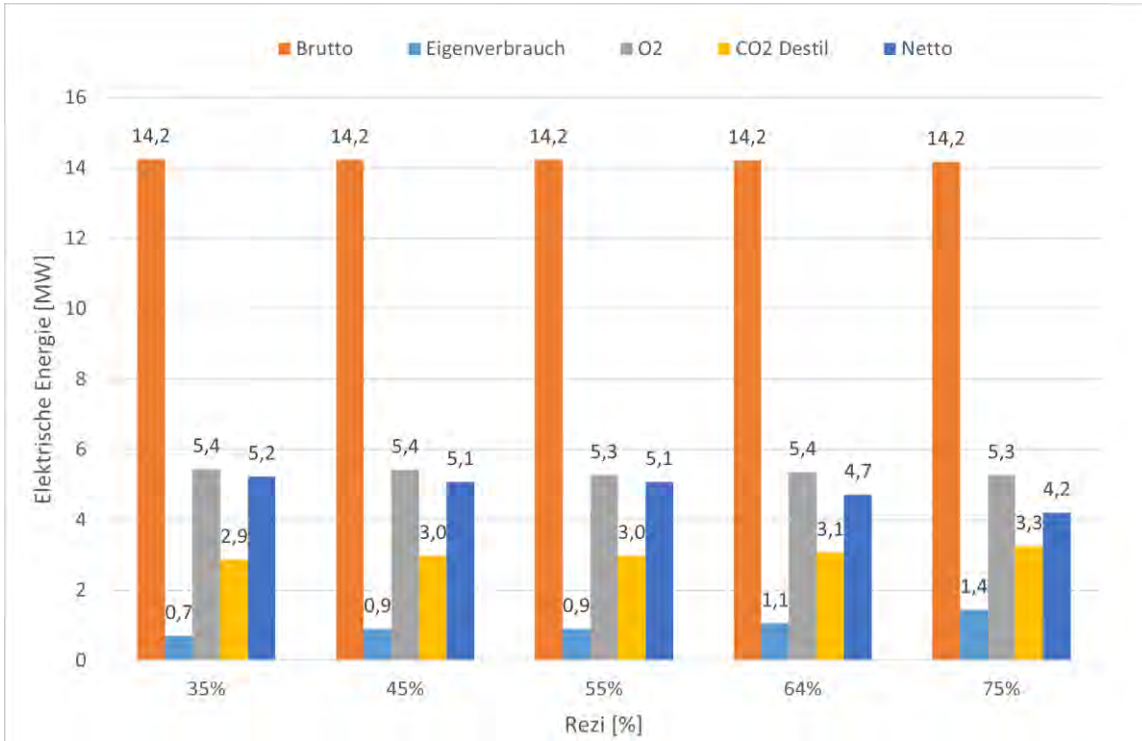
$\psi_{O_2_AG_tr}$ 8 Vol.-% \rightarrow 4 Vol.-%, kleiner $V_{AG} \rightarrow$ weniger Verlust durch Abgasstrang
 \rightarrow weniger Verbrauch im ASU CPU
 Rost \rightarrow ZWSF, höher Verlust Zyklon, F.B.-kühler



Szenarien - ZWSF ψ_{O2_RG}

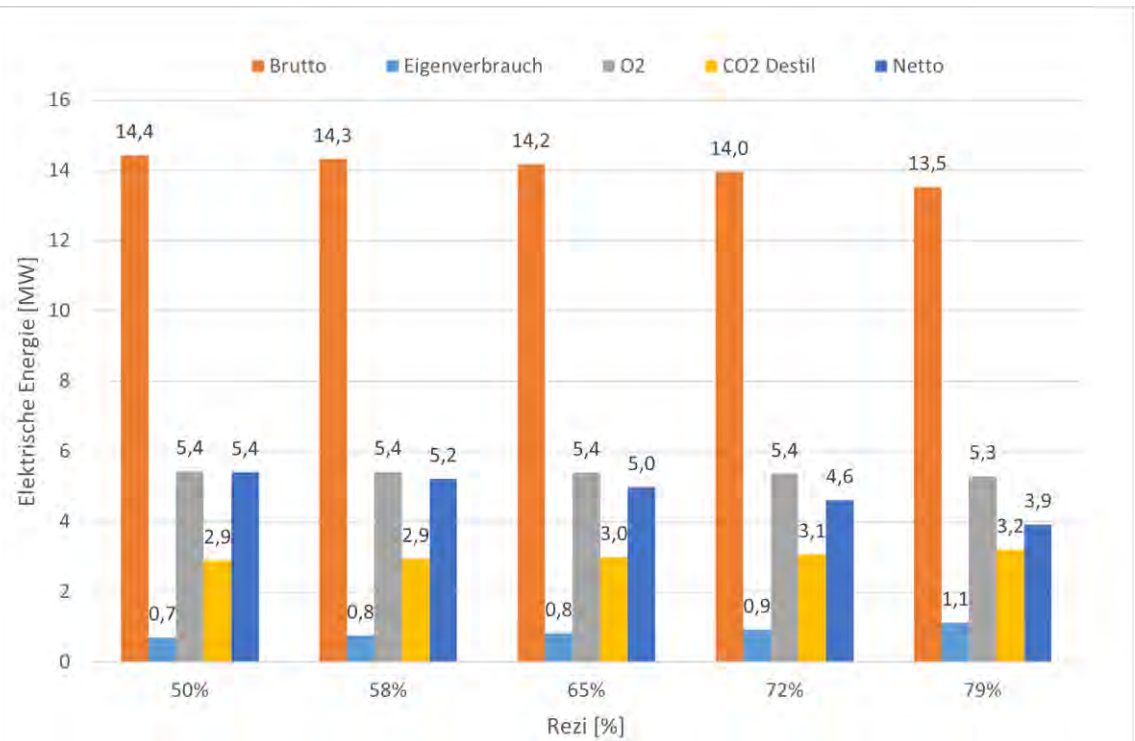
EDA	Ja	O ₂ Reinheit	95 Vol.-%
Jahreszeit	Sommer	ψ_{O2_RG}	-
Falschluft	3 %	$\psi_{O2_AG_tr}$	4 Vol.-%

Rezi: Nassroh (Fall - 1)



Rezi	35%	45%	55%	64%	75%
ψ_{O2_RG} [Vol.-%]	45,2%	35,6%	26,8%	20,6%	13,5%
V Rezi [m³/h]	18121	27732	41838	61619	107635
V F [m³/h]	51355	61208	75652	95935	143096
ϑ [°C]	850	850	850	850	850
m D. Fb. [kg/h]	57003	47791	47791	40167	22622
ψ_{CO2_tr} [Vol.-%]	81,3%	80,0%	78,3%	75,9%	71,0%
$\psi_{O2_AG_tr}$ [Vol.-%]	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%

Rezi: Trockenrein (Fall - 3)



Rezi	50%	58%	65%	72%	79%
ψ_{O2_RG} [Vol.-%]	49,4%	41,7%	34,9%	28,0%	20,6%
V Rezi [m³/h]	15812	22151	30321	43138	68078
V F [m³/h]	49155	55716	64166	77422	103189
ϑ [°C]	850	850	850	850	850
m fließbed [kg/h]	58090	54918	50868	44594	32632
ψ_{CO2_tr} [Vol.-%]	80,7%	79,5%	78,1%	76,1%	72,4%
$\psi_{O2_AG_tr}$ [Vol.-%]	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%

4. Zusammenfassung

Zusammenfassung

- **Drei Oxyfuel Konzepte:** (1) nass Rohgas, (2) nass Reingas, (3) trocken Reingas
 - (1) nass Rohgas: 4 – 5 Fach höher HCl-Gehalte → nicht realisierbar, passende Abgasreinigung erforderlich
 - (2) nass Reingas: realisierbar, ABER: Höhere AG-Temperatur im Wäscher → MATERIALBEANSPRUCHUNG!
 - (3) trocken Reingas: realisierbar, ähnlicher Volumenstrom Luftverbrennung → aber geringerer thermischer Wirkungsgrad
- **Einflussparameter**
 - Kondensatsbehandlung: möglicher Leistungsrückgang um 2,6 MW_e
 - Jahreszeit: +8 MW Fernwärme vs. –1,4 MW_e elektrische Leistung
 - Elektrolyse: Zukunftsszenarios, deutlich höher Netto, externe O₂ Quelle
 - O₂-Reinheit: 95 % optimal
 - Falschluff: kleine Mengen Falschluff, große Reduktion an CO₂-Gehalt
 - O₂-Überschuss: 8 % → 4 % weniger Verlust, Weniger Aufwand in ASU und CPU, höher Wirkungsgrad
- **Technologievergleich**
 - Rostsystem: Luftverbrennung 13,3 MW_e ($\eta_{el} = 18,4 \%$) vs. Oxyfuel 3 Konzepte 3,6–5,0 MW_e ($\eta_{el} \approx 5\text{--}7 \%$)
 - CFBC: Luftverbrennung 13,5 MW_e ($\eta_{el} = 18,7 \%$) vs. Oxyfuel 3 Konzepte ~5,4 MW_e ($\eta_{el} \approx 7,5 \%$)

Quelle

- [1] Yadav, S., & Mondal, S. S. (2022). A review on the progress and prospects of oxy-fuel carbon capture and sequestration (CCS) technology. Fuel, 308, 122057. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122057>
- [2] Skorek-Osikowska, A., Bartela, L., Kotowicz, J., & Job, M. (2013). Thermodynamic and economic analysis of the different variants of a coal-fired, 460 MW power plant using oxy-combustion technology. Energy Conversion and Management, 76, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.032>
- [3] Tranier, J. P., Dubettier, R., Darde, A., & Perrin, N. (2011). Air separation, flue gas compression and purification units for oxy-coal combustion systems. Energy Procedia, 4, 966–971. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.01.143>
- [4] Fu, C., Ditaranto, M., Becidan, M., Berstad, D., & Stuen, J. (2025). Conceptual design and process assessment of a MSW waste-to-energy plant with oxy-combustion CO2 capture. Carbon Management, 16(1). <https://doi.org/10.1080/17583004.2025.2473913>
- [5] El-Shafie, Mostafa. "Hydrogen production by water electrolysis technologies: A review." Results in Engineering 20 (2023): 101426.
- [6] Yadav, S., & Mondal, S. S. (2021). Numerical investigation of 660 MW pulverized coal-fired supercritical power plant retrofitted to oxy-coal combustion. International Journal of Greenhouse Gas Control, 105, 103227. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103227>
- [7] Xiong, J., Zhao, H., Chen, M., & Zheng, C. Simulation Study of an 800 MWe Oxy-combustion Pulverized-Coal-Fired Power Plant. Energy & Fuels. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China. <https://doi.org/10.1021/ef200023k>
- [8] Fu, C., & Gundersen, T. (2011). Power reduction in air separation units for oxy-combustion processes based on exergy analysis. In E. N. Pistikopoulos, M. C. Georgiadis, & A. C. Kokossis (Eds.), 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 21. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54298-4.50137-9>
- [9] Chen, L., Yong, S. Z., & Ghoniem, A. F. (2012). Oxy-fuel combustion of pulverized coal: Characterization, fundamentals, stabilization and CFD modeling. Progress in Energy and Combustion Science, 38(2), 156–214. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.09.003>
- [10] Li, H., Hu, Y., Ditaranto, M., Willson, D., Yan, J. (2013). Optimization of cryogenic CO2 purification for oxy-coal combustion. Energy Procedia Volume 37, 2013, Pages 1341-1347. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.009>
- [11] McCauley, K.J., et al., COMMERCIALIZATION OF OXY-COAL COMBUSTION: APPLYING RESULTS OF A LARGE 30MWth PILOT PROJECT. Energy Procedia Volume 1, Issue 1, February 2009, Pages 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.059>
- [12] Šulc, R., & Dittl, P. (2021). A technical and economic evaluation of two different oxygen sources for a small oxy-combustion unit. Journal of Cleaner Production, 309, 127427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127427>
- [13] Mantripragada, H. C., & Rubin, E. S. (2019). Integrated Environmental Control Model: CO2 Purification Unit (CPU) Models — Technical Documentation. Department of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University. https://www.uwyo.edu/iecm/_bfiles/documentation/201901_iecmdt_cpu-models-rev1.pdf
- [14] Lockwood, T. (2014). Developments in oxyfuel combustion of coal. IEA Clean Coal Centre, 300, 240.[2]

Quelle

- [15] Saleh, M., & Hedén Sandberg, A. (2021). Implementation of oxyfuel combustion in a waste incineration CHP plant: A Techno-Economic Assessment.
- [16] Espatolero, S., & Romeo, L. M. (2017). Optimization of oxygen-based CFBC technology with CO₂ capture. Energy Procedia, 114, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1200>
- [17] Magli, F., Spinelli, M., Fantini, M., Romano, M. C., & Gatti, M. (2021). Techno-Economic and Off-Design Analysis of Two CO₂ Purification Units for Low-Carbon Cement Plants with Oxy-fuel Calcination. In Proceedings of the 15th Greenhouse Gas Control Technologies Conference 15-18 March 2021 (pp. 1-6). International Energy Agency Greenhouse Gas, IEAGHG.
- [18] Chorowski, M., & Gizicki, W. (2015). Technical and economic aspects of oxygen separation for oxy-fuel purposes. Archives of thermodynamics, 157-170.
- [19] Beysel, G., 1st Oxyfuel Combustion Conference. Cottbus, Sept 8th, 2009. Enhanced Cryogenic Air Separation A proven Process applied to Oxyfuel. https://publications.ieaghg.org/docs/oxyfuel/OCC1/Plenary%201/Beysel_ASU_1stOxyfuel%20Cottbus.pdf
- [20] Jin, B., Zhao, H., Zou, C., & Zheng, C. (2015). Comprehensive investigation of process characteristics for oxy-steam combustion power plants. Energy conversion and management, 99, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.031>
- [21] Skorek-Osikowska, A., Bartela, L., Kotowicz, J., & Job, M. (2013). Thermodynamic and economic analysis of the different variants of a coal-fired, 460 MW power plant using oxy-combustion technology. Energy Conversion and management, 76, 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.032>
- [22] Darde, A., Prabhakar, R., Tranier, J. P., & Perrin, N. (2009). Air separation and flue gas compression and purification units for oxy-coal combustion systems. Energy Procedia, 1(1), 527-534. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.070>
- [23] Hagi, H., Le Moullec, Y., Nemer, M., & Bouallou, C. (2014). Performance assessment of first generation oxy-coal power plants through an exergy-based process integration methodology. Energy, 69, 272-284. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.008>

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Fakultät Maschinenwesen

Institut für Verfahrens- und Umwelttechnik
Professur für Energieverfahrenstechnik

M.Sc. Qiu Lu
Dr.-Ing. Daniel Bernhardt

Telefon: +49 351-463-39503
+49 351-463-33143

E-Mail: qiu.lu@tu-dresden.de
daniel.bernhardt@tu-dresden.de

Web: www.energieverfahrenstechnik.de

GMVA Oberhausen

Gemeinschafts-Müll-Verbrennungsanlage Niederrhein

Liricher Straße 121
46049 Oberhausen
Deutschland

Telefon: +49 208 8594-0
Fax: +49 208 8594-210

Web: info@gmva.de

Aktuelle Themen aus der Sicht eines Planungsbüros für Wirbelschichtverbrennungsanlagen



DI Dr. Helga Stoiber
DI Dr. Friedrich Kirnbauer
Senior Partner

Inhalt

- Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm
- PFAS
- Abfallverbrennung im Emissionshandel
- ISWA Study Tour Waste-to-Energy (Juni 2026)
- Aktuelle Marktentwicklungen



Mineralische Phosphor-Produktion und geschätzte Reserven (als P_2O_5)

Land	Produktion 2024 [t]	Produktion 2025 [t]	Reserven [t]	Reserven [%]
China	105 000	110 000	3 700 000	5,0 %
Marokko	33 000	30 000	50 000 000	67,6 %
USA	19 600	20 600	1 000 000	1,4 %
Russland	13 000	14 000	2 400 000	3,2 %
Jordanien	11 500	12 000	1 000 000	1,4 %
Saudi Arabien	9 900	9 500	1 000 000	1,4 %
Finnland	906	900	1 000 000	1,4 %
World, total	233 000	240 000	74 000 000	

Ressource : Lagerstätte, die geologisch nachgewiesen wurde

Reserve : Ressourcen, deren Abbau als wirtschaftlich darstellbar gilt

[Source: USGS 2025]

EU

- **EU Kommunale Abwasserrichtlinie „KARL“** - RL (EU) 2024/3019
Erwägungsgrund 42, Art. 20 → Regelung zum P-Recycling bis 02.01.2028
- EU Düngeprodukte-Verordnung – Verordnung (EU) 2019/1009
CMC 13, CMC 14
- EU Taxonomie-Verordnung - Verordnung (EU) 2023/2486
Phosphorrecycling aus KS ist eine nachhaltigen Tätigkeit.

Österreich – Verpflichtung zur P-Rückgewinnung ab 01.01.2033

- Abfallverbrennungsverordnung 2024 (AVV 2024) - § 20
Kommunale Kläranlagen $\geq 20.000 \text{ EW}_{60}$
Landwirtschaftl. Ausbringung, KS-Kompostierung somit verboten bei $\geq 20.000 \text{ EW}_{60}$
(1) aus KS-Aschen – 80% des P im KS
(2) auf der Kläranlage – 60% des P im Kläranlagenzulauf
- Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) - § 69 (10)

P-Recycling: DACH im Überblick

Schweiz

Ab 01.01.2026: Verpflichtung zum P-Recycling aus Klärschlamm, aber auch Knochenmehl und Tiermehl, das nicht verfüttert wird.

Auf nationaler Ebene keine Anlagengrößen definiert.

Kantone sind mit der Umsetzung beauftragt.

Deutschland

Für kommunale Klärschlämme mit $\geq 2 \text{ mg P / kg TS}$

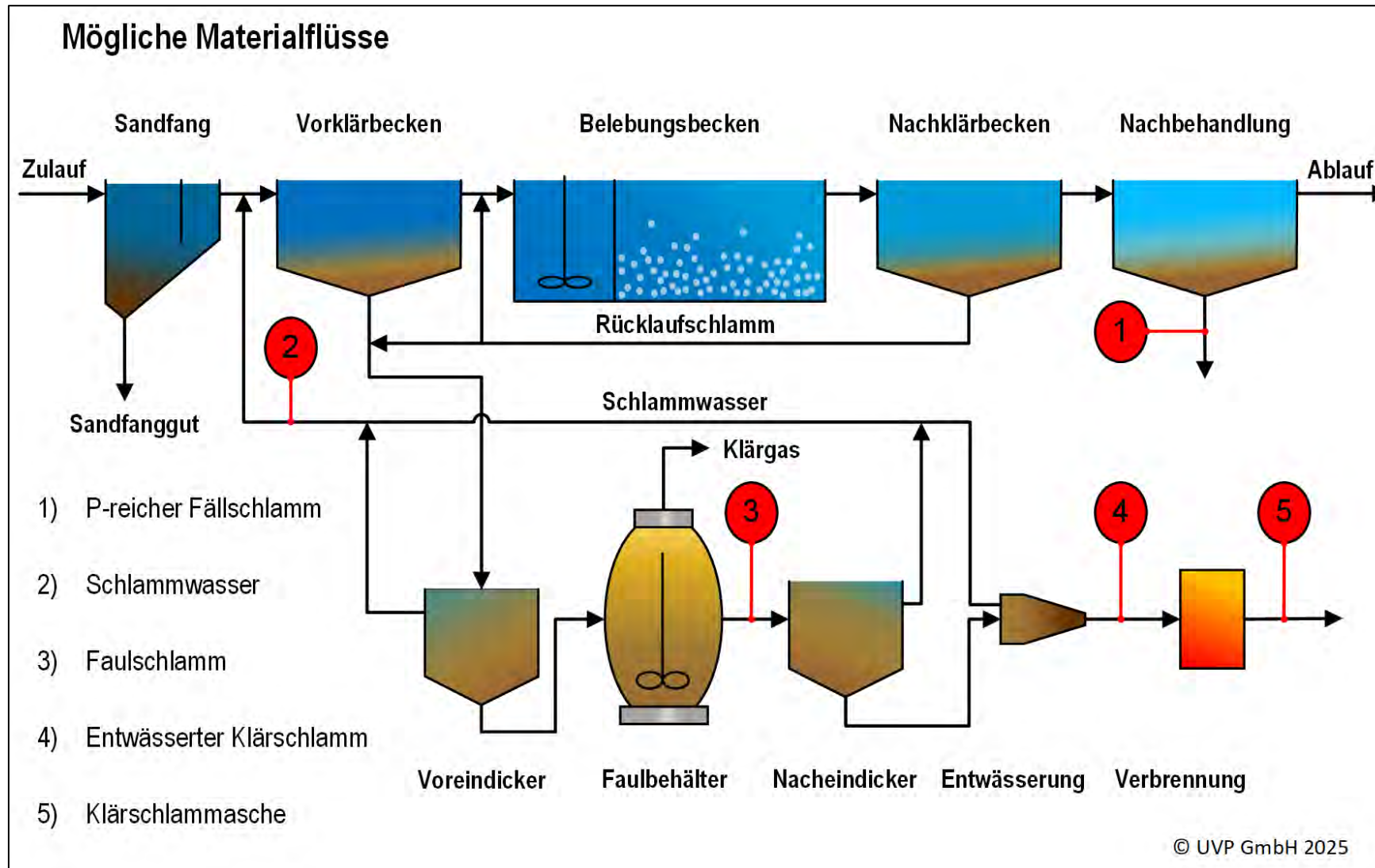
Ab 01.01.2029: Für Kläranlagen $\geq 100.000 \text{ EW}_{60}$

Ab 01.01.2032: Für Kläranlagen $\geq 50,000 \text{ EW}_{60}$

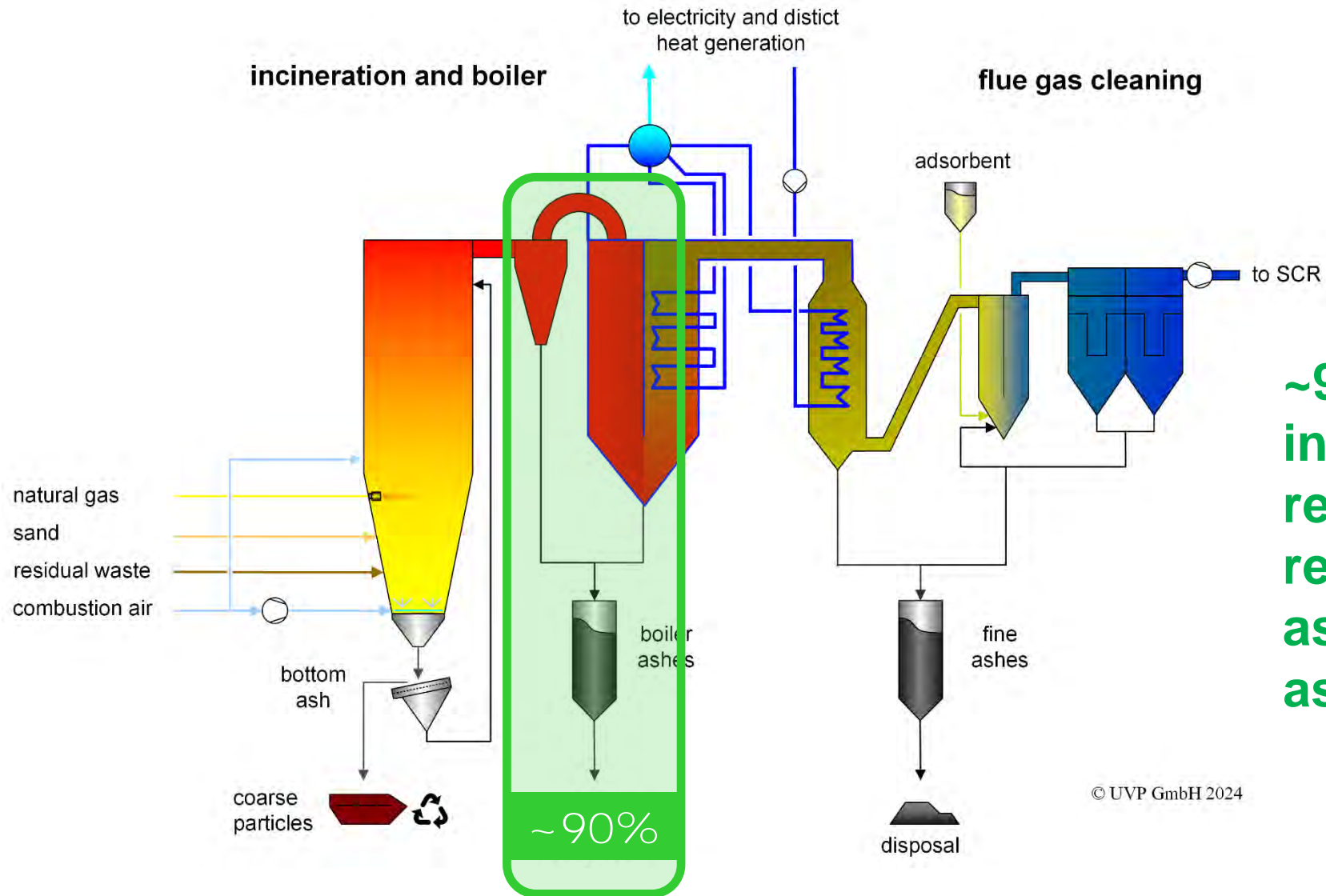
Österreich

Ab 01.01.2033: Für Kläranlagen $\geq 20,000 \text{ PE}$

P-Recycling – Kläranlage & Klärschlamm



State-of-the-Art BFB Mono-incinerator for SS



~90% of solid incineration residues can be recovered here as P-rich, clean fly ash at $\geq 400^{\circ}\text{C}$.

- PFAS = Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
→ mindestens 1 vollständig fluoriertes C-Atom (Definition der OECD)
- Derzeit rund 5.000 verschiedene Verbindungen mit einer CAS-Nummer
- 2 Typen von PFAS:
 - Nicht-polymere PFAS, z.B. PFOA, PFOS
 - Polymere PFAS, z.B. Teflon (PTFE)
- Eigenschaften:
 - Hydrophob + ggf. hydrophile funktionale Gruppe
 - Sehr stabil ggü. Temperatur, Oxidation, Säure, biologischem Abbau
 - Mobil, bioakkumulierend, tw. giftig
- Verwendung:
 - Imprägnierungsmittel, Tenside, Feuerlöschschaum, Beschichtung von Lebensmittelverpackungen, Kosmetika, Schmiermittel, Skiwachs, Pflanzenschutzmittel ...

PFAS (2) - Minderungsmaßnahmen

(1) Abtrennung von PFAS:

- Bodenwaschanlagen, Adsorption, Membranfiltration, Strippen ...

(2) Zerstörung von PFAS:

- **„Aus derzeitiger Sicht sind nur thermische Verfahren zur Zerstörung von PFAS geeignet.“** (DI Sonja Löw, 1. Österr. PFAS-Tag, Juni 2025)
- Bildung von quasi „unzerstörbaren“ kleinen PFAS-Molekülen, z.B. Trifluoressigsäure (TFA) oder Tetrafluormethan.
- Großtechnischer Versuch an der MVA Schweinfurt (D) läuft. Erste Ergebnisse deuten auf hohen therm. Abbaugrad > 99% hin. Publikation zum Jahresende erwartet.
- Ergänzen durch Versuche an einer großtechnischen WS-Verbrennungsanlage für Abfälle - ?

Abfallverbrennung im EU-ETS (1) – Rechtliche Grundlage

- EU Emissionshandelsrichtlinie (Richtlinie 2003/87/EG):
Ausnahme für Verbrennung von gefährlichen Abfällen und Siedlungsabfällen

Tätigkeiten	Treibhausgase
Energieumwandlung und -umformung	
Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 MW (ausgenommen Anlagen für die Verbrennung von gefährlichen oder Siedlungsabfällen)	Kohlendioxid
Mineralölraffinerien	Kohlendioxid
Kokereien	Kohlendioxid

- Revision 2024:
Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle > 20 MW BWL sind im Geltungsbereich der RL

Ab dem 1. Januar 2024 die Verbrennung von Brennstoffen in Anlagen für die Verbrennung von Siedlungsabfällen mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von mehr als 20 MW für die Zwecke der Artikel 14 und 15.

- ETS I (entspricht dem bisherigen ETS)
- ETS II (NEU):
- Straßenverkehr
- Gebäude
- Industrie- und Energieanlagen, die nicht im ETS I sind
- Landwirtschaft

Abfallverbrennung im EU-ETS (2) – Aktueller Stand in Österreich

- Seit 01. Jänner 2024:
Betreiber von Abfallverbrennungsanlagen sind verpflichtet, ihre CO₂-Emissionen zu messen und zu melden.
- Bis 31. Juli 2026:
Entscheidung, ob Abfallverbrennungsanlagen in den EU-Emissionshandel einbezogen werden sollen.
- Falls ja:
Verpflichtende Teilnahme des ETS II ab 01.01.2027.
Verschiebung auf 01.01.2028 ist unter bestimmten Bedingungen möglich.

ISWA Study Tour Waste-to-Energy 15.-19.06.2026

ISWA Austria Study Tour 2026 Waste-to-Energy | 15 - 19 June 2026



Register now with
the early bird fee!



Klärschlamm(-wirbelschicht-)verbrennung in Österreich

- Beginnende Aktivitäten in den Bundesländern auf der Ebene der Länder bzw. Landeshauptstädte – Konzeptphase
- Aktuell noch teilweise Co-Verbrennung mit Biomasse und anderen Abfällen in Abfallverbrennungs- und –mitverbrennungsanlagen (Feuerungsanlagen, Zementindustrie); weiters landwirtschaftliche Ausbringung direkt oder als Klärschlammkompost
- Wien Energie mit der größten Kapazität für extern angelieferte Schlämme (entwässert und getrocknet)
- Energie Graz: Energetische Klärschlammverwertung Gössendorf – Projekt in Ausschreibung
Innovative Integration in den Energiehaushalt der Kläranlage zur Maximierung der Fernwärmeauskopplung (Abgaskondensation, Wärmepumpen)

Abfallverbrennung in Wirbelschichten

- Projektstätigkeiten in Industriebetrieben, zumeist mit **industriellen Schlämmen, Industrieabfällen und anderen Abfällen** – aktuelle Wirtschaftslage hat hemmende Wirkung auf viele Projekte in Österreich
- Projekte im europäischen Ausland (mit hoher Deponiequote) – **max. 10% Deponierung von unbehandeltem Hausmüll bis 2035 (EU Deponie-RL)**; Genehmigungsverfahren, Akzeptanz der Behörden und Anrainer bzw. vielfach als Rostfeuerungen
- In **„neuen Märkten“ (Osteuropa, Balkan, ...)**
 - starke Aktivitäten beim Bau von Mechanisch-Biologischen Anlagen (MBA)
 - Nicht verwertbare Fraktionen gehen in thermische Verwertung - zumeist Rostfeuerung
 - ➔ Wirbelschichtfeuerung als Alternative
 - ➔ **Wie kann die Wirbelschichttechnologie in diesen Märkten sichtbarer gemacht werden?**

Thank you for your attention!



Dipl.-Ing. Dr. Friedrich KIRNBAUER
Senior Partner

Dipl.- Ing. Heimo ZIMMERMANN
CEO

Dipl.-Ing. Dr. Helga STOIBER
Senior Partner

Dipl.-Ing. Dr. Albert ZSCHETZSCHE
Technischer Direktor, Prokurist

www.uvp.at

Min Su Sohn^{1*}, Daniel Bernhardt^{1*}, Michael Schinke^{2**}, Michael Beckmann^{1*}

^{*}Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Professur für Energieverfahrenstechnik, TU Dresden, George-Bähr-Straße 3b, 01069 Dresden, Deutschland

^{**}ERGO Umweltinstitut GmbH, Lauensteiner Straße 42, 01277 Dresden, Deutschland

Treibhausgas-Emissionen bei der Klärschlammverbrennung – 1. Ergebnisse von Praxismessungen an deutschen Monoklärschlammverbrennungsanlagen

Das 15. Österreichische IEA Wirbelschichttreffen

29. - 31. Oktober 2025 / Leoben, Österreich

Inhaltsverzeichnis



Hintergrund und Zielstellung



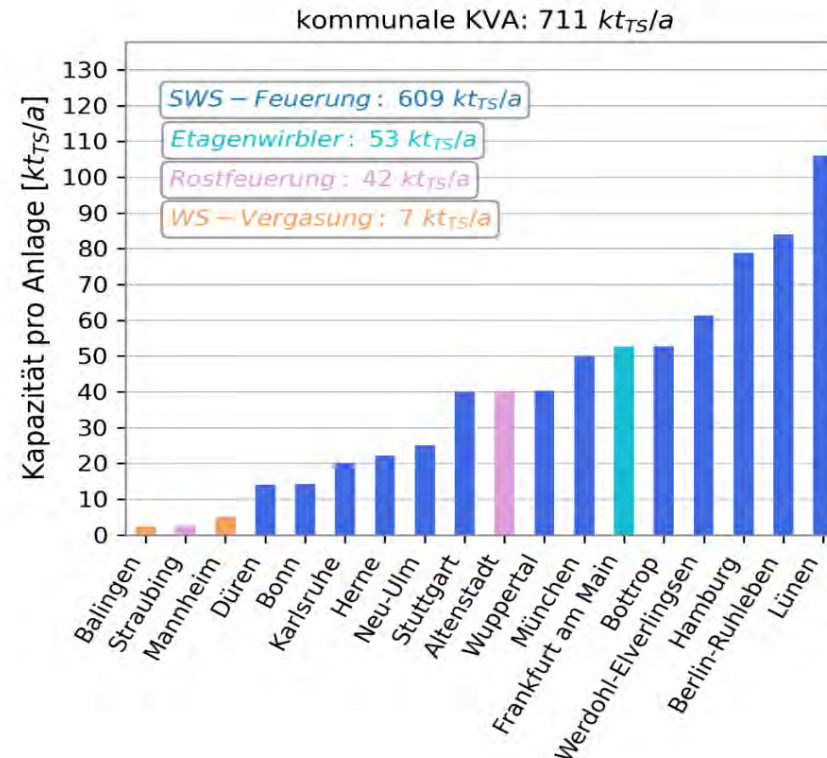
Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse

- Teil 1: Emissionsmessungen – Gegenüberstellung Roh- und Reingas
- Teil 2: biogener Kohlenstoffanteil des CO₂ und der Klärschlammproben
- Teil 3: Bilanzrechnung



Zusammenfassung und Ausblick

Stand der Technik



- Stationäre **Wirbelschichtfeuerung** als **Stand der Technik** zur **Klärschlammmonoverwertung**
 - ☺ Hohe Flexibilität gegenüber Heizwertschwankungen des Brennstoffs
 - ☹ Erhöhte **N₂O-Emissionen** im Vergleich zu anderen Feuerungssystemen

Frage: Wie hoch sind die tatsächlichen THG-Emissionen (**Methan, fossilem CO₂ und N₂O**) bei der thermischen Klärschlammmentsorgung in Deutschland?



Zielstellung

- Erfassung der Datenlage zu THG-Emissionen
 - Emissionsmessungen von CO₂, CH₄, N₂O und NO_x usw. in **10 ausgewählten KVA** in Deutschland
 - Erfassung folgender Parameter:

TUD- EVT

Klärschlamm

Was?

- Untersuchung der Elementaranalyse (EA), Heizwertbestimmung (h_u), **C-fossil** im **Klärschlamm**

Rohgas

Was?

- **N₂O** sowie weitere Abgasbestandteile, Abgasrandbedingungen

ERGO Umweltinstitut GmbH

Reingas

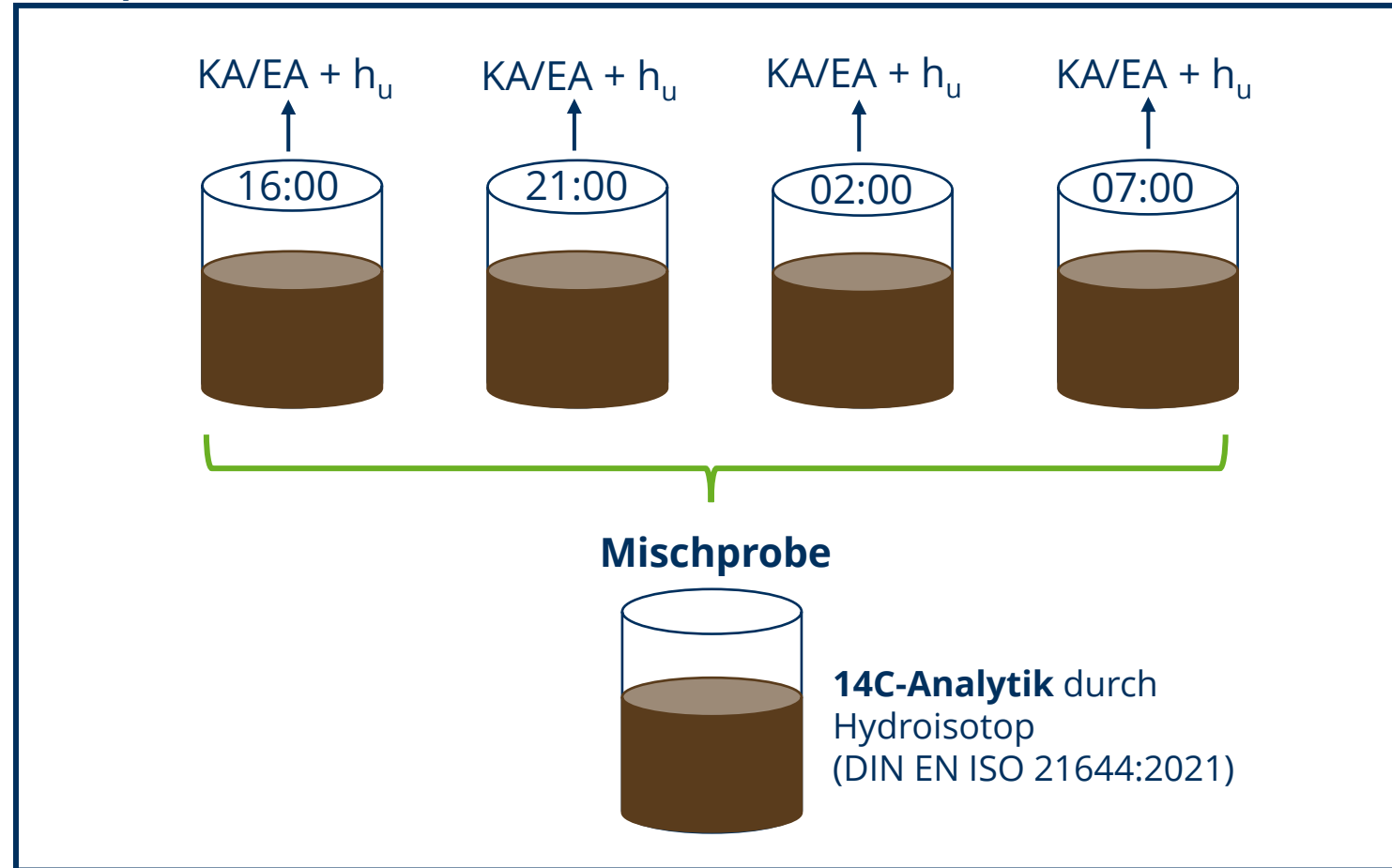
Was?

- CO₂, **CO₂-fossil**, O₂, **N₂O**, **CH₄**, NO_x, sowie Abgasrandbedingungen

Methodische Vorgehensweise

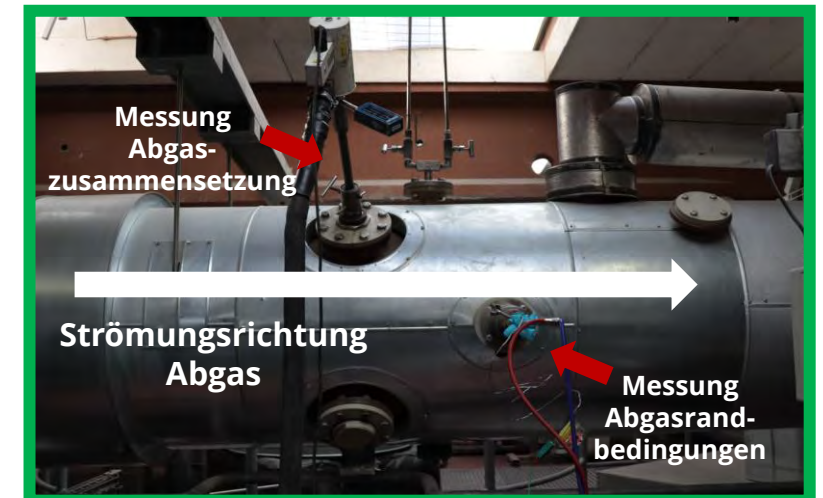
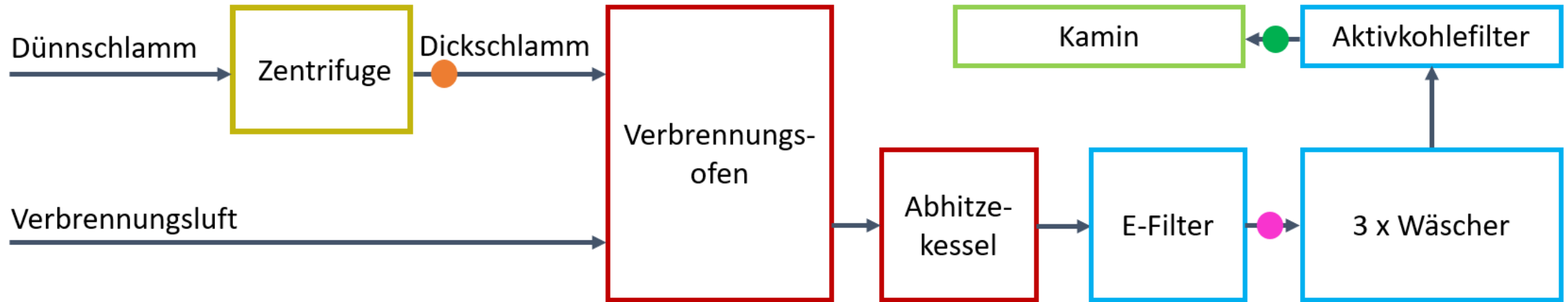
Klärschammprobenahme und Analytik

Konzept für KS-Probenahme



Klärschlammverbrennungsanlage 1

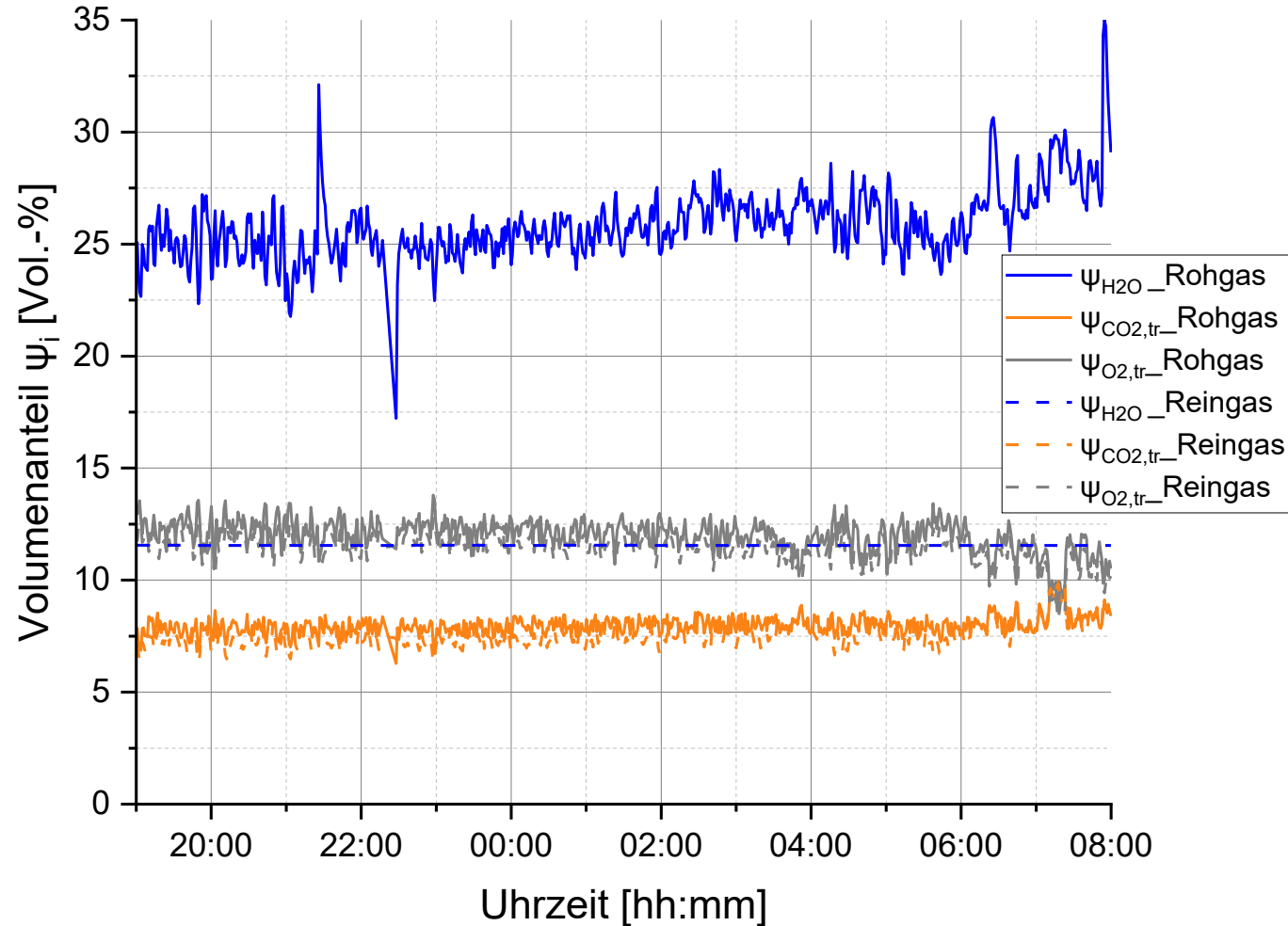
- KS-Entnahmeort
- Messstelle Rohgas
- Messstelle Reingas



Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Hauptabgasspezies

KVA 1



Auswertezeitraum: 4.11.24 19:00 – 5.11.24 08:00

 $\text{H}_2\text{O} = 25,9 \pm 1,5 \text{ Vol.-%}$ $\text{CO}_2 = 8,0 \pm 0,4 \text{ Vol.-% tr.}$ $\text{O}_2 = 12,0 \pm 0,7 \text{ Vol.-% tr.}$

Rohgas
TUD

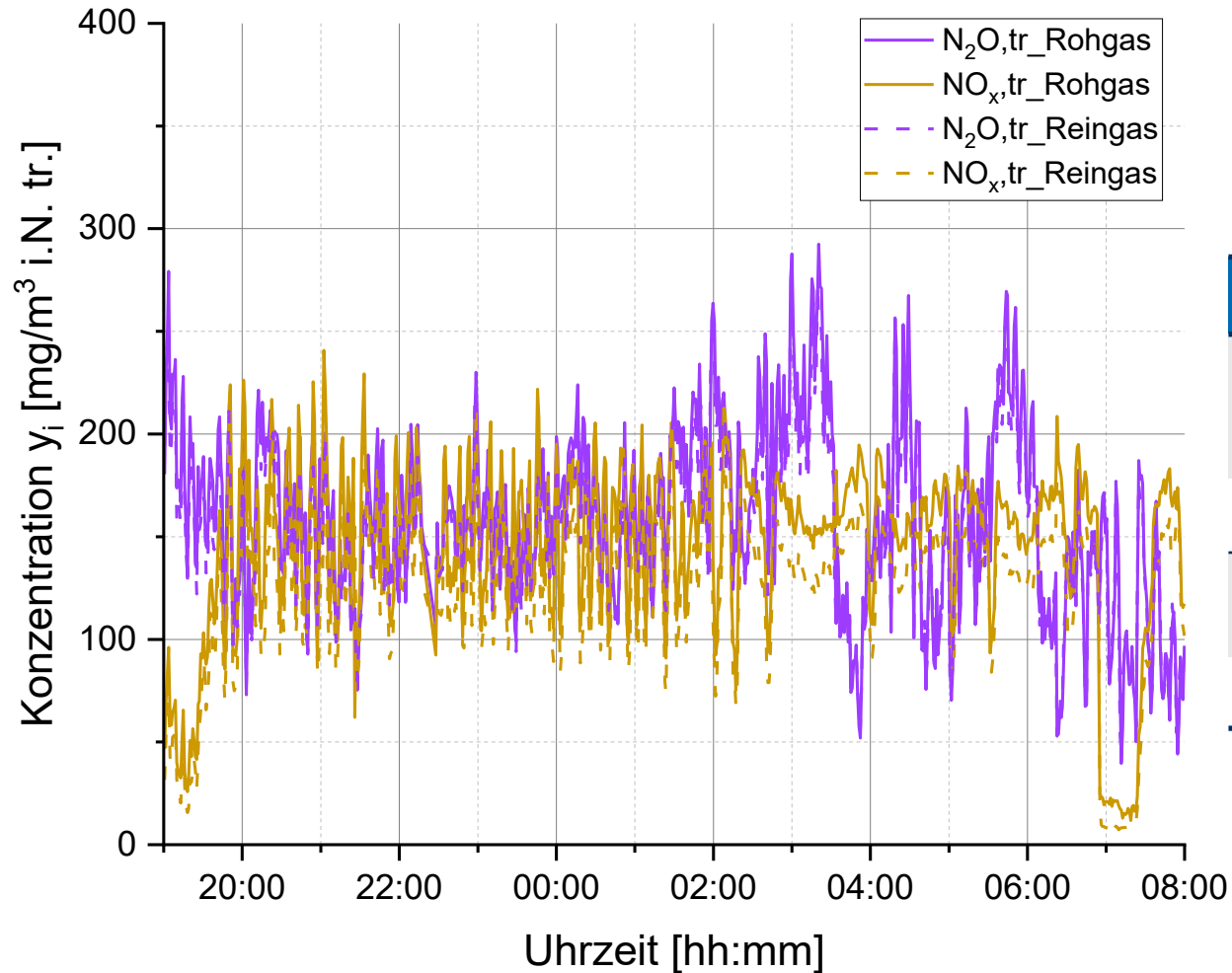
 $\text{H}_2\text{O} = 11,6 \text{ Vol.-%}$ $\text{CO}_2 = 7,5 \pm 0,5 \text{ Vol.-% tr.}$ $\text{O}_2 = 11,2 \pm 0,7 \text{ Vol.-% tr.}$

Reingas
ERGO

Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Stickstoffspezies

KVA 1

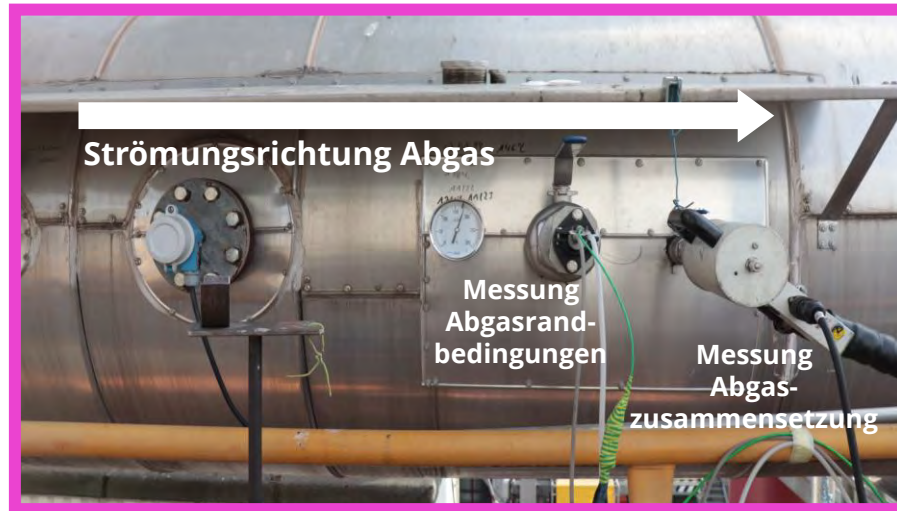
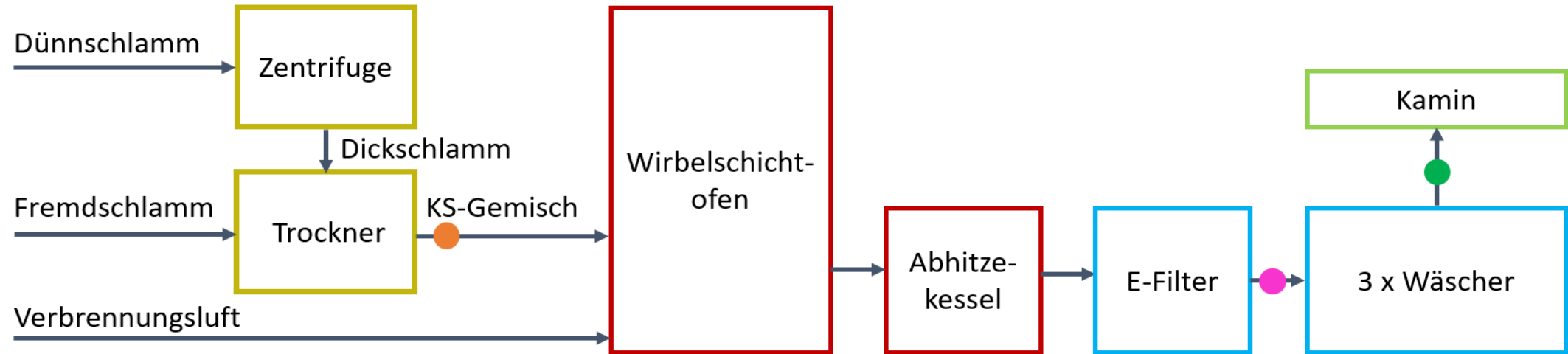


Auswertezeitraum: 4.11.24 19:00 – 5.11.24 08:00

Rohgas (TUD)		Reingas (ERGO)	
N₂O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.]	N₂O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.]
161,3 +/- 44,6	146,1 +/- 42,4	155,2 +/- 39,7	124,9 +/- 39,1
[mg/m³ i.N.tr.] @ 11% O₂	[mg/m³ i.N.tr.] @ 11% O₂	[mg/m³ i.N.tr.] @ 11% O₂	[mg/m³ i.N.tr.] @ 11% O₂
182,9 +/- 58,7	164,4 +/- 50,1	161,6 +/- 47,9	129,4 +/- 42,2

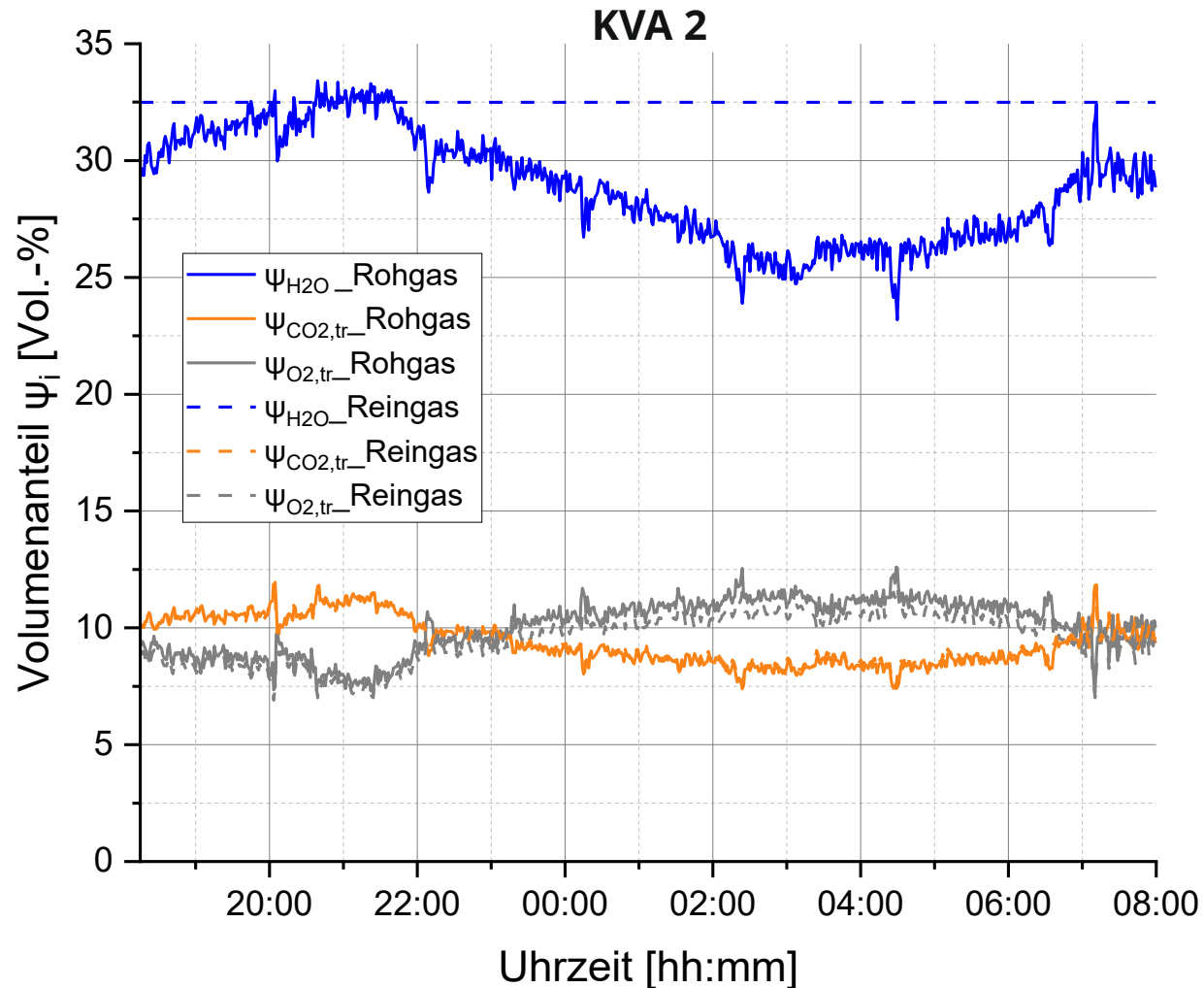
Klärschlammverbrennungsanlage 2

- KS-Entnahmestort
- Messstelle Rohgas
- Messstelle Reingas



Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Hauptabgasspezies



Auswertezeitraum: 5.11.24 17:00 - 6.11.24 07:59

$H_2O = 28,8 \pm 2,2 \text{ Vol.-%}$

$CO_2 = 9,4 \pm 1,0 \text{ Vol.-% tr.}$

$O_2 = 10,0 \pm 1,1 \text{ Vol.-% tr.}$

Rohgas
TUD

$H_2O = 32,5 \text{ Vol.-%}$

$CO_2 = 9,5 \pm 0,9 \text{ Vol.-% tr.}$

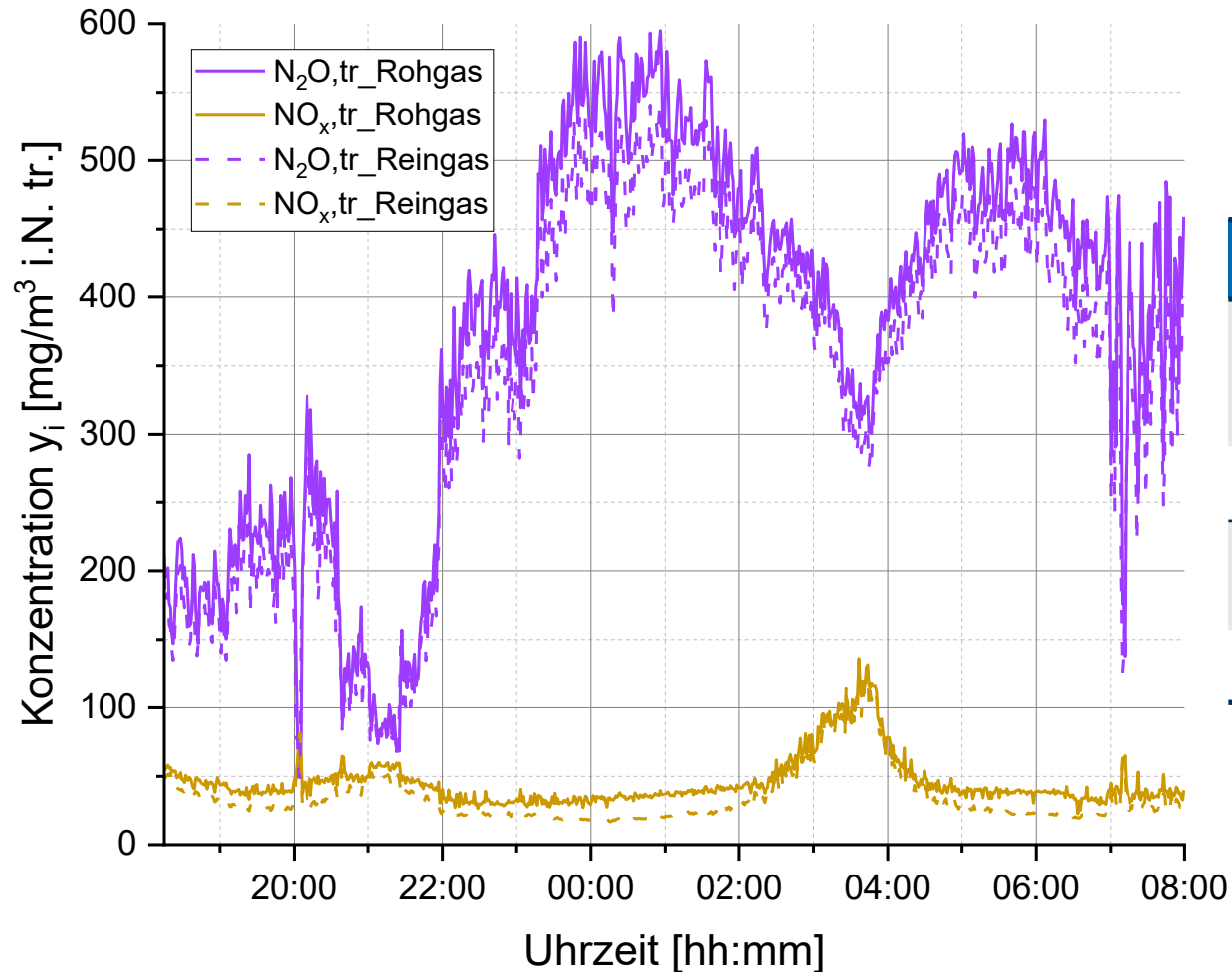
$O_2 = 9,5 \pm 1,0 \text{ Vol.-% tr.}$

Reingas
ERGO

Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Stickstoffspezies

KVA 2

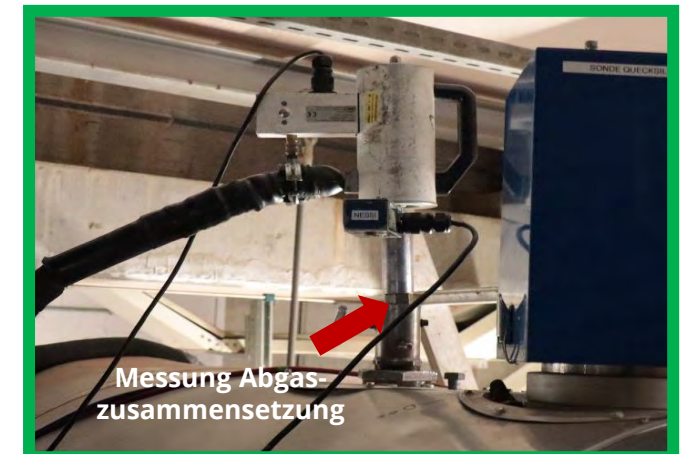
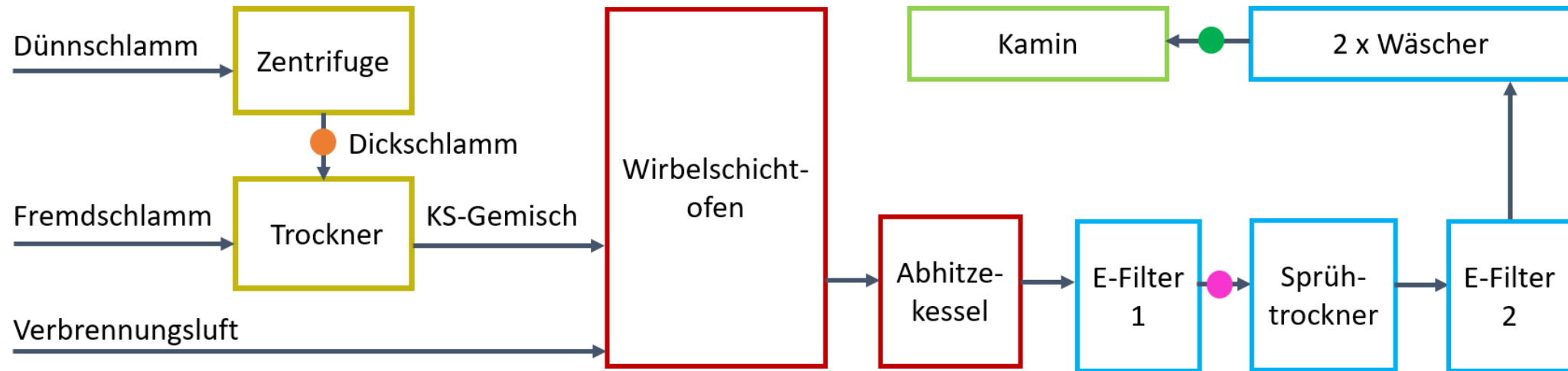


Auswertezeitraum: 5.11.24 17:00 - 6.11.24 07:59

Rohgas (TUD)		Reingas (ERGO)	
N ₂ O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO _x [mg/m ³ i.N.tr.]	N ₂ O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO _x [mg/m ³ i.N.tr.]
375,9 +/- 137,5	45,6 +/- 17,9	342,1 +/- 126,6	34,7 +/- 19,8
[mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	[mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	[mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	[mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂
357,2 +/- 148,9	42,4 +/- 18,9	290,0 +/- 134,7	33,4 +/- 22,0

Klärschlammverbrennungsanlage 3

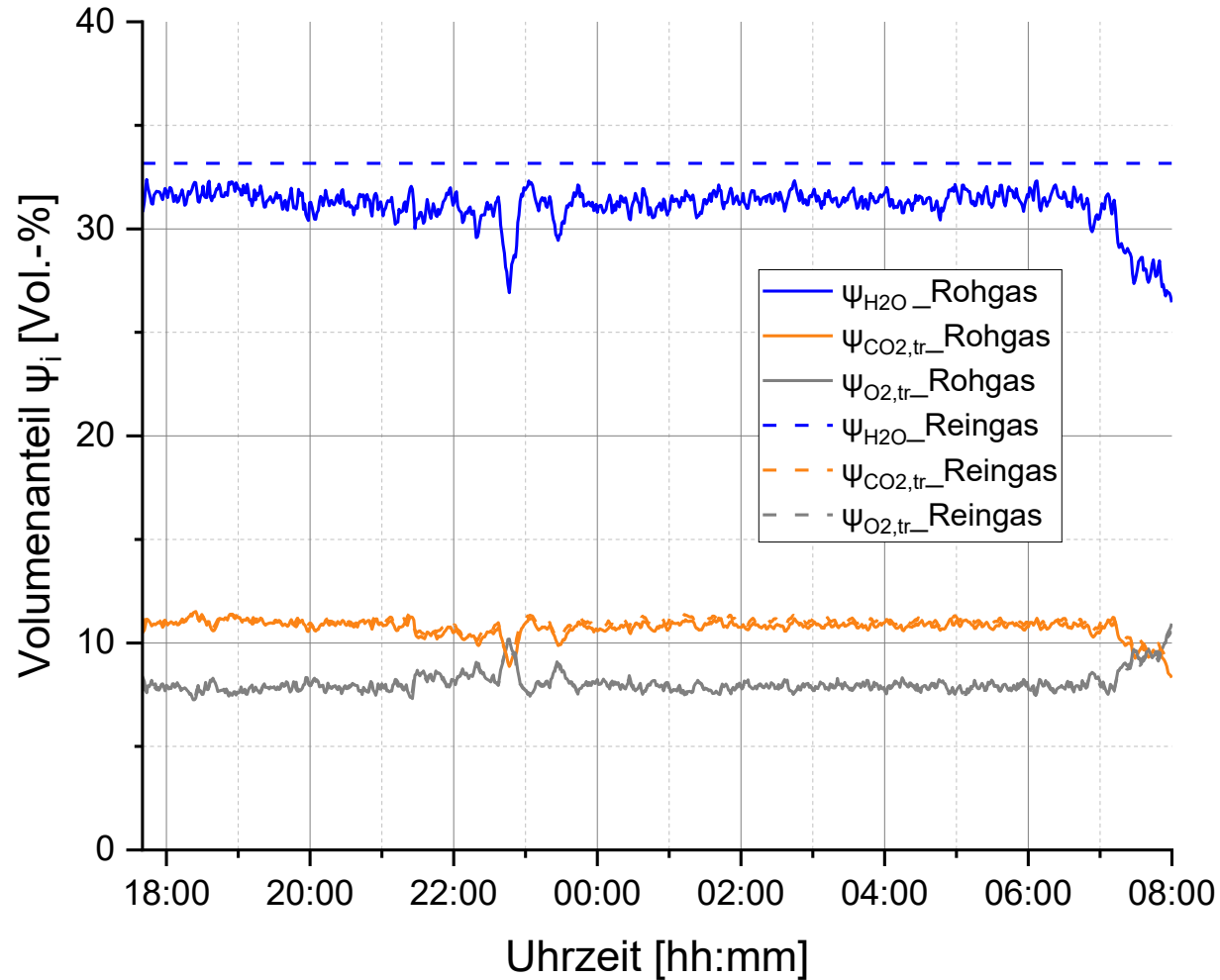
- KS-Entnahmeort
- Messstelle Rohgas
- Messstelle Reingas



Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Hauptabgasspezies

KVA 3



Auswertezeitraum: 6.11.24 16:00 - 7.11.24 07:59

H₂O = 31,1 +/- 1,0 Vol.-%CO₂ = 10,7 +/- 0,4 Vol.-% tr.O₂ = 8,0 +/- 0,5 Vol.-% tr.

Rohgas
TUD

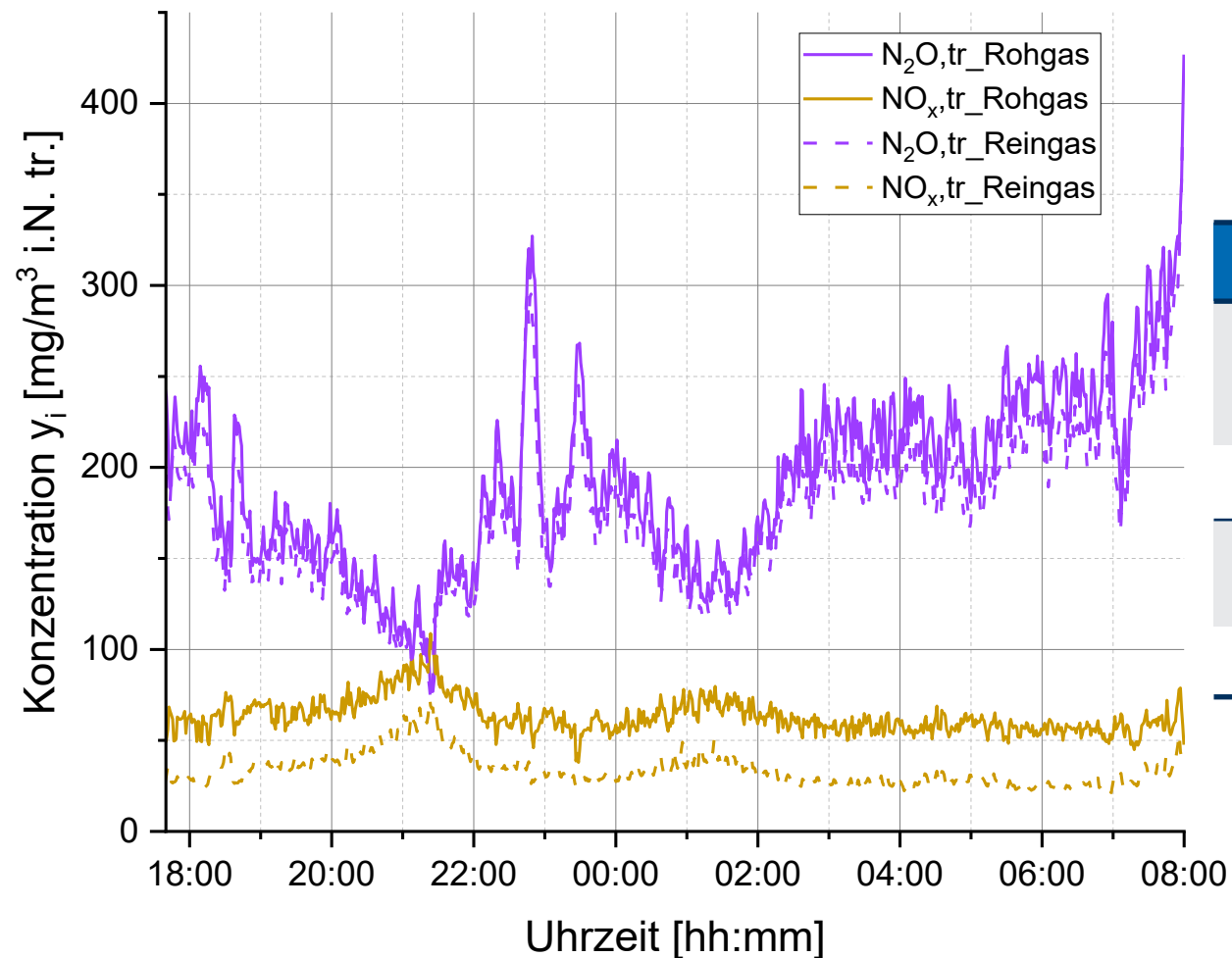
H₂O = 33,2 Vol.-%CO₂ = 10,9 +/- 0,4 Vol.-% tr.O₂ = 8,1 +/- 0,4 Vol.-% tr.

Reingas
ERGO

Ergebnisse - Gegenüberstellung Roh- und Reingas

Stickstoffspezies

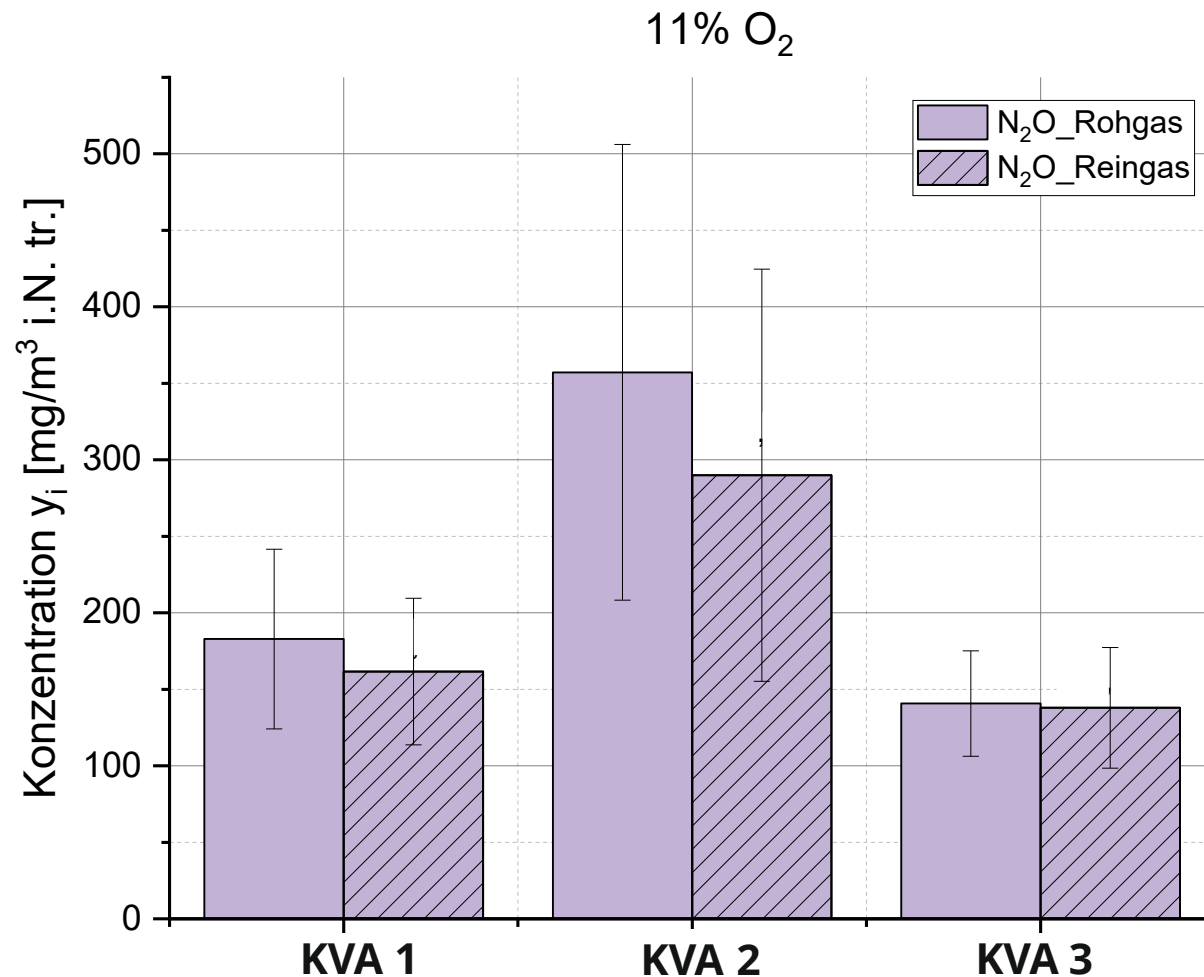
KVA 3



Auswertezeitraum: 6.11.24 16:00 - 7.11.24 07:59

Rohgas (TUD)		Reingas (ERGO)	
N_2O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.]	N_2O [mg/m ³ i.N.tr.]	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.]
193,7 +/- 49,2	63,2 +/- 9,4	178,1 +/- 44,1	33,5 +/- 9,0
N_2O [mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	N_2O [mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂	NO_x [mg/m ³ i.N.tr.] @ 11% O ₂
140,7 +/- 34,4	49,3 +/- 7,1	137,9 +/- 39,4	25,8 +/- 7,1

Vergleich N₂O



- **Für alle Anlagen:** im Reingas wurden quantitativ geringere N₂O-Konzentration festgestellt
 - Insbesondere in **KVA 1** und **2** könnte eine Abhängigkeit zwischen Roh- und Reingas bestehen
 - Zur Prüfung dieser Abhängigkeit, wurde ein Signifikanztest (z.B. ANOVA) **durchgeführt**



Keinen signifikanten Unterschied

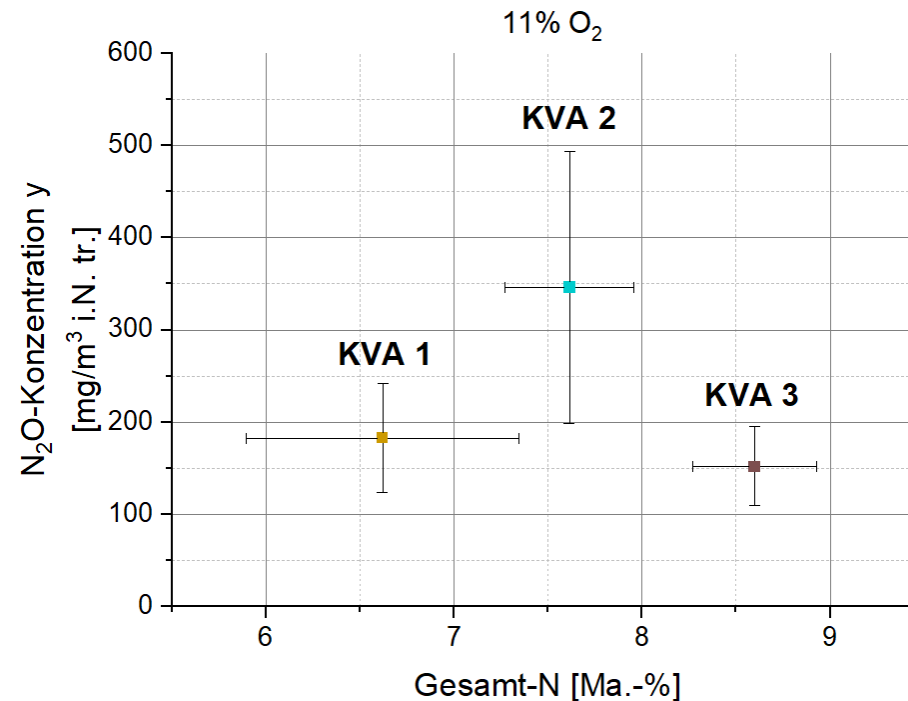
Einflussgrößen auf die N₂O-Bildung und -Minderung

- *brennstoffseitig:* Stickstoffgehalt
- *betriebsseitig:* Sauerstoffangebot Temperatur

Stickstoffgehalt

Sauerstoffangebot

Temperatur



Biogene Kohlenstoffanteile im CO₂ und im Klärschlamm

Probenbezeichnung	Anteil biogener Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff CO ₂ [%]	Anteil biogener Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff Klärschlamm [%]
Mischprobe KVA 1	57,3 ± 2,7	88,7 ± 3,8
Mischprobe KVA 2	70,7 ± 3,1	90,8 ± 3,9
Mischprobe KVA 3	76,1 ± 3,3	76,6 ± 3,5

- **KVA 1 & 2** : deutliche Unterschiede zwischen biogenen Kohlenstoffanteile im CO₂ und im Klärschlamm erkennbar
- **Mögliche Ursache:** Zufeuerung von fossilem Zusatzbrennstoff (ZB)

- **KVA 3**: keine großen Unterschiede, jedoch relativ hohen biogenen Kohlenstoffanteil im Abgas ersichtlich
- **Mögliche Ursache:** Faulgas als biogene Quelle → mehr Faulgas als Heizöl eingesetzt

Bilanzrechnung

Hintergrund

Formel 1:

Bestimmung des N₂O-Emissionsfaktors nach Dong et al. (2024), angelehnt an IPCC (2006)

$$EF_{N_2O} = EC_{ss} \cdot FGV$$

$$FGV = \frac{Q_v}{m}$$

EF_{N_2O} ... Emissionsfaktor $\left[\frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{t TS}}\right]$

EC_{ss} ... N₂O – Konzentration im trockenen Abgas $\left[\frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3}\right]$

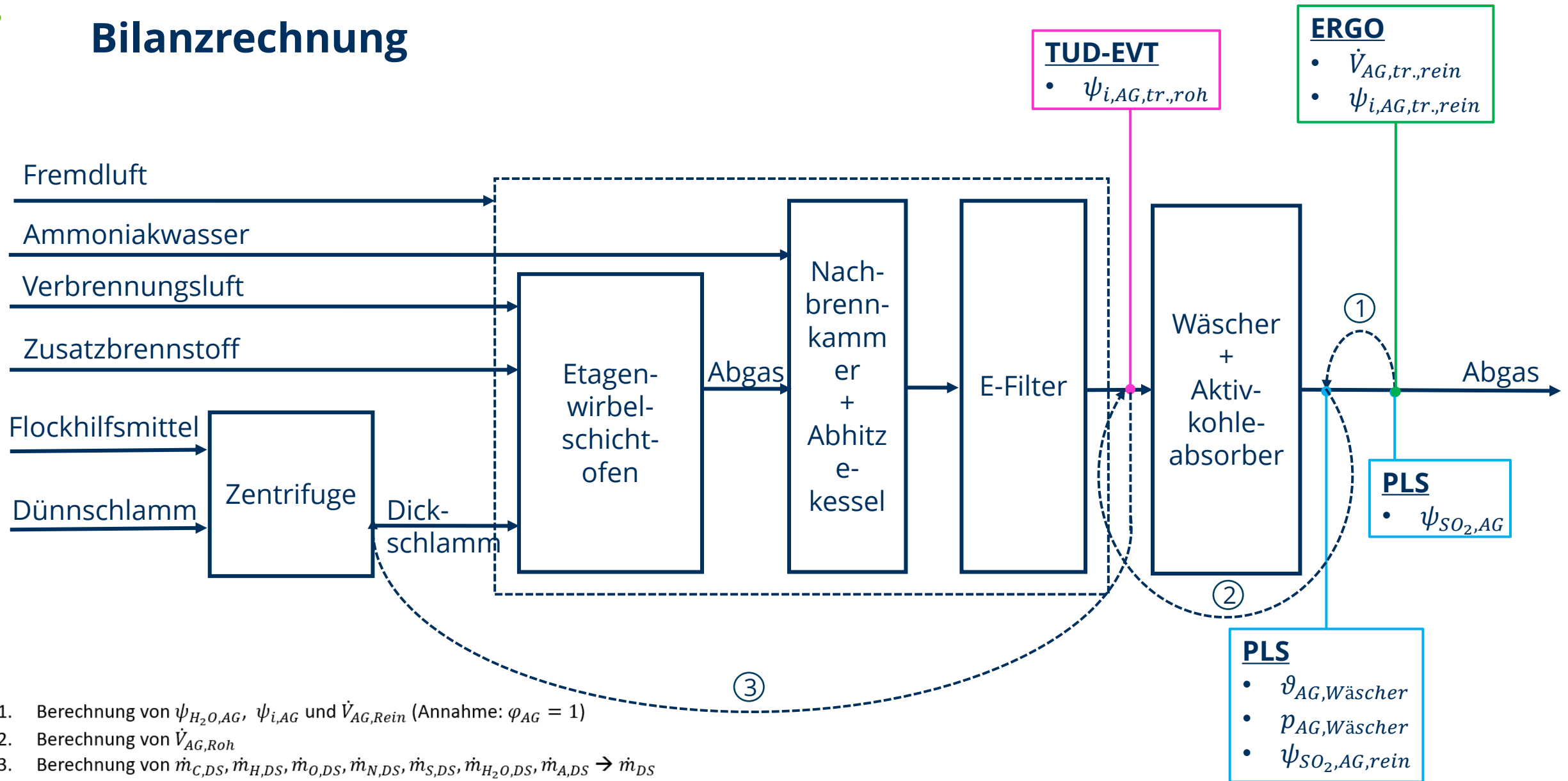
FGV ... Volumen des trockenen Abgases pro Masseneinheit Abfall
(Spezifisches Trockengasvolumen) $\left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{t TS}}\right]$

Q_v ... Trockengasvolumenstrom $[\text{Nm}^3]$

m ... Masse des verbrannten Abfalls $[\text{t TS}]$

Y. Dong, L. Wang, F. Wang, B. Zou, G. Lv, H. Cui, Z. Ye, N₂O emission factors in bubbling fluidized bed incineration of municipal sewage sludge: The China case, Waste Manag. 183 (2024) 253–259.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.05.022>.

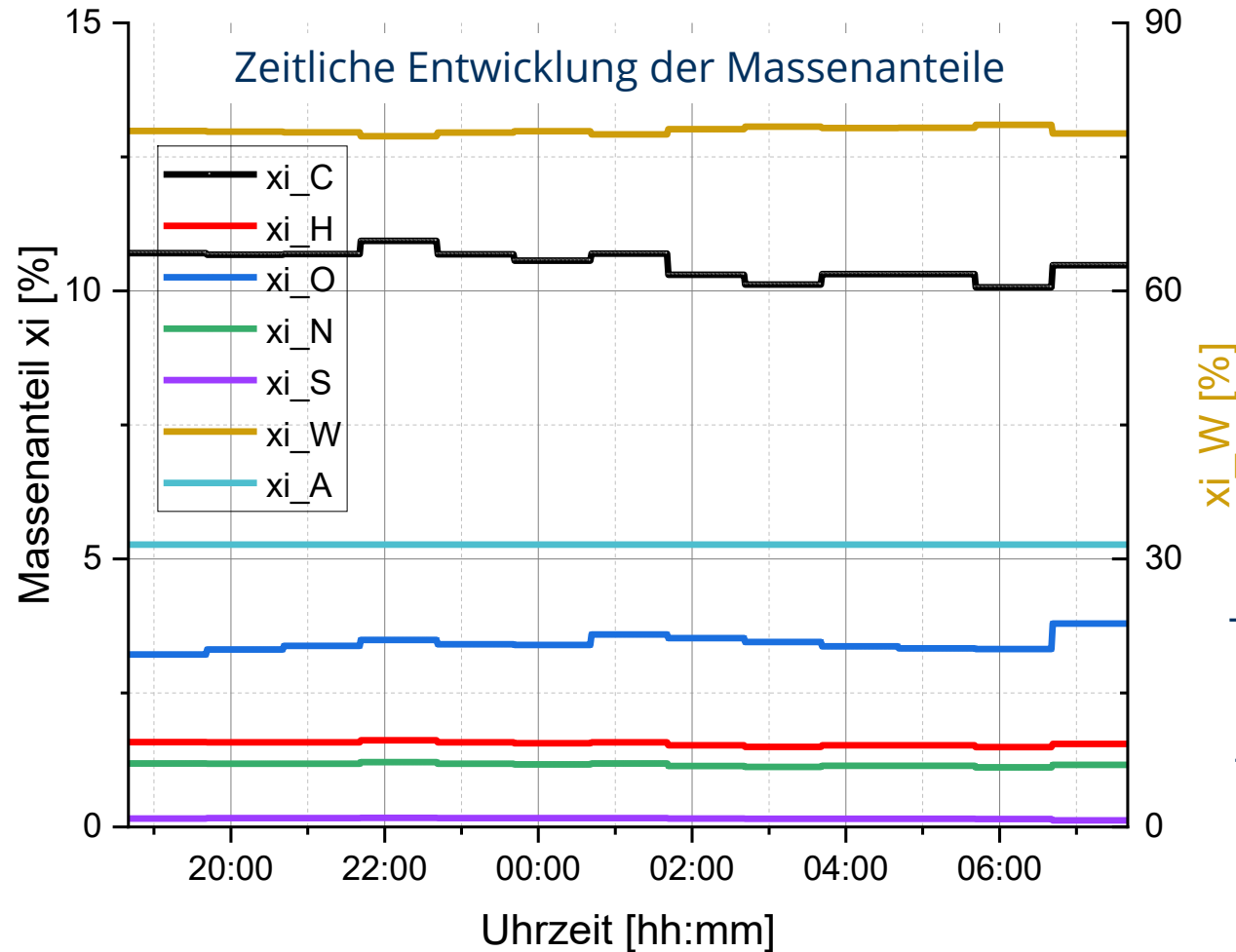
Bilanzrechnung



Massenanteile aus Bilanz

Plausibilitätsprüfung

Zeitliche Entwicklung der Massenanteile



Massenanteil ξ_i [%]	MW +/- SD (13 Stunden)	Laboranalyse (LF)
C	10,7 % +/- 0,3	10,5 %
H	1,6 % +/- 0,0	1,6 %
O	4,6 % +/- 0,1	6,1 %
N	1,2 % +/- 0,0	1,2 %
S	0,2 % +/- 0,0	0,2 %
H₂O	76,5 % +/- 0,4	75,2 %
Asche	5,3 % +/- 0,0	5,3 %

- Alle Werte bleiben stabil über die Gesamtmessdauer
→ eine **gute Konsistenz** der Messungen
- Gute Übereinstimmung der berechneten Stoffzusammensetzungen und Laborwerte
→ dies bestätigt die **Zuverlässigkeit der durchgeführten Bilanzrechnungen**



Zusammenfassung

- Emissionsmessungen an realen KVA schafft **Datenbasis zum Thema THG-Emission in Deutschland**
- An drei KVA eine sehr geringe Menge von CH_4 (unterhalb 1 mg/m³), jedoch relativ hohe N_2O -Konzentration beobachtet
- Beim Vergleich der N_2O -Emissionen → **ein komplexes Zusammenspiel von brennstoffseitigen und betrieblichen Einflussgrößen**
- ZB als mögliche Ursache für unterschiedliche biogenen Kohlenstoffanteile im CO_2 und im Klärschlamm
- Bilanzrechnung als eine geeignete Methode zur Ermittlung der unbekannten Prozessgrößen sowie Plausibilitätsprüfung

Ausblick

- Emissionsmessungen in 10 KVA in Deutschland → Bestimmung von Emissionsfaktoren
- Einsatz von einem Online-Prognosetool für die N_2O - und NO_x – Emissionen realer KVA
→ Modellierung sowie Modellvalidierung an weiteren Mono-KVA

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fakultät Maschinenwesen

Institut für Verfahrens- und Umwelttechnik
Professur für Energieverfahrenstechnik

Dipl.-Ing.

Min Su Sohn

Telefon: +49 351-463-37497

E-Mail: min_su.sohn1@tu-dresden.de

Web: www.energieverfahrenstechnik.de



Fakultät Maschinenwesen

Institut für Verfahrens- und Umwelttechnik
Professur für Energieverfahrenstechnik

Dr.-Ing.

Daniel Bernhardt

Telefon: +49 351-463-33143

E-Mail: daniel.bernhardt@tu-dresden.de

Web: www.energieverfahrenstechnik.de

**Umwelt
Bundesamt**

Die hier vorgestellten Arbeiten sind Bestandteil des UBA-Projektes ReFoPlan 2022:

„Ermittlung noch vorhandener Klimaschutzpotentiale bei der thermischen Klärschlammbehandlung unter besonderer Berücksichtigung der Abgasparameter Stickoxide (NO_x) und Lachgas (N₂O)“

FKZ: 3722 34 301 0 | AZ: 34 043/0012

Praxisbeispiele zur Optimierung von Dampferzeugern in der Papierindustrie und in Müllverbrennungsanlagen mittels Shock Pulse Generatoren

15. Österreichisches Wirbelschichttreffen
30./31.10.2025 Leoben
Dr. Christian Steiner



Inhalt

- 01 Explosion Power
- 02 Kesselreinigung mit SPG
- 03 Adaptive Kesselreinigung mit SPG
- 04 Praxisbeispiele der Optimierung
 - Wirbelschicht-Verbrennung Schwedt EEW
 - WtE Coriano
 - WtE Perlen
- 05 Zusammenfassung

3 | Explosion Power



Explosion Power

📍 Lenzburg, Switzerland

Anzahl
Mitarbeitende

50 

Installationen
weltweit

1'300

Kernkompetenz



Entwicklung und Herstellung von
Kesselreinigungsgeräten,
Optimierung Kesselbetrieb

Meilensteine

2009



Gründung von
Explosion Power
und erste Verkäufe
in der Schweiz

2010



Erste SPG-
Verkaufserfolge
ausserhalb der
Schweiz

2013



Erste SPG-
Installationen
ausserhalb
Europas

2016



EP wird eine
Tochter-
gesellschaft der
Martin GmbH

2020



Markteinführung
der neuen SPGr-
Serie

2023

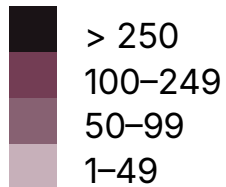


Installation des
1000. SPG

Mehr als 1'300 Shock Pulse Generatoren weltweit

Verkaufte SPGs: >1'300 (>250 SPGr)
Anzahl Länder: >20

SPGs pro Land

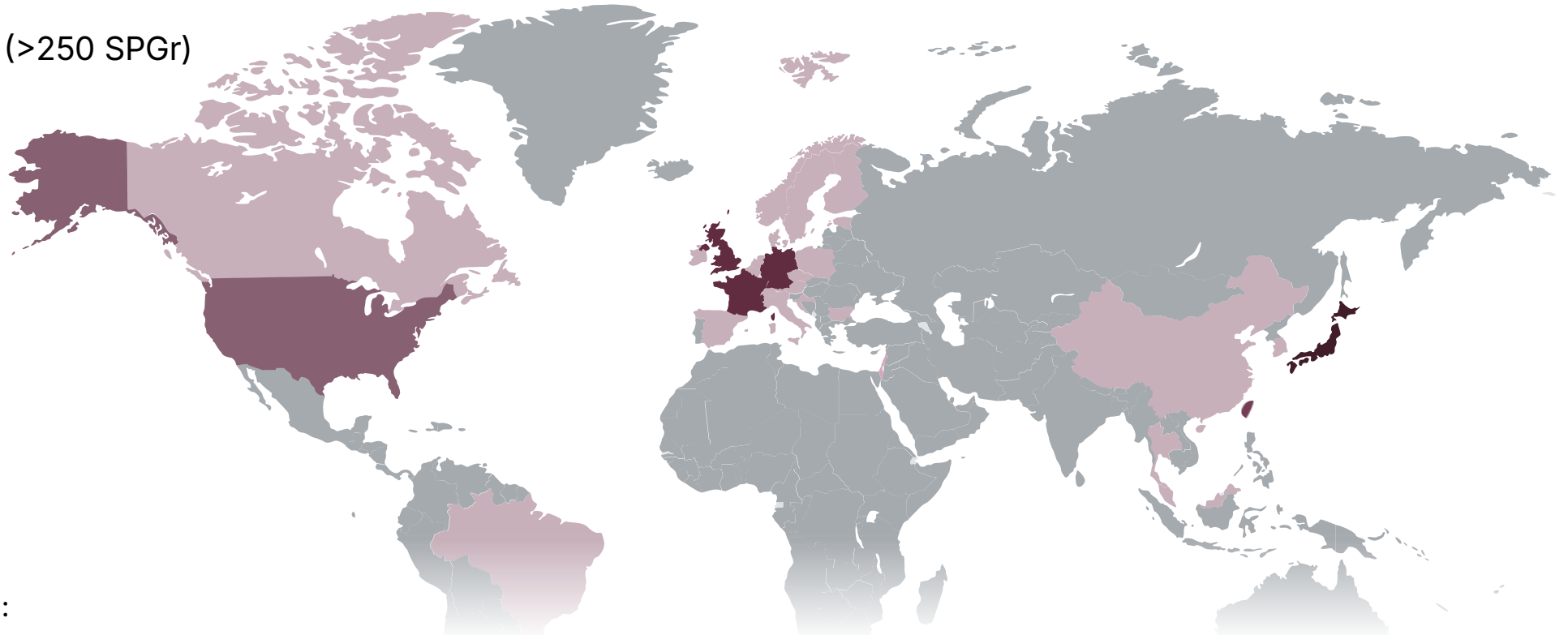


Vertriebspartner (Hauptsitz):

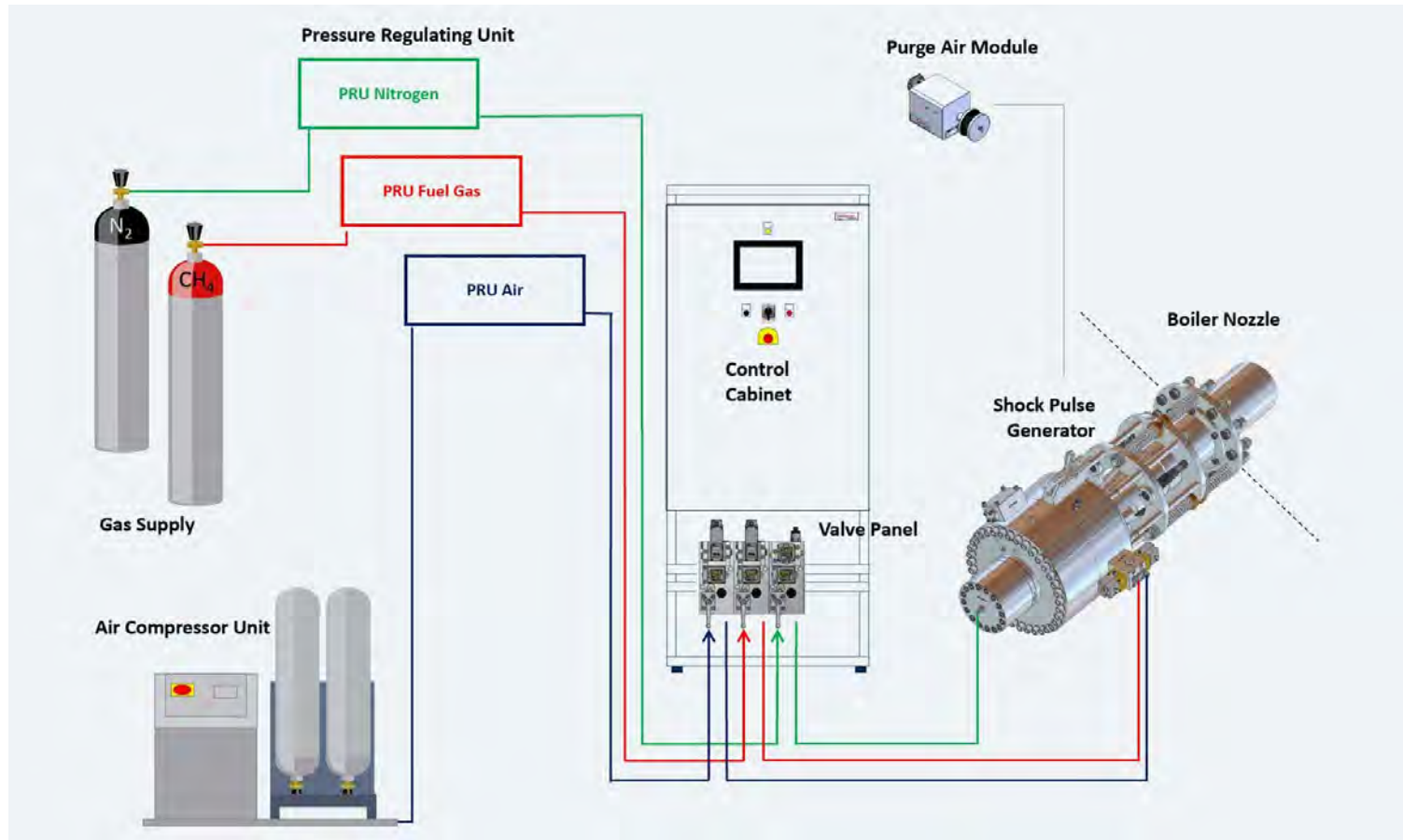
CHINA: EP Engineering Equipment (Ningbo) Co., Ltd.
DEUTSCHLAND: MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik
FRANKREICH: Socaltra Power
JAPAN: Mikuni Kikai Kogyo Co., Ltd.
MALAYSIA: Turcomp

SCHWEDEN: Buchen Sweden AB | Valmet AB
SCHWEIZ: Explosion Power | Kanadevia Inova | MARTIN AG
SINGAPUR: Vannetto Pte. Ltd.
SÜDKOREA: Kosu Precision & Industry Co., Ltd
TAIWAN: Onyx Ta-ho

THAILAND: Vannetto Pte. Ltd. Green Energy Technologies
TÜRKEI: ACE Engineering
UK: KRR ProStream | MARTIN Renewables Solutions Ltd
USA: MARTIN Environmental Technologies | Valmet, Inc.

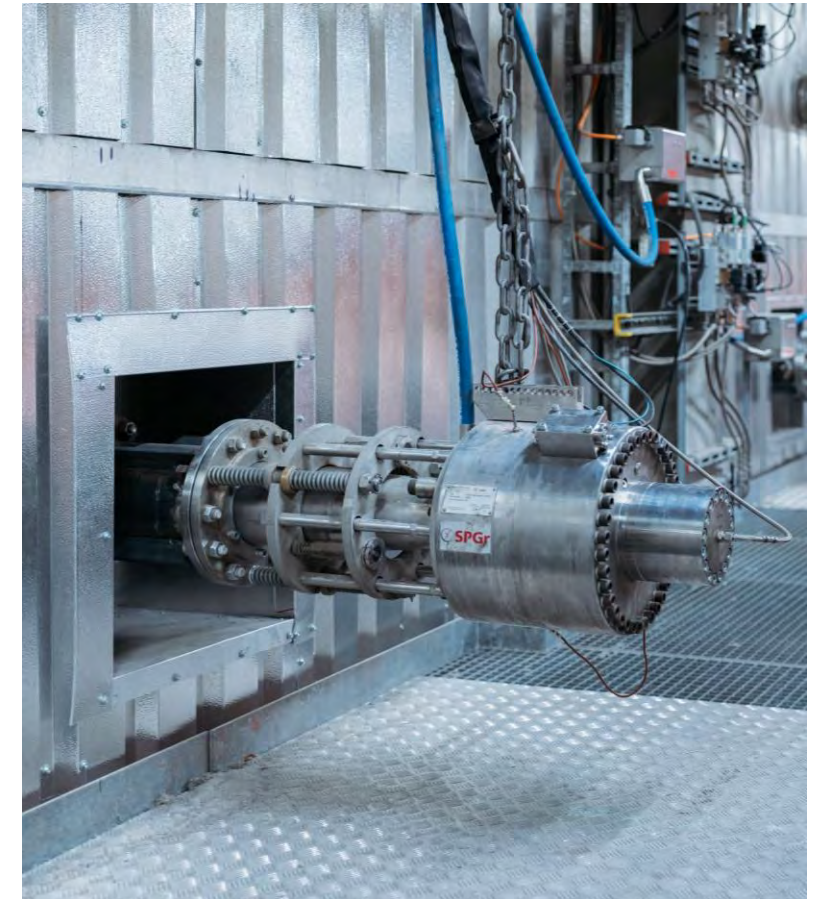


Systemkomponenten

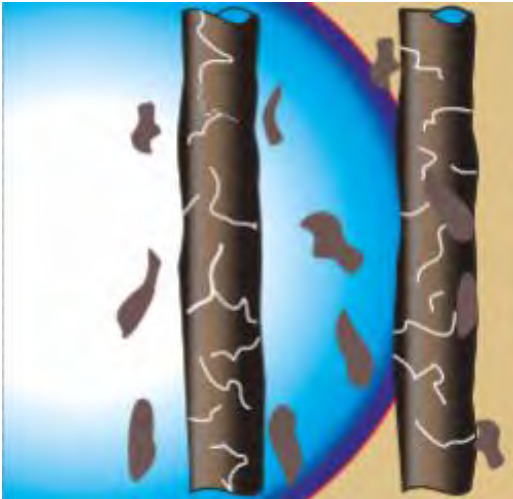


Ersetzbare Kesselreinigungssysteme:

- Russbläser (Dampf, Luft)
- Wasserlanzenbläser
- Shower Cleaning SCS
- Klopferwerke
- Kugelregen

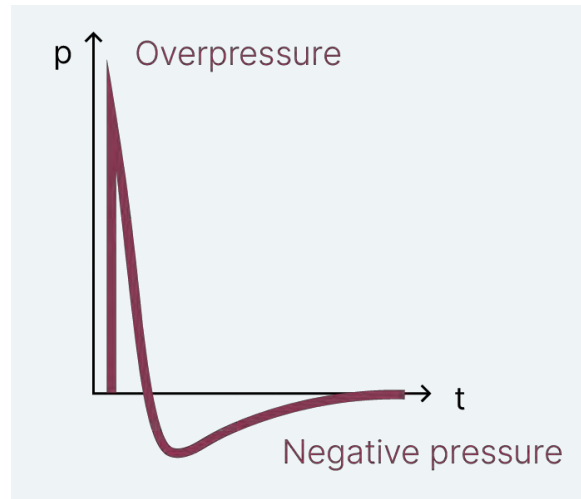


Hervorragende Reinigung mittels Shock Pulse Verfahren



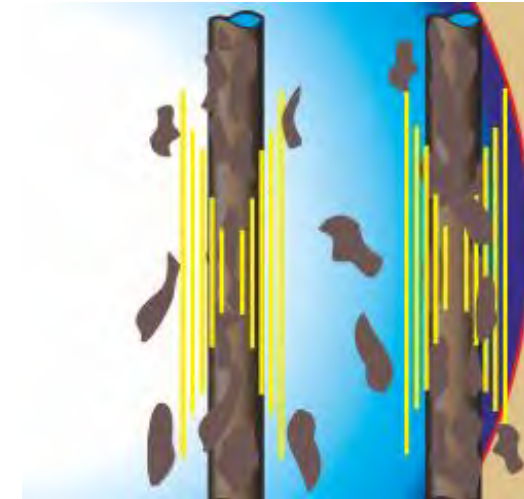
Körperschallschwingung

- Induktion einer Körperschallschwingung innerhalb der Anbackung
- Spannungswechselwirkung durch Druck- und Zug-spannungen
- Einleitung von Rissbildungen und ersten Ablösungen



Sogwirkung der Stosswelle

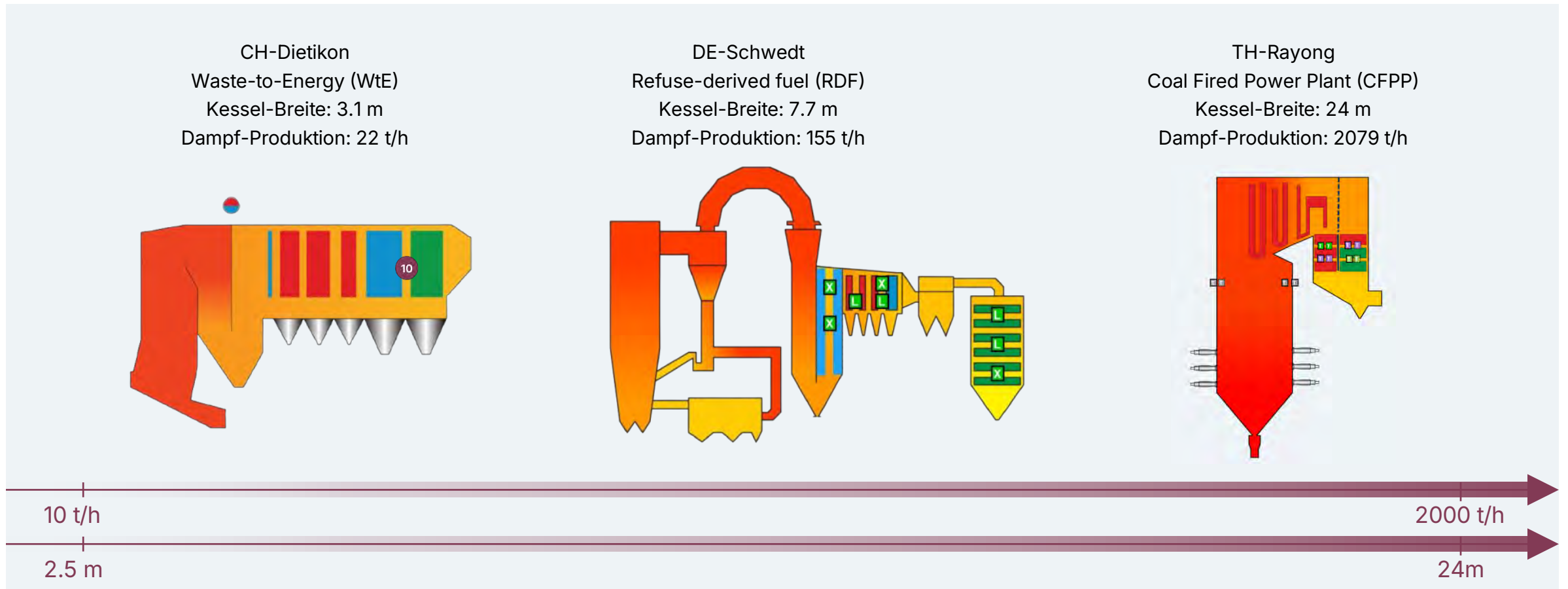
- Messungen entsprechen der Theorie der Friedlander Wellenform. Einer Druckspitze folgt eine Unterdruckzone
- Sogeffekt fördert den Abtrag von Anbackungen



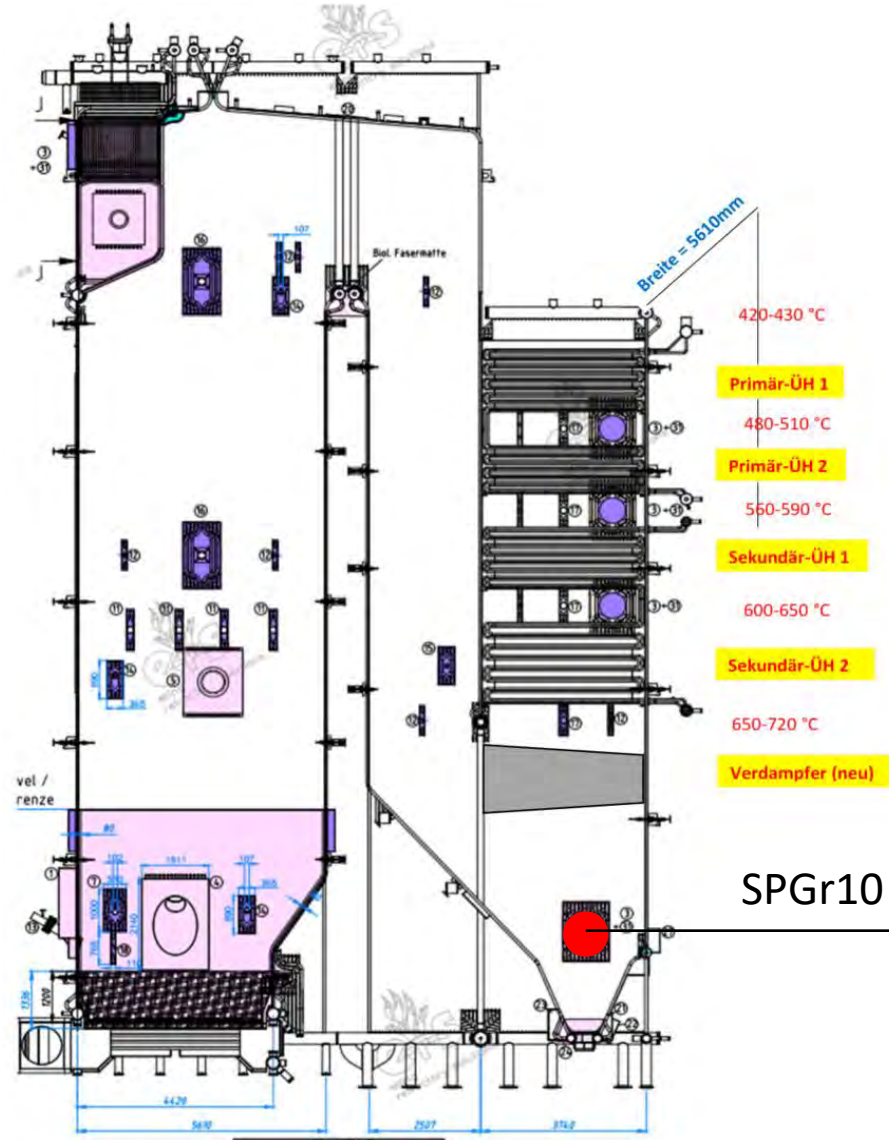
Schwingungsanregung

- Die Stosswelle versetzt die Rohrbündel in eine kurzzeitige Schwingung
- Schwingung unterstützt sowohl den Abtrag als das Aufbrechen von Anbackungen

Einsatz der SPG in allen Grössen- und Temperaturbereichen

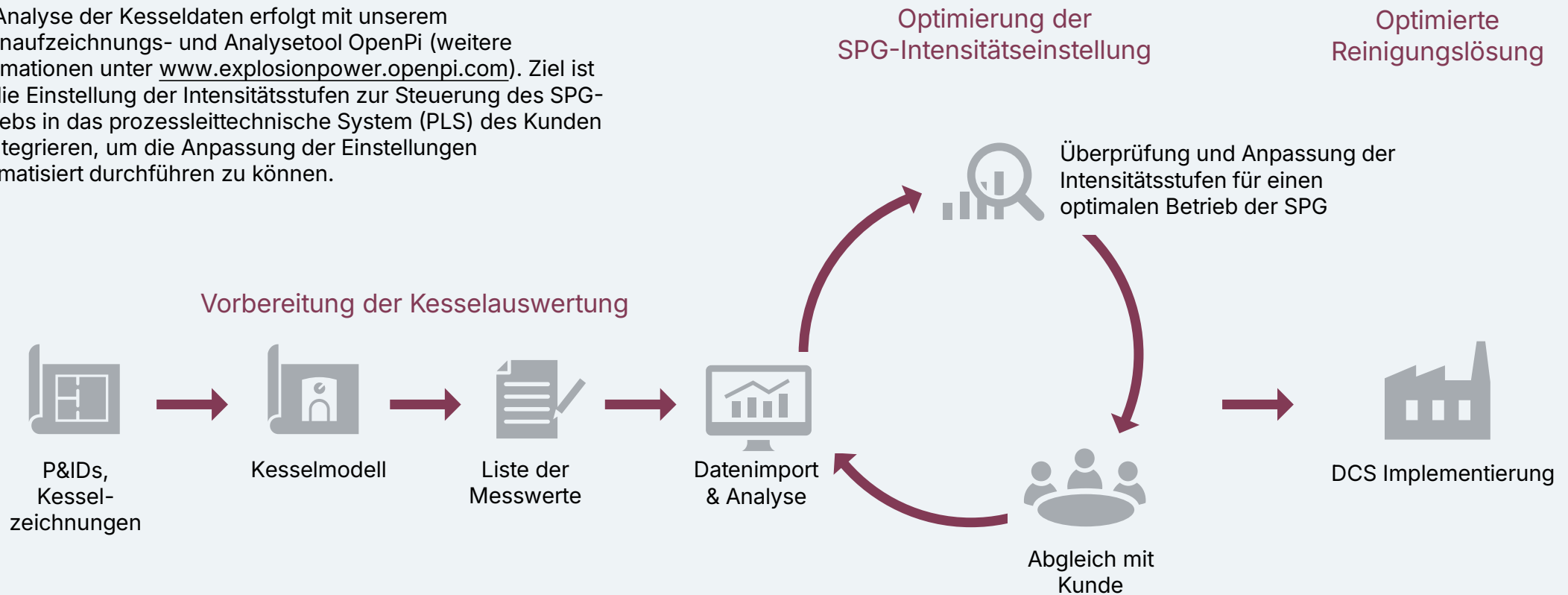


Kesselübersicht AT-Bruck, Norske Skog (gestrige Führung)

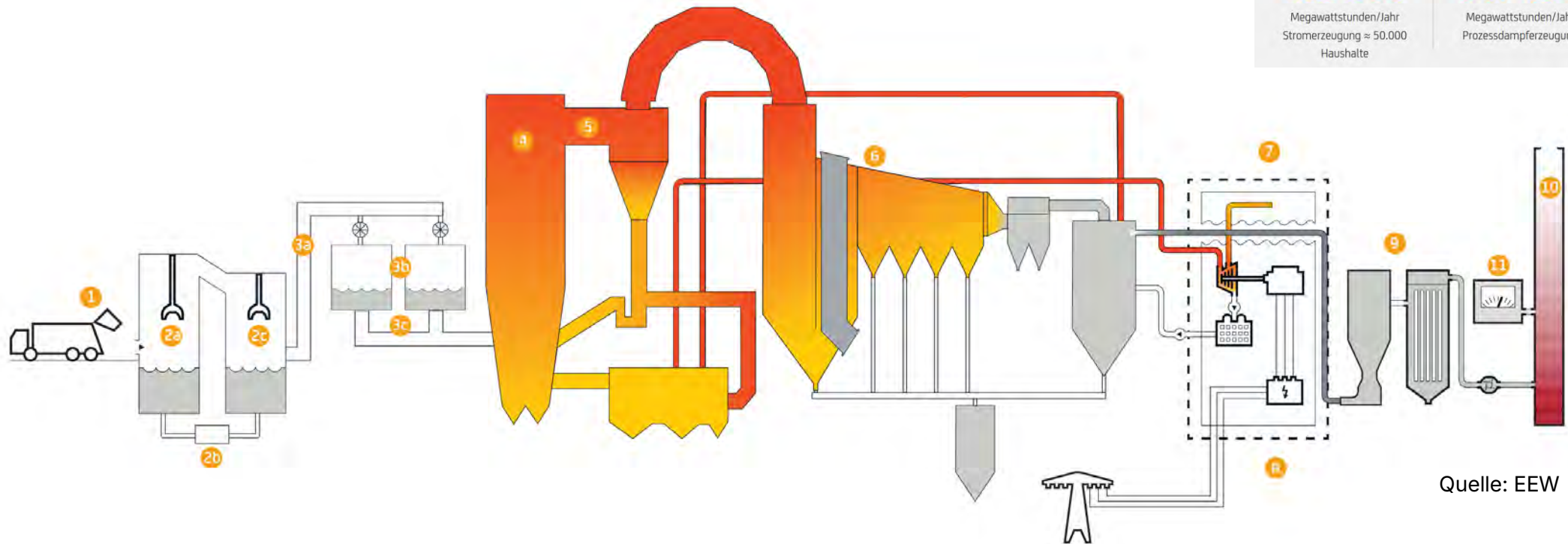


Optimierung des Kesselbetriebs

Die Analyse der Kesseldata erfolgt mit unserem Datenaufzeichnungs- und Analysetool OpenPi (weitere Informationen unter www.explosionpower.openpi.com). Ziel ist es, die Einstellung der Intensitätsstufen zur Steuerung des SPG-Betriebs in das prozessleittechnische System (PLS) des Kunden zu integrieren, um die Anpassung der Einstellungen automatisiert durchführen zu können.



Anlageübersicht

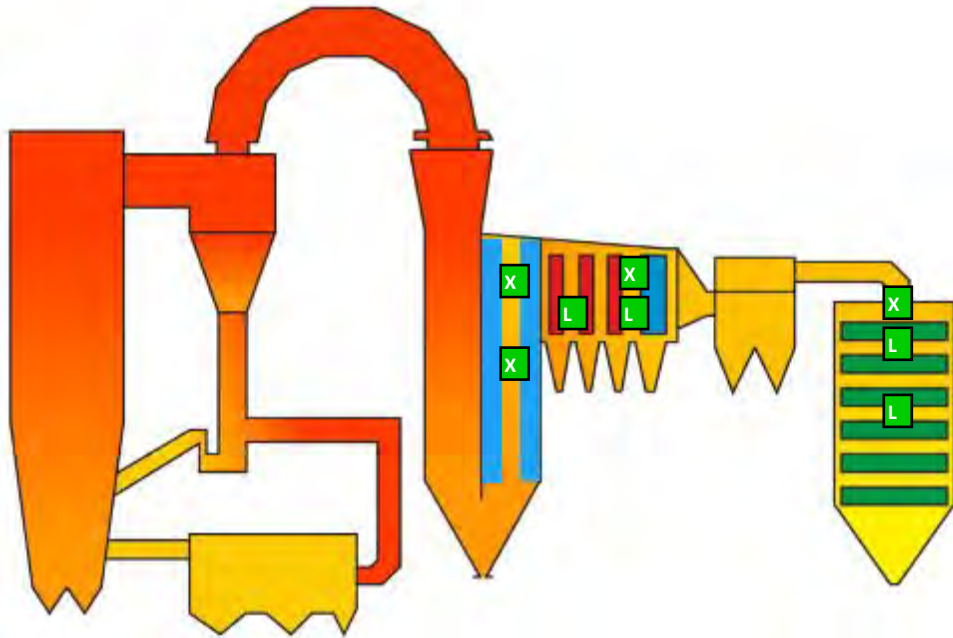


Quelle: EEW

1: Anlieferung (Rückstände Papierproduktion, EBS), 2: Bunker, 3: Dosierung, 4: Brennkammer, 5: SNCR, 6: Kessel, 7: Dampfturbine, 8: Energieauskopplung, 9: Rauchgasreinigung, 10: Kamin, 11: Emissionsmessung

2011 Inbetriebnahme	330'000 Kapazität t/Jahr	1 Verbrennungslinie
17'000 Kubikmeter Kapazität ≈ 5.000 t	8-25 Heizwertbereich des Abfalls MJ/Kg	>850° C Verbrennungstemperatur
159'000 Megawattstunden/Jahr Stromerzeugung ≈ 50.000 Haushalte	667'000 Megawattstunden/Jahr Prozessdampferzeugung	

Optimierte Kesselreinigung



Kesseldaten und Angaben zu SPGs

- Zirkulierende Wirbelschicht mit Zyklon, zwei Leertügen, horizontalem Konvektionszug und ECO
- Anlageart: Waste-to-Energy
- 155 t/h Dampfleistung bei 70 bar / 470°C
- 2x EG10XL im 2. Zug (7 m breit), IB 2016
- 2x EG10L und 1x EG10XL im Horizontalzug (6.5 m breit), IB 2015/2016
- 2x EG10L und 1x EG10XL im Economizer (7.7 m breit), IB 2015/2016
- Früher: Wasserlanzenbläser, Russbläser und Kugelregen
- Lieferant: AE&E
- Betreiber: EEW Energy from Waste

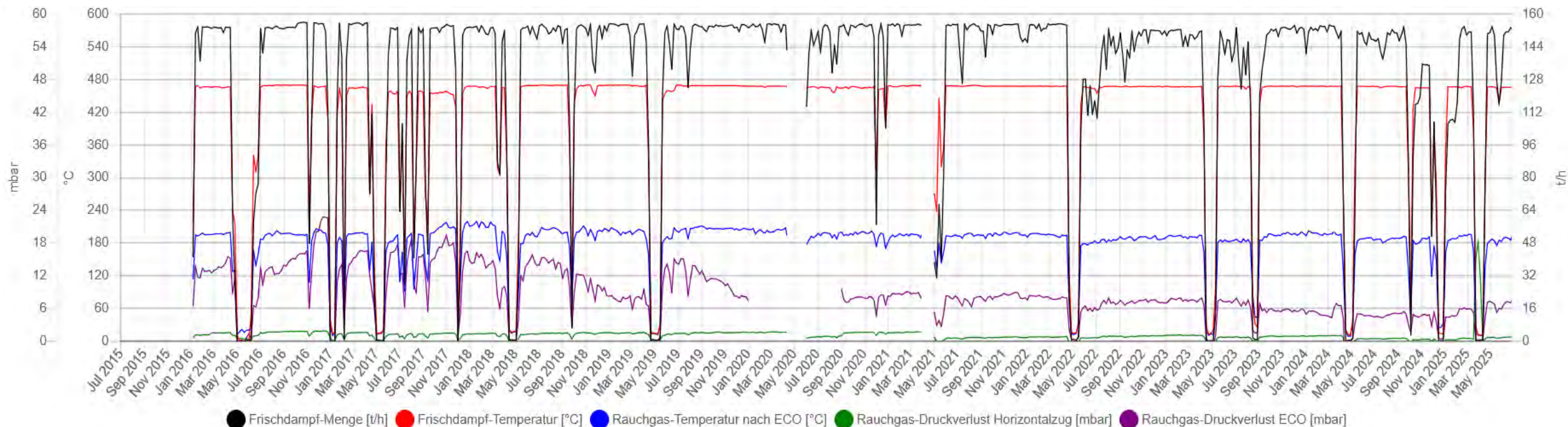
Kundennutzen

- Sehr gute Reinigungswirkung
- Signifikant reduzierte Erosion und Abrasion. Deutliche Reduktion der ungeplanten Stillstände. Längere Betriebszeit/Jahr.
- SPGs ersetzen Wasserlanzenbläser (2. Zug), Russbläser (Horizontalzug, SPG-Betrieb in Kombination mit Klopferwerk) und Kugelregen (Eco)

10 Jahre Betrieb mit Shock Pulse Generatoren

► Beginn Daten-Auswertung durch EP

◀ ca. 10 Jahre SPG-Betrieb ►



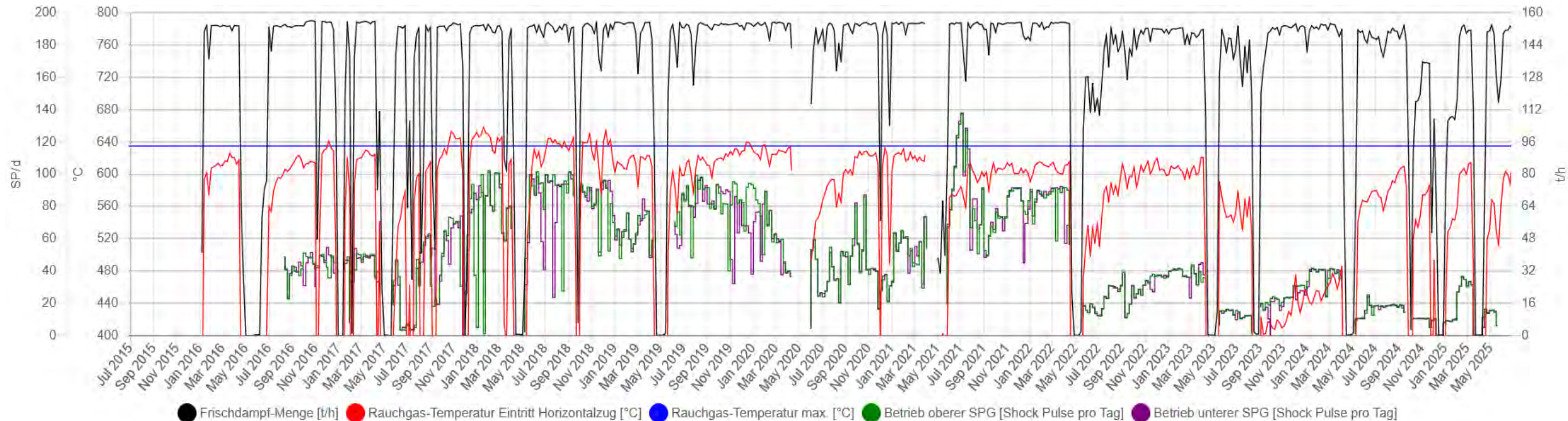
Leerzugreinigung: Einhaltung RGT zu Horizontalzug

► Beginn Daten-Auswertung durch EP

► SPG-Betrieb ohne formale Regelung

► Tests

► SPG-Betrieb mit Regelung + «Mixed Mode»



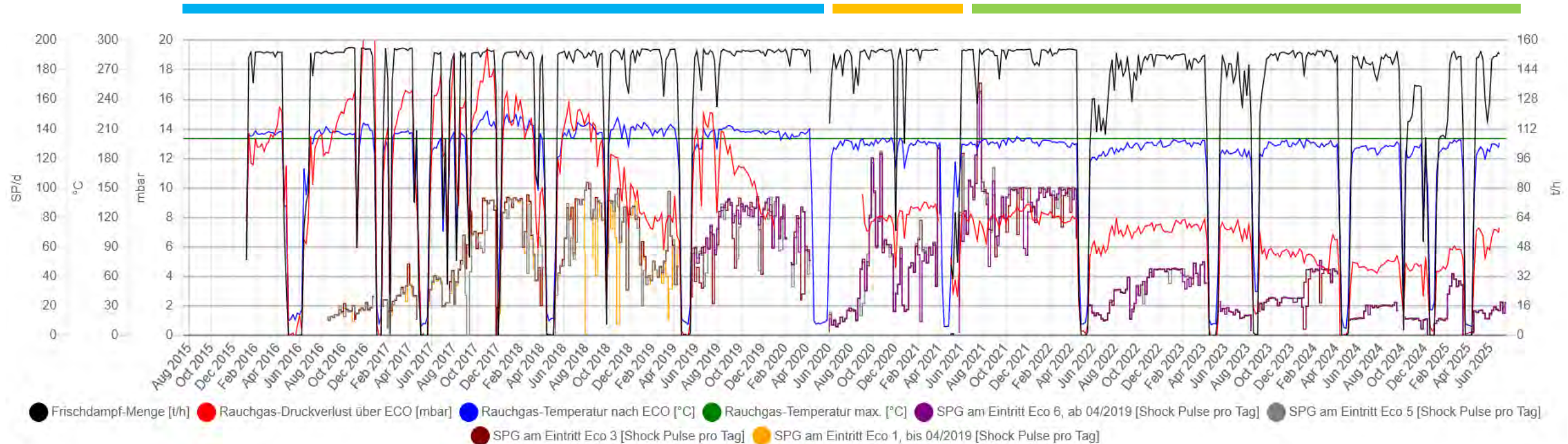
Economizer-Reinigung: Einhaltung RGT Austritt, dp reduziert

► Beginn Daten-Auswertung

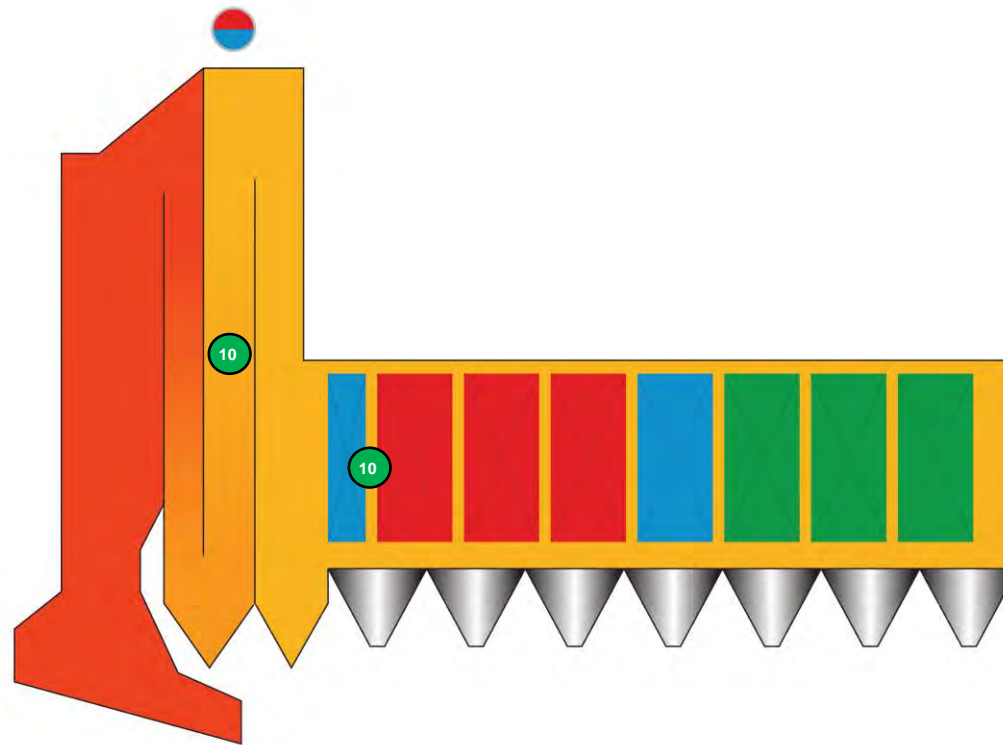
► SPG-Betrieb ohne formale Regelung

► Tests

► SPG-Betrieb mit Regelung + «Mixed Mode»



Kesselübersicht



10 Shock Pulse Generator SPGr10 an Seitenwand

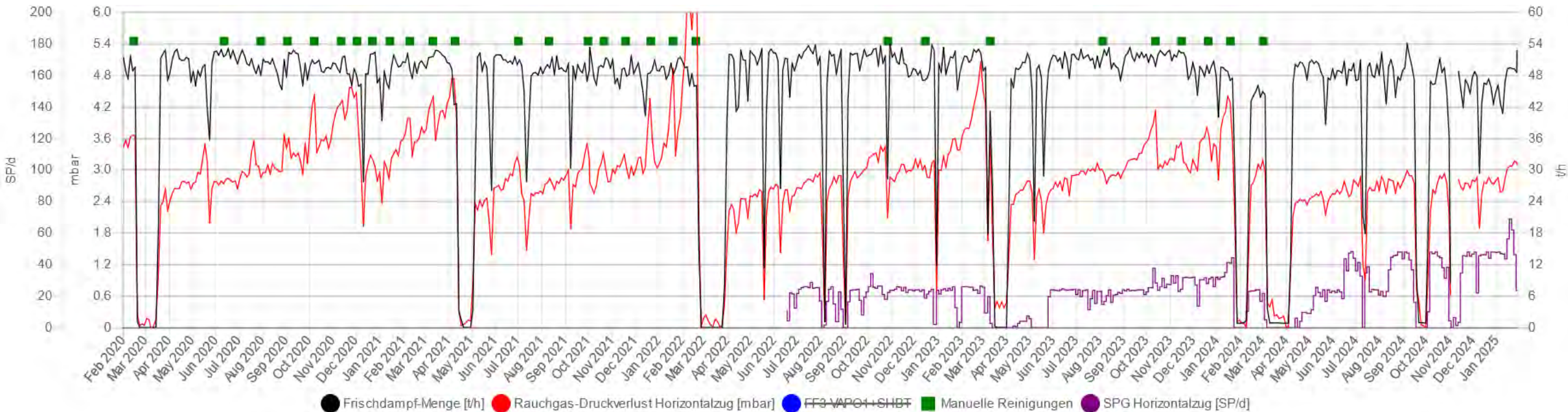
Optimierte Horizontalzug-Reinigung

Kundennutzen: Minimierung manuelle Reinigungen, Reduktion Rauchgas-Druckverlust

Horizontalzug Linie 1:

► Beginn SPG-Betrieb

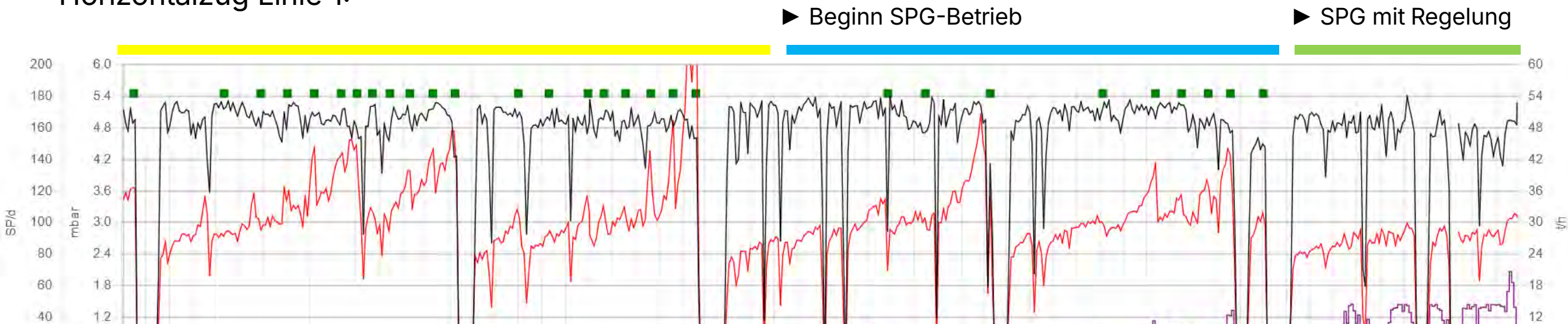
► SPG mit Regelung



Optimierte Horizontalzug-Reinigung

Kundennutzen: Minimierung manuelle Reinigungen, Reduktion Rauchgas-Druckverlust

Horizontalzug Linie 1:



	03/2020-06/2022	06/2022-04/2024	04/2024-01/2025
Ø Frischdampf-Menge	50 t/h	50 t/h	48 t/h *
Ø Rauchgas-Druckverlust **	3.2 mbar	3.1 mbar	2.7 (2.9 ***) mbar
Manuelle Reinigungen pro Reisezeit	9	4	0

* Rost mechanisch Volllast (niedriger Heizwert) ** bei > 30t/h Frischdampf-Menge *** theoretischer Wert bei 50 t/h Frischdampf-Menge

Optimierte Horizontalzug-Reinigung

Ziel: Minimierung manuelle Reinigungen (Rauchgas-Druckverlust)

Prozessparameter

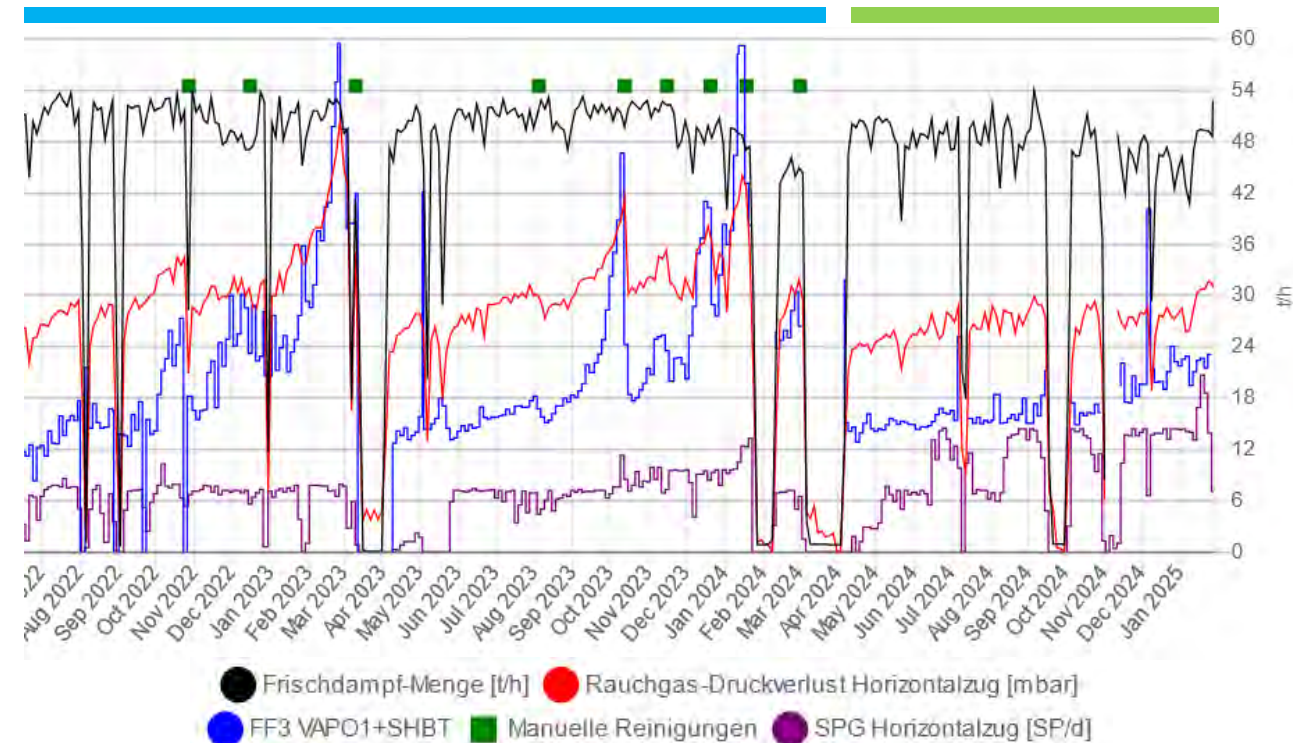
- ☐ Rauchgasdruckverluste
- ☒ FF3
- ☒ Rauchgastemperaturen (SPG Leerzug)
- ☐ Einspritzwassermengen
- ☐ k-Werte / Wärmemengen / Wirkungsgrade
- ☐ weitere

Stand der Umsetzung:

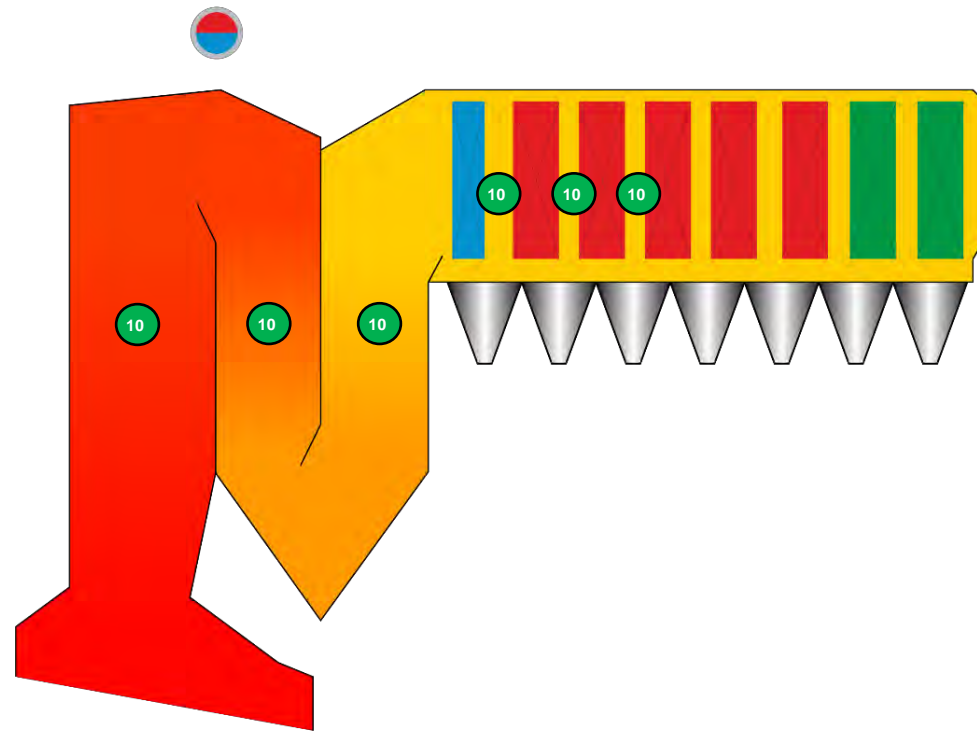
- ☒ Intensitätsstufen vorgeschlagen
- ☒ Intensitätsstufen-Regelung manuell
- ☐ Intensitätsstufen-Regelung automatisch

► Beginn SPG-Betrieb

► SPG mit Regelung



Kesselübersicht

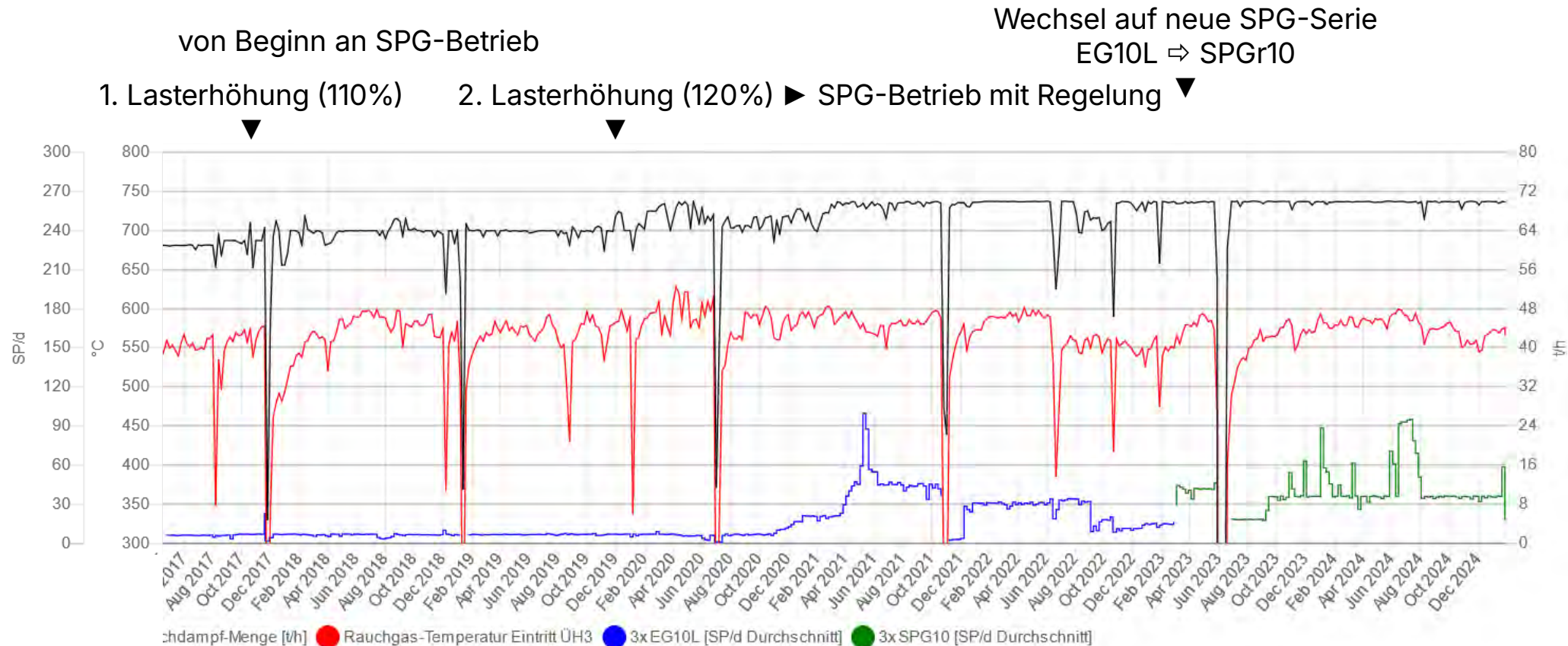


10 Shock Pulse Generator SPGr10 an Seitenwand

Optimierte Leerzug-Reinigung

Kundennutzen: Reinigung der Leerzüge „ohne Sägezahnkurve“ / Regelung RGT vor H-Zug / Nutzung max. Kesselkapazität

Leerzüge Linie 2:



Optimierte Leerzug-Reinigung

Kundennutzen: Reinigung der Leerzüge „ohne Sägezahnkurve“ / Regelung RGT vor H-Zug / Nutzung max. Kesselkapazität

von Beginn an SPG-Betrieb

1. Lasterhöhung (110%) 2. Lasterhöhung (120%) ► SPG-Betrieb mit Regelung



	01/2017–12/2020	12/2020–01/2025
Ø Frischdampf-Menge *, **	64.0 t/h	69.5 t/h
Ø Rauchgas-Temperatur Eintritt ÜH3 **	567 °C	572 °C

* Ursprüngliche Auslegung: 58 t/h ** bei > 40t/h Frischdampf-Menge

Optimierte Leerzug-Reinigung

Kundennutzen: Reinigung der Leerzüge „ohne Sägezahnkurve“ / Regelung RGT vor H-Zug / Nutzung max. Kesselkapazität

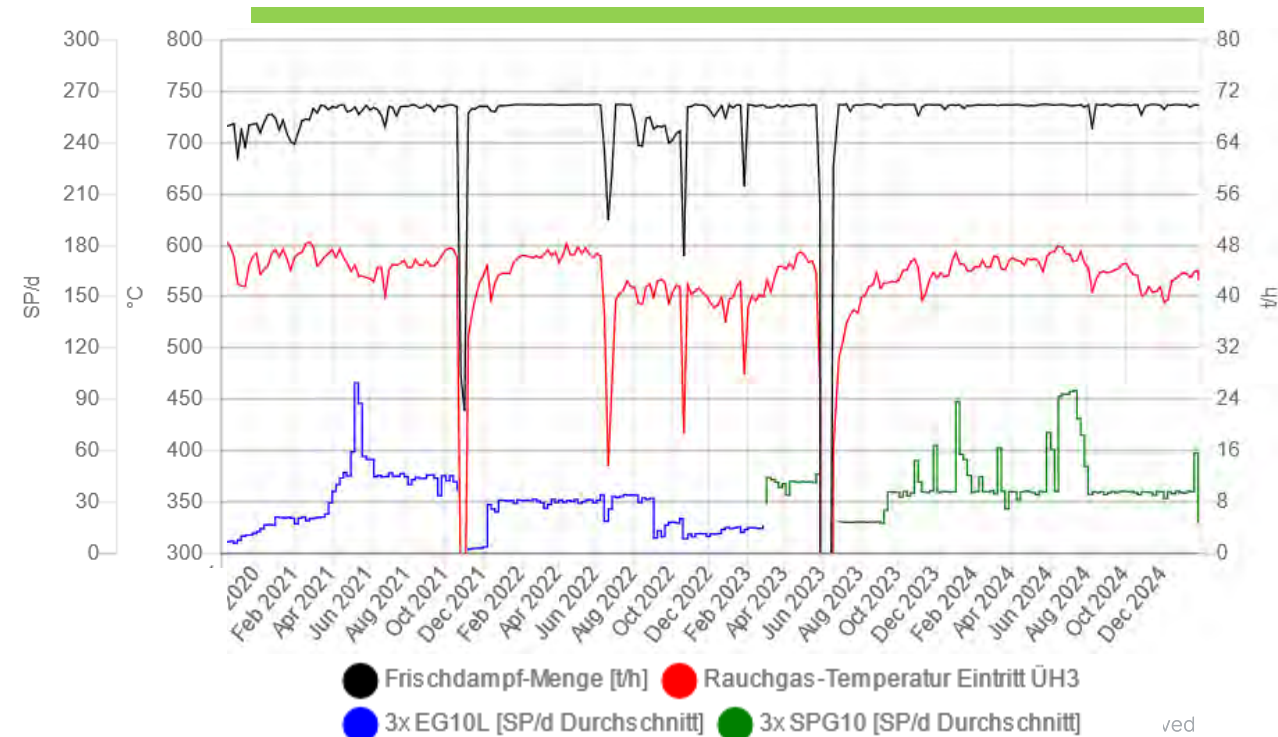
Prozessparameter

- ☒ Rauchgasdruckverluste (SPGs Horizontalzug)
- ☐ FF3
- ☒ Rauchgastemperaturen
- ☐ Einspritzwassermengen
- ☐ k-Werte / Wärmemengen / Wirkungsgrade
- ☐ weitere

Stand der Umsetzung:

- ☒ Intensitätsstufen vorgeschlagen
- ☒ Intensitätsstufen-Regelung manuell
- ☒ Intensitätsstufen-Regelung automatisch

► SPG-Betrieb mit Regelung



Nutzen der Kesselreinigung mit Shock Pulse Generatoren



- Schonende Kesselreinigung (minimale Abzehraten)
- Keine Änderung der Rauchgaszusammensetzung
- Kein Einbringen von Wasser
- Konstantere Betriebsbedingungen
- Tiefere Rauchgastemperaturen
- Höherer Kesselwirkungsgrad
- Längere Reisezeiten = höhere Verfügbarkeit
- Geringerer Reinigungsaufwand nach Abfahren
- Schnelle und einfache Installation
- Optimierter Betrieb durch adaptive Reinigung

> 65'000 Shock Pulse
pro Woche weltweit