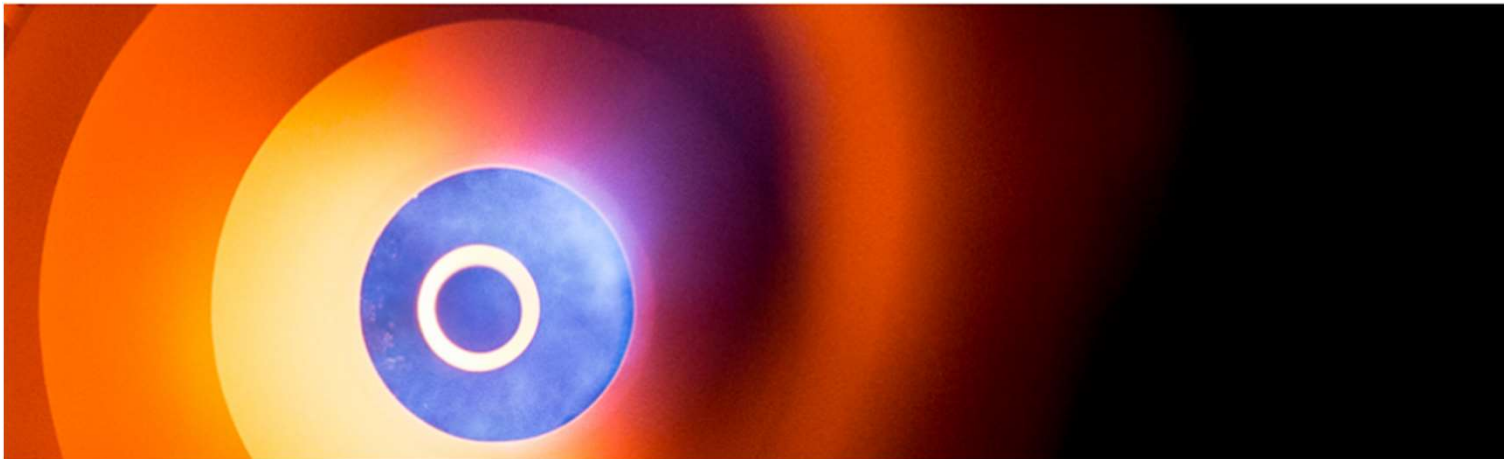


4. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium



Energiewende in der industriellen Feuerung
– zwischen Erdgas und Wasserstoff

Dr.-Ing. Thomas Niehoff

17.-18.10.2023

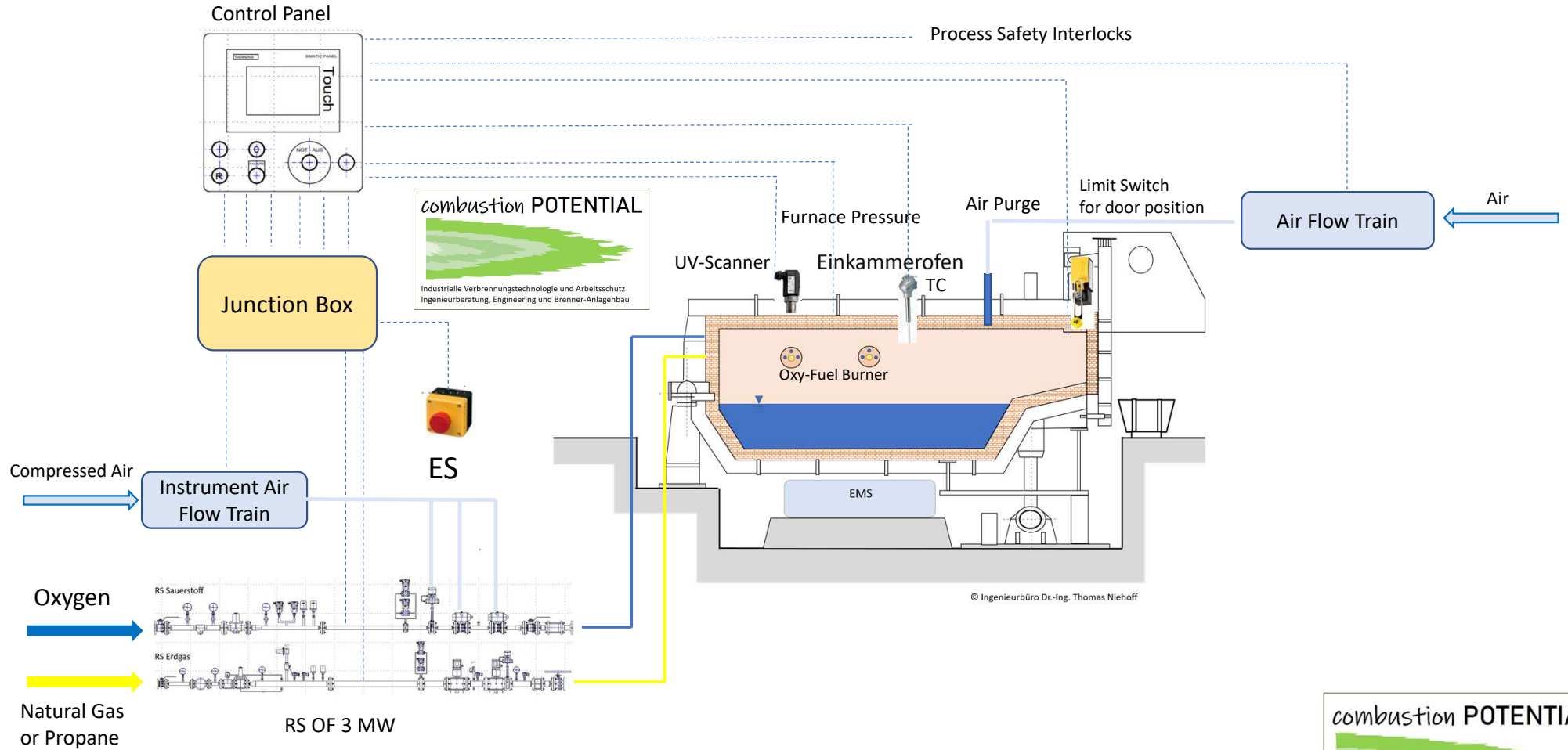
Inhalt

- Einleitung combustion POTENTIAL GmbH
- Roadmap & Klimaschutzplan 2050
- Alternativen zu H₂
- Was kann heute schon gemacht werden?
- Metallerzeugung: Primär vs. Sekundär
- Optimierungspotentiale
- Arbeitsschutz Aspekte
- Ausblick

Dienstleistungen

- Dekarbonisierungsstrategie
- Beratung: Schmelztechnologie – Industrielle Verbrennungstechnik – Prozessoptimierung
- Engineering Pakete für Oxy-Fuel und Oxy-Assisted Feuerungs-Lösungen
- Labor- und Versuchsanlagen
- Digitalisierung (*cycle-stepcontrol*TM)
- Oxy-Fuel Brenner, Regelstrecken, Brennersteuerung und O₂ Lanzen
- Arbeitsschutz (Gefährdungsbeurteilung, Ex-Schutz, HAZOP)

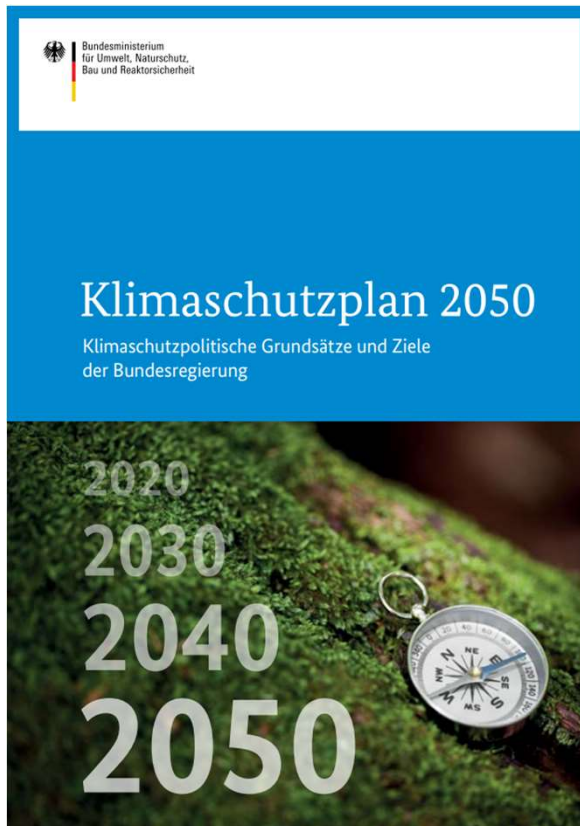
Schematic of Reverb Furnace



we extend your *combustion* **POTENTIAL**

© Ingenieurbüro Dr.-Ing. Thomas Niehoff





Das Ziel: Weitgehende Treibhausgasneutralität bis 2050

Die Bundesregierung hat 2010 beschlossen, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern. Die Bundesregierung bekräftigt dieses Langfristziel und wird in diesem Rahmen einen angemessenen Beitrag zur Umsetzung der Verpflichtung von Paris leisten, auch mit Blick auf das im Übereinkommen von Paris vereinbarte Ziel der weltweiten Treibhausgasneutralität im Laufe der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Tabelle 1: Emissionen der in die Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (Minderung in % gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181 (-36%)	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
Teilsumme	1.209	890	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	39	12	5	87 %
Gesamtsumme	1.248	902	543 – 562	56 – 55 %

Quelle: Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

Die prozessbedingten Emissionen der Industrie haben sich seit 1990 um knapp 27 Prozent verringert [1].

Planung und Strategie

Je nachdem, wo wir jetzt stehen können wir uns überlegen wie wir weitermachen.

In 40 Jahren 80% der CO₂ Emissionen einzusparen kann bedeuten jedes Jahr 2% weniger...

- Beginn 2010 – Ende 2050
- wenig praktikabel
- schwer umzusetzen
- verlangt ständigen Einsatz
- stößt an Grenzen

Wir haben schon 40% der CO₂ Emissionen eingespart!

- Wie geht's jetzt weiter?
- Welche Technologie?
- Welcher Brennstoff?
- Elektrisch?

Wir haben die 80% CO₂ Einsparung noch vor uns.....

- Zeitpunkt?
- Umrüstung oder Neubau?
- Kosten?
- Wie ist das zu erreichen?

Wie lassen sich überhaupt 80% der CO₂ Emissionen einsparen?

Wie ändert sich der Brennstoff (Erdgas) für 80% CO₂ Einsparung?

Bsp: Erdgas und Wasserstoff

	Hu [kWh/m ³]	kg _{CO2} /m ³	
Erdgas: 100 vol.-% Erdgas	10,2	2,2	
Brenngas: 7 vol.-% Erdgas + 93 vol.-% H ₂	3,5	0,44	- 80% CO ₂

Ein Gasgemisch aus 93 vol.-% H₂ und 7 vol.-% Erdgas entspricht einer 80% Einsparung an CO₂ Emissionen.

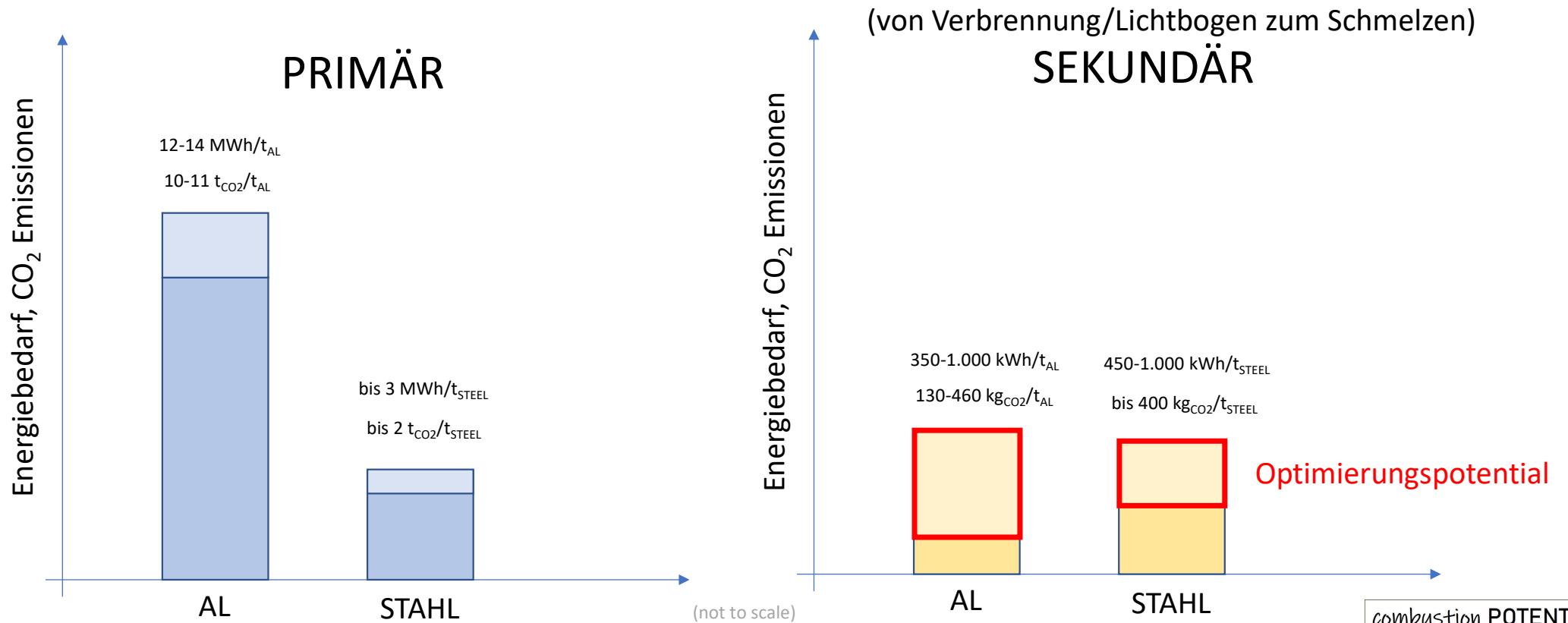
Alternativen zu grünem Wasserstoff

- Elektrisch: induktiv beheizt oder mit Plasma Brenner (Solar, Wind, Hydro)
- Biogas bzw. Methan aus Biogas
- Ammoniak (aus green H₂)
- Methanol (aus green H₂)
- alternative und klimaneutrale Brennstoffe (E-Fuels, Biomasse)

Stoffdaten (Vergleiche)

Eigenschaften	H ₂	NG (CH ₄)	NH ₃	CH ₄ O (flüssig)
Molmasse [g/mol]	2,02	16,04	17,03	32,04
Dichte (Normzustand) [kg/Nm ³]	0,0899	0,718	0,77	0,79 kg/l
Zündtemperatur in Luft [°C]	530	645	630	455
Zündgrenzen in Luft (UEG/OEG) [vol.-%]	4/72,5	5/13,5	15,4/33,6	6/50
Max. Flammgeschwindigkeit [cm/s]	346	43		
Zündenergie [mJ]	0,02	0,28	14	0,2
Hu [kWh/Nm ³]	2,995	9,968	5,2	5,86
Unterer Wobbeindex [kWh/Nm ³]	11,361	13,381	6,77	
Adiabate Verbrennungstemperatur i. Luft [°C]	2086	1922		
Adiabate Verbrennungstemperatur i. O ₂ [°C]	2806	2780		
dyn. Viskosität bei 20°C [kg/m s]	8,8*10 ⁻⁶	11*10 ⁻⁶		
kin. Viskosität bei 1 bar [m ² /s]	106*10 ⁻⁶	16,7*10 ⁻⁶		
Mindestluftbedarf [m ³ L/m ³ B]	2,38	9,52	3,59	4,78
Taupunkt (Luft, λ=1, 20°C) [°C]	73	60		

CO₂ Emissionen



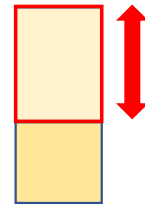
Was kann heute schon gemacht werden?

- Recycling anstelle von Primärproduktion
- Optimierung Schmelzprozess/Feuerungsprozess
 - Auslastung, Haltephasen, Energieeinsatz, Produktivität, Emissionen, Isolierung, Prozess Steuerung
- Abwärmenutzung
- Digitalisierung einzelner Prozessschritte oder gesamter Prozess
 - z.B.: Chargierprozess, Abschwelen
- Vorbereitungen auf Brennstoffwechsel
 - O₂-Einsatz, V-Luftvorwärmung
 - Versuche mit H₂ um die Auswirkungen auf Prozess kennenzulernen:
 - Qualität, Wasserstoffaufnahme, Emissionen (NO_x), Wärmeübergang,
 - Kondensation (Taupunkt), Abgasmengen, Prozess Temperaturen
- Arbeitsschutz

Optimierung Schmelz-/Feuerungsprozess

Benchmarking/Ofenbilanz

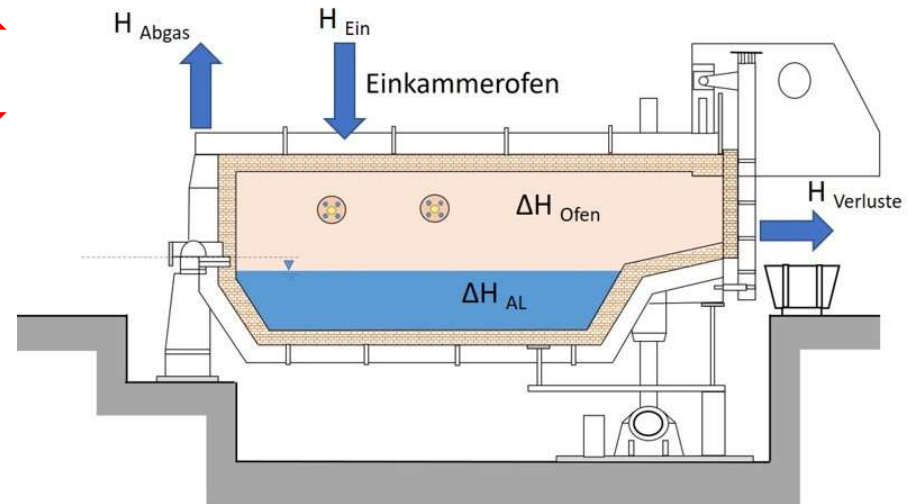
- Feuerfest/Ofenisolierung & -dichtheit
- Ofenauslastung/Wartezeiten
- Abwärmenutzung
- Ofendruckregelung
- Badbewegung (Bsp: EMS)
- Verbrennungsluftvorwärmung
- Einsatz Oxy-Fuel und O₂ Injektion
- Gestufte Verbrennung (flammenlos)
- Lambda Einstellung
- Prozesssteuerung



Ofenbilanz/Prozessanalyse

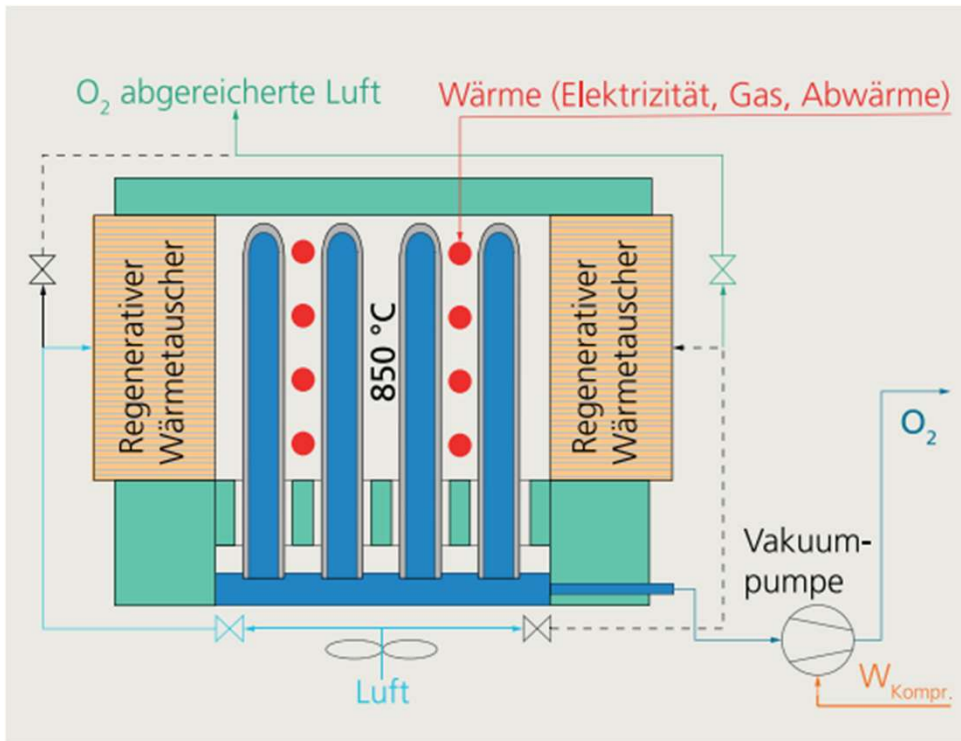
$$H_{\text{Ein}} = H_{\text{Abgas}} + H_{\text{Verluste}} + \Delta H_{\text{Ofen}} + \Delta H_{\text{AL}}$$

$$H_{\text{Ein}} - H_{\text{Abgas}} = H_{\text{available}}$$



© Ingenieurbüro Dr.-Ing. Thomas Niehoff

Abwärmenutzung: MIEC – Membrananlage zur Herstellung von Sauerstoff

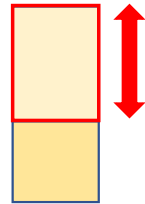


Quelle: Fraunhofer IKTS

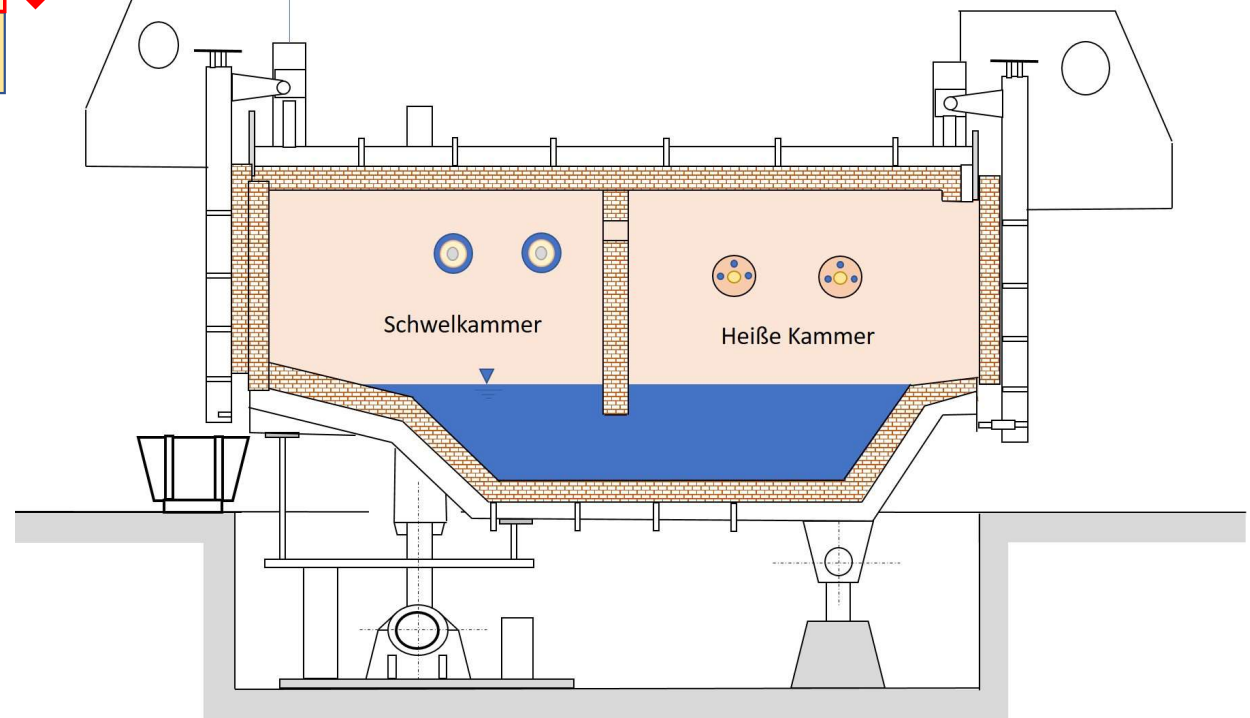
Einsatz Sauerstoff

Ziel Energieeffizienz steigern.....

- Oxy-Fuel (100%)
- Oxy-Fuel (teilweise) & Regenerativ Brenner
- Air-Oxy-Fuel
- O₂ Injektion & Regenerativ Brenner
- O₂ - Nachverbrennung
- O₂ - Abschwelen (Organikfracht)



Zweikammerofen



Digitalisierung

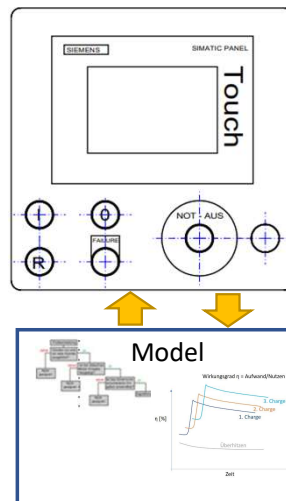
Gesamter Prozess

Einzelne Prozessschritte:

- Chargier Prozess
- Abschwelen
- Brennerleistungsregelung
- Schmelzen

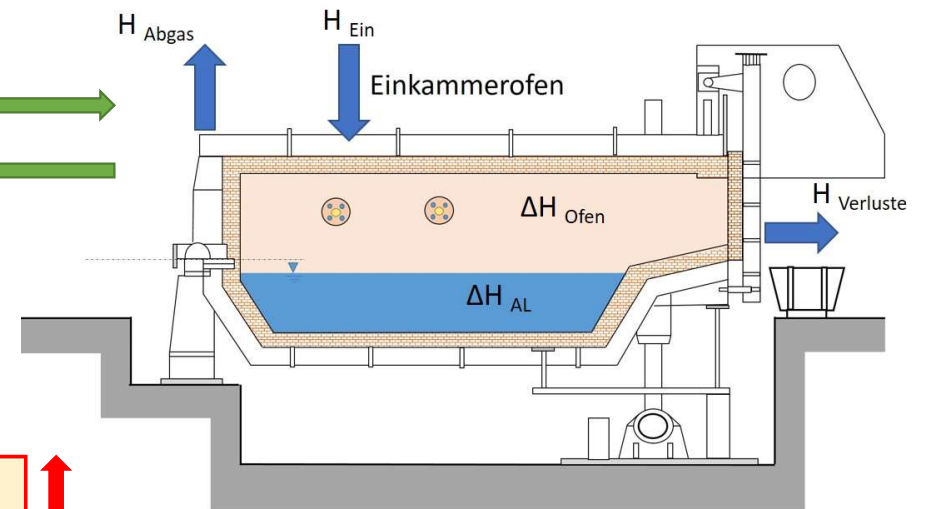
cycle-stepcontrol™

Process Control



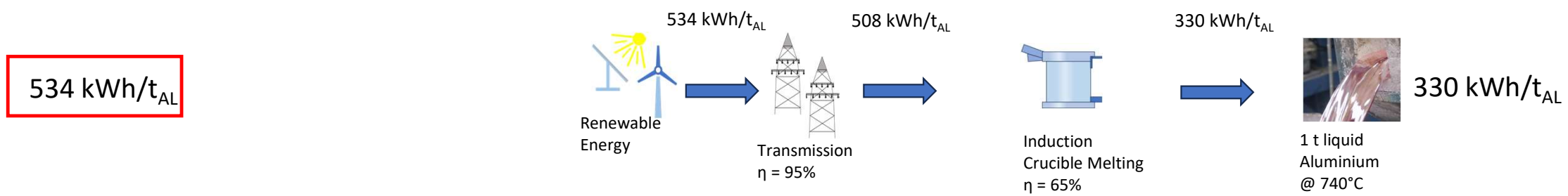
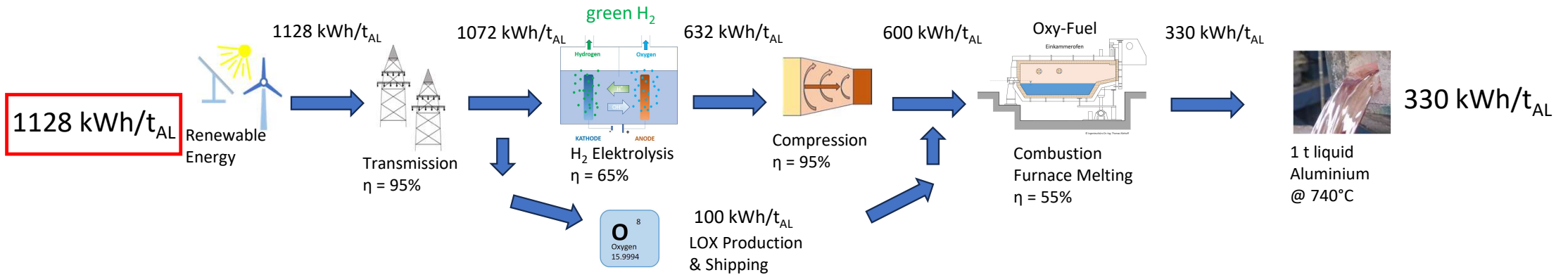
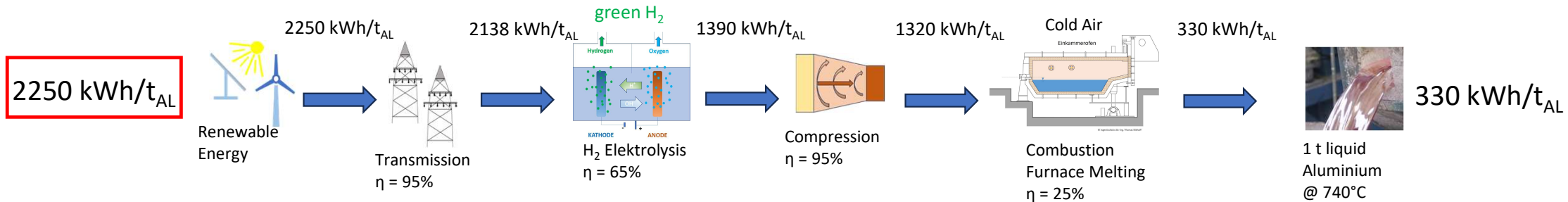
$$H_{\text{Ein}} = H_{\text{Abgas}} + H_{\text{Verluste}} + \Delta H_{\text{Ofen}} + \Delta H_{\text{AL}}$$

$$H_{\text{Ein}} - H_{\text{Abgas}} = H_{\text{available}}$$



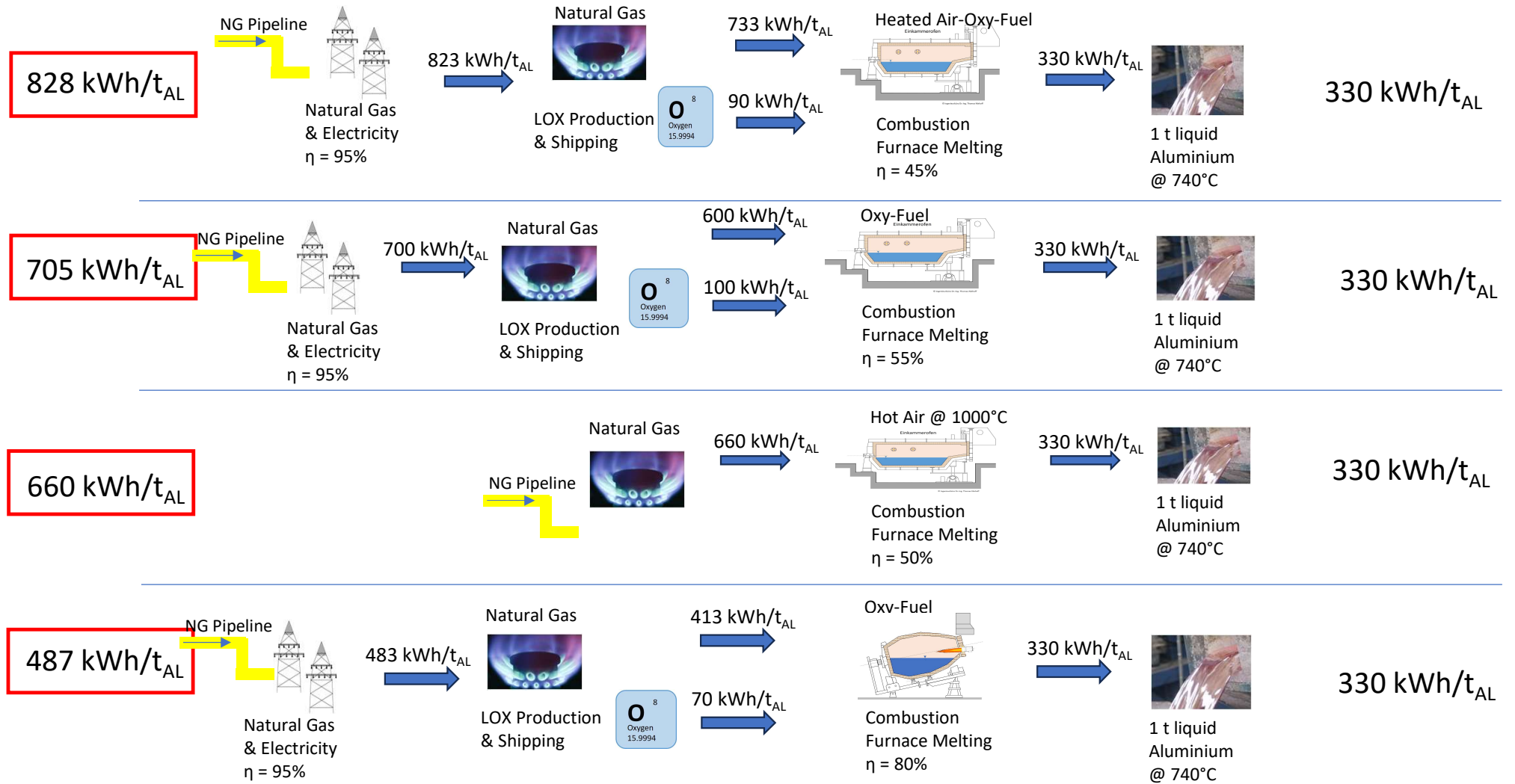
© Ingenieurbüro Dr.-Ing. Thomas Niehoff

Comparisons: green H₂ vs green H₂ & OF vs Induction Melting



we extent your combustion POTENTIAL

Comparisons: NG AOF Reverb vs NG OF Reverb vs NG AF Reverb (@1000°C) vs NG OF Rotary



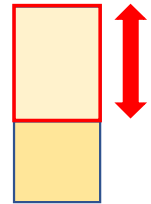
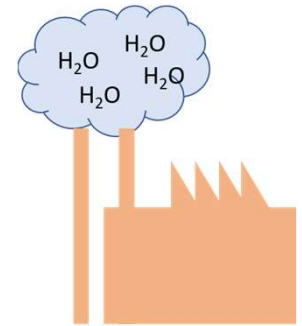
we extent your *combustion* **POTENTIAL**

Arbeitsschutz

- Wasserstoff ist kein neues Medium!
- Durch den Brennstoffwechsel können neue Gefährdungen entstehen
- Durch die Absenkung des Taupunktes und erhöhter Kondensation im Abgassystem können neue Gefährdungen entstehen
- Verbrennungssysteme müssen auf Brennstoffwechsel angepasst werden
- Anpassung der normierten Vorgaben für Wasserstoffeinsatz

Zusammenfassung

- Wasserstoff ist eine Alternative zum Erdgas
- Viel kann jetzt schon getan werden um CO₂ Emissionen zu reduzieren
- Optimierte Prozessbedingungen sind eine Vor-Bedingung für weitere Schritte
- Verbrennungsluftvorwärmung, O₂ Einsatz und Oxy-Fuel können die CO₂ Emissionen weiter reduzieren
- Viele Aspekte, die wir heute kennen werden sich ändern
- Es ist viel Arbeit alle Fragen zu beantworten





Vielen Dank!
Fragen?

www.combustion-potential.de
info@combustion-potential.de



we extent your *combustion* **POTENTIAL**

© Ingenieurbüro Dr.-Ing. Thomas Niehoff

