



forschen.
vernetzen.
anwenden.

Wasserstoffeinsatz in der Zementindustrie - Bilanzierung

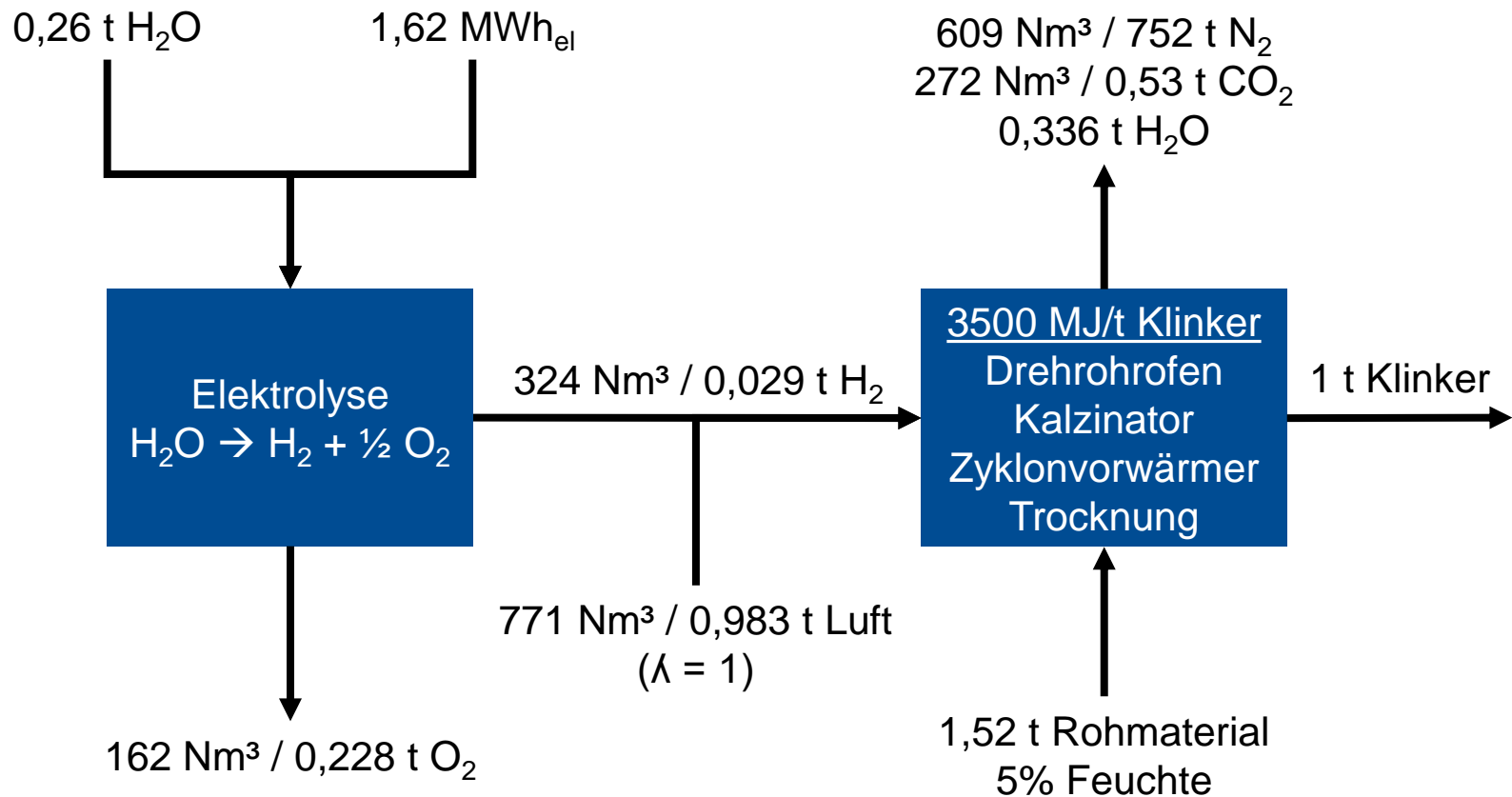
S. Meschede, M. Vogt, S. Haep

An-Institut der
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

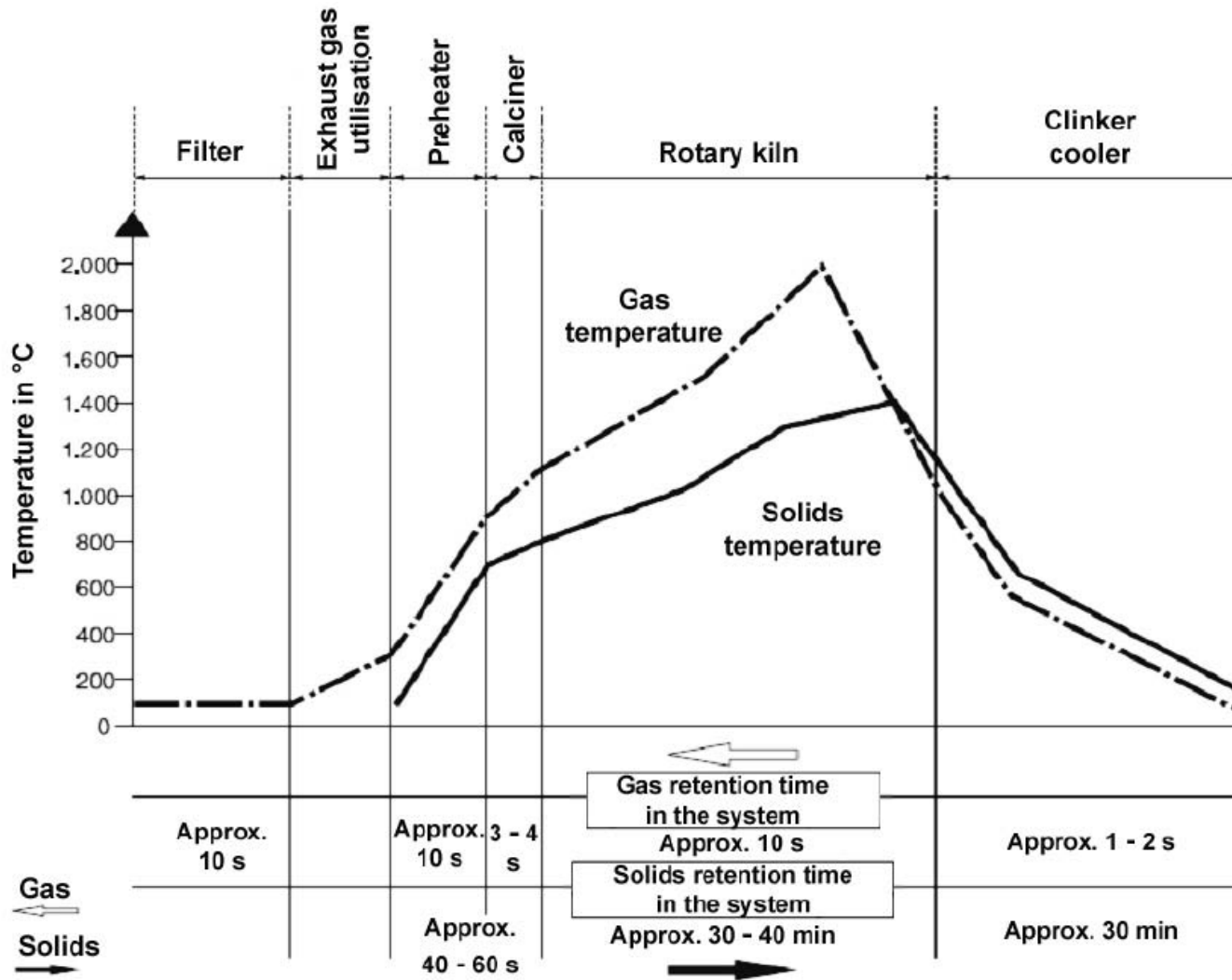
The logo for JRF (Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft) consists of a grid of dots in red and green, arranged in a pattern that suggests a molecular or network structure.
JRF
MITGLIED Johannes-Rau-
DER Forschungsgemeinschaft

The logo for Af Mitglied features the letters 'Af' in a bold, red, sans-serif font, with a small grey square above the 'f'. To the right of this is the word 'Mitglied' in a smaller, grey, sans-serif font.

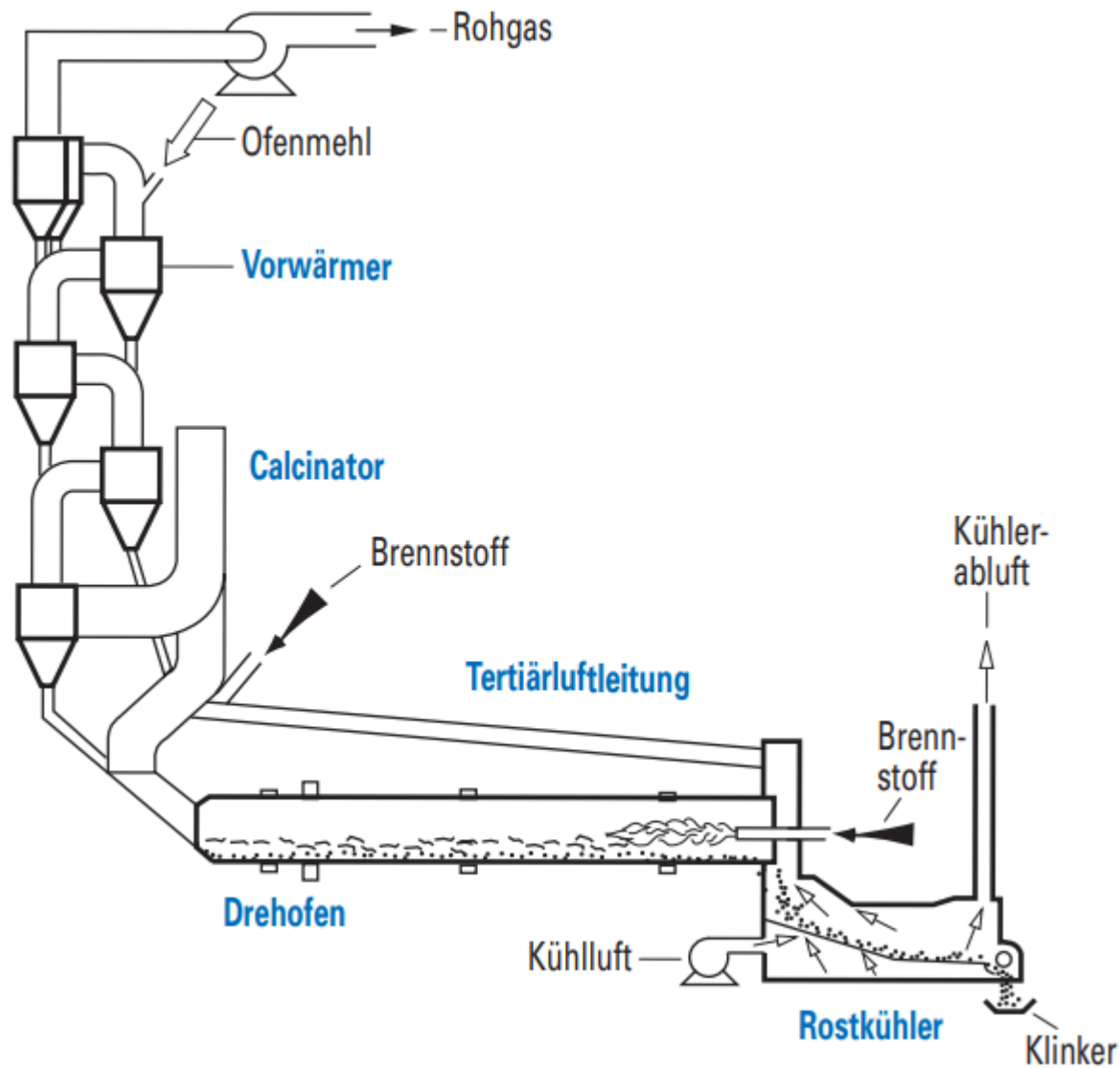
Heizwert H_2 ($0^\circ C / 1 \text{ bar}$):
10,8 MJ/Nm³ bzw. 120 MJ/kg



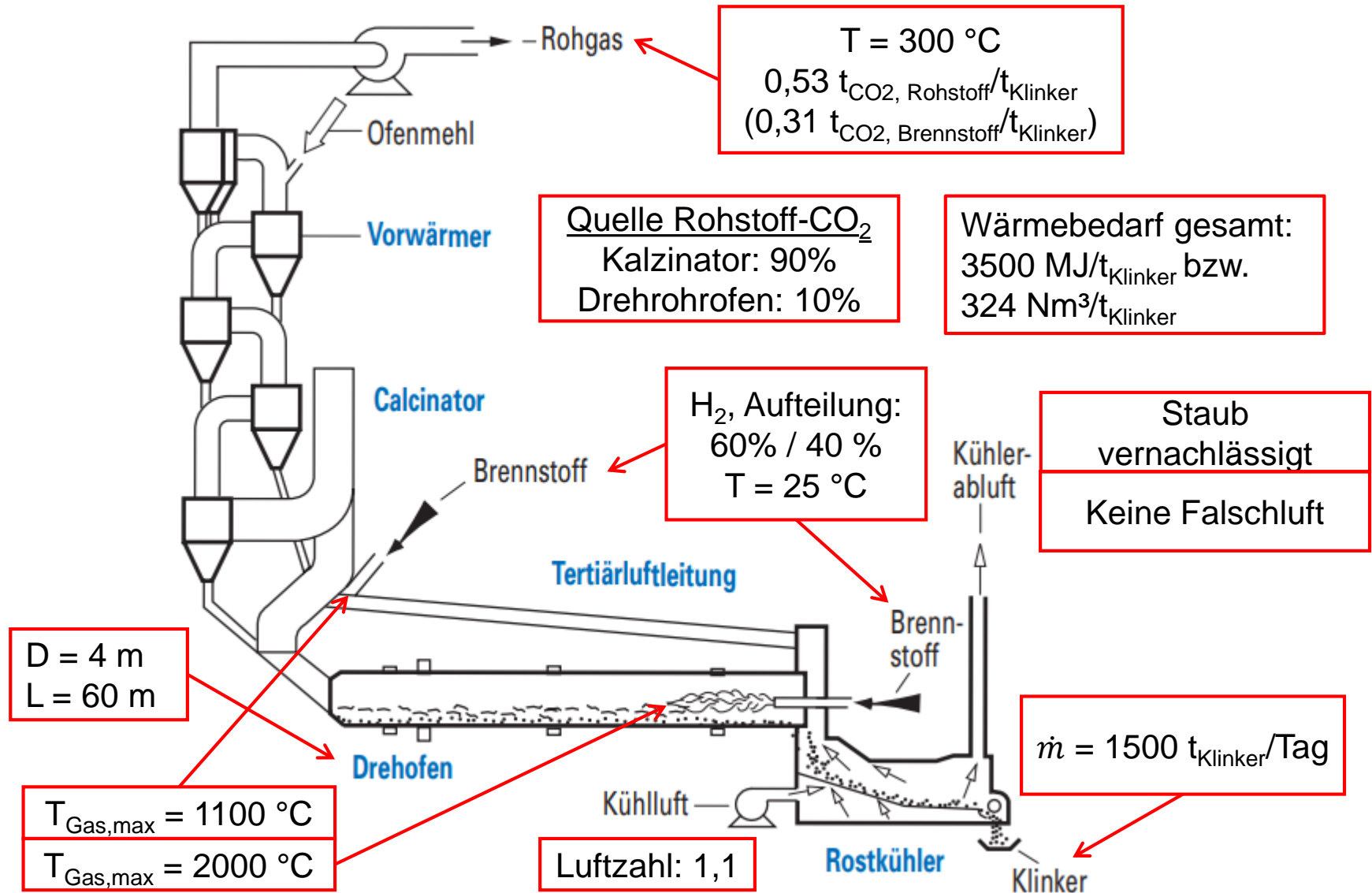
Temperaturverläufe

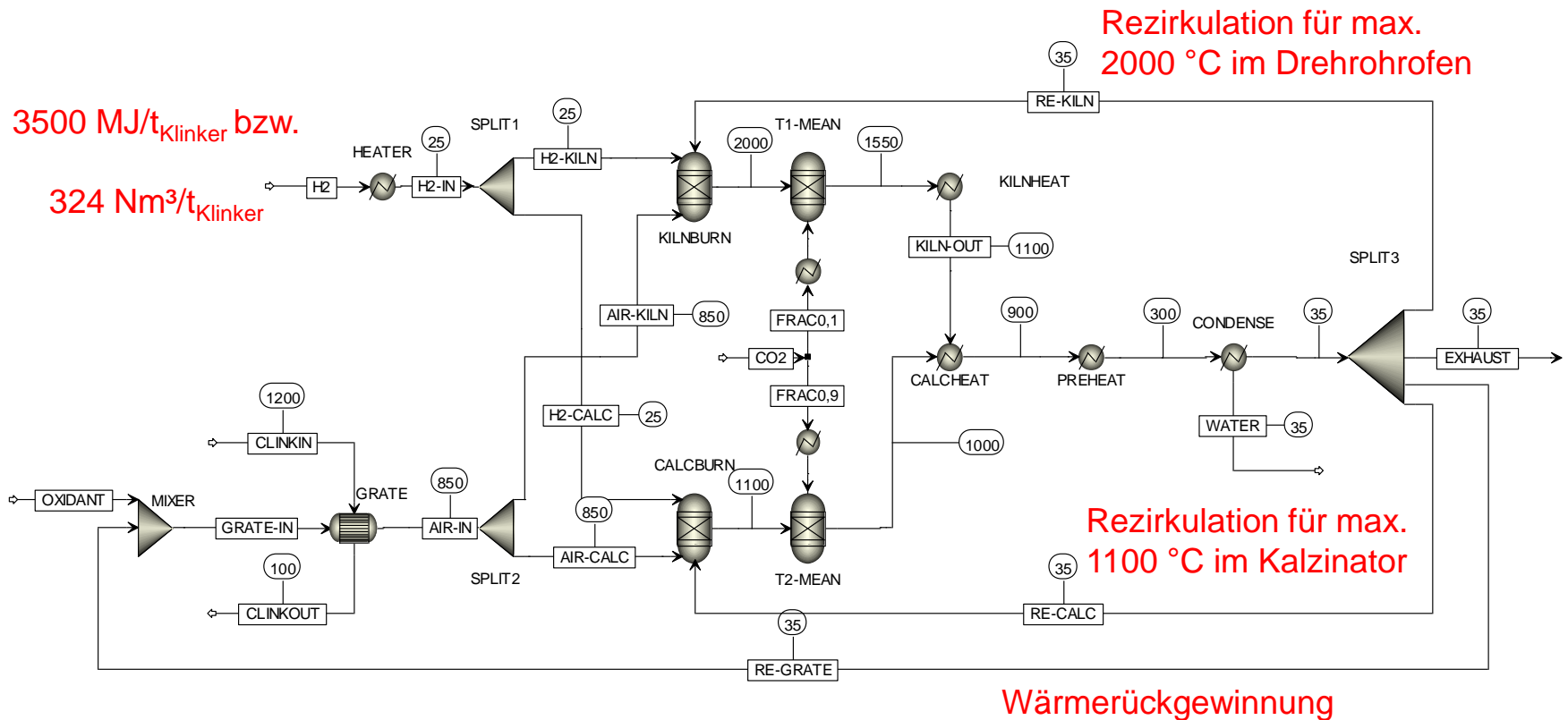


Umweltbundesamt
 Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Zement-, Kalk- und Magnesiumoxidindustrie, 2010



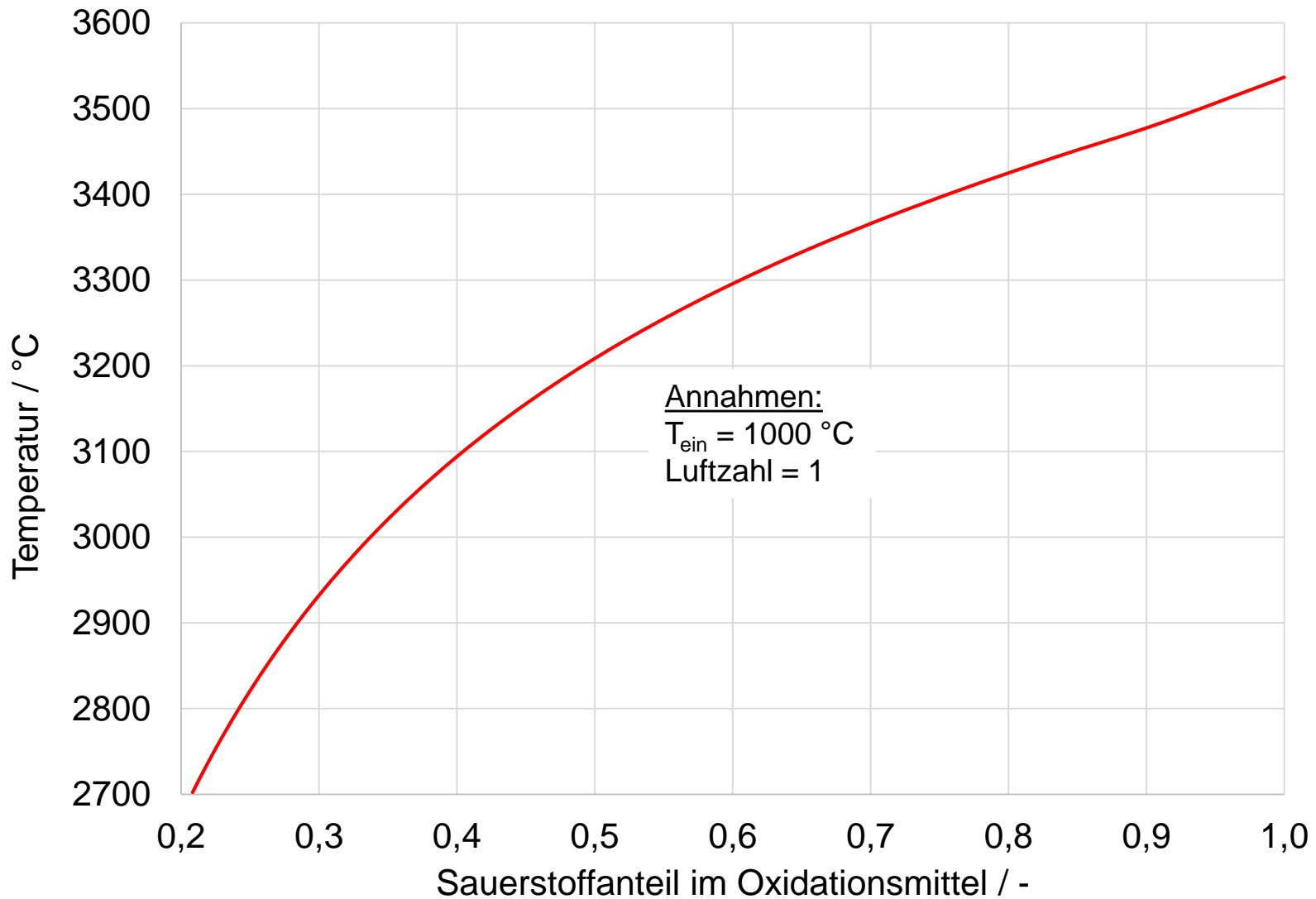
Wasserstoffverbrennung - Annahmen

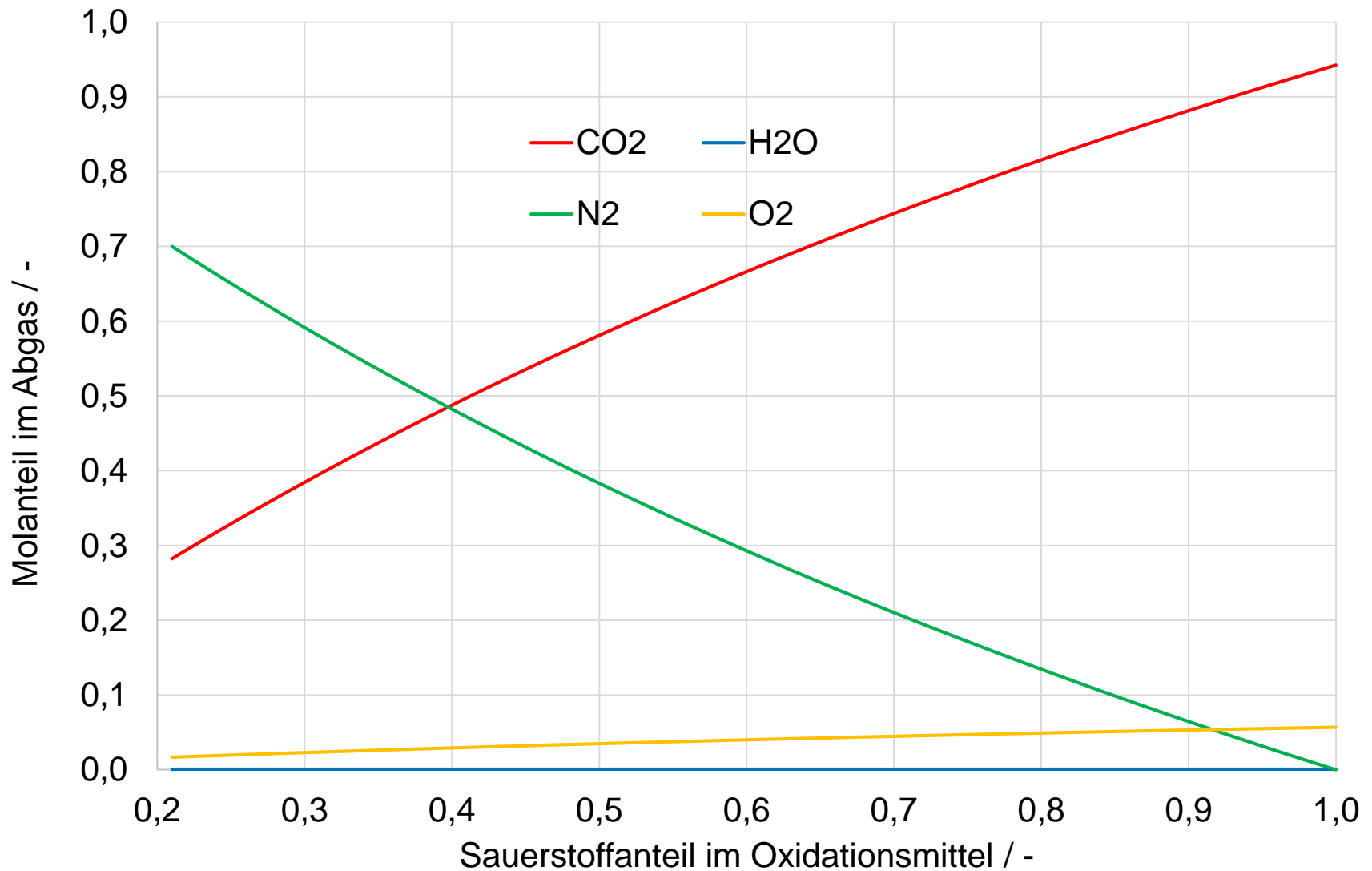


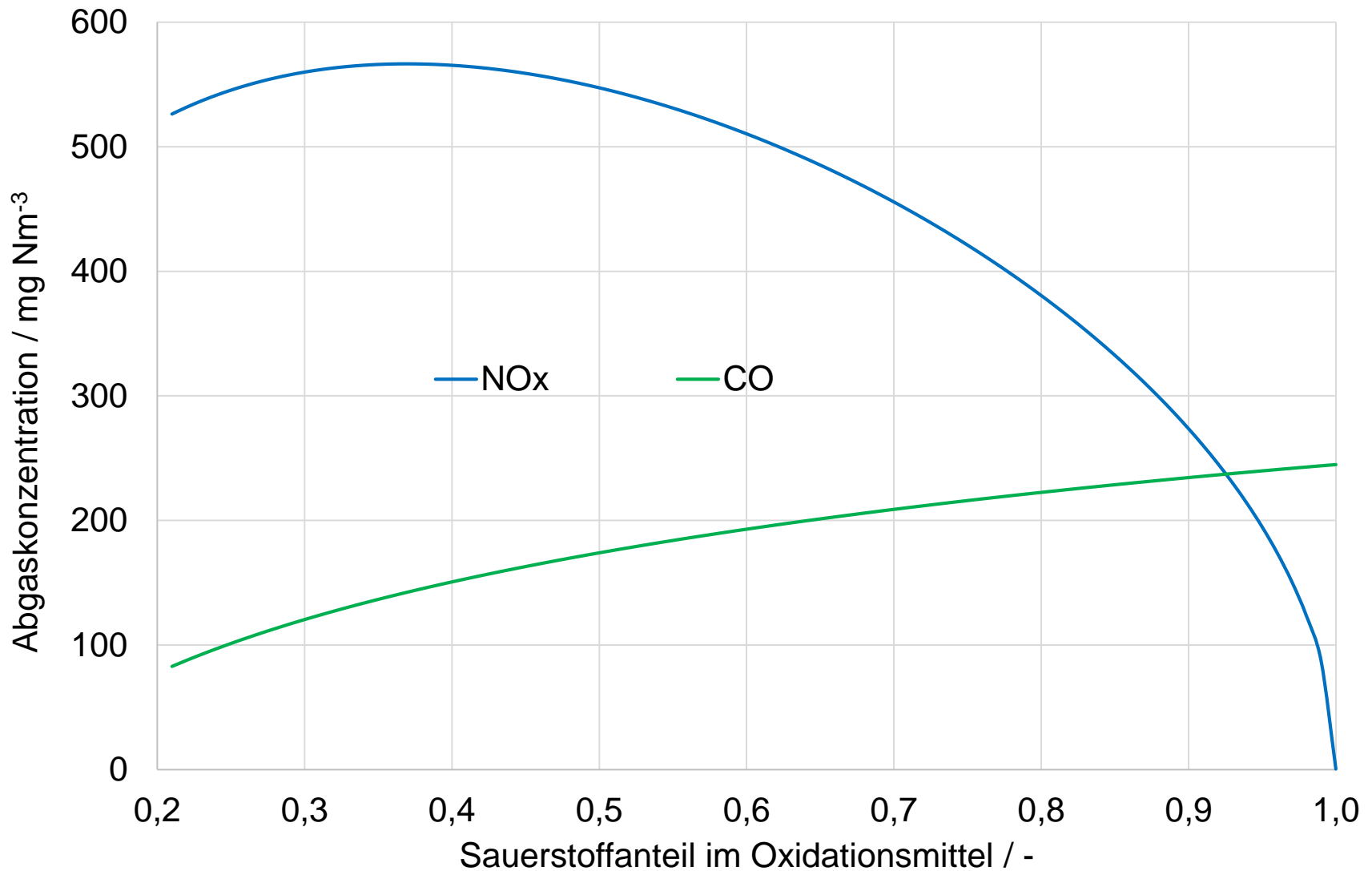


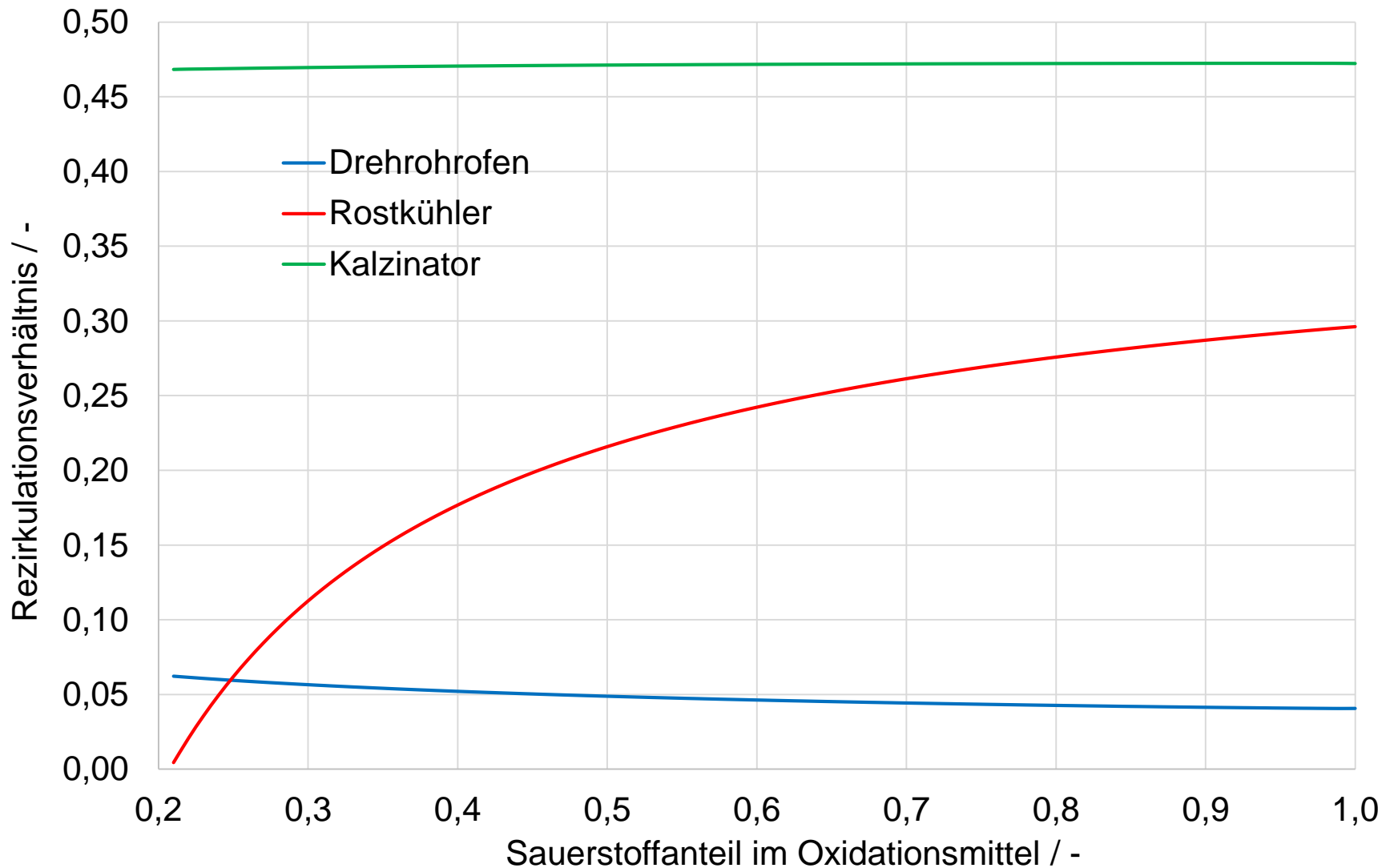
- Bei einem Wasserstoffbedarf von 324 Nm³/t_{Klinker} wäre eine Elektrolyseleistung von ca. 100 MW erforderlich (≈ 5 kWh/Nm³)
- Die erforderliche Strommenge für die Elektrolyse beträgt dann ca. 888 GWh/a
- Das entspricht in etwa der jährlich erzeugten elektrischen Energie von 150 Windkraftanlagen (Onshore, 3 MW / 2000 Volllaststunden)

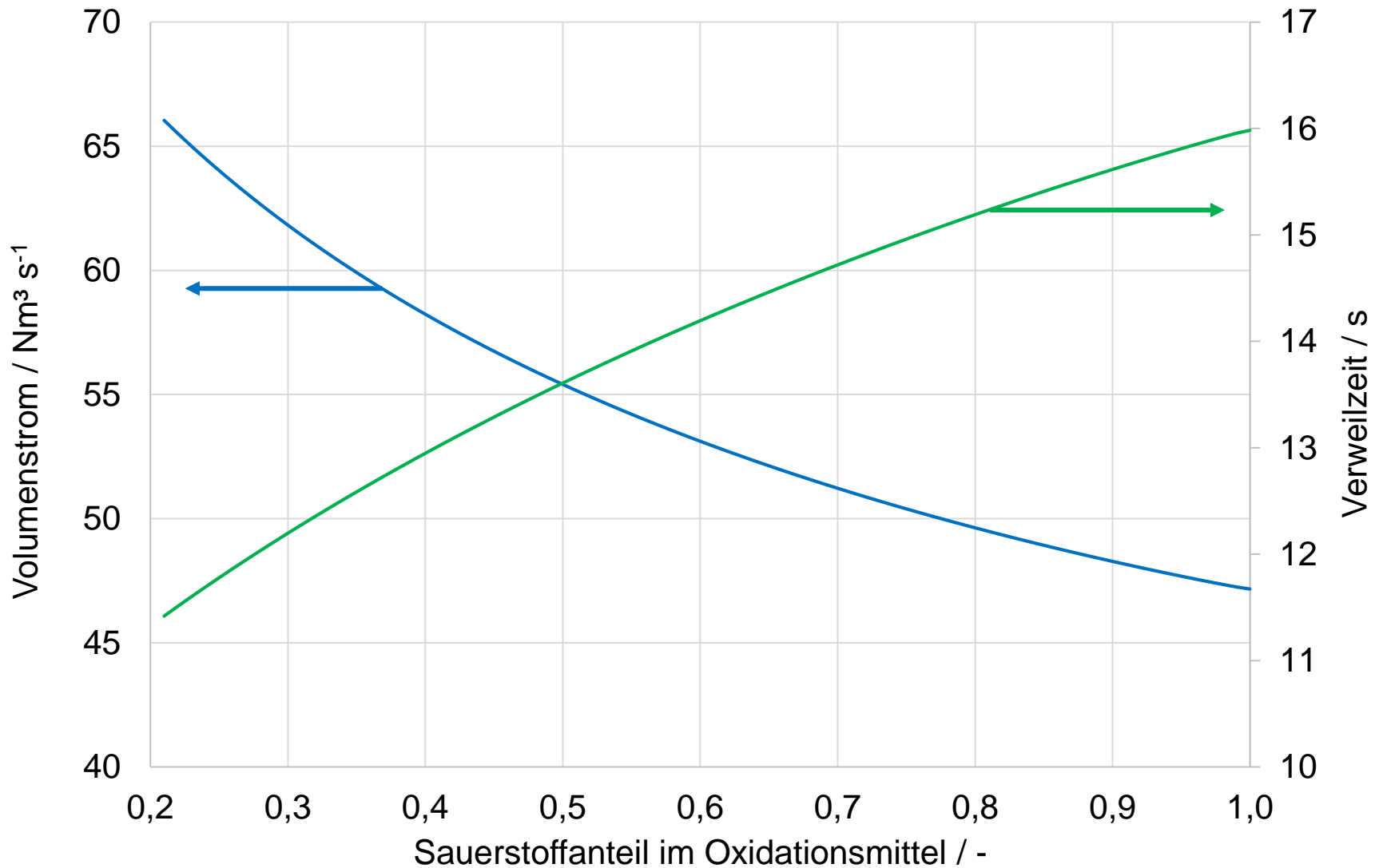
Adiabate Verbrennungstemperatur













forschen.
vernetzen.
anwenden.

CO₂ – Nutzung und Integration erneuerbarer Energien in der Kalkindustrie

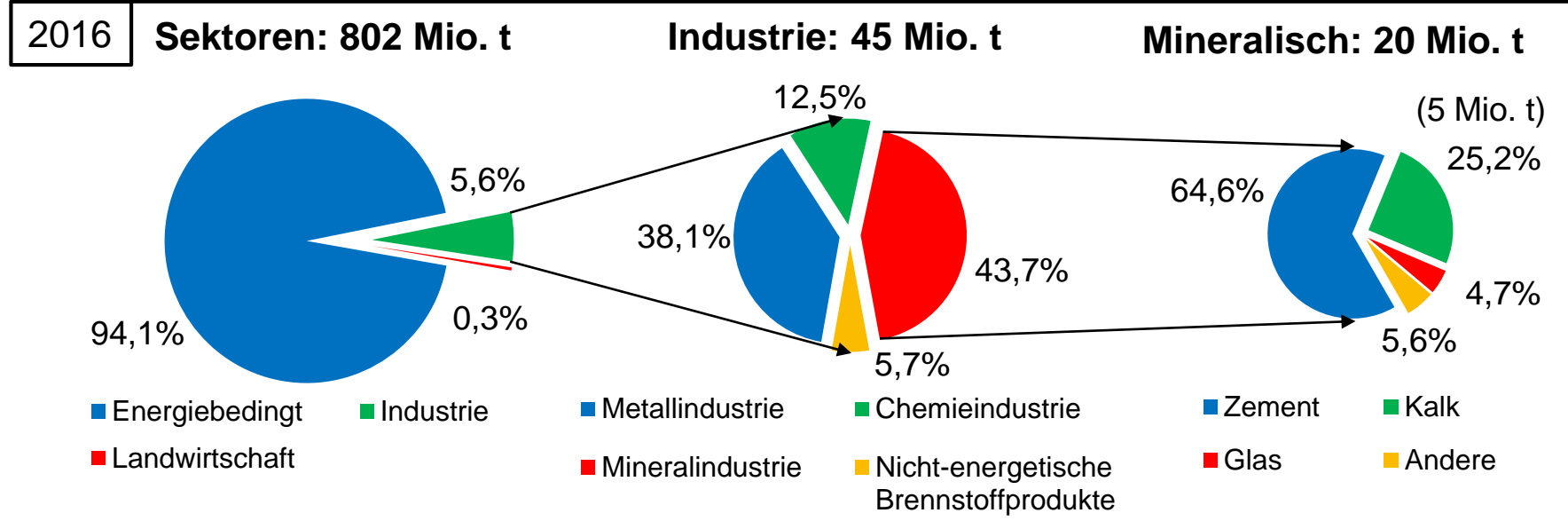
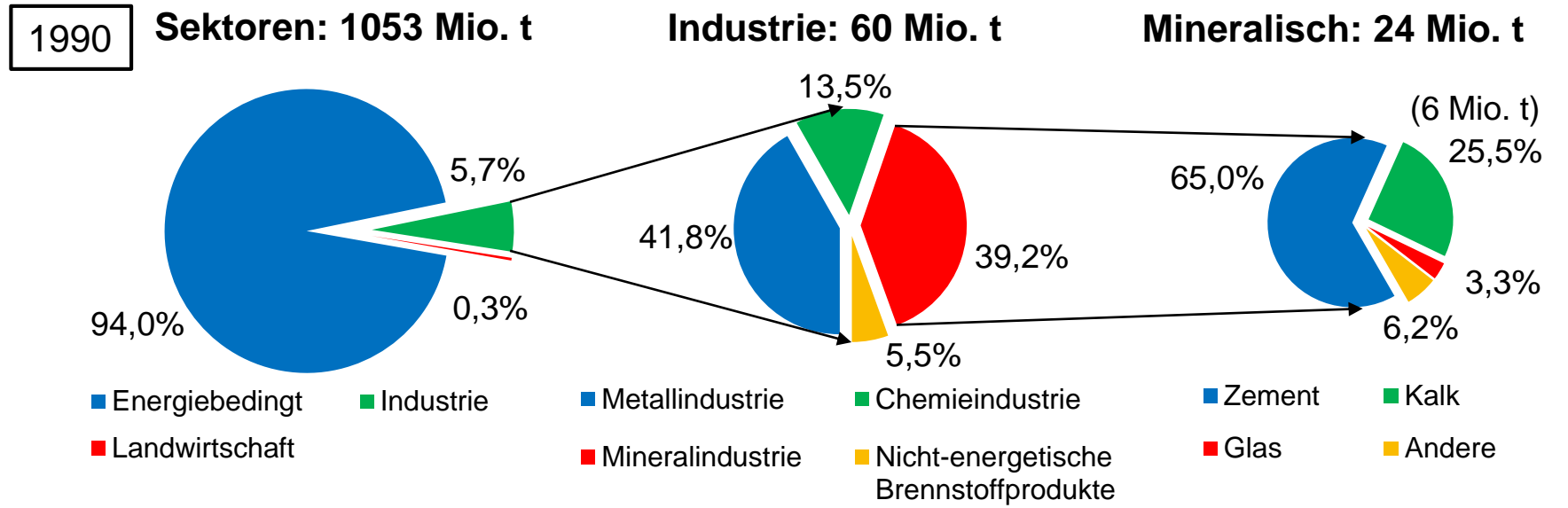
S. Meschede, M. Vogt, S. Haep

An-Institut der
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

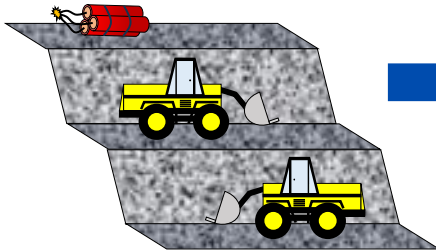


Ar Mitglied

Ausgangssituation: CO₂-Emissionen (UBA)



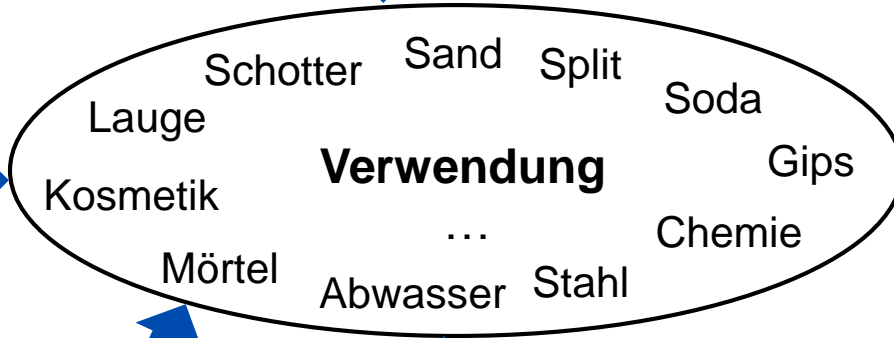
1) Rohmaterial (CaCO₃) 2) Aufbereitung 3) Kalzinierung (Entsäuerung)



- Brechen
- Waschen
- Sieben
- Klassieren

- $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- $T = 900 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta H_0 = 178 \text{ kJ mol}_{\text{CaO}}^{-1}$

25 %

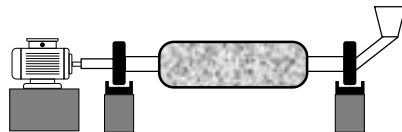


5) Kalklösschen

- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- $\Delta H_0 = -64 \text{ kJ mol}_{\text{Ca(OH)}_2}^{-1}$
- „Löschkalk“

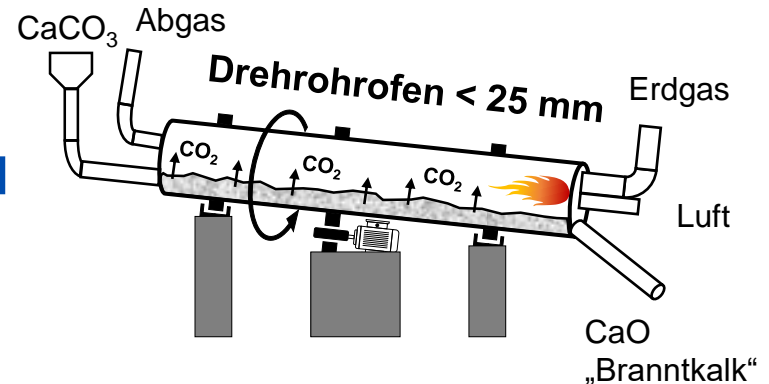
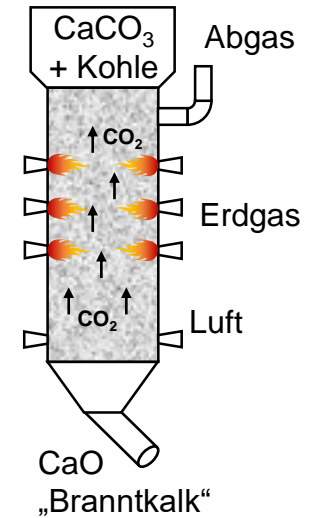
4) Feinkalk

- Mahlwerk



25 %

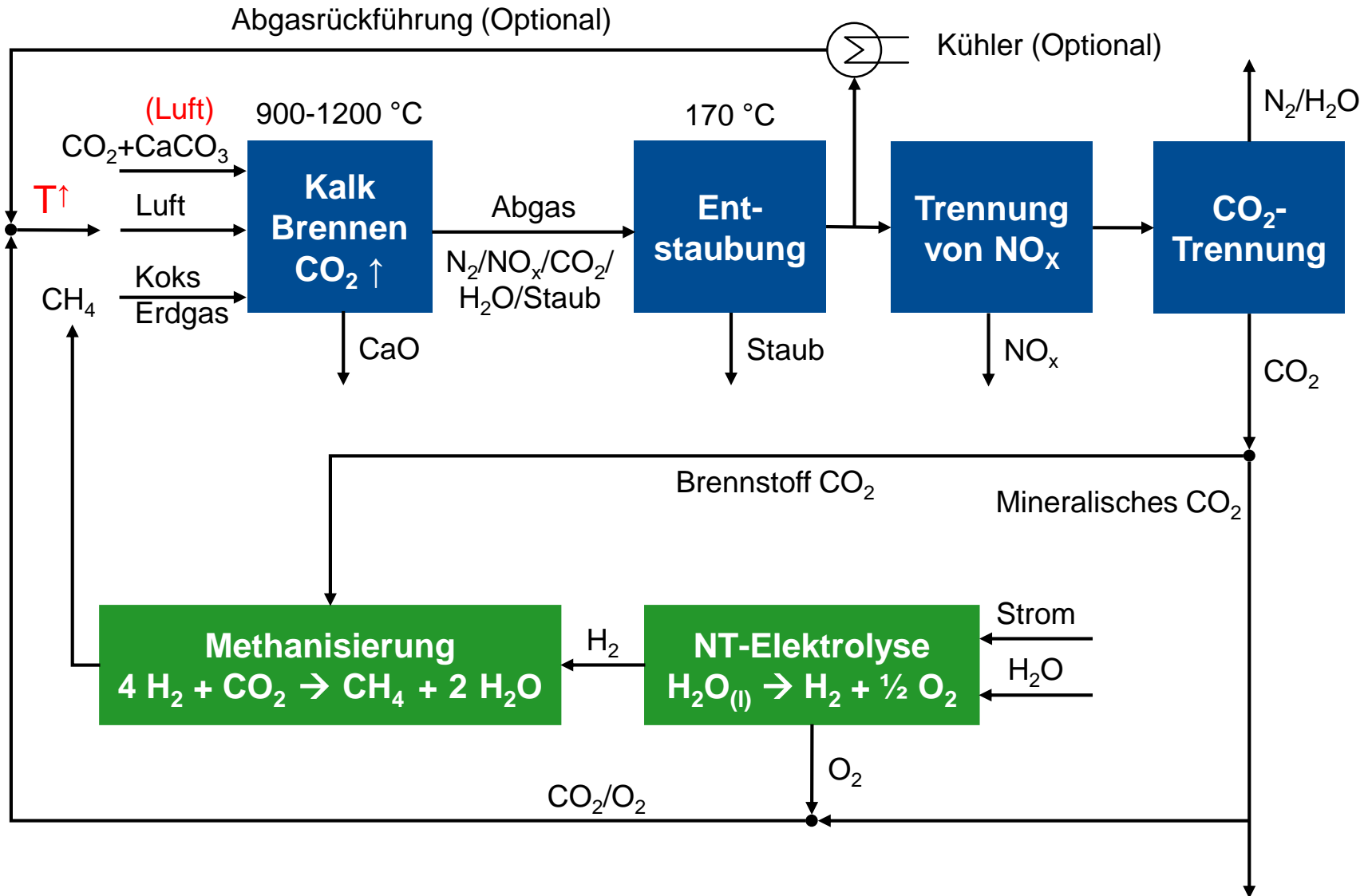
Schachtofen 25-180 mm

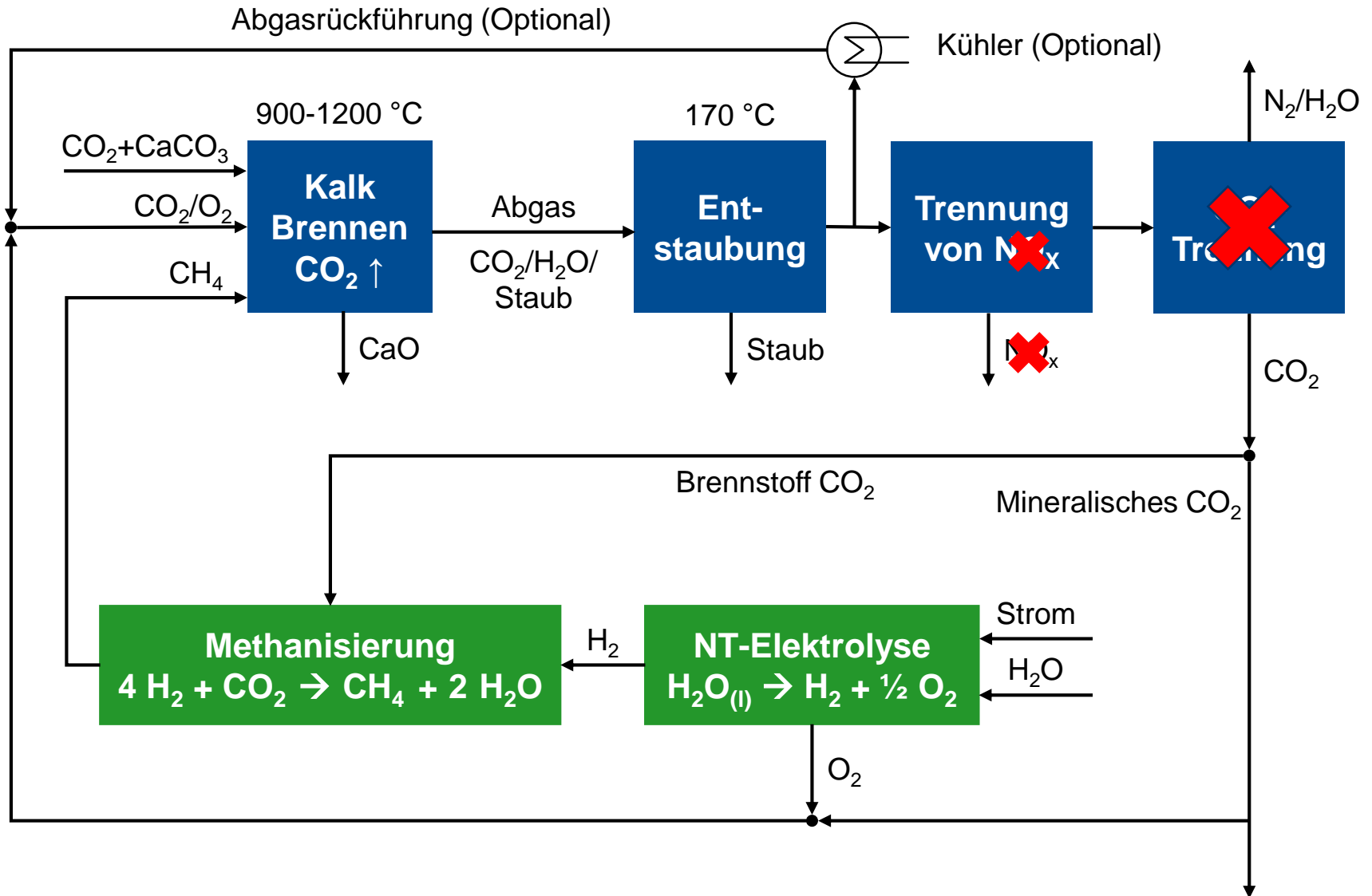


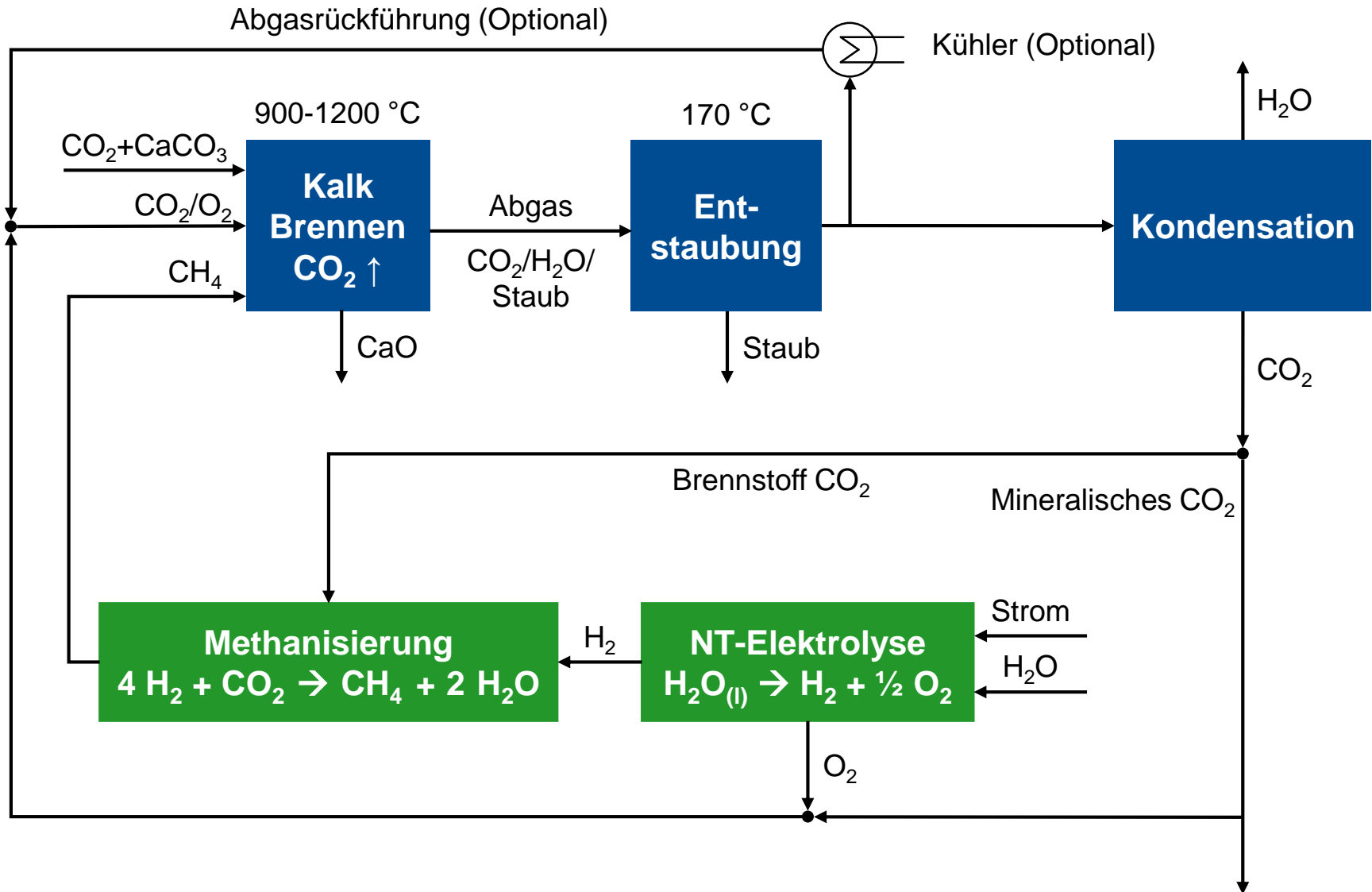
Methodenentwicklung zur Bewertung von CO₂-Minderungspotenzialen in der Kalkindustrie (Energieträger gebundenes CO₂ + Mineralisches CO₂)
Ziel: Szenarienentwicklung und -bewertung

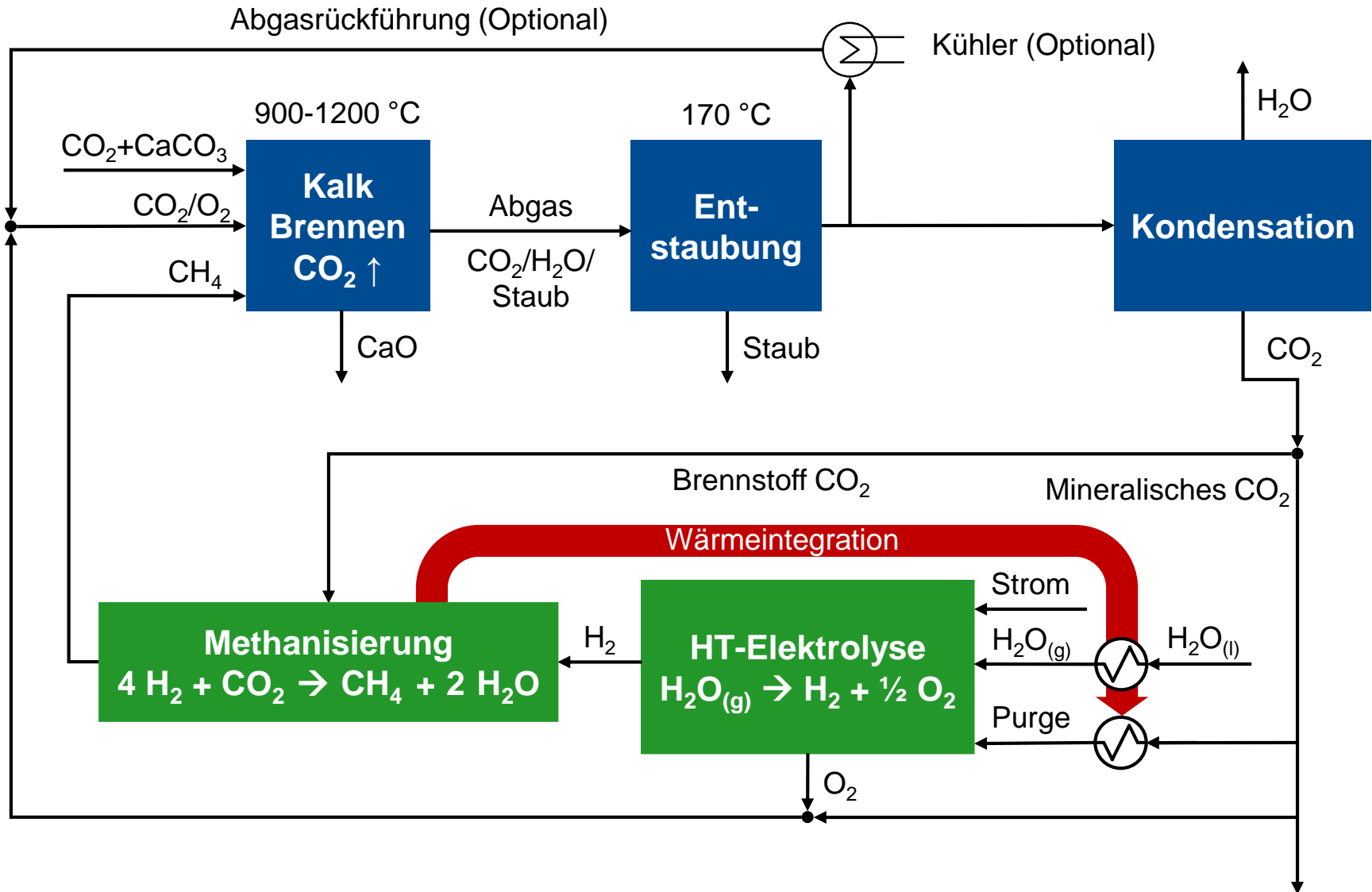
Technologie	Szenario									
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S _{...}
NT-Elektrolyse	X				X		X			...
HT-Elektrolyse		X				X		X		...
Co-Elektrolyse			X						X	...
E-Heizung				X						...
Methanisierung			X		X	X				...
Chemische Konversionspfade								X	X	...
Biologische Konversionspfade							X			...
...
Brennstoff CO₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	...
Mineralisches CO₂			X		X	X	X	X	X	...

Kalkbrennen – CO₂-Kreislauf: NT-Elektrolyse

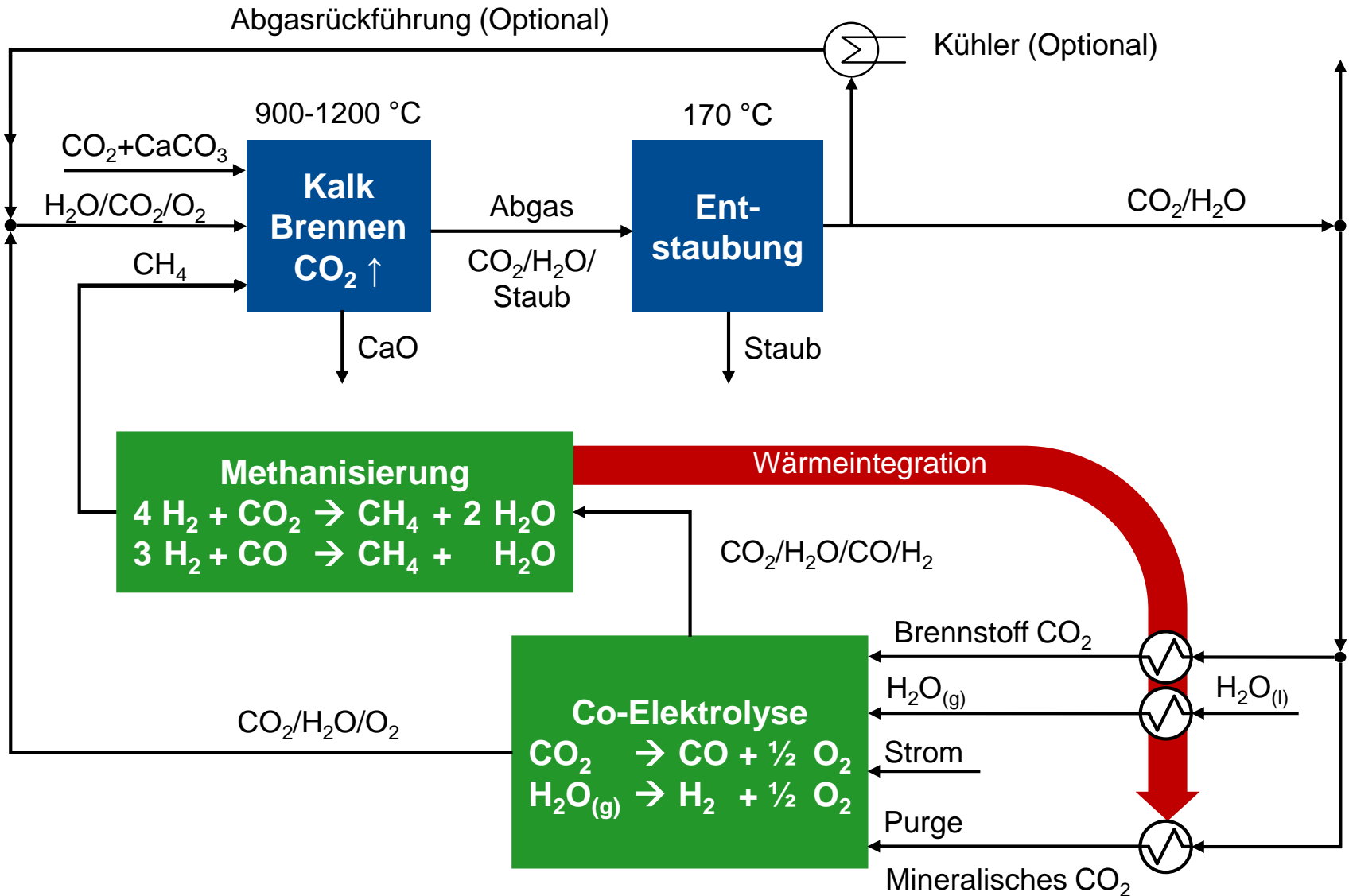




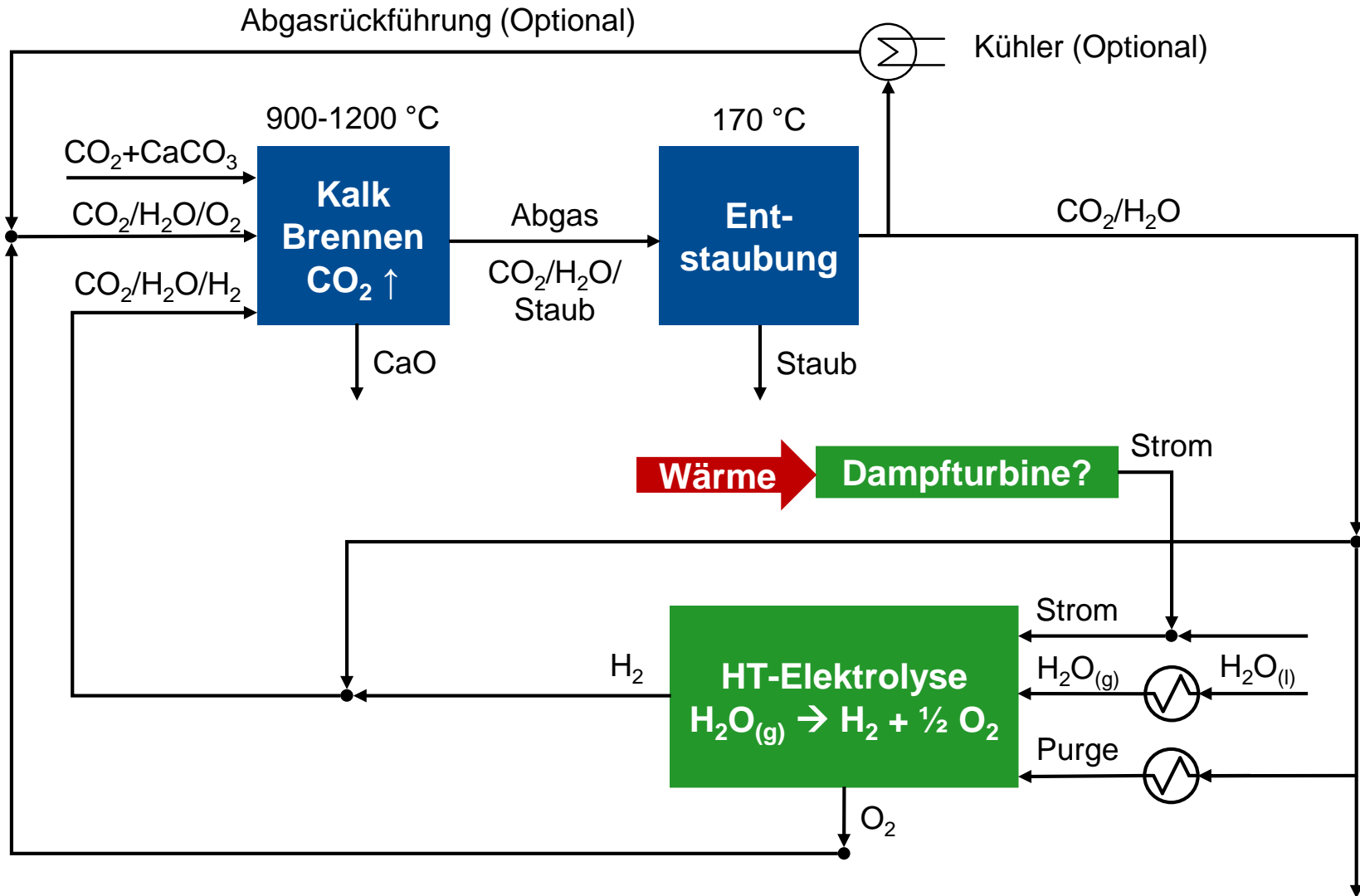




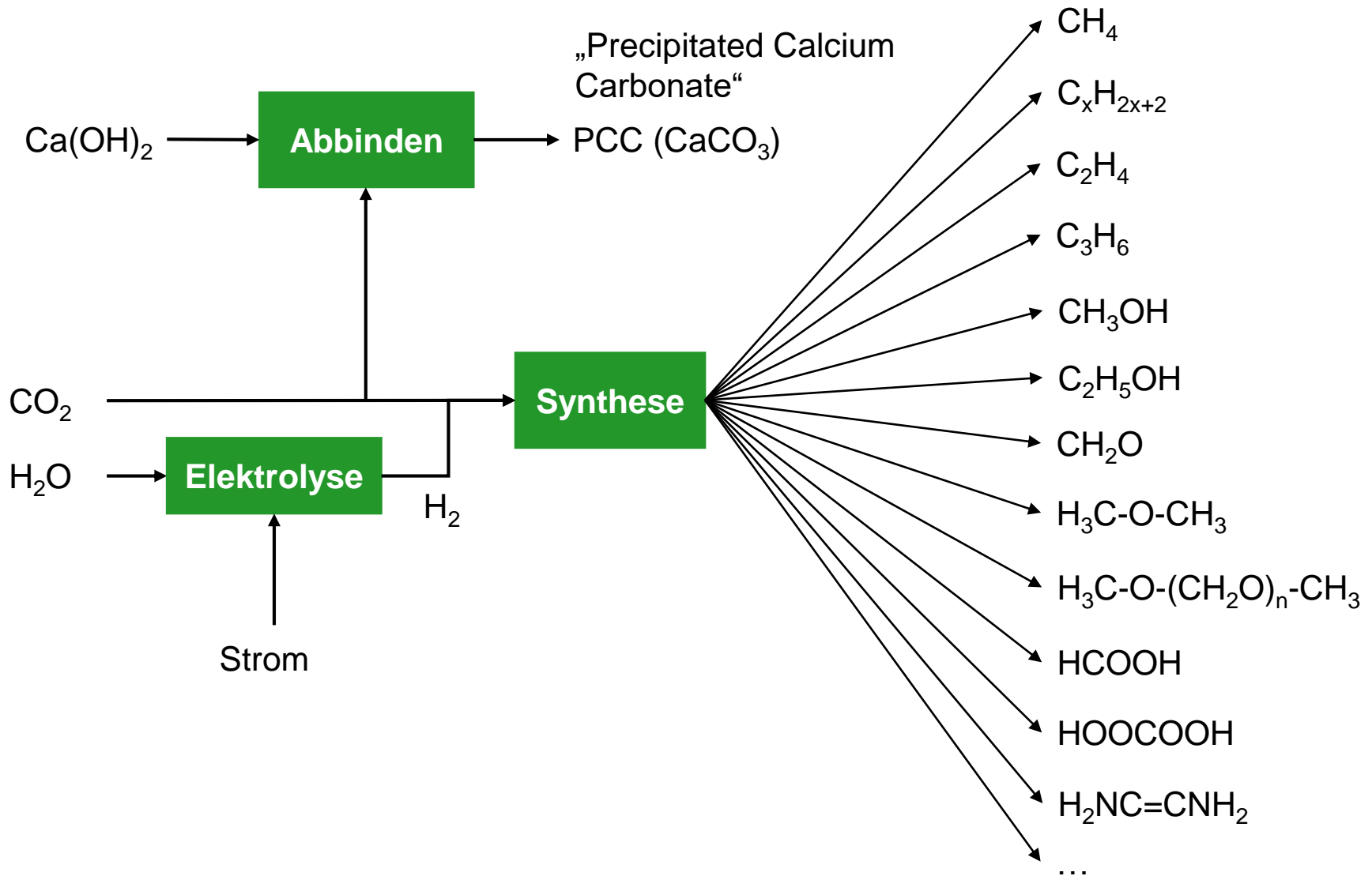
Kalkbrennen – CO₂-Kreislauf: Co-Elektrolyse



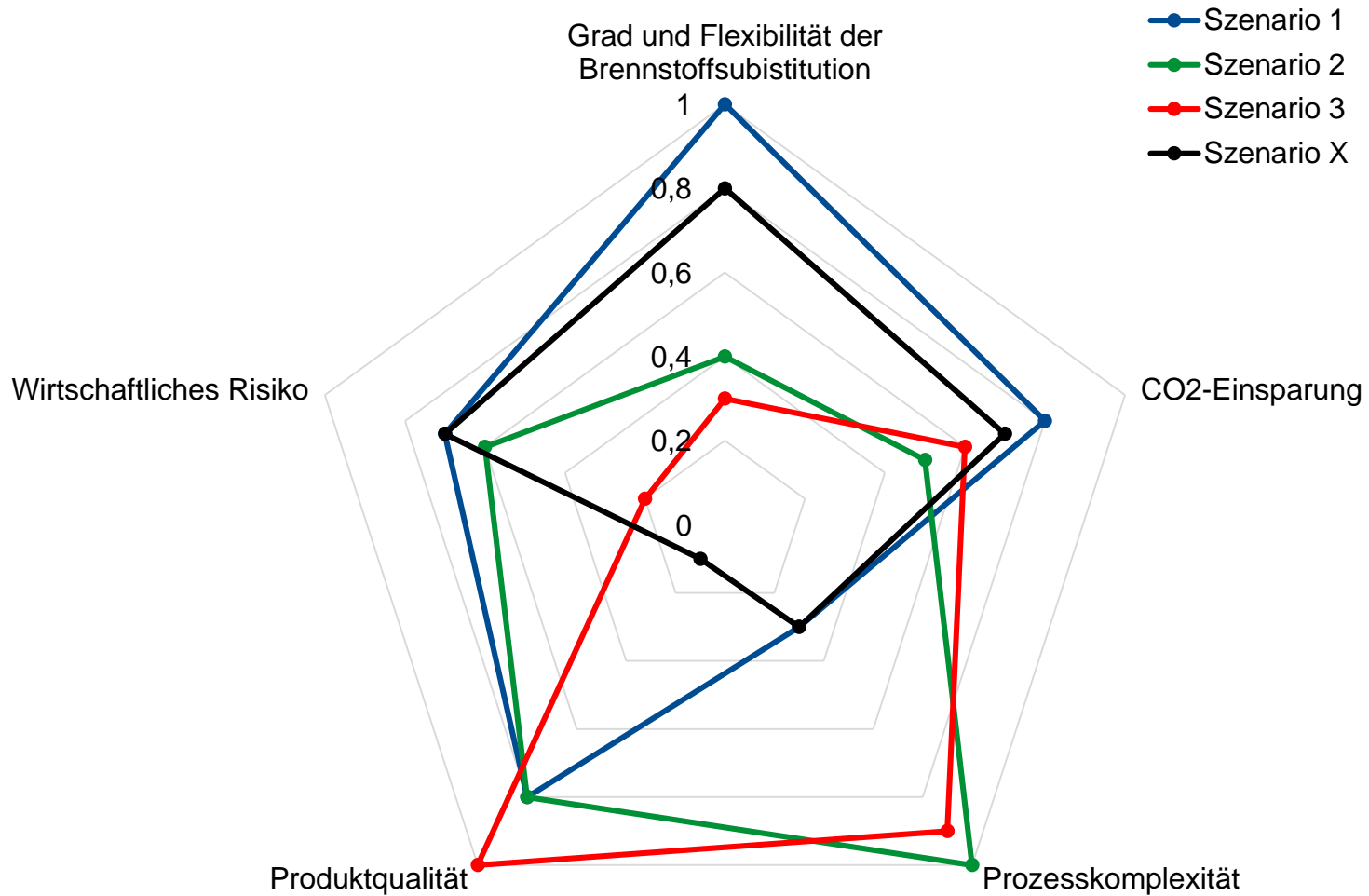
Kalkbrennen – H₂-Kreislauf: HT-Elektrolyse



Was passiert mit mineralischem CO₂?



Kennzahlen		Szenario				
		S ₁	S ₂	S ₃	S _{...}	S _X
Strombedarf	kWh/t _{CaO}	?	?	?	?	?
Wärmebedarf	kWh/t _{CaO}	?	?	?	?	?
Einsparung Brennstoff	kWh/t _{CaO}	?	?	?	?	?
Elektrolyse Speisewasser	m ³ /t _{CaO}	?	?	?	?	?
Elektrolyse Wirkungsgrad	-	?	?	?	?	?
Einsparung Zertifikate	€/t _{CaO}	?	?	?	?	?
CAPEX	€	?	?	?	?	?
OPEX	€/t _{CaO}	?	?	?	?	?
Strompreis(entwicklung)	Ct/kWh _{el}	?	?	?	?	?
...	...	?	?	?	?	?
...	...	?	?	?	?	?



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**