

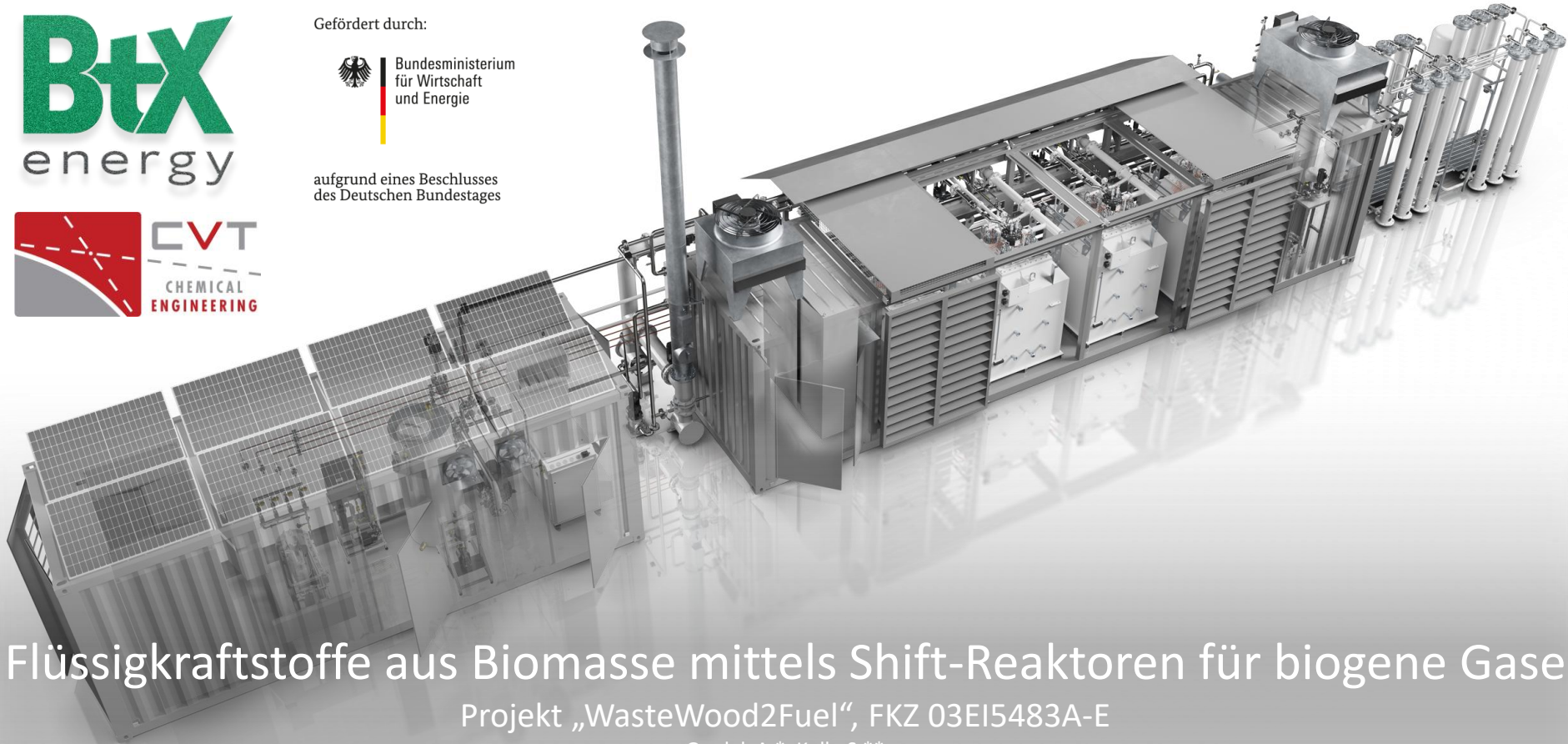


Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Flüssigkraftstoffe aus Biomasse mittels Shift-Reaktoren für biogene Gase

Projekt „WasteWood2Fuel“, FKZ 03EI5483A-E

Gradel, A.\*; Kolb, S.\*\*

\*BtX energy GmbH, \*\*Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik der Universität Bayreuth  
Statuskonferenz Bioenergie  
21.11.25, Leipzig

# Agenda

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



Wer sind wir?



Technologie & Projekt



Projektablauf und Struktur



Aktuelle Arbeiten und Ergebnisse



Fazit & Ausblick

# Wer sind wir?

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



- **WS Wärmeprozessstechnik GmbH**
- Gegründet 1982
- Erfinder der FLOX®-Technologie
- Industriebrennertechnik

- **WS Reformer GmbH**
- 2003 aus der WS ausgegründet
- Reformertechnologien

- **e-flox GmbH**
- 2006 aus der WS ausgegründet
- Anlagenbau

- **BtX energy GmbH**
- 2020 aus der WS ausgegründet
- Prozess- und Projektengineering
- Komponenten- und Reaktorbau





# Wer sind wir?

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



## Vorreiter für biogenen Wasserstoff



### Certificate

EU-REDcert-540-271089923

By means of an audit on 18.03.2024, documented in a report

**Normec Zertifizierung Umweltgutachter GmbH**  
Kapellenweg 8, 48683 Ahaus, Germany

confirms to

**BtX energy GmbH**

REDcert-ID: 4570

Am Lefkeshof 22, 47839 Krefeld

Latitude 51.3874162; longitude 6.5003028

the compliance with the requirements of the certification scheme

**REDcert-EU**

a scheme for demonstrating compliance with the sustainability criteria under the Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council

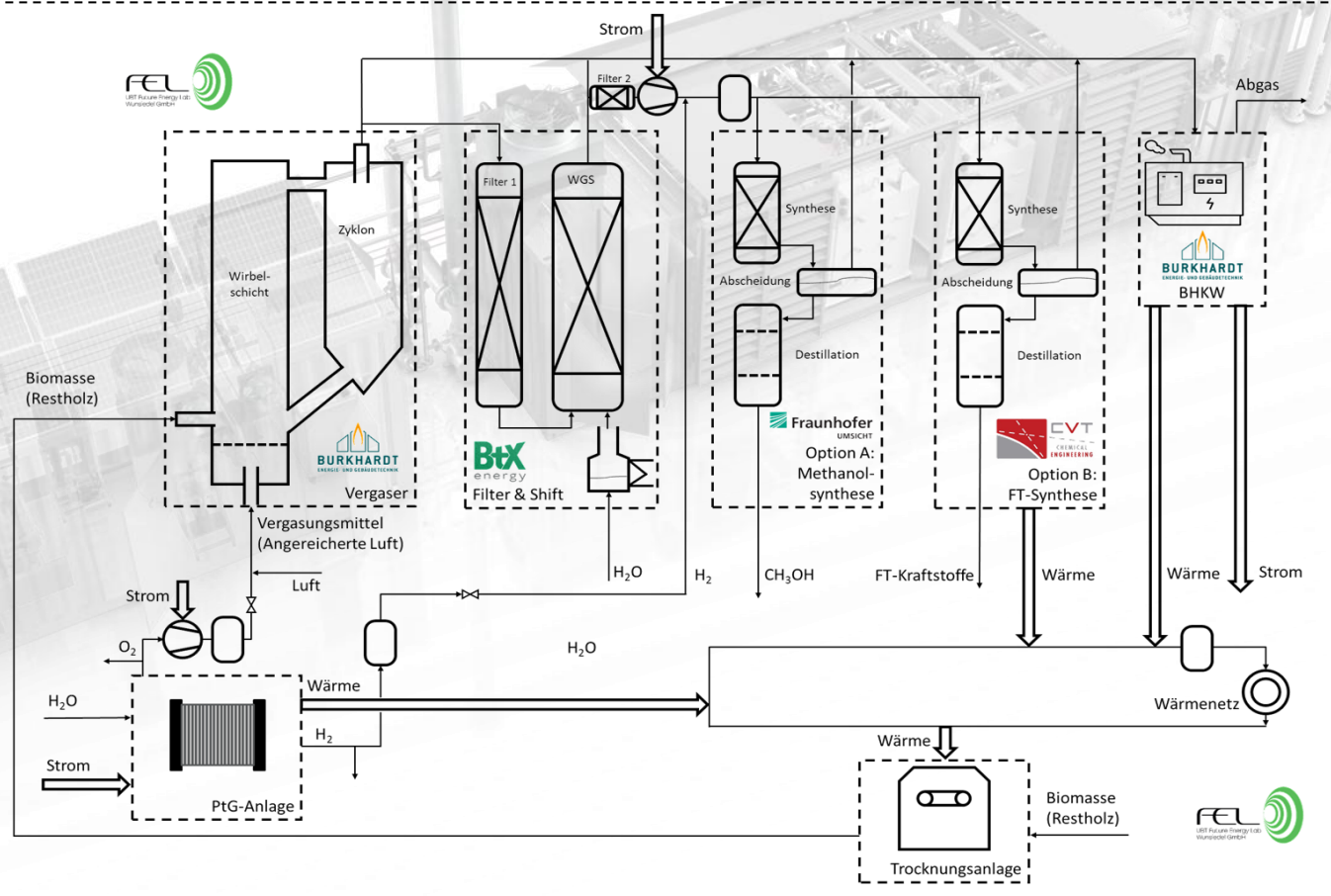
This certificate serves as proof of compliance with the requirements of Directive (EU) 2018/2001 for the following scope(s):

(420) Plant for the production of biogenic hydrogen / (502) supplier (dealer/warehouse/logistic center - after the last interface)



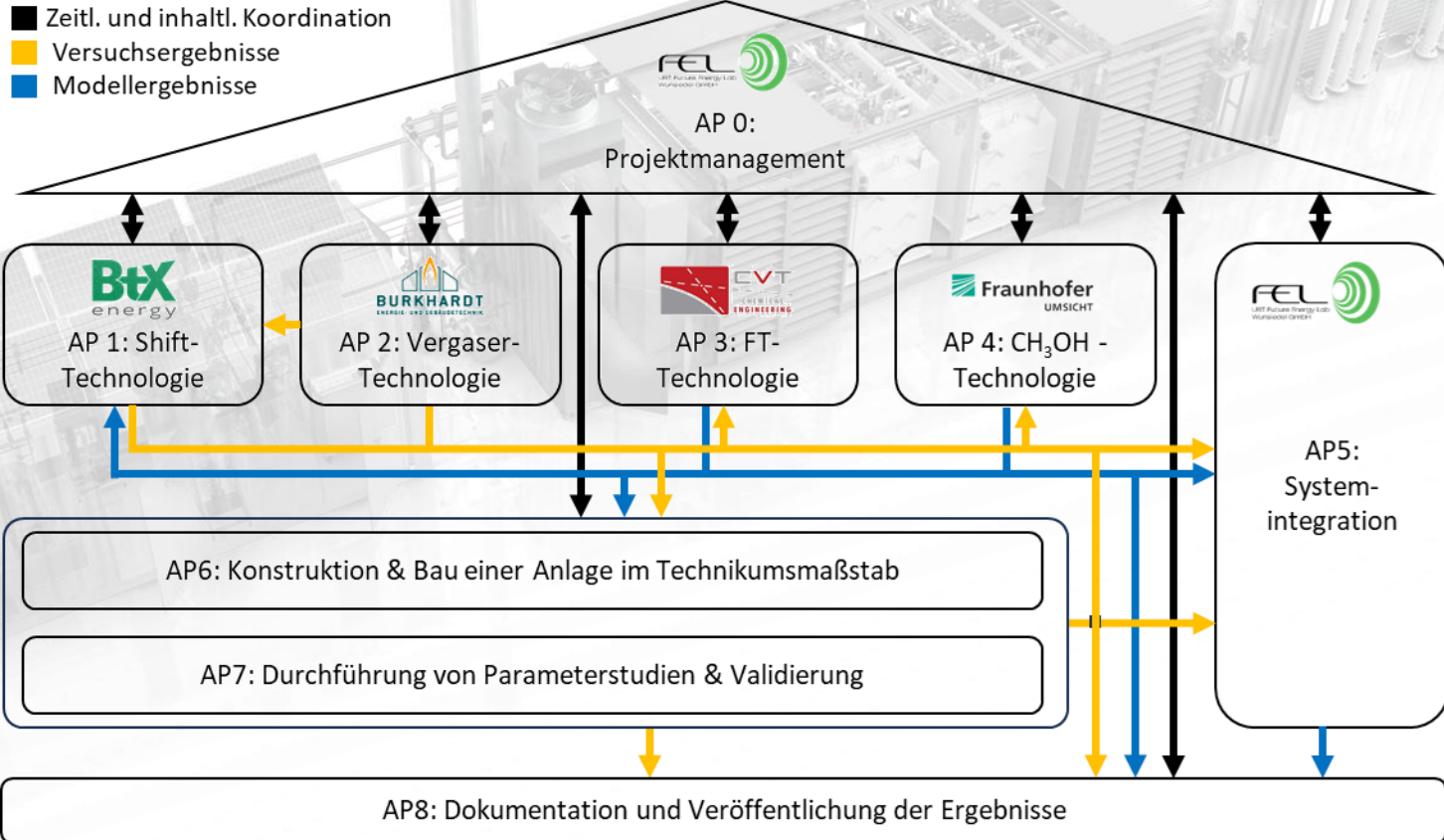
# Technologie & Projekt

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



# Projekttablauf WasteWood2Fuel

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —





## AP 1.1: Simulationsmodell – Shiftreaktor: Transportgleichungen

- Kinetisches 1D-Modell mit 8 Bilanzen für vier Stoffströme (3 x Wärmetauscher + Schüttung) und vier reaktive Stoffe in der Schüttung

Wärmetauscher:

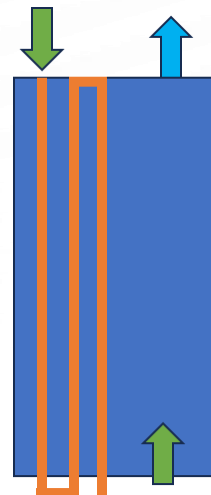
$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\frac{\partial(u_g c_i)}{\partial z}$$

$$c_{p,g} \rho_g \frac{\partial T}{\partial t} = -u_g c_{p,g} \rho_g \frac{\partial(T)}{\partial z} + \dot{q}_{wt}$$

Schüttung:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\frac{\partial(u_g c_i)}{\partial z} + \sum_n r_n \nu_{i,n}$$

$$c_{p,g} \rho_g \frac{\partial T}{\partial t} = -u_g c_{p,g} \rho_g \frac{\partial(T)}{\partial z} + \sum_n r_n \Delta_{H,n} + \sum_n \dot{q}_{wt}$$

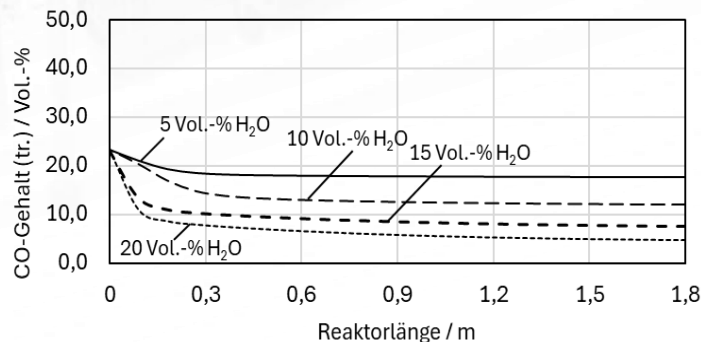
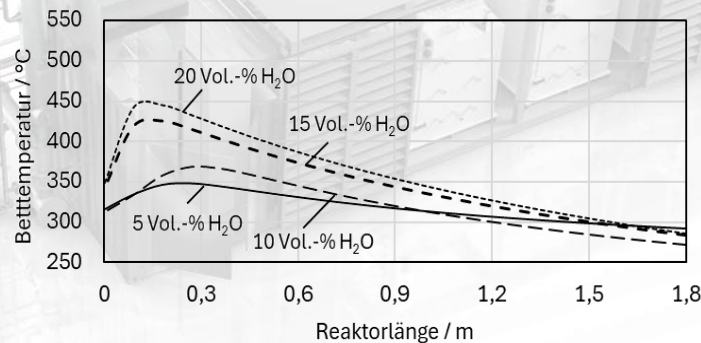






## AP 1.1: Simulationsmodell – 3 x Shiftreaktor mit Holzgas aus der Luftvergasung

- 23,3 Vol.-% CO, 18,4 Vol.-% H<sub>2</sub>, 10,1 Vol.-% CO<sub>2</sub>, 1,6 Vol.-% CH<sub>4</sub>, 45,2 % N<sub>2</sub> (SN = 0,55)

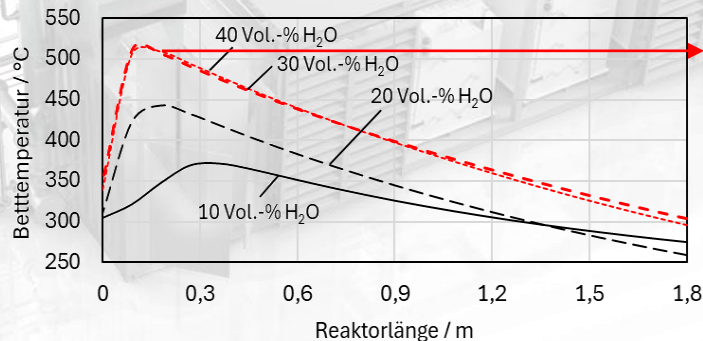




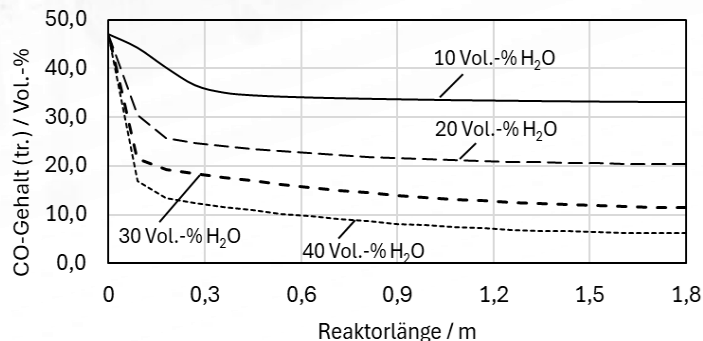


## AP 1.1: Simulationsmodell – 1 x Shiftreaktor mit Holzgas aus der Sauerstoffvergasung

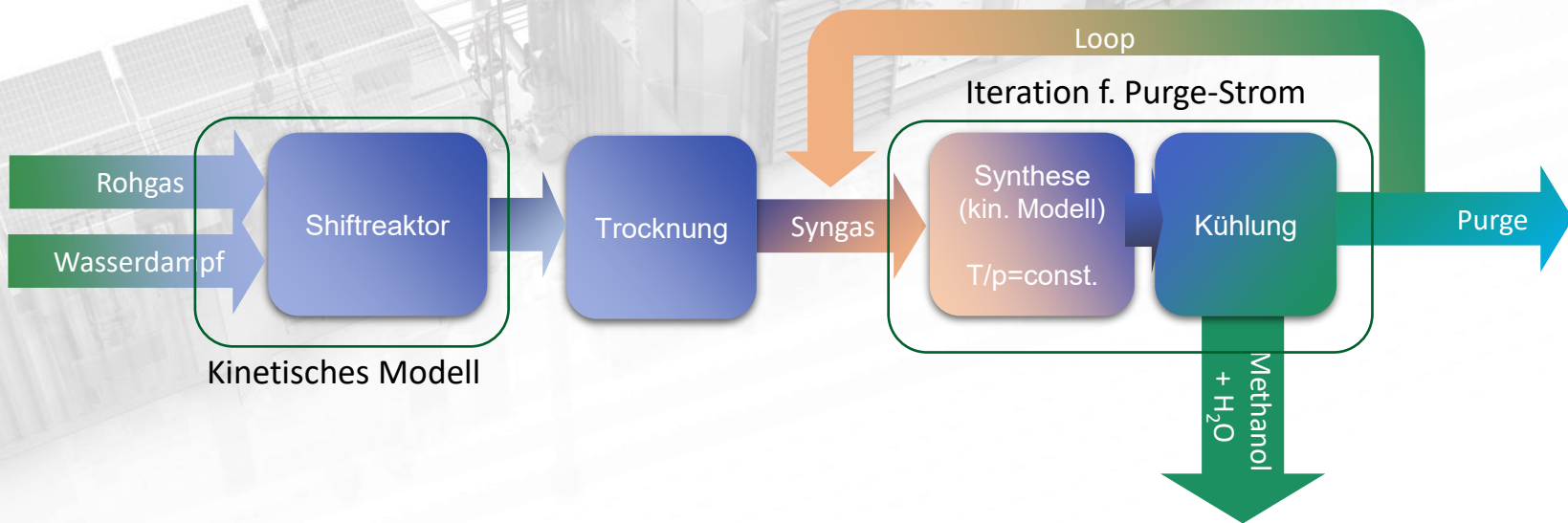
- 45,0 Vol.-% CO, 35,0 Vol.-% H<sub>2</sub>, 14,5 Vol.-% CO<sub>2</sub>, 1,7 Vol.-% CH<sub>4</sub> (SN = 0,59)



Red. Standzeit ab > 450 °C,  
Deaktivierung ab 500 °C

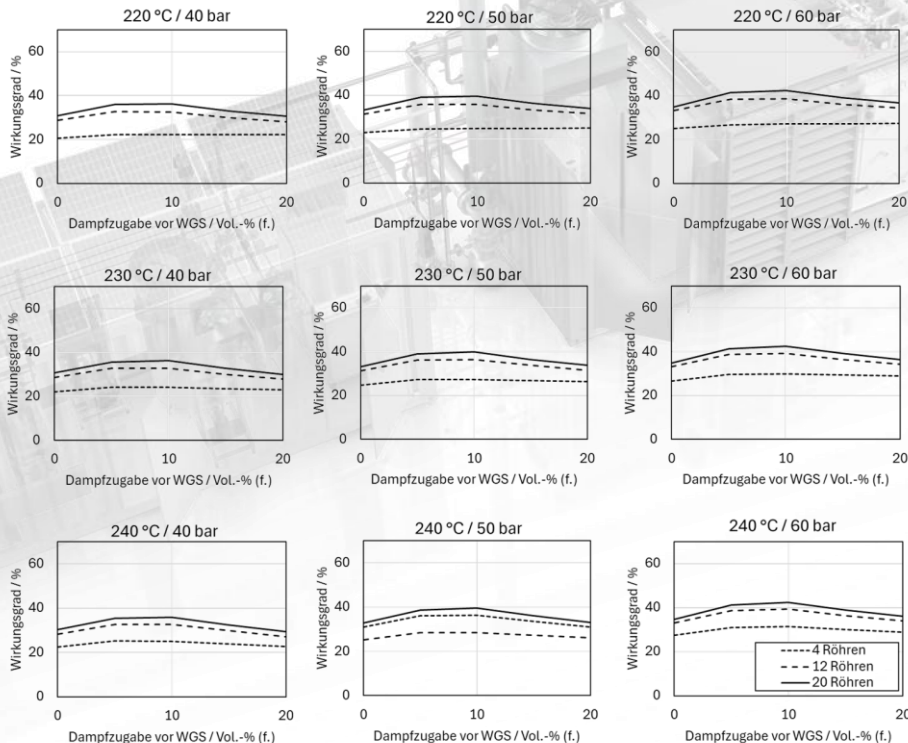


## AP 1.1: Simulationsmodell – Aufbau in klassischer Manier





## AP 1.1: Simulationsmodell – Ergebnisse der Gesamtkette mit Recycling



Eingangsgas aus Luftvergasung:

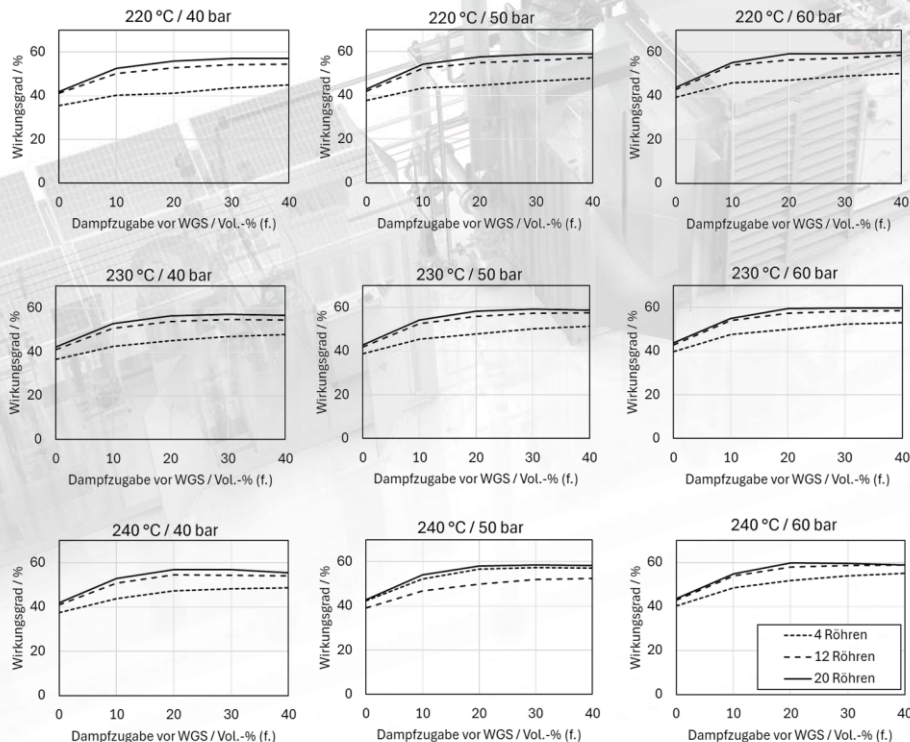
- 23,3 Vol.-% CO
- 18,4 Vol.-% H<sub>2</sub>
- 10,1 Vol.-% CO<sub>2</sub>
- 1,6 Vol.-% CH<sub>4</sub>
- 45,2 % N<sub>2</sub>

Interpretation:

- Kaltgaswirkungsgrad von knapp unter 40 % möglich
- Hoher Druck und niedrige Temperatur sind GGW-technisch optimal
- Beste Ausbeute bei ca. 10 Vol.-% Dampfzugabe vor der Shift



## AP 1.1: Simulationsmodell – Ergebnisse der Gesamtkette mit Recycling



Eingangsgas aus Sauerstoffvergasung:

- 45,0 Vol.-% CO
- 35,0 Vol.-% H<sub>2</sub>
- 14,5 Vol.-% CO<sub>2</sub>
- 1,7 Vol.-% CH<sub>4</sub>
- 0 Vol.-% N<sub>2</sub>

Interpretation:

- Kaltgaswirkungsgrad von kapp 60 % möglich
- Hoher Druck und niedrige Temperatur sind GGW-technisch optimal
- Beste Ausbeute ab ca. 20 Vol.-% Dampfzugabe vor der Shift aufwärts

\*“Röhre” = Neuentwicklung eines dezentralen, innengekühlten Reaktors mit ca. 30 kg Katalysator pro Einheit





## Aktueller Stand

- Ein thermisch aufgelöstes, kinetisches Shiftreaktormodell wurde erstellt
- Ein detailliertes Modell bis zur Methanolsynthese wurde erstellt, um Zusammenhänge zu identifizieren
- Die klassische Recycling-Purge-Strategie führt zu brauchbaren, aber geringen Wirkungsgraden
- Die Sauerstoffanreicherung bringt merkliche Verbesserungen
- Es kann eine Zwischenkondensation angestrebt werden für höhere Ausbeuten und geringere Stromverbräuche



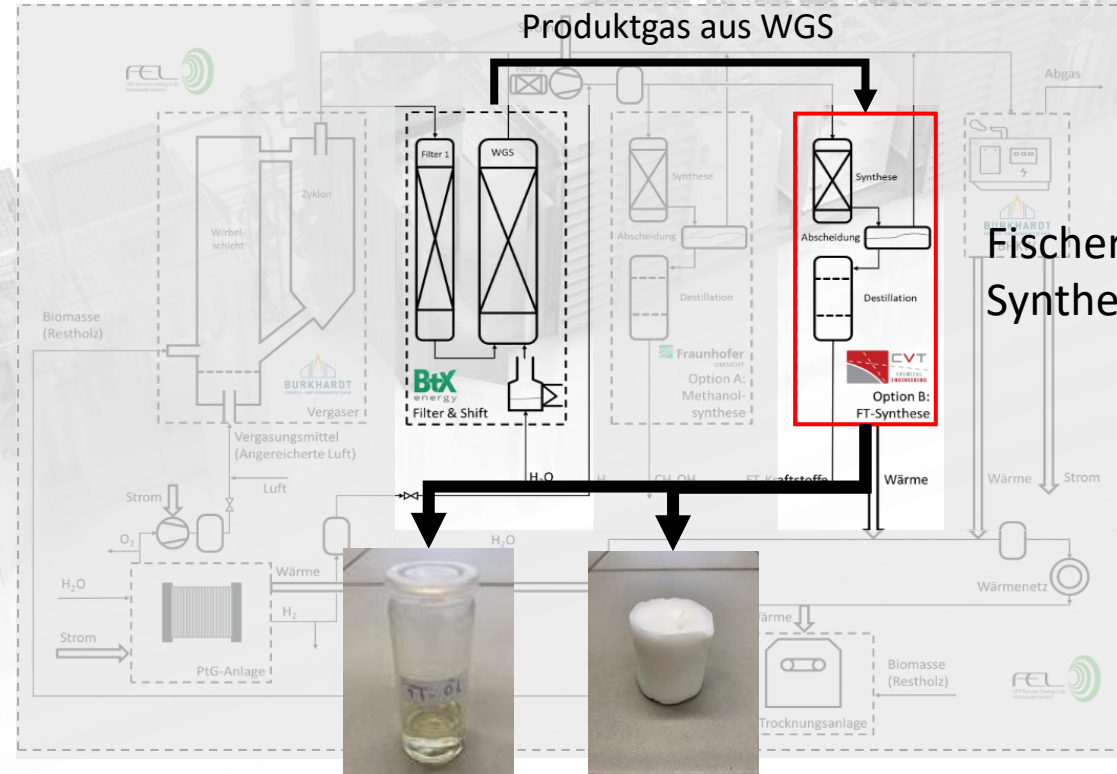
## Nächste Schritte

- Weitere Messdaten müssen erstellt und eingepflegt bzw. zur Validierung verwendet werden
- Ggf. kann ein Gesamtprozessmodell mit FT-Synthese angeflanscht werden
- Behälter und Filter sind in Arbeit



# Teilvorhaben: Fischer-Tropsch-Synthese

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



Fischer-Tropsch-Syntheseanlage

Ölfraction

Wachsfraction

# Die Fischer-Tropsch-Synthese

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —

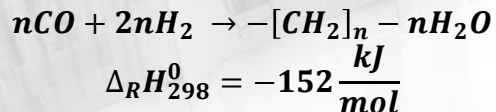


**Franz Fischer**  
\* 19.03.1877  
† 01.12.1947



**Hans Tropsch**  
\* 07.10.1889  
† 08.10.1935

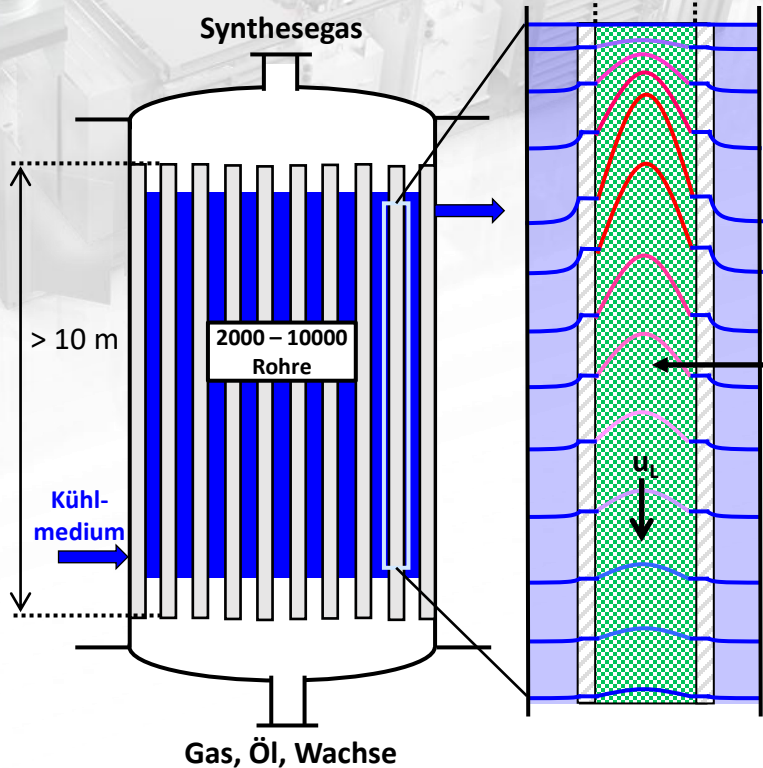
Oberflächenpolymerisation von CO  
mit  $H_2$  zu paraffinischen  
Kohlenwasserstoffen  
an festen Katalysatoren (Co, Fe)



stark exotherme Reaktion

**Problem:**  
thermische Reaktorstabilität

Großtechnische Umsetzung meist im  
gekühlten Rohrbündelreaktor



Katalysator-  
Schüttung



Eisen



1

## Aufbau und Betrieb eines FTS- Einzelrohrreaktors im Technikumsmaßstab

Stand 11/25: im Aufbau



2

## Physikalische und chemische Modellierung des FTS-Reaktors

Stand 11/25: funktionsfähiges Modell

3

## Simulation der FTS-Anlage unter realen Bedingungen

Stand 11/25: erste Simulationen



## Auslegung und Optimierung

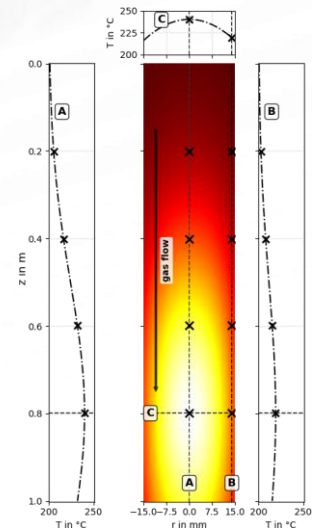
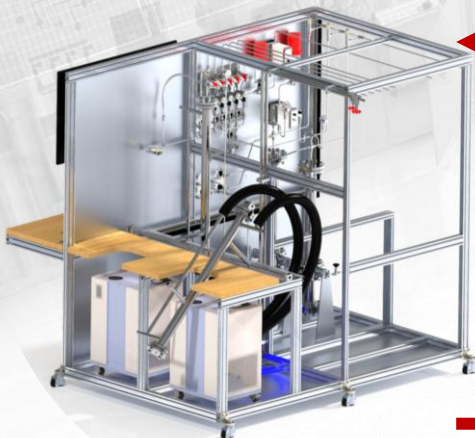


### 2D-Reaktormodell

gekoppeltes partielles DGL-System  
basierend auf den Wärme- und  
Stoffbilanzen im differentiellen  
Reaktorsegment



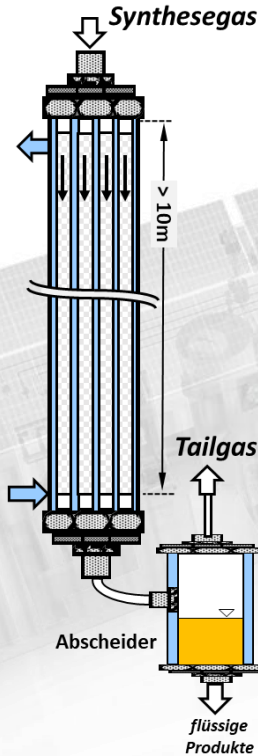
### Validierung





# Konzept der FTS im Projekt

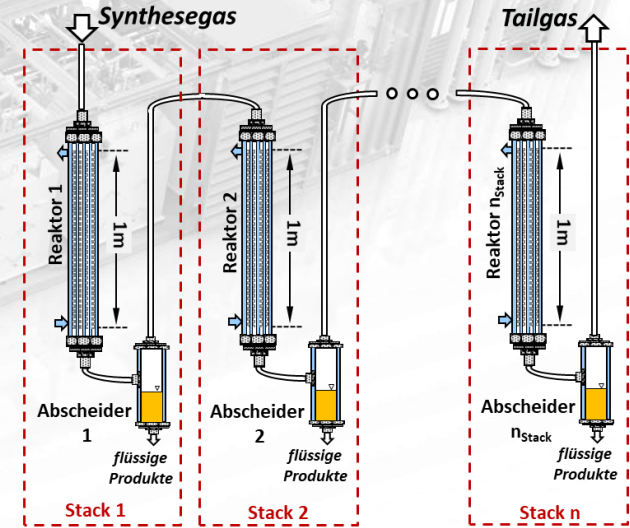
WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



## FTS-Stackverbund

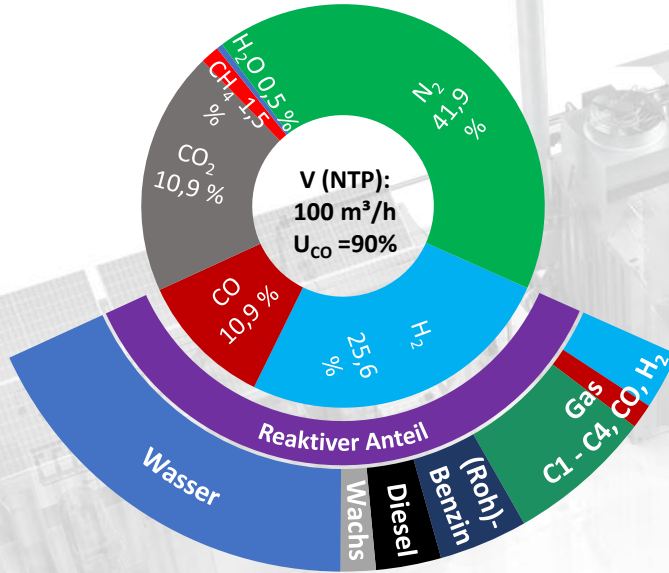
### (Erwartete) Vorteile:

- Kompakte Bauweise für dezentrale Anwendung (Container)
- Optimierte Temperaturführung für jeden Teilreaktor
- Keine Tailgas-Rückführung
- Vermeidung von Aktivitätsverlust durch Wasserabscheidung
- Optimierung der Rohrdurchmesser
- Ölkühlung statt Siedewasserkühlung

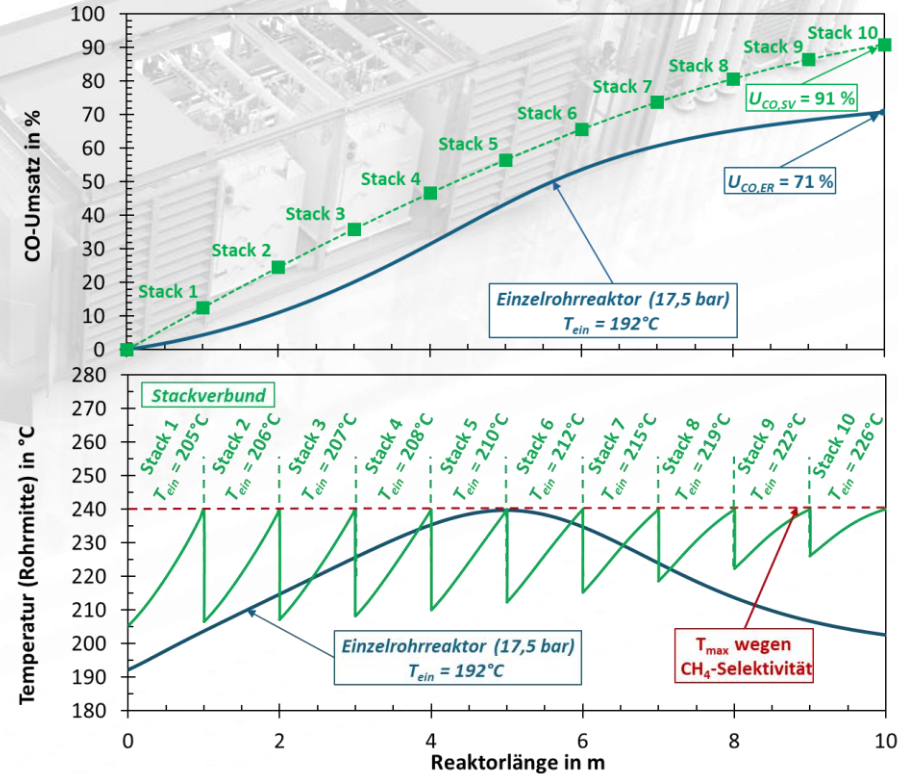


# Erste Simulationsergebnisse

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



8,21 l/h	Wasser
0,68 kg/h	Wachs
2,33 l/h	(Roh)-Benzin
1,62 l/h	Diesel (Kerosin)
73,57 m³/h	Tailgas (H <sub>i</sub> = 7 MJ/m³)



Weitere Simulationsparameter:

$$\bar{\epsilon}' = 20 \frac{\text{kg}_{\text{Kat}} \text{h}}{\text{m}_{\text{Gas}}^3}$$

$$d_{R,i} = 60 \text{ mm} \quad d_{R,o} = 66 \text{ mm}$$

$$u_{0l} = 0,1 \text{ m/s} \quad \text{Kühlmedium: Thermoöl}$$



# Kontakt Daten

WASTEWOOD  
— 2 FUEL —



**Dr.-Ing. Andy Gradel**

Geschäftsführer

BtX energy GmbH  
Esbachgraben 1  
95463 Bindlach

Tel.: +49 171/264-2839

Email: [andy.gradel@btx-energy.de](mailto:andy.gradel@btx-energy.de)

UNTERSTÜTZER

TEAM  
**ENERGIEWENDE**  
BAYERN

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

**Simon Kolb M.Eng**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik  
Universität Bayreuth  
Universitätsstraße 30  
95447 Bayreuth

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Tel.: +49 921 / 55-7456

Email: [simon.kolb@uni-bayreuth.de](mailto:simon.kolb@uni-bayreuth.de)