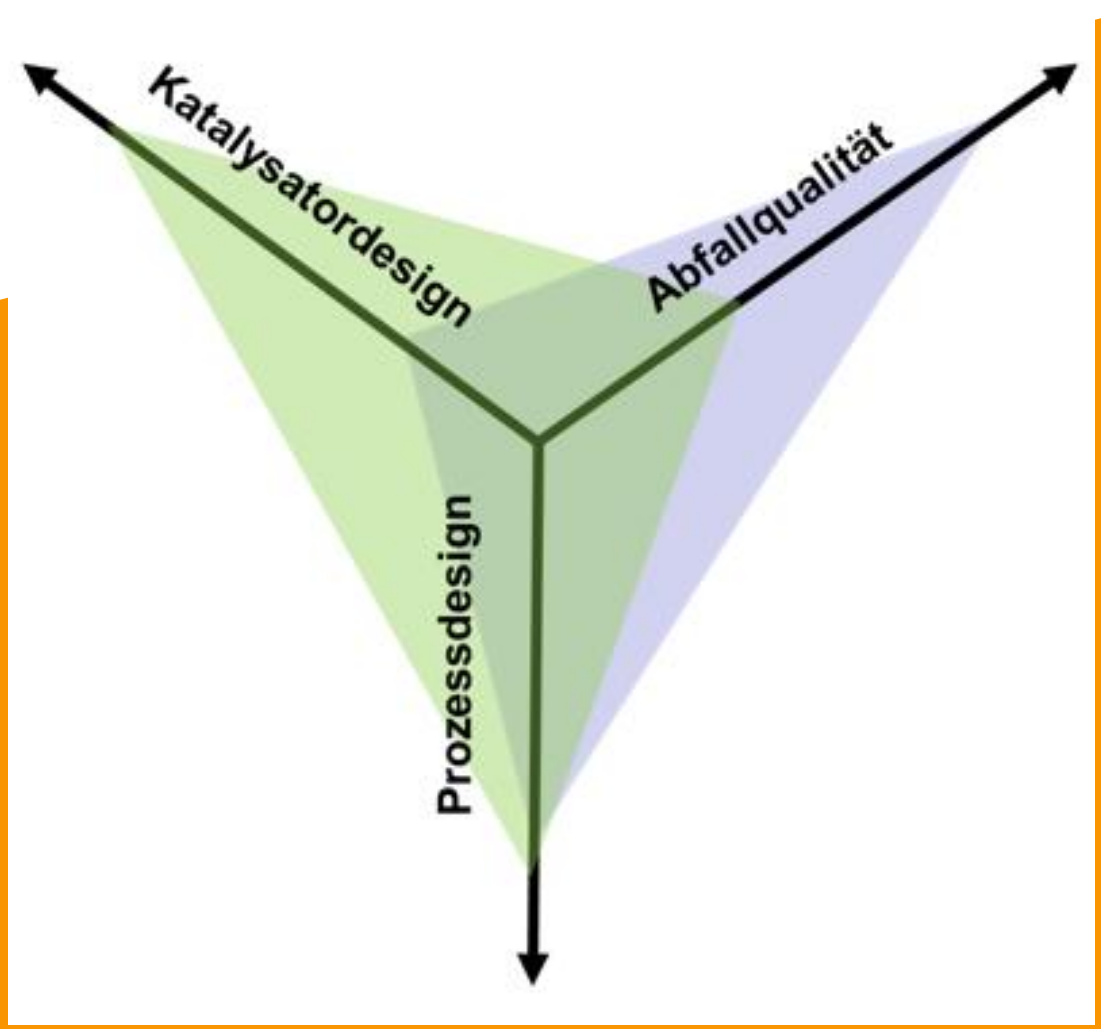
pool-in-loop: Entwicklung eines energieeffizienten Depolymerisations-verfahrens für polyolefinhaltige Kunststoffabfälle

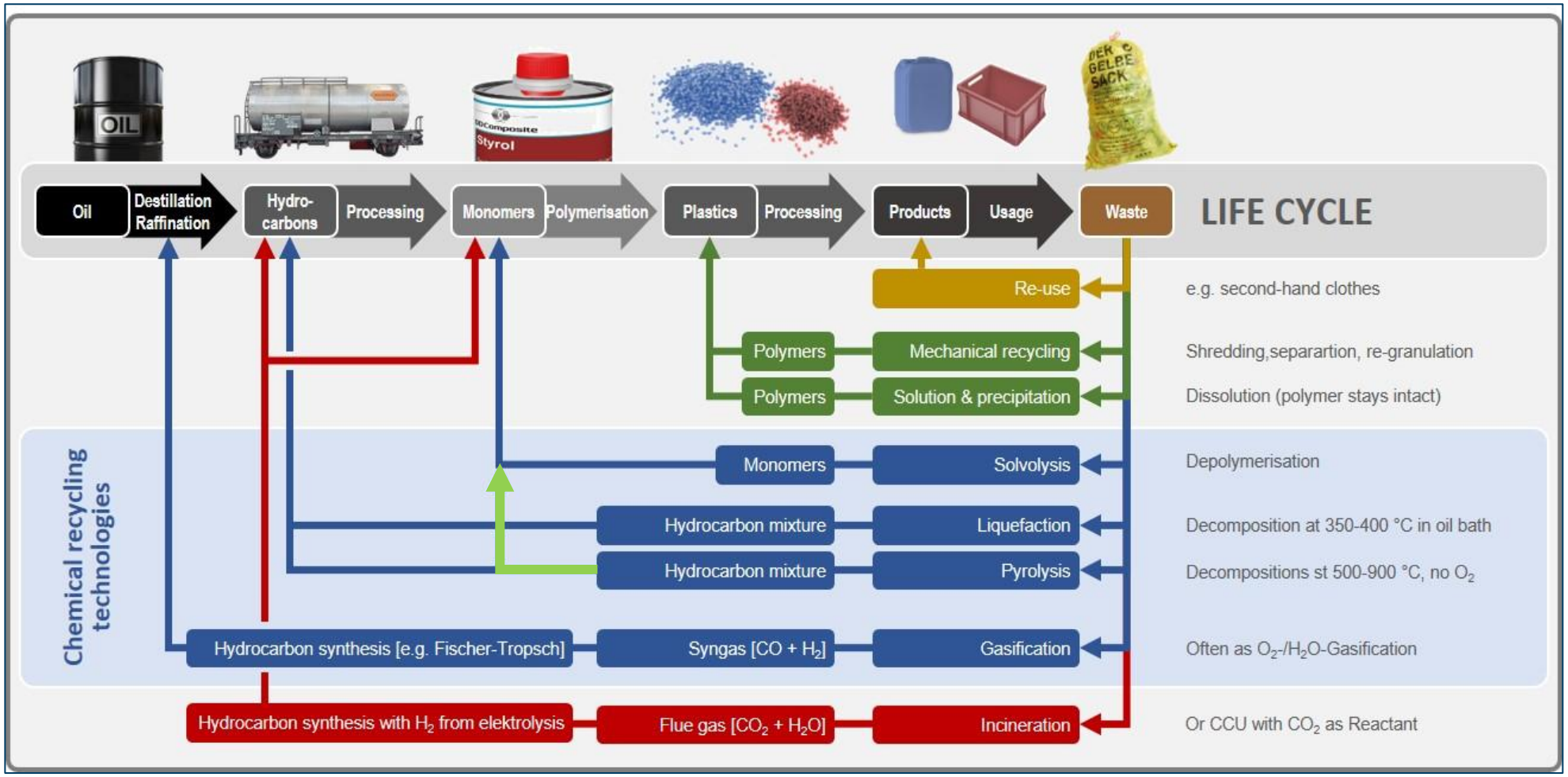
mit Hilfe von Katalysatoren zur direkten Herstellung von Polymeren für Kunststoffneuware

Mathias Seitz, Hochschule Merseburg
pool-in-loop
01.10.2026 I KuRT Transferkonferenz

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
FONA Forschung für Nachhaltigkeit
KuRT Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien



Chemisches Recycling

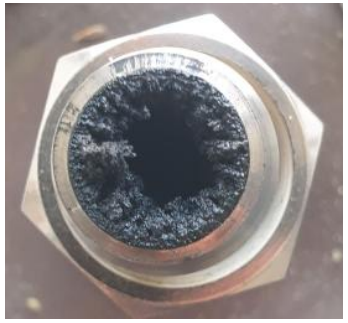


Quicker, P., Seitz, M., Vogel, J.: Chemical recycling: A critical assessment of potential process approaches. Waste management & research; 2022, https://doi.org/10.1177/0734242X221084044

Chemisches Recycling - Herausforderungen

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

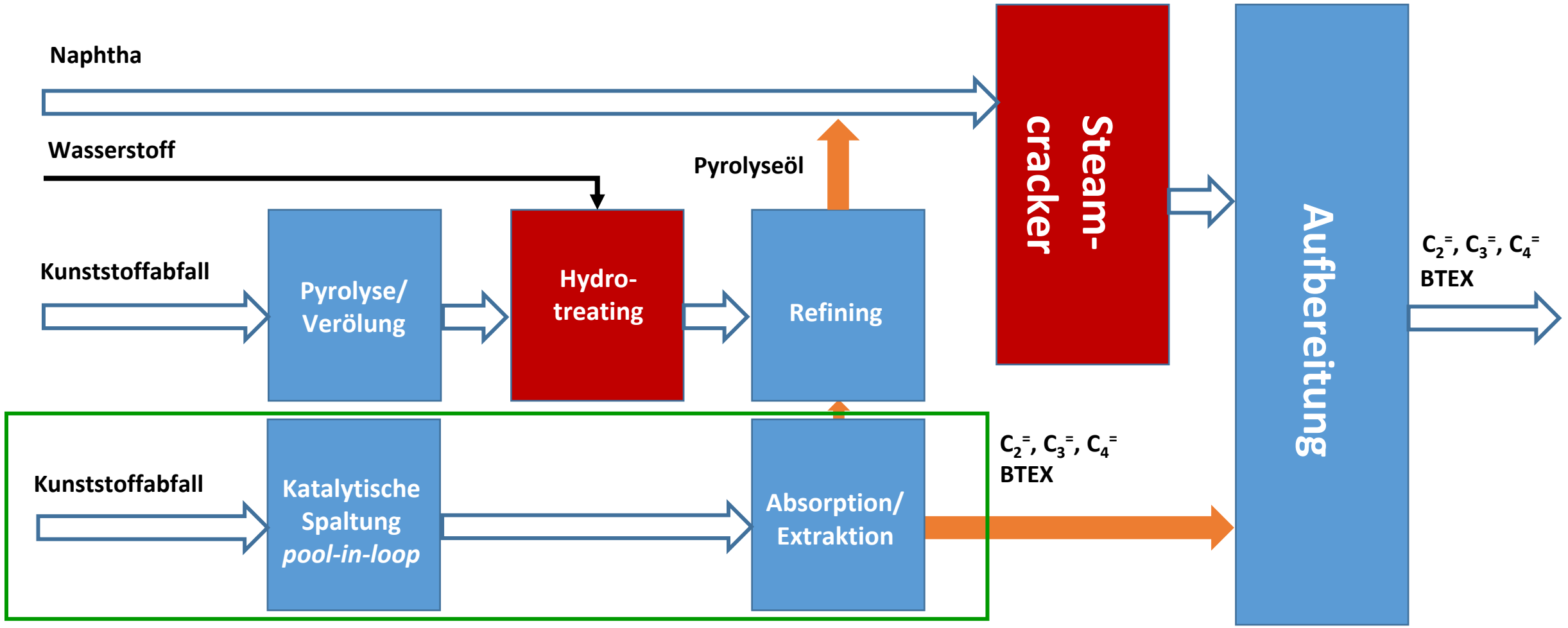
- **Qualität der Abfallströme**
  - Polyolefinanteil
  - Störstoffe
  - Sortierung notwendig
  - Partikelgröße



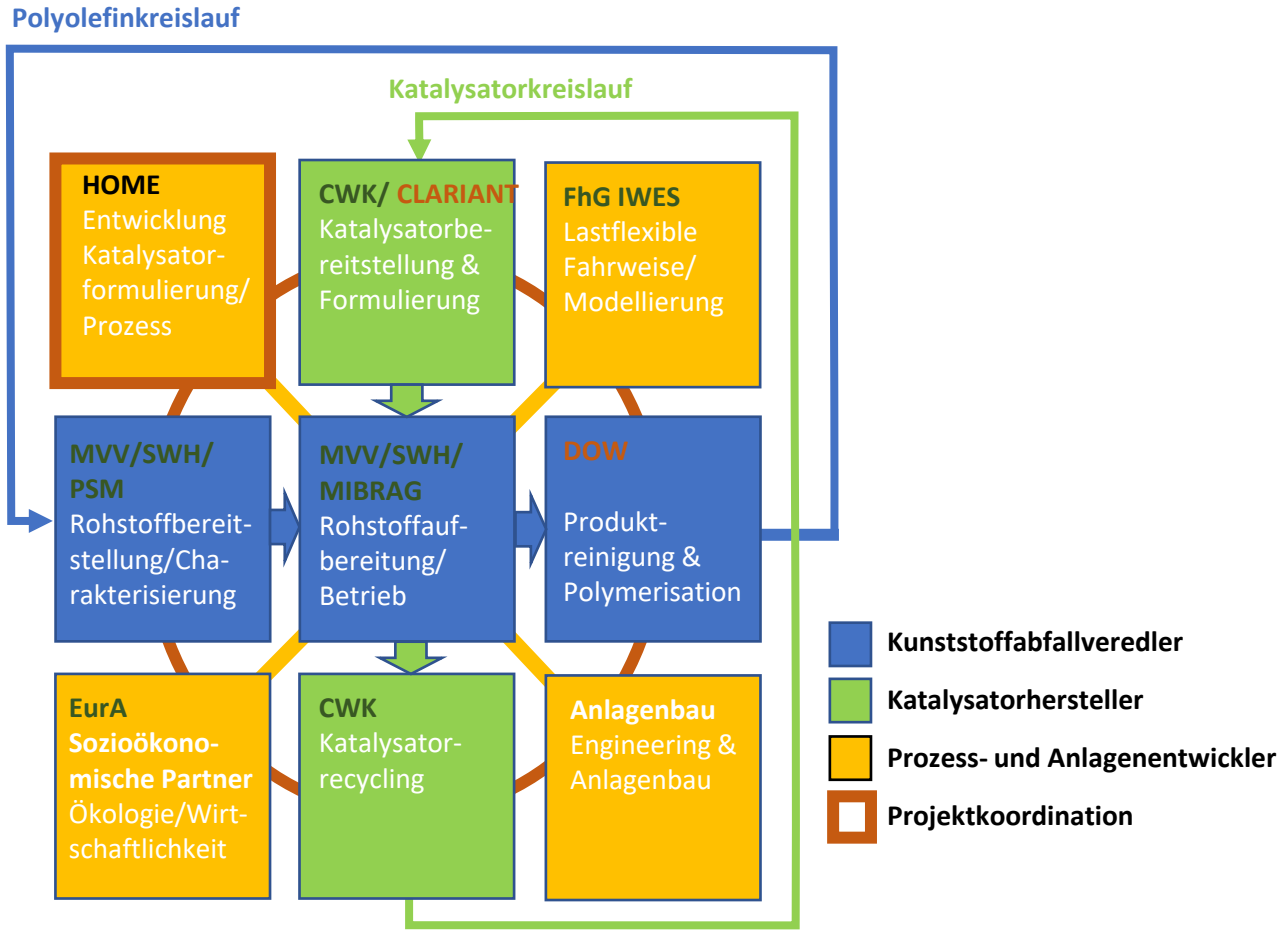
- **Prozess**
  - Wärmeübertragung
  - Verkokung (Leitungen, Apparate, …)
  - Ausbeute, Energiebedarf, …
  - Aufreinigung der Produkte
  - Rückstände

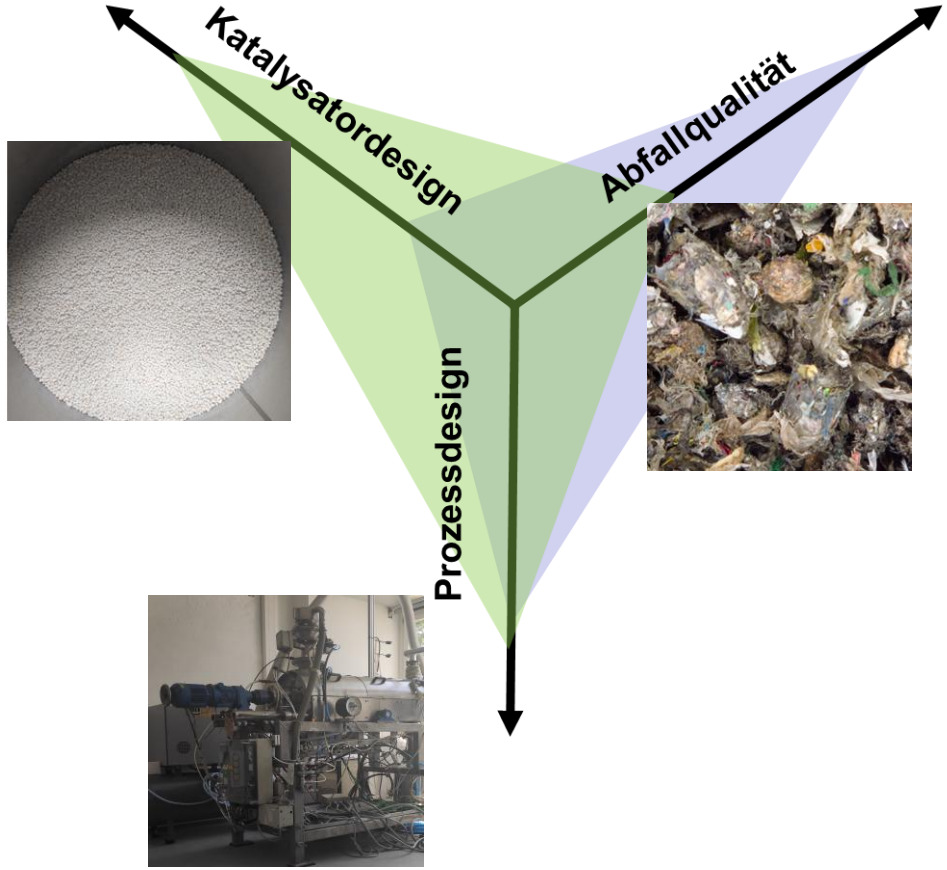
Gehalt [ppm]	Abfall MPO	Pyrolyseöl MPO	Naphtha-spezifization
N	1.700/**7.000**	1.144 / **2.429**	< 5
O	3.100/**126.000**	1.250 / -	<25
Cl	3.600/**11.000**	474 / **57**	<3
Metall	2.954/**18.452**	562,9 / -	<1

Der Prozess – pool-in-loop

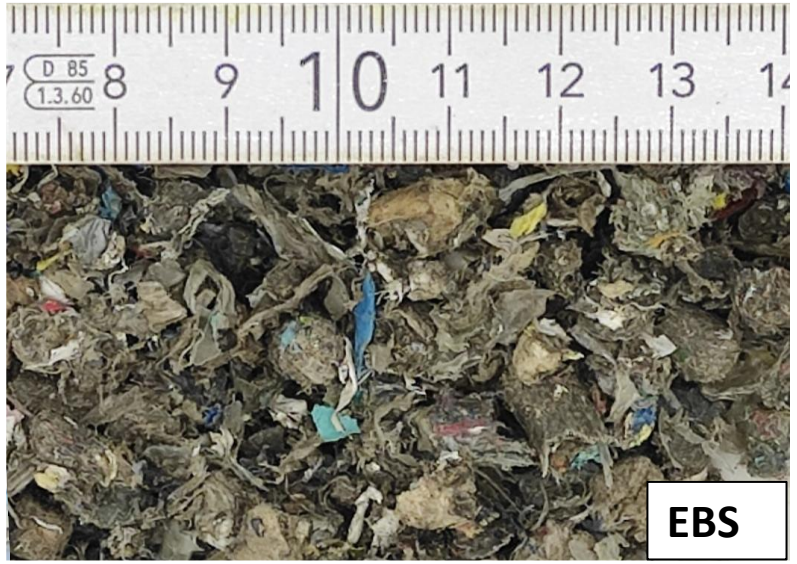


Der Prozess


Polyolefinkreislauf
Katalysatorkreislauf
HOME
Entwicklung Katalysator-formulierung/ Prozess
CWK/ CLARIANT
Katalysatorbe-reitstellung & Formulierung
FhG IWES
Lastflexible Fahrweise/ Modellierung
MVV/SWH/ PSM
Rohstoffbereit-stellung/Cha-rakterisierung
MVV/SWH/ MIBRAG
Rohstoffauf-bereitung/ Betrieb
DOW
Produkt-reinigung & Polymerisation
EurA
Sozioökono-mische Partner
Ökologie/Wirt-schaftlichkeit
CWK
Katalysator-recycling
Anlagenbau
Engineering & Anlagenbau
Kunststoffabfallveredler
Katalysatorhersteller
Prozess- und Anlagenentwickler
Projektkoordination


Katalysatordesign
Abfallqualität
Prozessdesign

Einsatzstoffe



C [wf.%]	64,9 (2,4% des C biogen)	61,9 (22,8% des C biogen)
H [wf.%]	12,8	9,25
N [wf.%]	0,23	0,7
Cl [wf.%]	0,05	1,1
Asche [wf.%]	1,49	10,2
Hu [kJ/kg]	42.273	26.975

Katalysatorformulierung

- Katalysatorformulierung mit Trägern, aktiven Komponenten, Bindern, Additiven im Labor
- Katalysator-Screening im Batch-Maßstab unter Standardbedingungen (430°C, PE-HD)
- Übertragung in den Pilotmaßstab > 100 kg
- Katalysatortests in kontinuierlicher Laboranlage

➔ Industrielle Umsetzung der Katalysatorherstellung nachgewiesen

➔ Regenerierbarkeit des Katalysators prinzipiell möglich
(Lebensdauer in kont. Containeranlage)

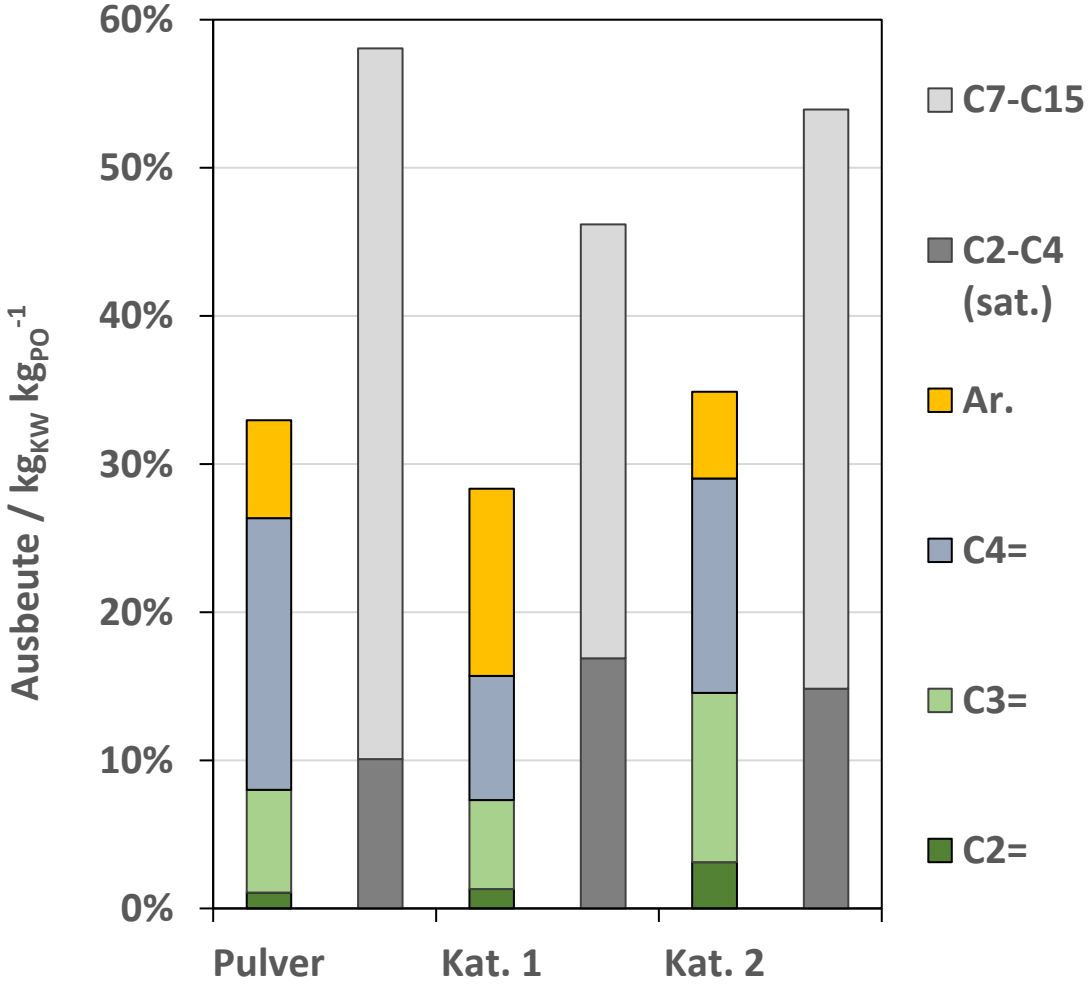
Kontinuierliche Laboranlage

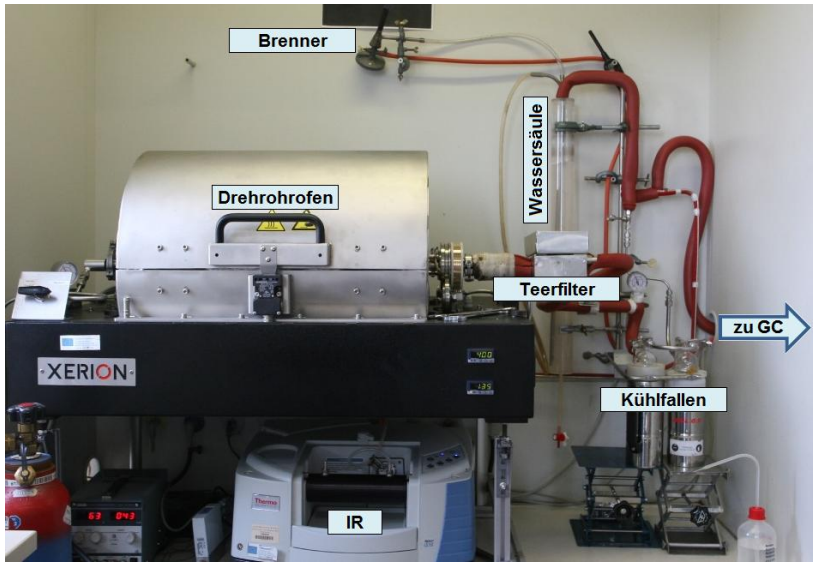
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Feed: 0,3 – 1,2 kg/h
T: 430 and 600 °C

Katalysatormenge: 1:5 to 1:40
Feststoffverweilzeit: 15 - 30 min

Ergebnisse Katalysatorentwicklung

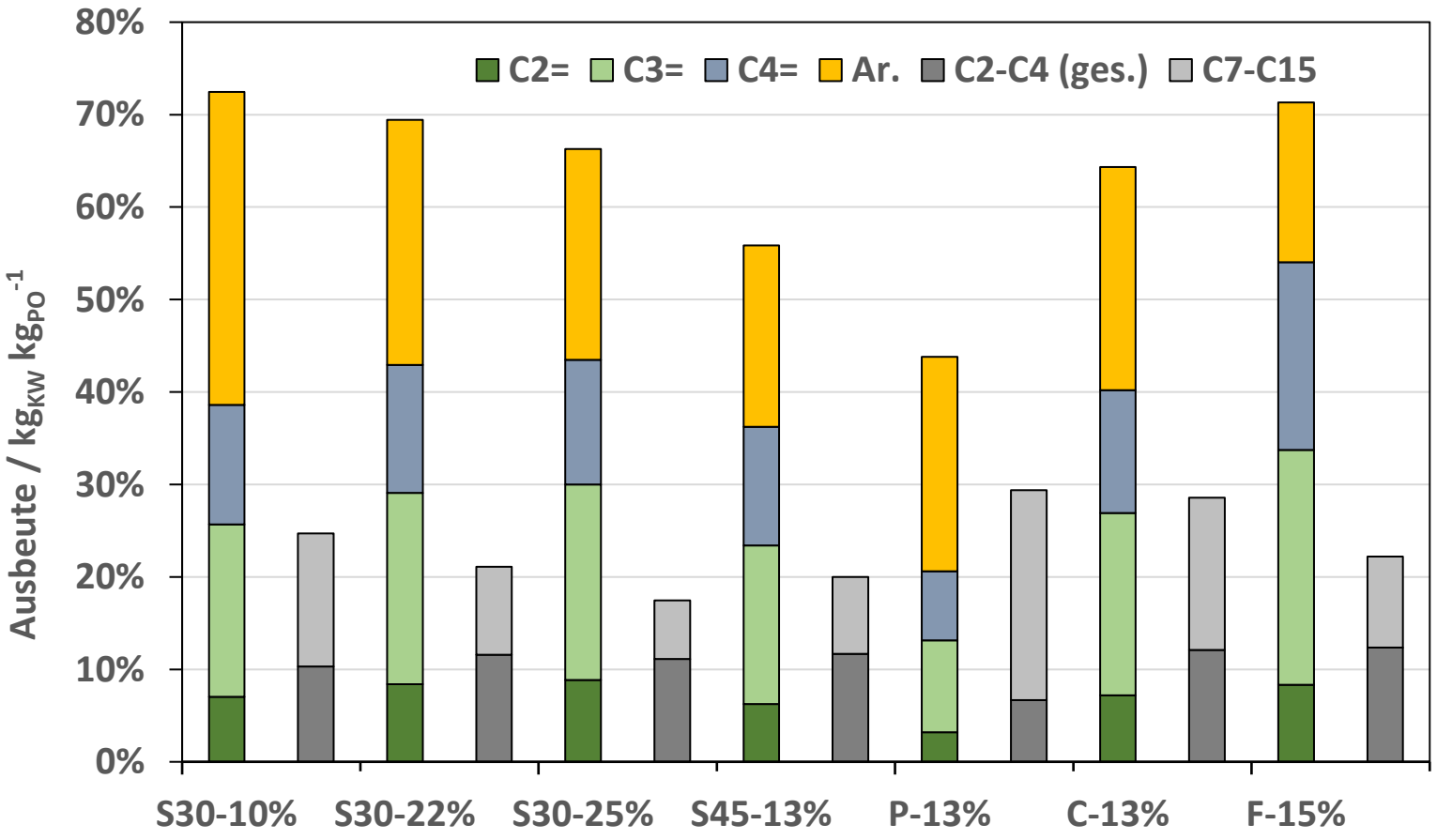




Katalysator-Screening im Batch-Maßstab unter Standardbedingungen (430 °C, PE-HD)

Trägerkatalysatoren (Kat. 2) können ein ähnliches Verhalten wie Pulverkatalysatoren aufweisen.

Ergebnisse Katalysatorentwicklung

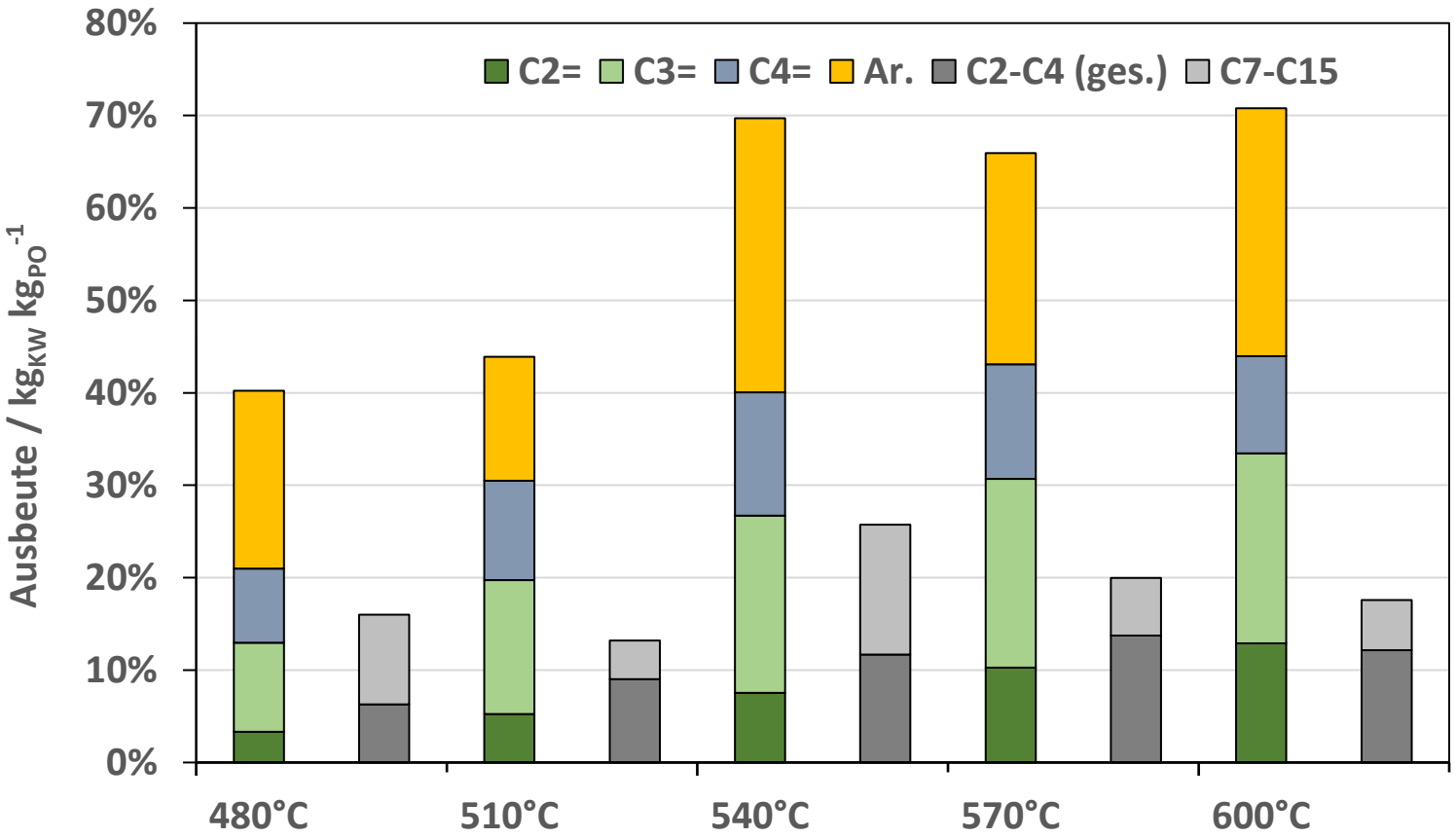


@ Standard Bedingungen

- RDF/540°C/15 min

HVC Ausbeute hängt von Katalysatoradditiven ab.

Ergebnisse Prozessoptimierung

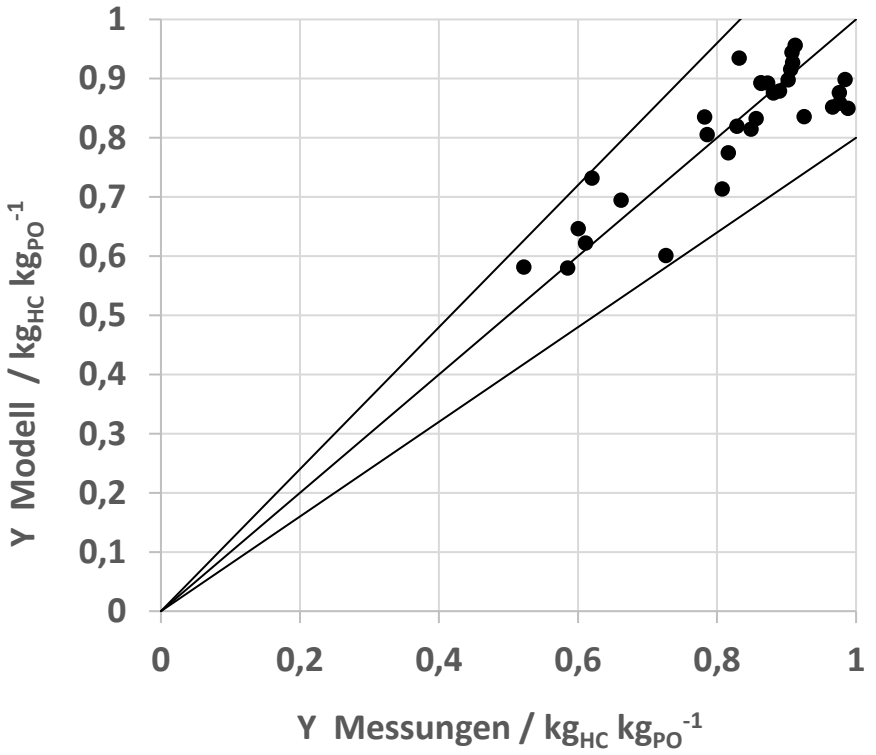


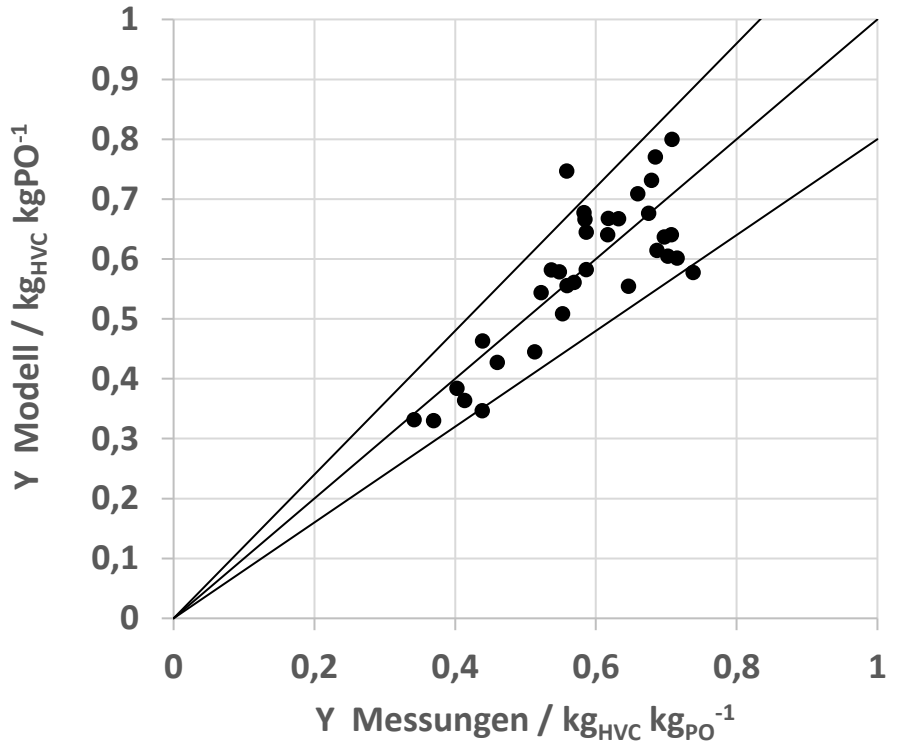
@ Standard Bedingungen
EBS/15 min/Standard Katalysator

> 540 °C: Ausbeute ca. 70%

Das Prozessfenster war insbesondere bei MPO begrenzt.
➔ Containeranlage

Ergebnisse Modellierung





VWZ Gas mit 5 Zellen und Reaktionsordnung 1 zeigt gute Ergebnisse

Aber:
- Abhängigkeit vom Abfall
- Produktverteilung

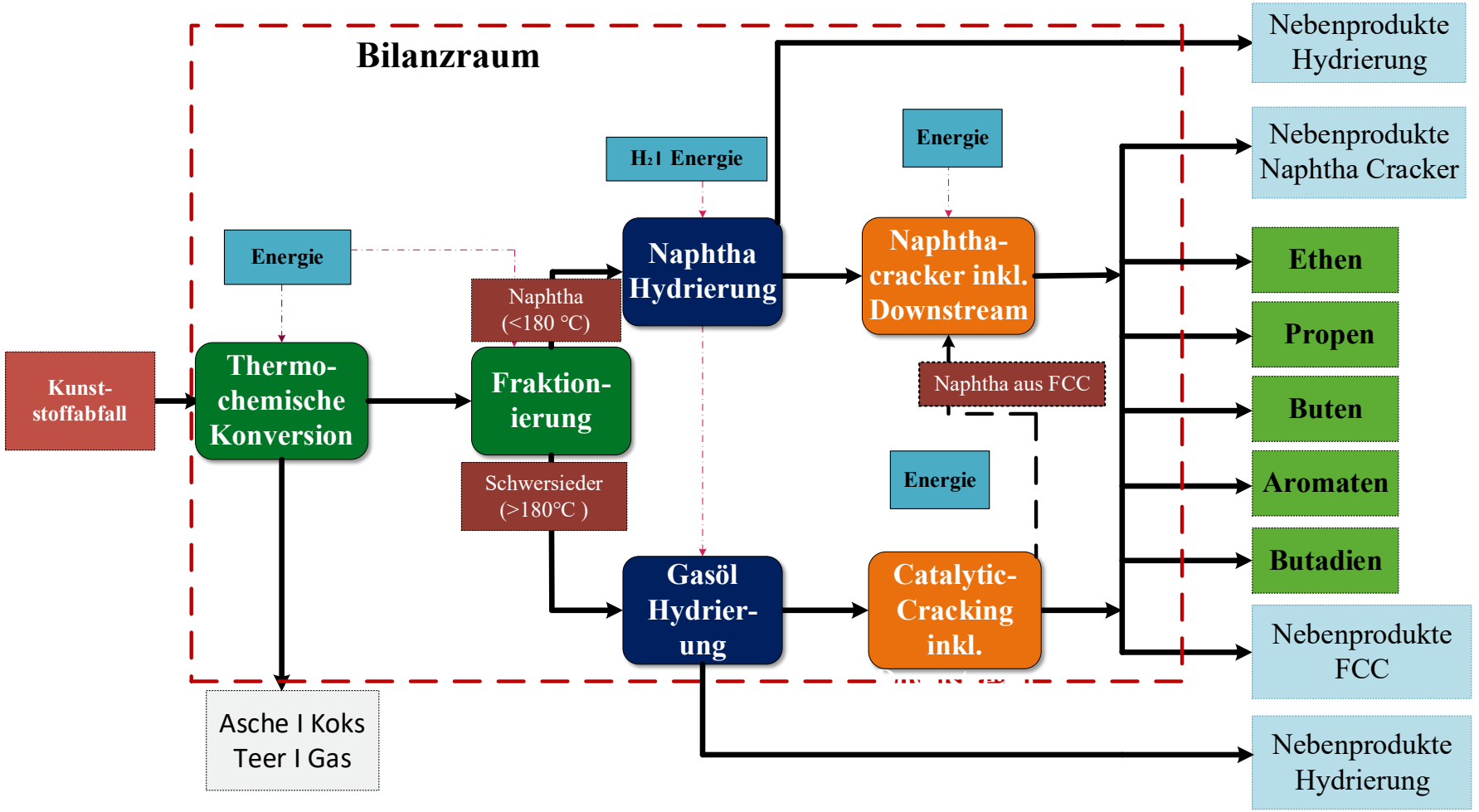
muss noch berücksichtigt werden.

Das Prozessfenster war limitiert.

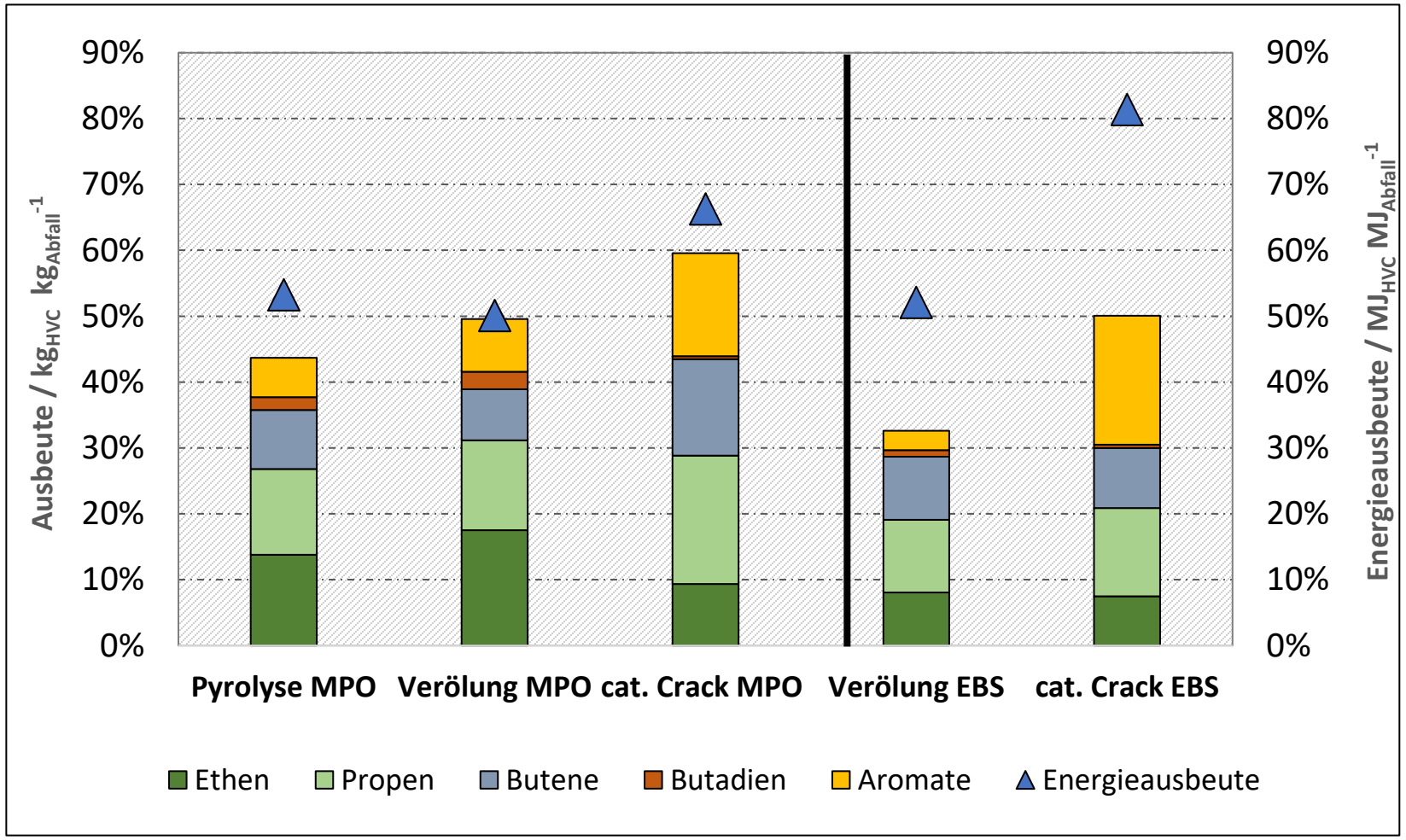
➔ Containeranlage

$$Y_{HC} = 1 - \frac{1}{\left(1+\frac{k_1\tau}{N}\right)^N} \qquad Y_{HVC} = 1 - \frac{1}{\left(1+\frac{k_2\tau}{N}\right)^N} \qquad k_j\tau = k_{j;0}e^{-\frac{E_A}{RT}} * \frac{m_{cat}}{\dot{V}(T)}$$

Ergebnisse - Modellierung



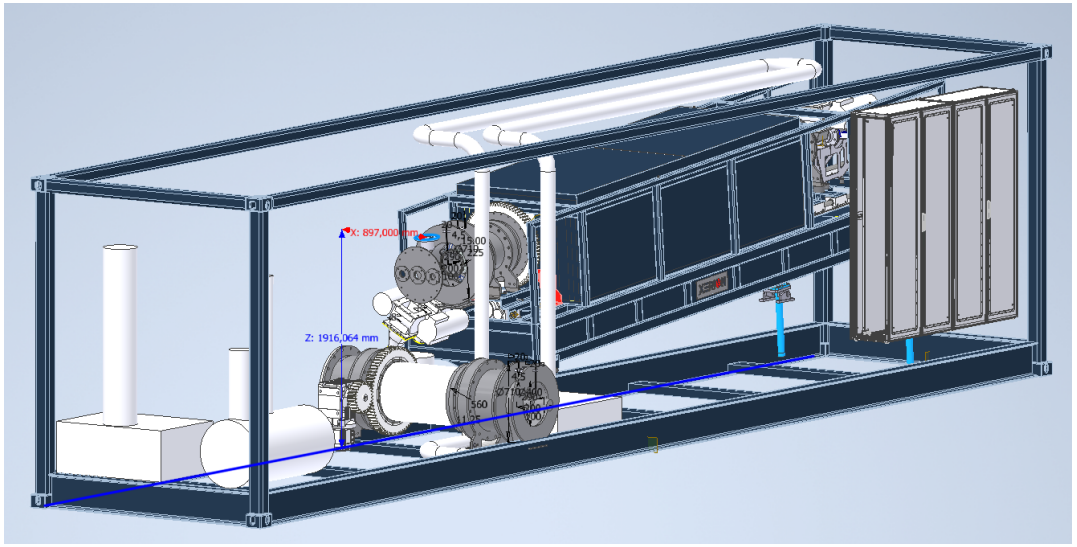
Ergebnisse - Modellierung

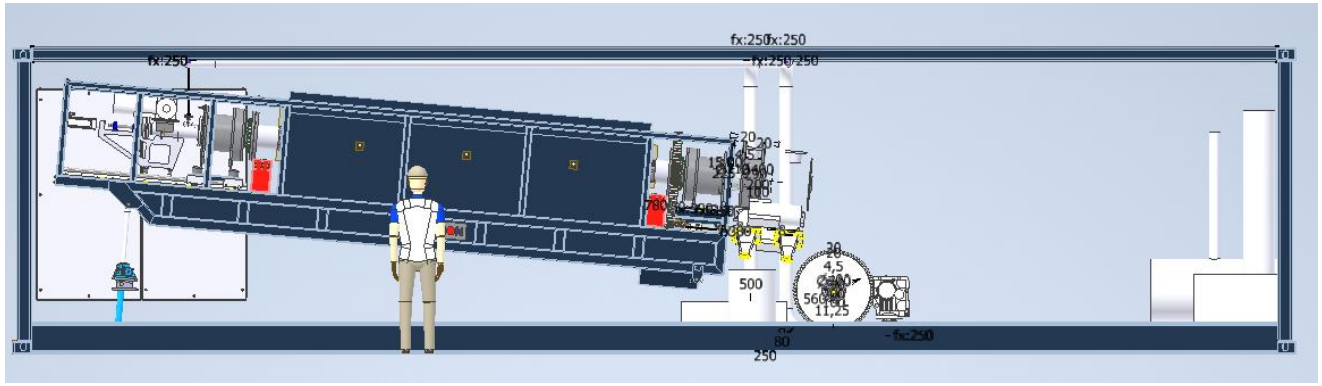


- Die Ausbeute ist abhängig vom Abfall.
- Energieausbeute oder PO-Ausbeute sinnvoll.
- Mit Nutzung der Öle sind Energieausbeuten von über 80% möglich.
  ➔ erhebliche Minderung des Energiebedarfs und der THG-Emissionen
- Bei MPO konnten noch keine optimierten Bedingungen gefahren werden.

➔ Containeranlage

Nächste Schritte





40 ft Container
Länge ca. 12m lang,
Breite ca. 2,5m
Höhe ca. 2,90m

Einbauten:

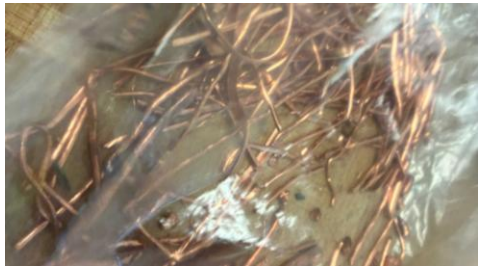
- Vorlagebehälter Abfall
- Reaktor
- Regeneration
- Produktbehälter
- Produktreinigung
- Thermische Entsorgung

Liefertermin: März 2027
Inbetriebnahme und technischer Nachweis

Nächste Schritte

Agglomeriertes Material

Störstoffe



- ✓ Alle Einsatzstoffe konnten agglomeriert werden
- • EBS nur ca. 600 kg aufgrund zu hoher Metallanteile
- • Kabelmahlgut mit erhöhtem Cu-Anteil (siehe Bild)
- ➢ Insgesamt ca. 6,5 t Material für Versuche

- ➢ Katalysator/Träger vorhanden
- ➢ Containeranlage in Fertigung

Zusammenfassung

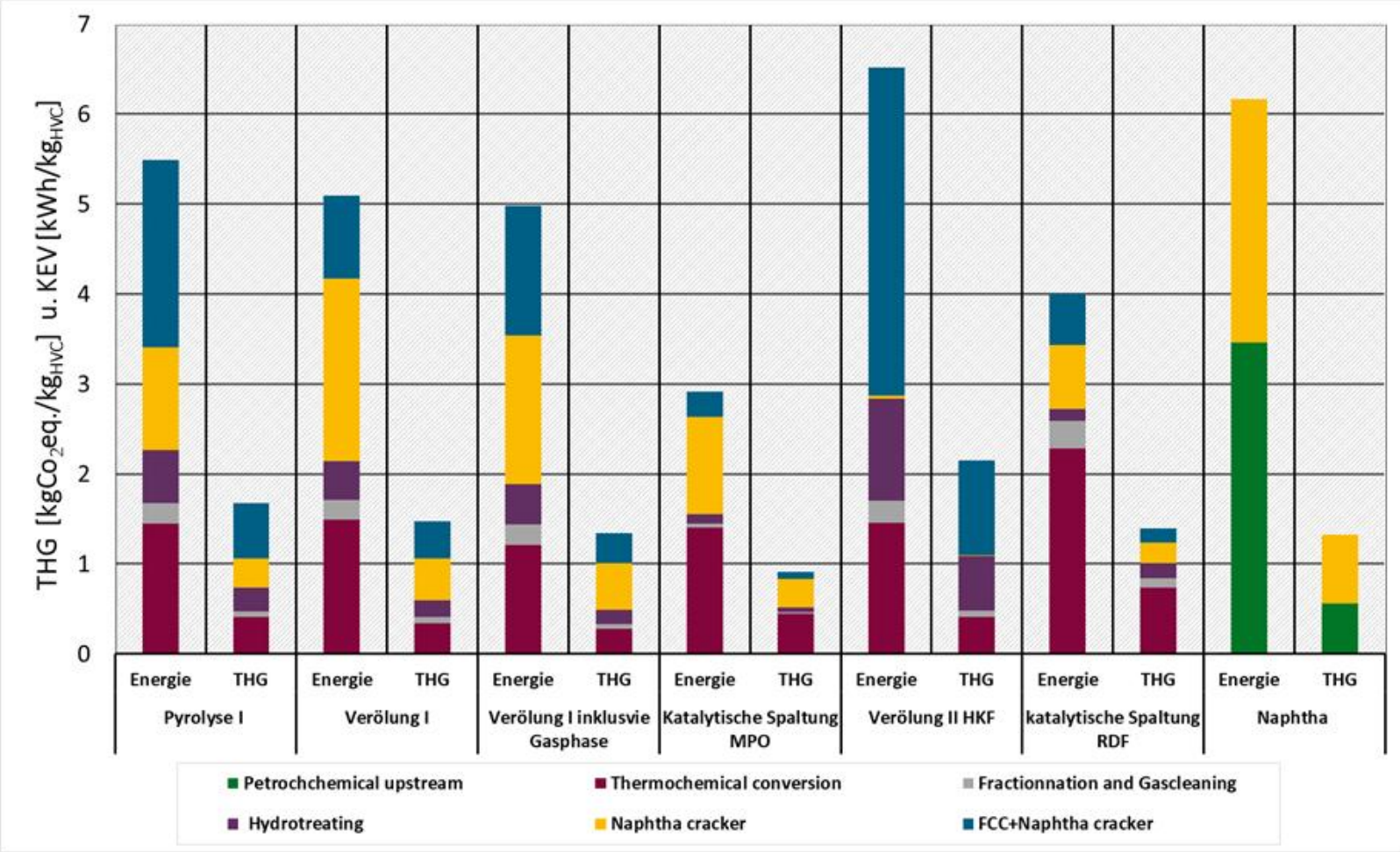
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

- Beim katalytischen Cracken werden im Vergleich zu Pyrolyse und Steamcracking höhere Ausbeuten bei der direkten Bildung von Olefinen und Monoaromaten erzielt.
- Die Formulierung des Katalysators ist entscheidend.
- Es lassen sich direkt Ausbeuten von etwa 70 % HVC erzielen.
- Der BTEX-Anteil in der Ölphase liegt zwischen 50 und 75 %.
- Gesamtausbeuten über 80% sind möglich.
- Ökologischer Mehrwert kann nachgewiesen werden.
- Eine Modellierung scheint möglich zu sein, allerdings muss die Qualität des Abfallstroms berücksichtigt werden (z. B. Gifte).
- Es sind weitere Arbeiten erforderlich, um höhere Ausbeuten an kurzkettigen Olefinen zu erzielen.
- Mit einer Containeranlage werden statt Aromaten höhe Olefinanteile erwartet.

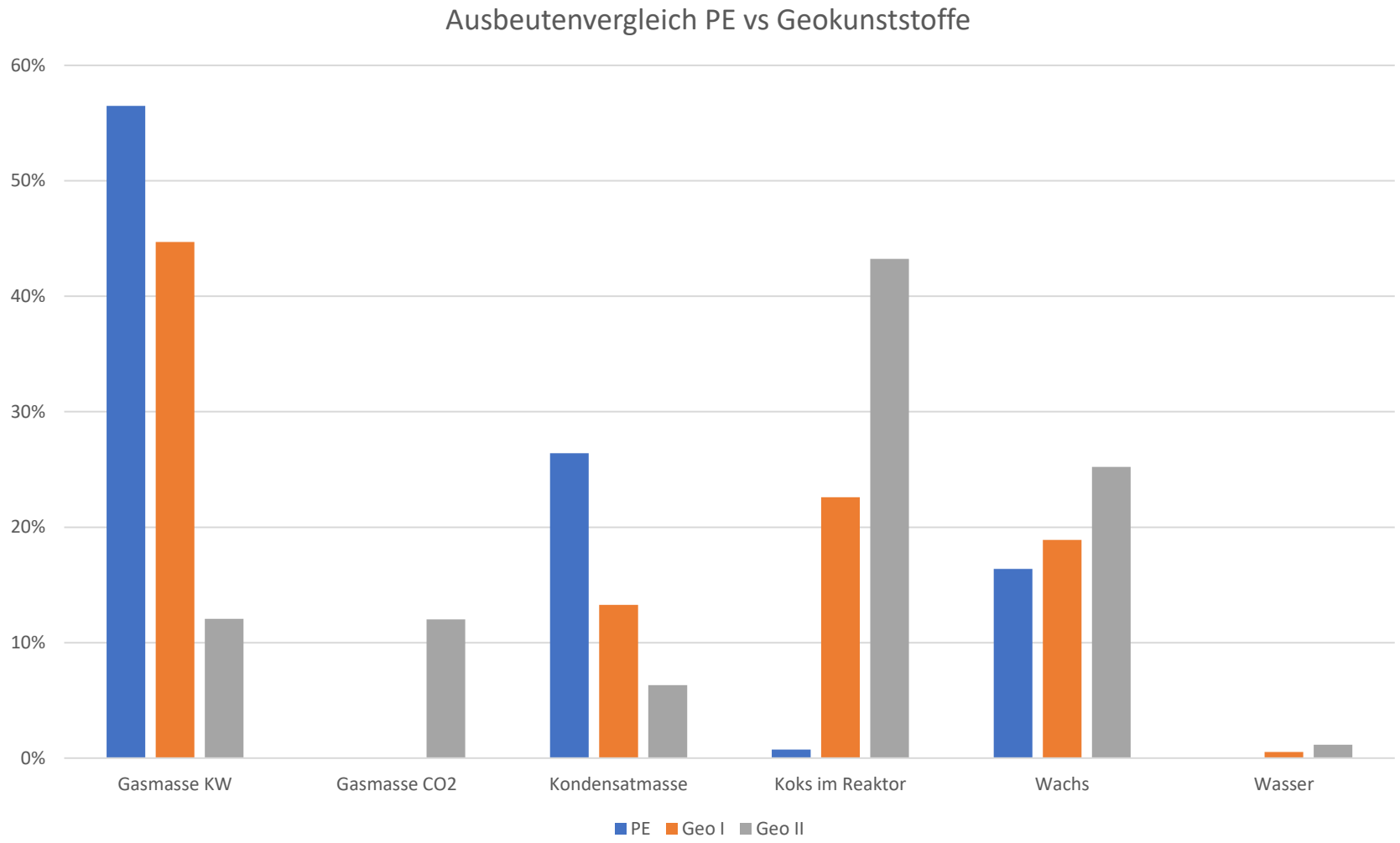
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mathias Seitz, Hochschule Merseburg
Tel.: +49 3461 46-2104
E-Mail: mathias.seitz@hs-merseburg.de
https://bmftr-kurt.de/Projekte/pool_in_loop.html

Ergebnisse - Modellierung



Vergleich – PE vs. ProGeoUp



- Ergebnisse bei Standard-Tests im Batch-Versuch
- Ermittlung der Katalysatoraktivität
- 430°C