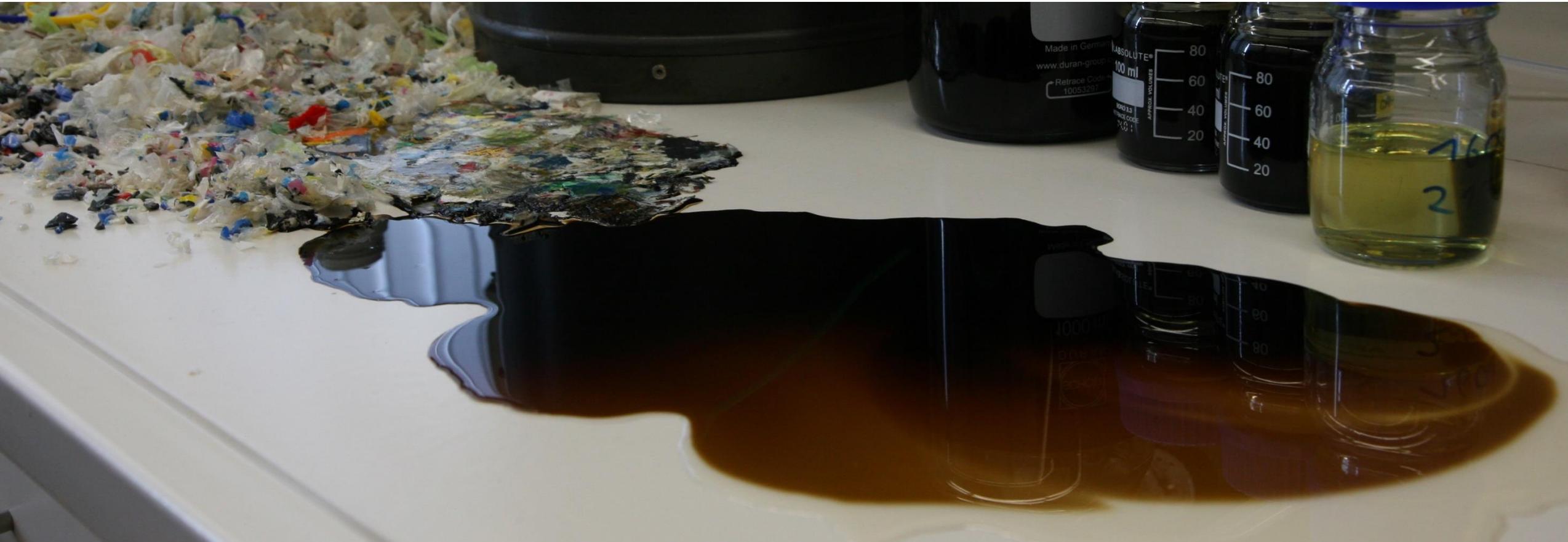
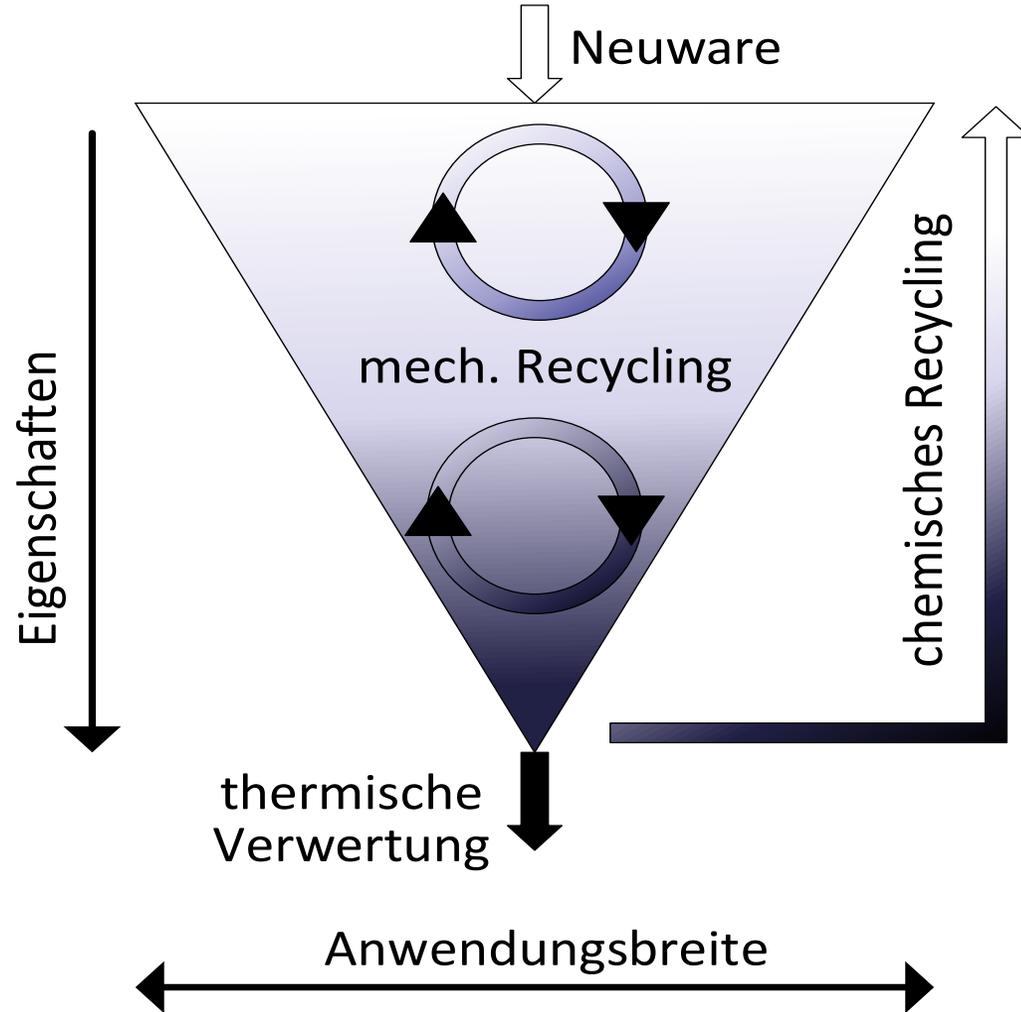


“Pool-In-Loop”

Katalytische Depolymerisation von polyolefinhaltigen Kunststoffabfällen



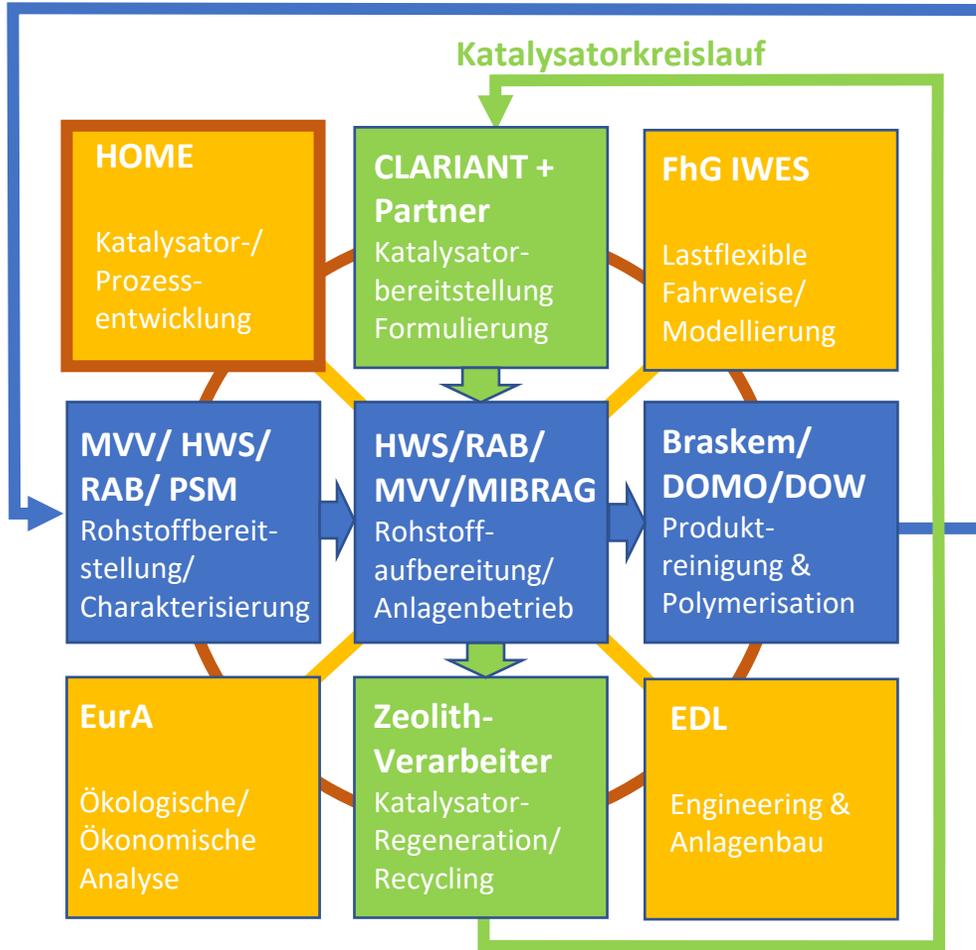
Problemstellung mech. Recycling



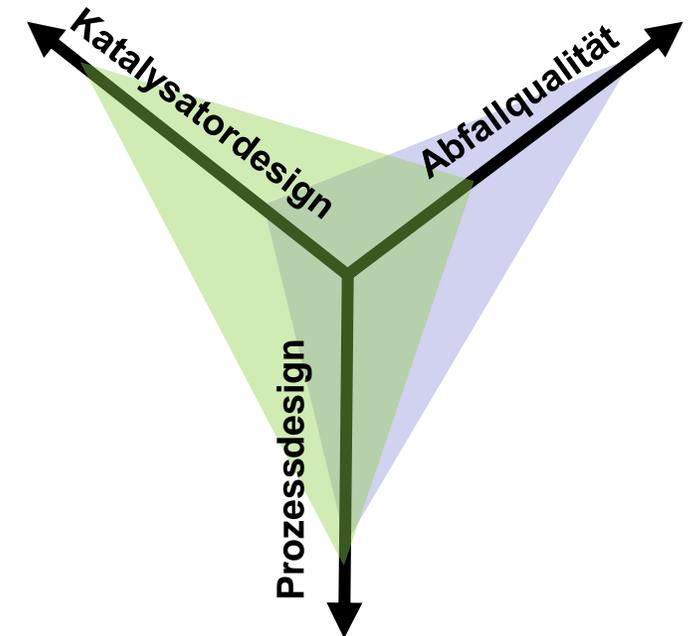
➔ Irgendwann muss chemisch recycelt werden um hohe Neuwarenqualität zu erreichen

Forschungsvorhaben – pool-in-loop

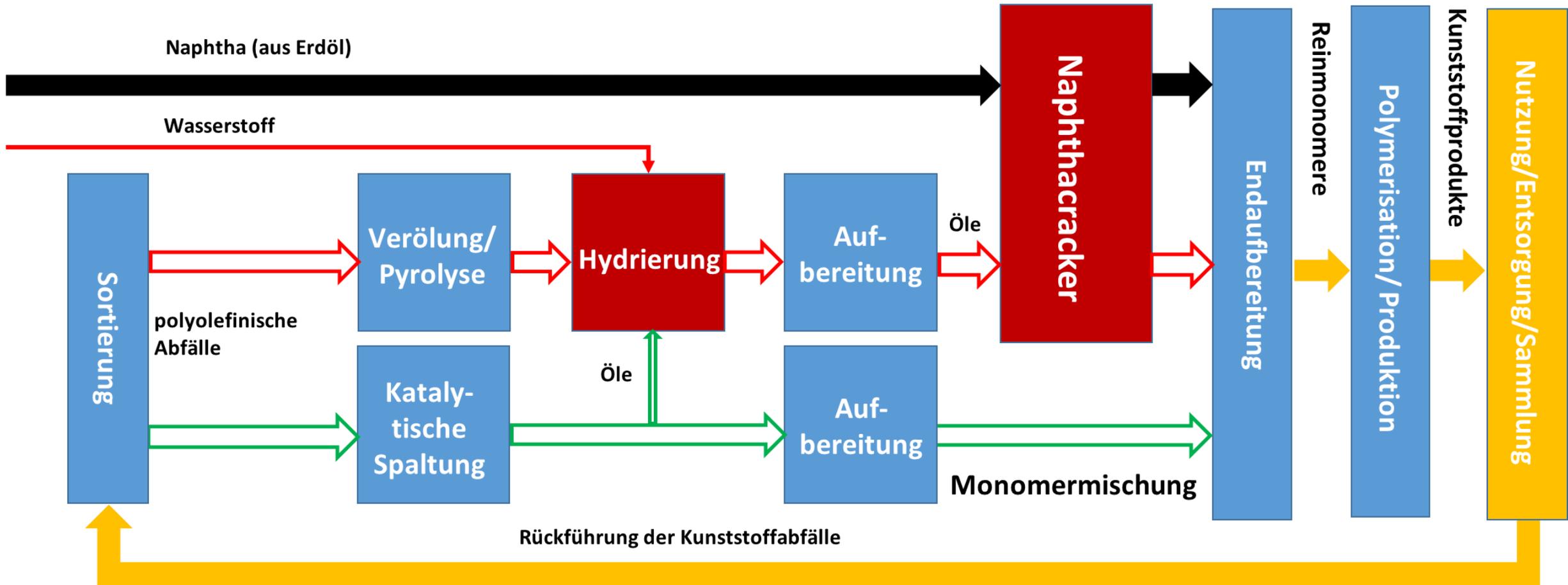
Polyolefinkreislauf



- Verbundvorhaben mit zweistufiger Förderung
- Gefördert durch im BMBF Programm FONA3, Themenbereich KuRT
- Konzeptphase: 01.09.2021 – 01.06.2022
- Umsetzungsphase: Start 1. Q 2023 | 5 Jahre Laufzeit
- Technologie-Scale-Up
- Aufgabenbereiche:

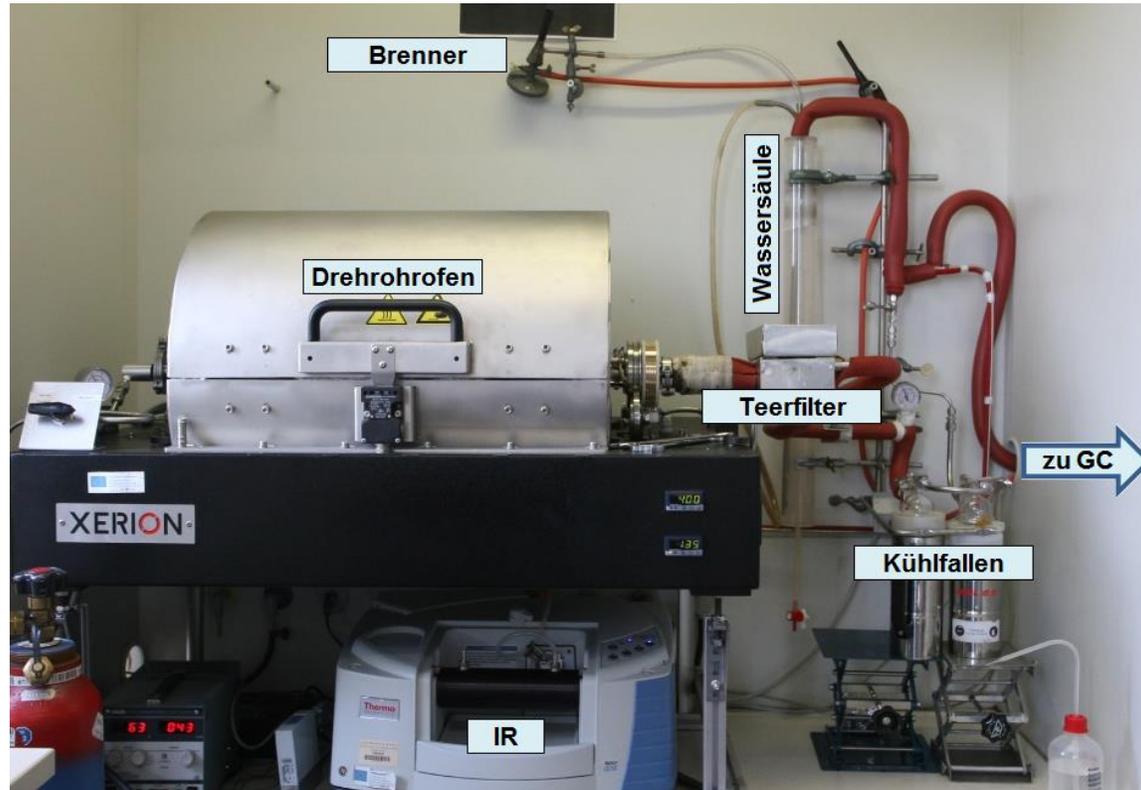


Lösungsansatz: Katalytische Depolymerisation

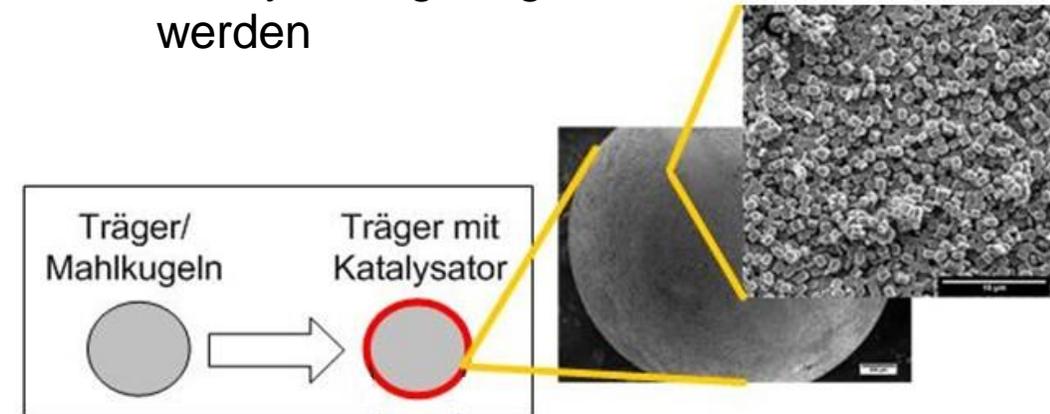


Erdölstammige Einsatzstoffe (➡), das chemische Recycling von Kunststoffen durch **Verölung/Pyrolyse** (➡) und die **katalytische Spaltung** (➡)

Untersuchungen: Versuchsaufbau – katalytische Depolymerisation im Labor



- Versuche mit Reinstoffen und Abfallfraktionen
- @ 500 + 400°C mit und ohne Katalysator und Beimischung von Störstoffen
- Zur Abtrennung/Regeneration kann der Katalysator geträgert werden



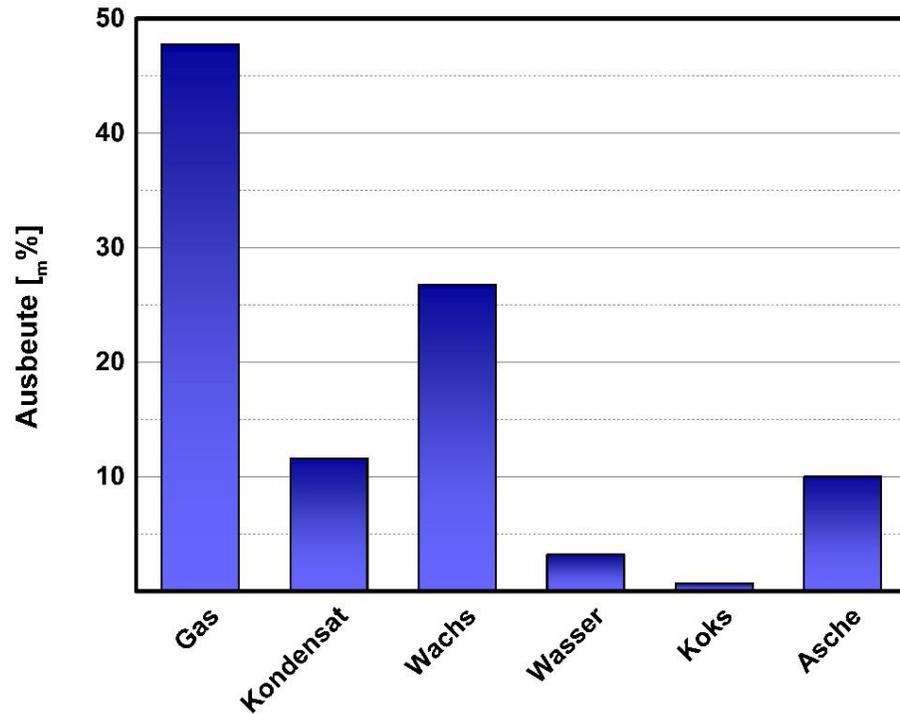
Untersuchungen: Verwendete Einsatzstoffe



Aschegehalt	m ⁰ /o _{OS}	10,10%
Analysenfeuchte	m ⁰ /o _{OS}	0,85%
Wassergehalt	m ⁰ /o _{OS}	1,29%
Biomasseanteil	m ⁰ /o _{TS}	22,8%
Kohlenstoffgehalt	m ⁰ /o _{TS}	61,90%
Wasserstoff_org.	m ⁰ /o _{TS}	9,25%
Stickstoff	m ⁰ /o _{TS}	0,70%
Chlor	m ⁰ /o _{TS}	1,10%
Schwefel	m ⁰ /o _{TS}	0,12%
Brennwert	kJ/kg_{TS}	29.196
Heizwert	kJ/kg_{TS}	27.153

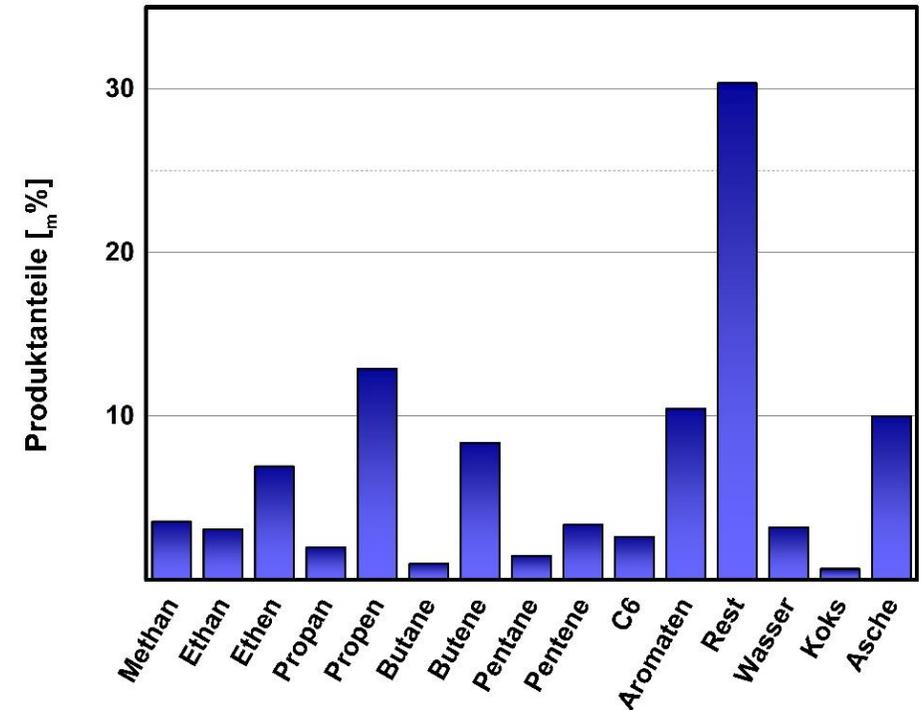


Untersuchungen: Laborergebnisse Foliensortierreste

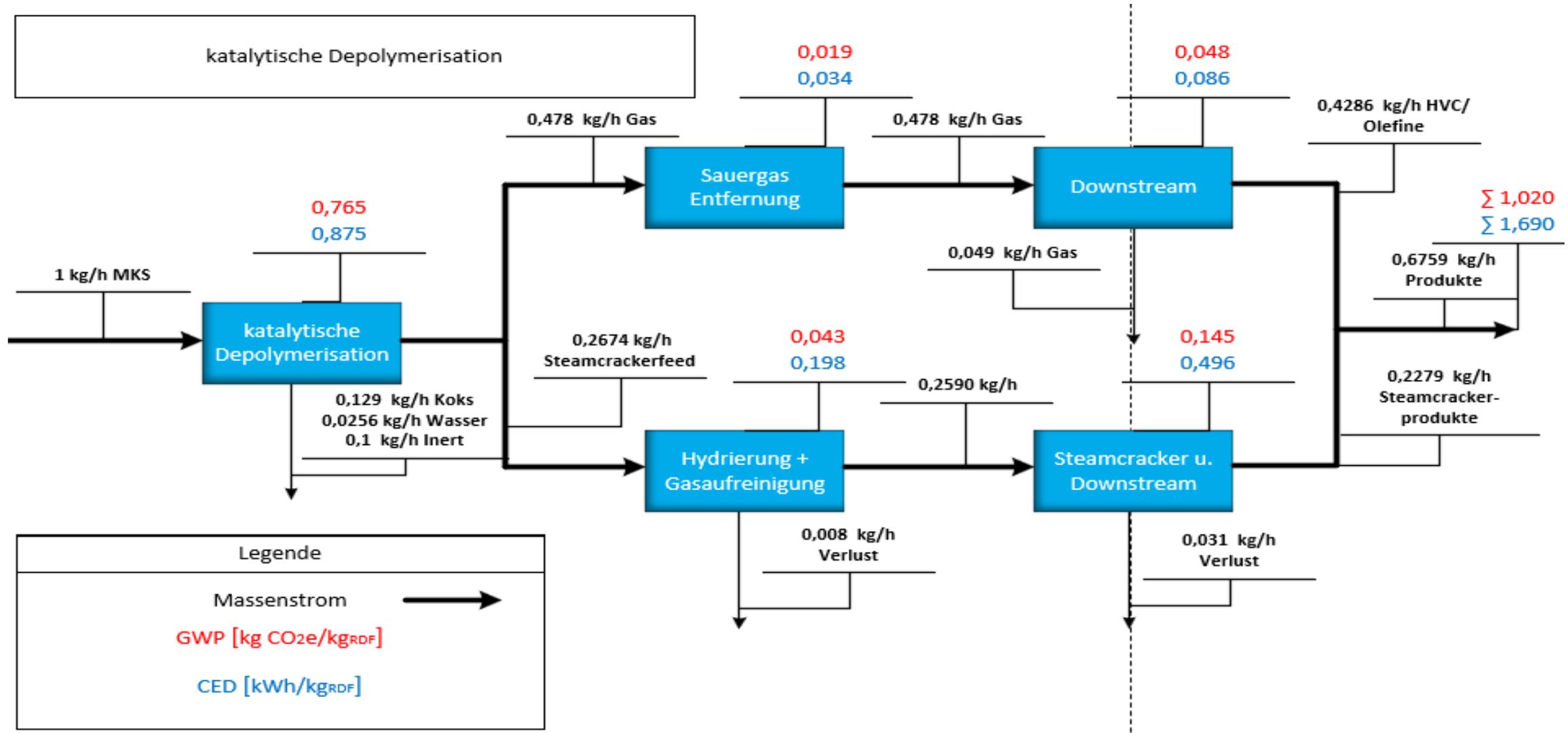


- Hoher Anteil an gasförmigen Produkten
- Wachse bieten Potential sind prozessbedingte vom Katalysator nicht umgesetzt
- Wachsanteil verringert sich im kontinuierlichen Prozess
- Verhältnis aus Gas und Kondensat sehr gut

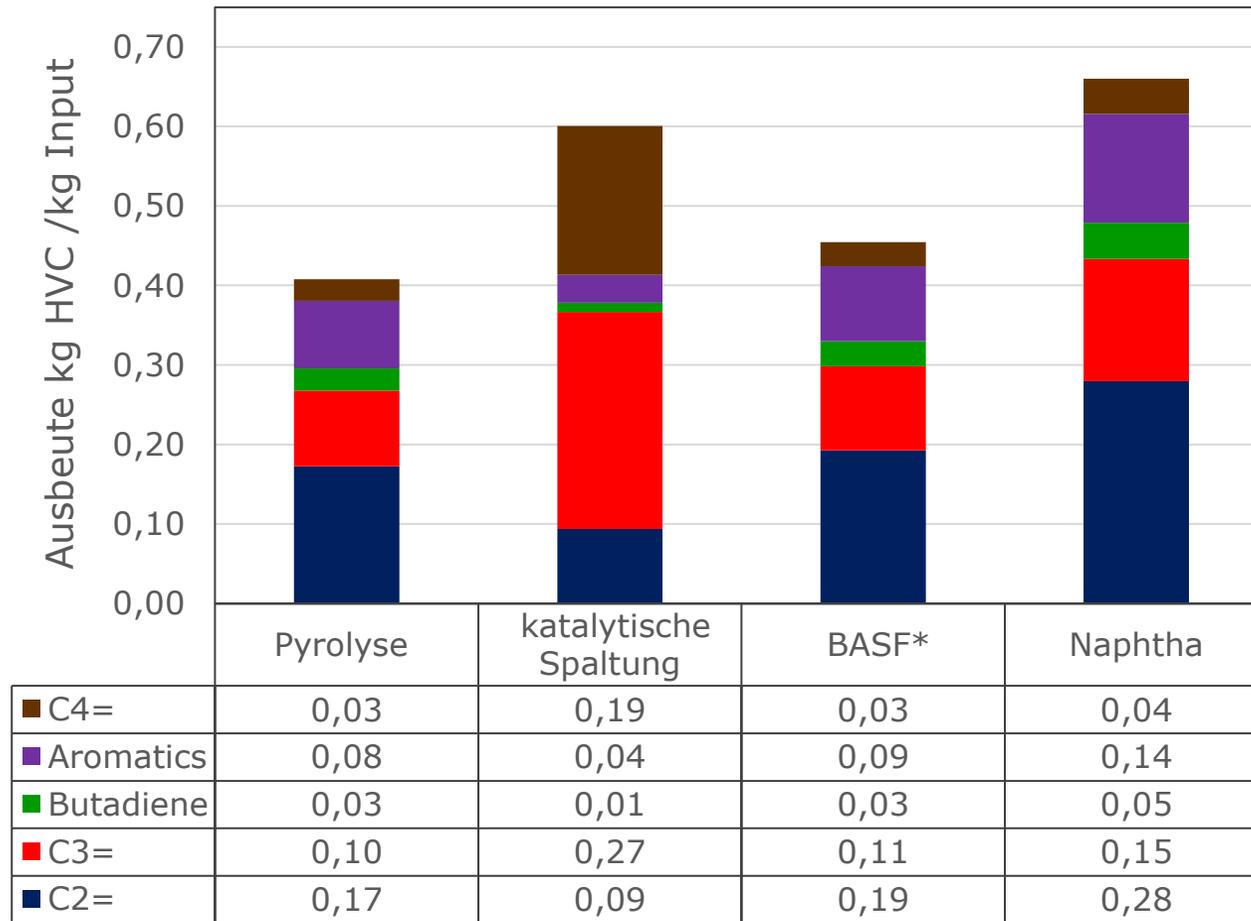
- **Zielprodukte:** Ethen, Propen, Butene, Aromaten
- Produktspektrum reicht bis C15
- Rest bietet Potential im kontinuierlichen Prozessdesign



Routenvergleich: Ergebnisse Foliensortierreste



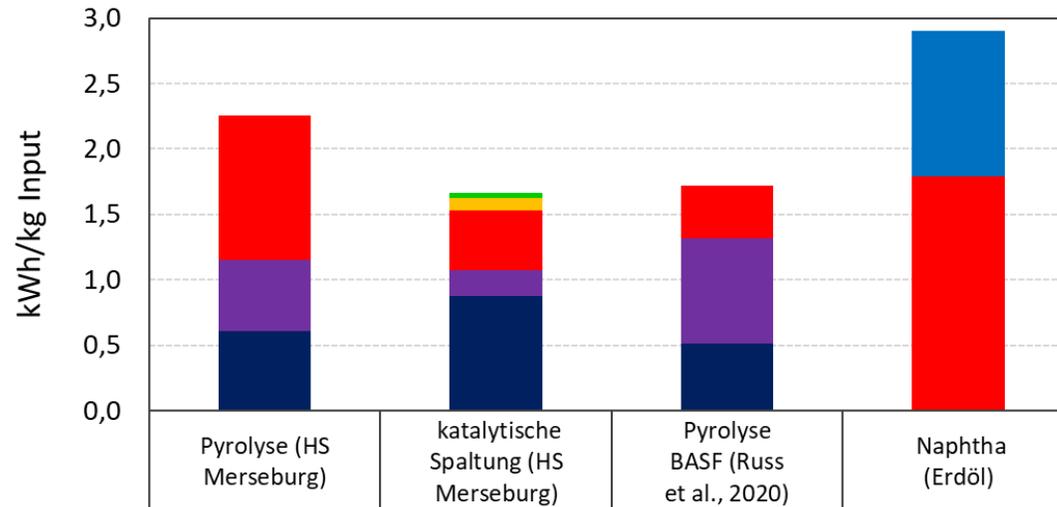
Routenvergleich: Ausbeute High Value Chemicals (HVC)



- Deutlich höhere Ausbeute für die katalytische Spaltung im Vergleich zur Pyrolyse über die gesamte Prozesskette
- Höhere Produktanteile von Propen und Butene im Produktspektrum
- Produktspektrum durch Prozessbedingungen und Katalysator anpassbar (C2=, C3= und Aromaten)
- Im Vergleich zur Naphtha-Route gute Ausbeute bei abweichender Zusammensetzung

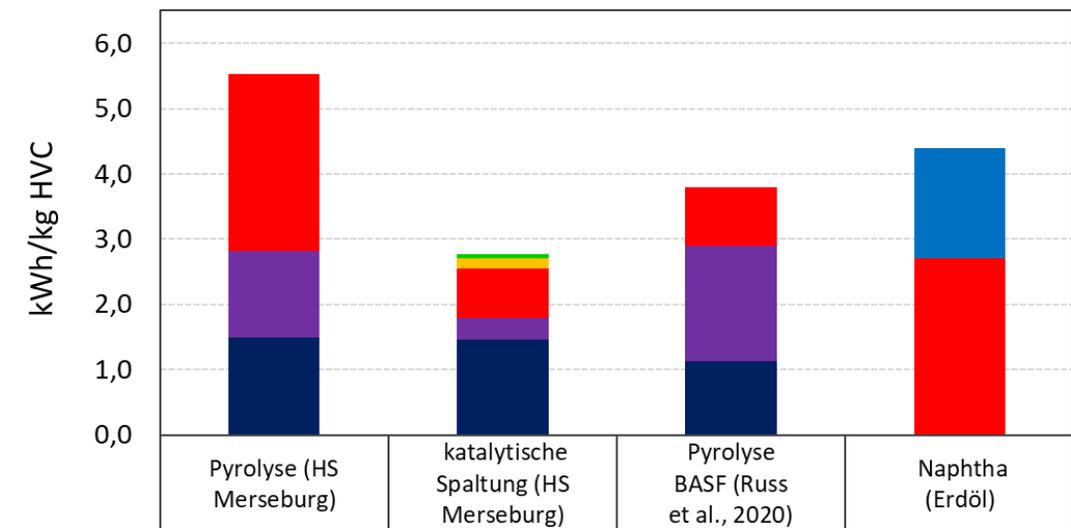
* Russ. et. al., 2020

Routenvergleich: Energieverbrauch / kg Input bzw. HVC



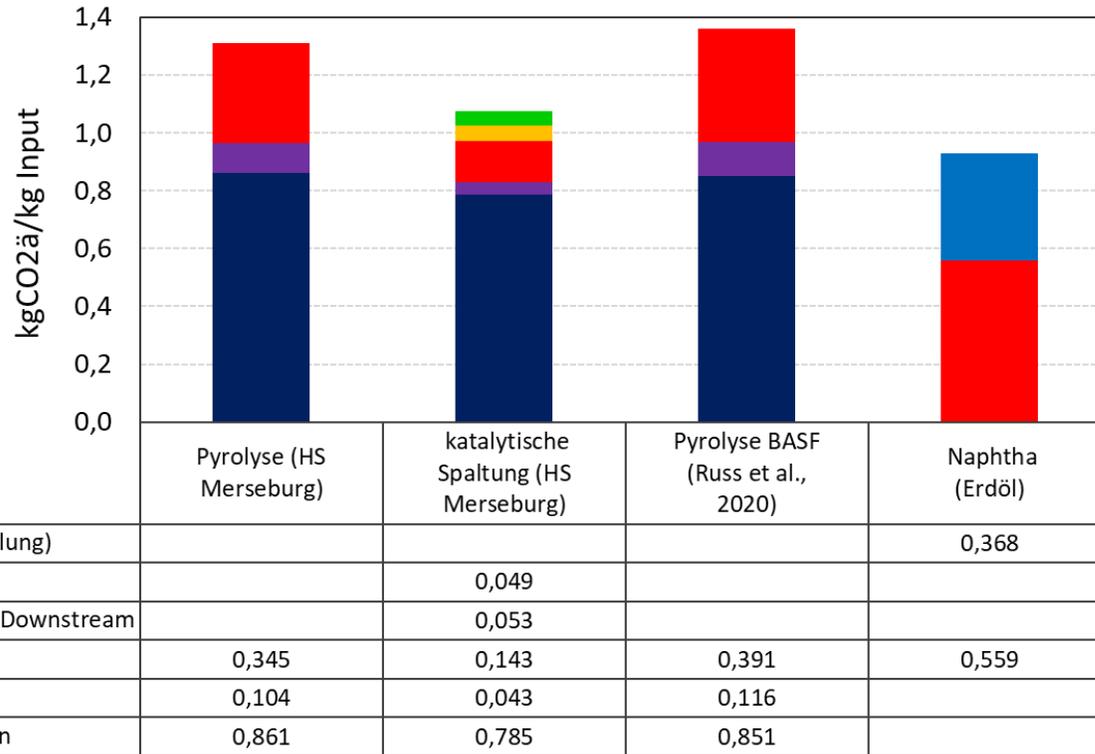
	Pyrolyse (HS Merseburg)	katalytische Spaltung (HS Merseburg)	Pyrolyse BASF (Russ et al., 2020)	Naphta (Erdöl)
■ Naphta (Herstellung)				1,111
■ Gaswäscher		0,039		
■ Gasaufbereitung Downstream		0,094		
■ Steamcracker	1,103	0,457	0,407	1,789
■ Hydrotreating	0,542	0,198	0,802	
■ Depolymerisation	0,609	0,875	0,514	

- Deutlich bessere Energiebilanz
 - deutlich höhere stoffliche Ausbeute
 - geringerer Anteil Steamcracker und Hydrierung

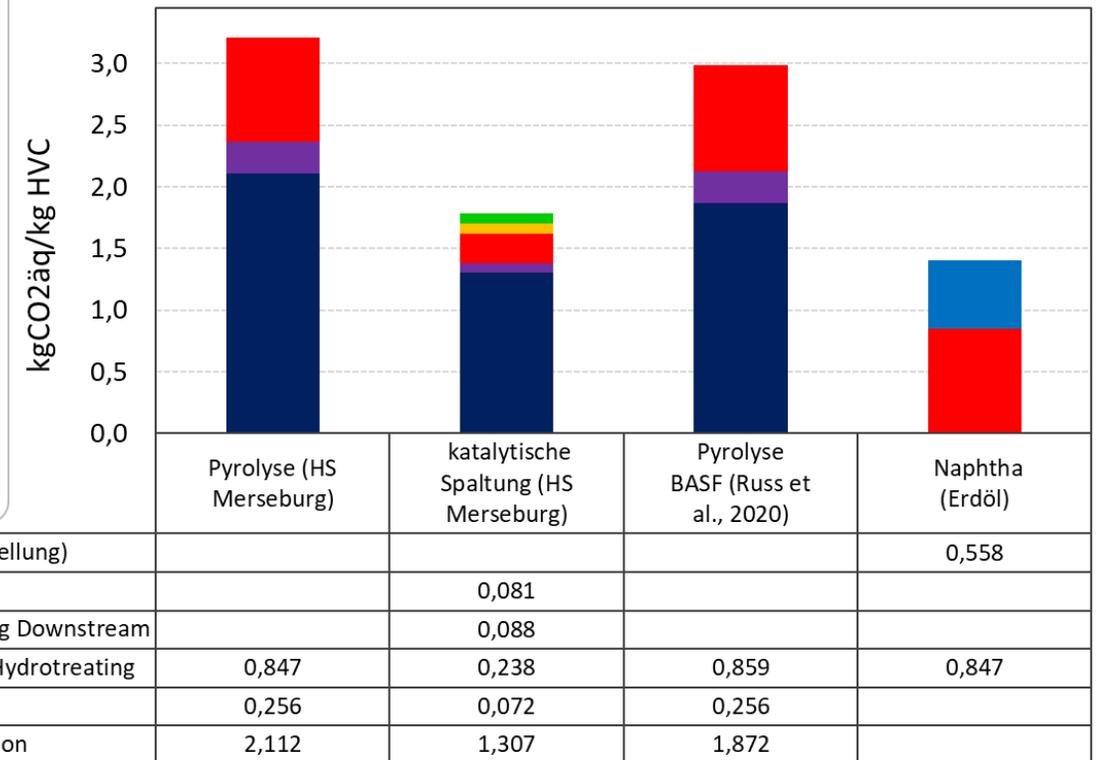


	Pyrolyse (HS Merseburg)	katalytische Spaltung (HS Merseburg)	Pyrolyse BASF (Russ et al., 2020)	Naphta (Erdöl)
■ Naphta (Herstellung)				1,684
■ Gaswäscher		0,064		
■ Gasaufbereitung Downstream		0,157		
■ Steamcracker	2,706	0,761	0,894	2,710
■ Hydrotreating	1,329	0,330	1,763	
■ Depolymerisation	1,493	1,457	1,131	

Routenvergleich: CO₂ Äquivalent / Input bzw. HVC

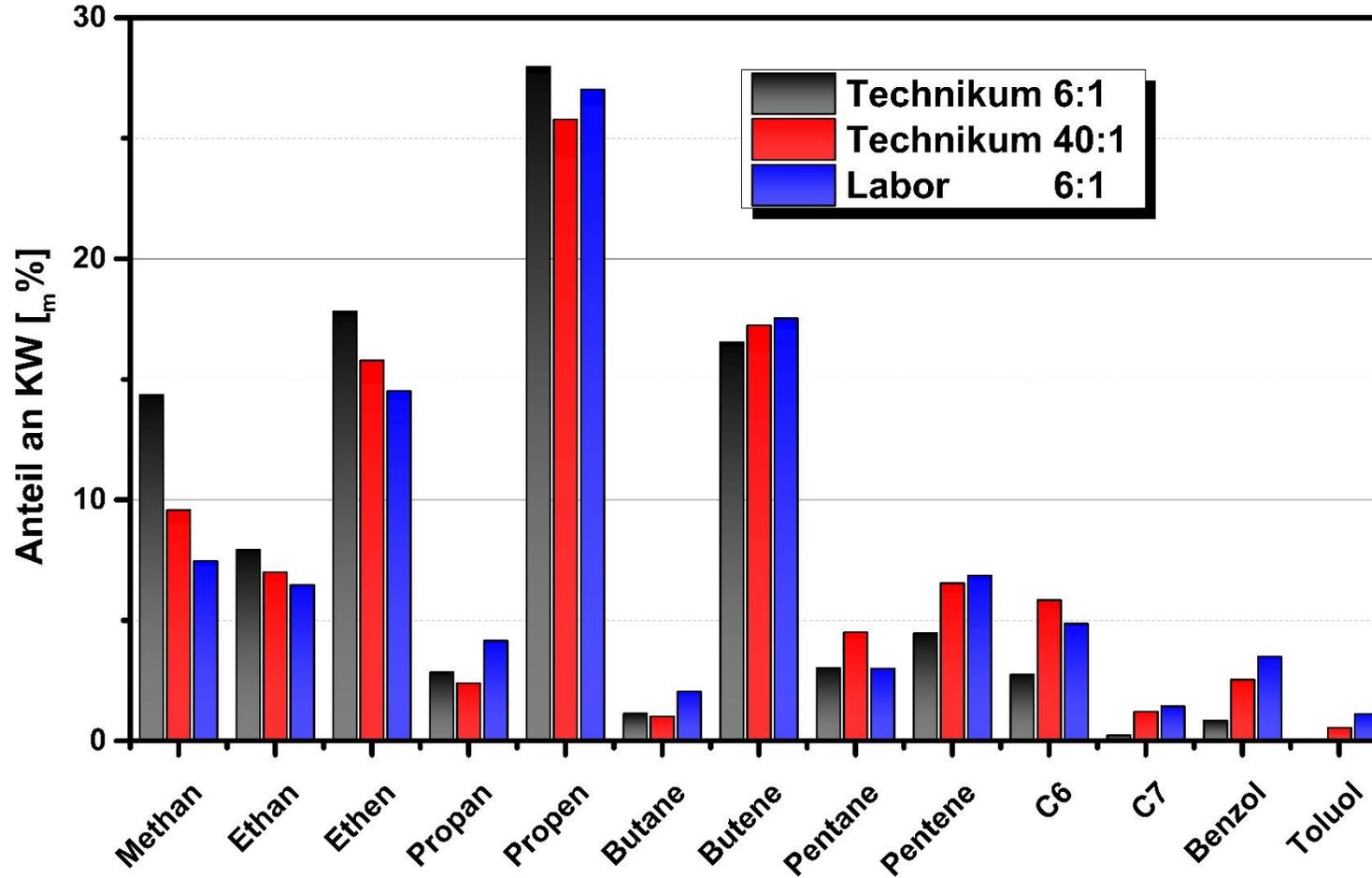


- CO₂-Äquivalente für Pyrolyse und kat. Depolym. sind konservativ gerechnet
 - Verwertung des entstehenden Koks



- Ohne Anrechnung der CO₂-Ersparnis der ausbleibenden Verbrennung

Ausblick: Erste Versuche im kontinuierlichen Betrieb

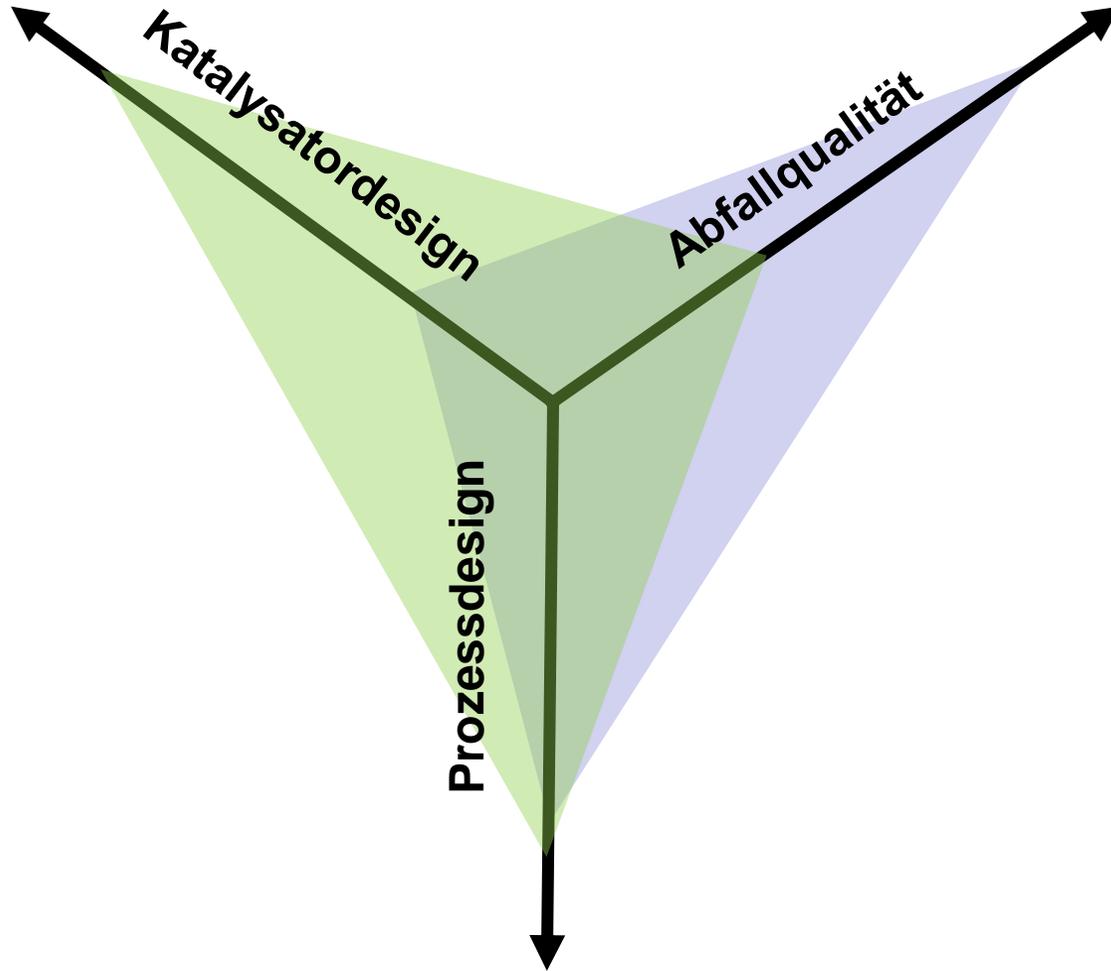


- Reaktortemperatur 550°C
- Gleicher Feed wie bei Laborversuchen (Foliensortierreste)
- Verhältnis Feedstock : Katalysator 6:1 und 40:1

- Anteil der Zielprodukte (Ethen, Propen) leicht erhöht
- Bei 6:1 kein Kondensat im kontinuierlichen Technikumsversuch nachweisbar

- Ausbeute und Zusammensetzung ließ sich reproduzieren

Ausblick: Forschungsfragen für die Umsetzungsphase



- Weiterentwicklung des Katalysators und der Katalysatorformulierung
 - Optimierung Abrassionsverhalten,
 - Regenerierbarkeit
 - Porosität
- Ermittlung und Optimierung Produktspezifischer Prozessfenster
 - Verweilzeit der Feststoffe u. Gasphase
 - Temperatur
 - Katalysatoranteil
- Konfektionierung und Erprobung der Abfallqualitäten
 - Menge der Heteroatome (Katalysatorgift)
 - Aschegehalt und Ausbeute

➔ Ziel: Prozessentwicklung und Demonstration ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen

Ausblick: Mögliche Umsetzungsphase

- ➔ Umsetzungsphase ab 2023: Das Forschungsvorhaben pool-in-loop dient dem Scale-up der katalytischen Spaltung polyolefinreicher Reststoffe
- ➔ Aufbau kontinuierlicher Laboranlage
- ➔ Aufbau einer Technikumsanlage zur Skalierung der Prozessbedingungen (Prozessdesign inkl. Katalysator = Kernprojekt)

Weitere Ziele:

- Ausbeute von über 70 % angestrebt wird
- Reinheit der Monomere für die Verwendung in der chemischen Industrie zur Herstellung neuer Polymere
- Ökonomischer Nutzen für möglichst breites Abfallspektrum (Katalysator-/ Prozessoptimierung; Inputanalyse)
- Ökologischer Nutzen im Abfallspektrum (Energieeinsparung, Ressourcenschonung, reduzierte THG-Emissionen)

Infos: <https://www.hs-merseburg.de/hochschule/projekte/pool-in-loop/>





Spezifikation: Eingangsstoff/ Pyrolyseöl/ Naphtha

Störstoffgehalte (eigne Messungen fett)	KS-Abfall MPO/ MKS (Kusenberg et al. 2022)/ HoMe	Pyrolyseöle MPO/ MKS (Kusenberg et al. 2022)/ HoMe	Naphtha- spezifikation (C. Strebel, Ren. Mat., Cologne, 10-12 May 2022)
Olefine/ Polyolefine [Gew.%]	99/ 80	43,5 / 38	<1
Aromate [Gew.%]		> 6 / 59	<10
N [ppm]	1700/ 7000	1144 / 2429	< 5
O [ppm]	3100/ 126000	1250 / -	<25
S [ppm]	-/ 1200	326 / 271	<500
Cl [ppm]	3600/ 11000	474 / 57	<3
Metalle [ppm]	2953,7/ 18452	562,9 / -	<1