

Bewertungsmethodik und erste Bewertungsergebnisse für das chemische Recycling von Mischkunststoffabfällen

Workshop GreenFeed, 12. Dezember 2023

Anna Reeves, Malte Hennig, Salar Tavakkol, Dieter Stapf

**Green Feedstock for a
Sustainable Chemistry**



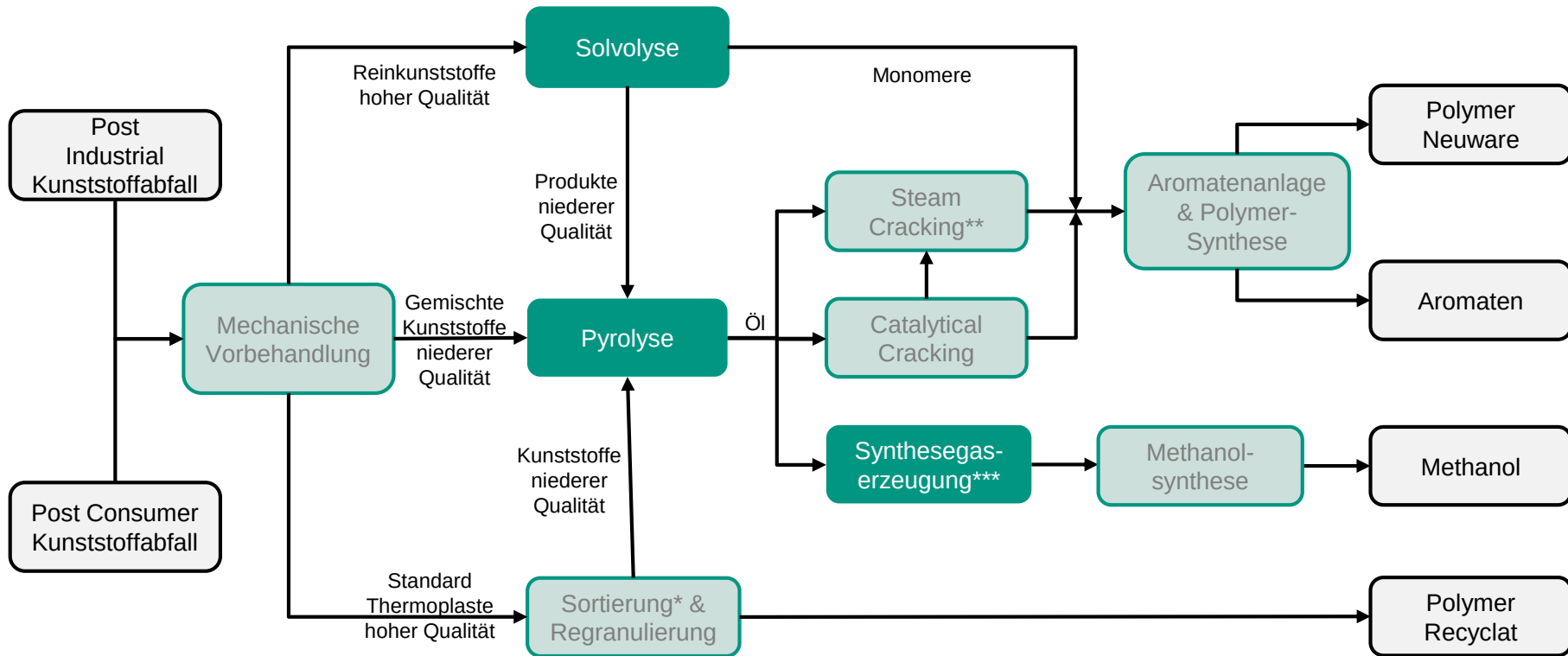
Wuppertal
Institut



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Gefördert durch:

Wertschöpfungsketten einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe



* incl. physikalische Lösemittelverfahren; ** incl. Pyrolysegasnutzung; *** incl. direkte Gasifizierung von Abfällen

Post-consumer Mischkunststoffabfälle rezyklierbar machen



WEEE = **W**aste of **E**lectrical and **E**lectronic **E**quipment

LVP = Leichtverpackung

Technologieportfolio chemisches Recycling

- Solvolyse → Monomer
- Pyrolyse + Hydrierung des Pyrolyseöls → Gasölersatz für Steamcracker
- Pyrolyse + Flugstromvergasung des Pyrolyseöls + CO₂-Abtrennung → Synthesegas*
- Wirbelschichtvergasung + CO₂-Abtrennung → Synthesegas*
- Referenz: Verbrennung + CO₂-Abtrennung → Elektrische Energie

*) 2 Varianten unterschiedlicher Zusammensetzung: Methanol-Synthesegas bzw. Oxo-Synthesegas

Vorgehensweise Prozesssimulation

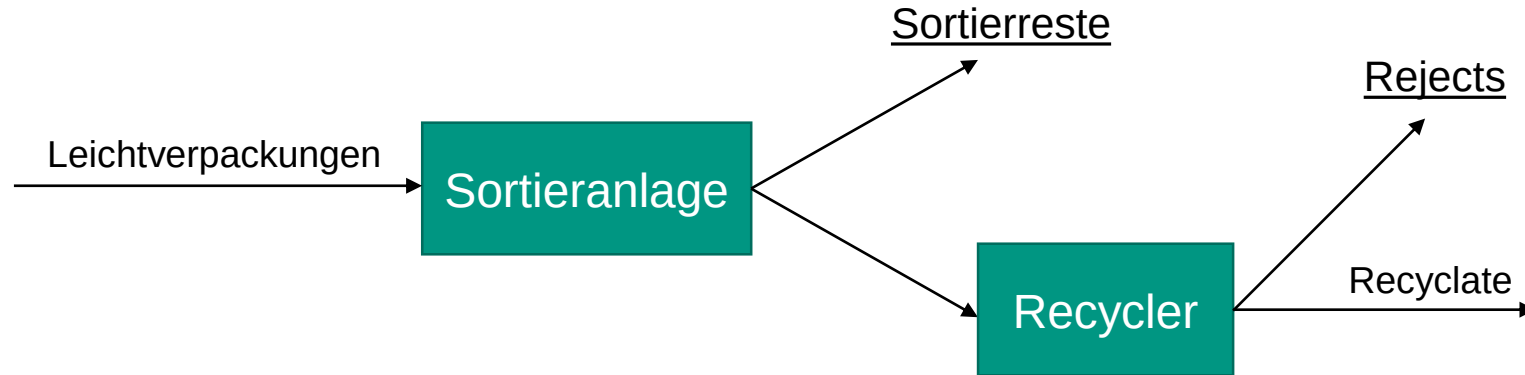
Mischkunststoffabfälle

- Nutzung eigener Daten (Pyrolyse)
- Literaturdaten (Solvolyse)
- thermodynamische Berechnungen (Verbrennung, Synthesegaserzeugung, Postprocessing)
- Flowsheet-Simulationen in Aspen Plus

Massenbilanzen
Energiebilanzen
CO₂-Ströme
Kosten

Aufteilung der Leichtverpackungsabfälle

Zwei getrennt anfallende Abfallströme stehen für das chemische Recycling zur Verfügung:



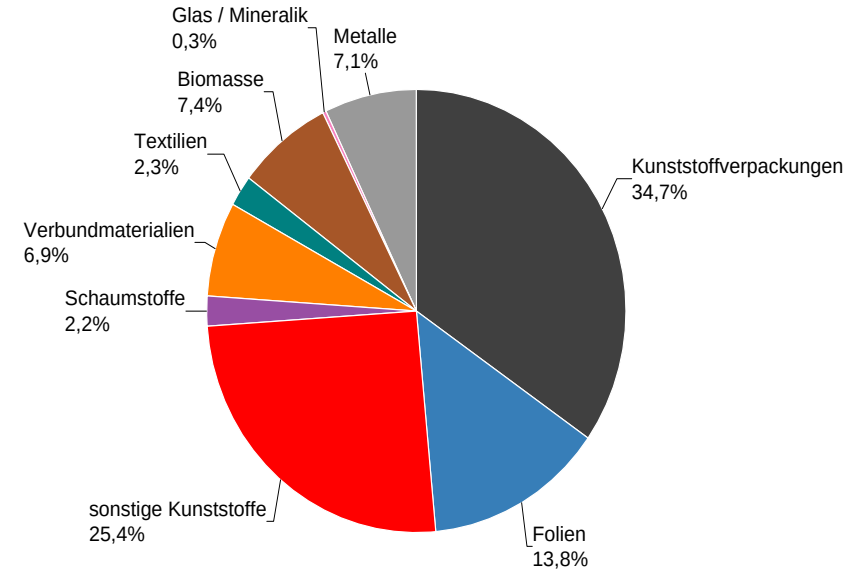
Sortierreste

Typischer Sortierrest aus LVP-Sammlung:

C	H	N	S	Cl	O	Asche
58,5	7,5	0,3	0,1	2,0	21,0	10,6



Heizwert:
25,1 MJ/kg



Zeller, M., et al: Chemical Recycling of Mixed Plastic Wastes by Pyrolysis – Pilot Scale Investigations, Chemie Ingenieur Technik 93 (11), 2021

Rejects

Modellabfall: Polymerzusammensetzung nach Abtrennung von ca. 75% des PET für Solvolyse:

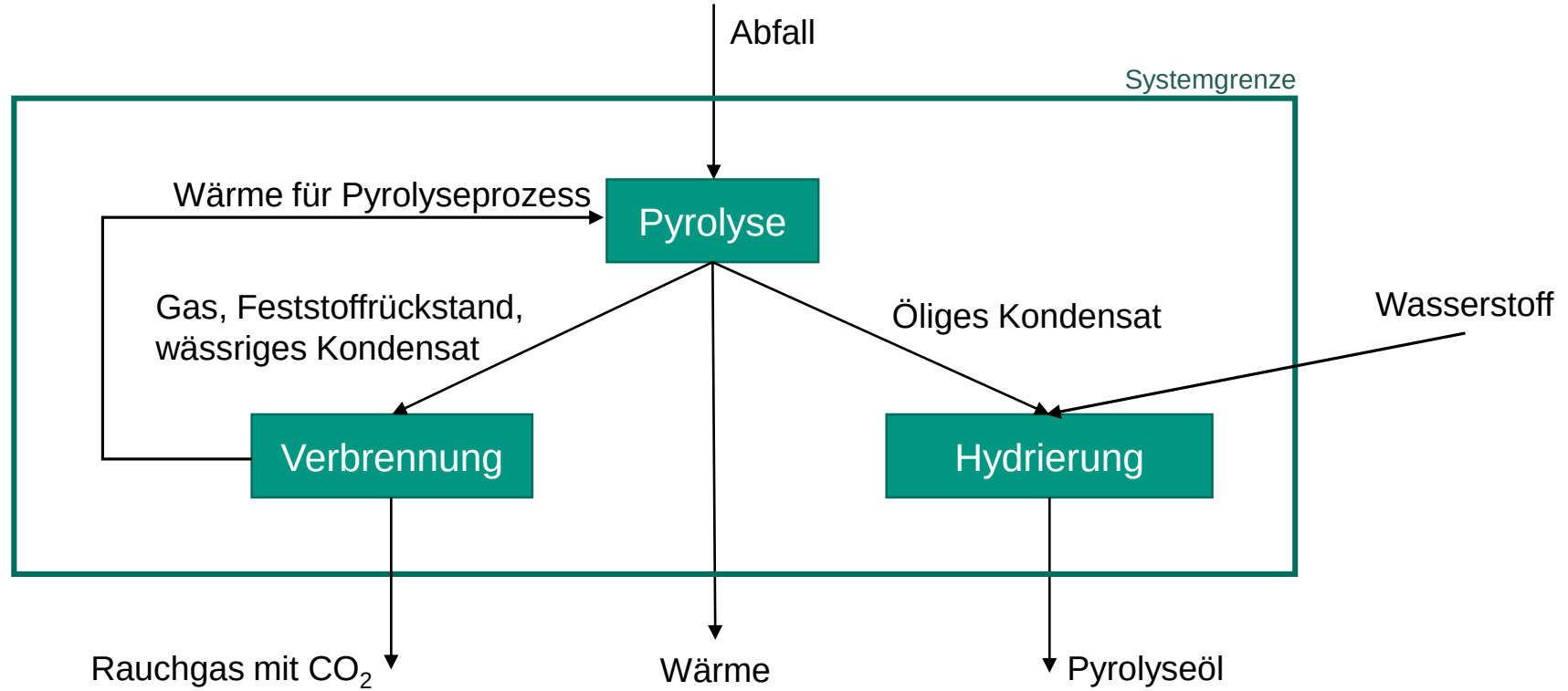
LDPE	PP	PET	PS	PA6	PVC
71,96	20,00	4,00	2,00	2,00	0,04

Elementarzusammensetzung Modellabfall:

Heizwert:
40 MJ/kg

C	H	N	S	Cl	O	Asche
80,28	13,00	0,20	-	0,02	1,50	5,00

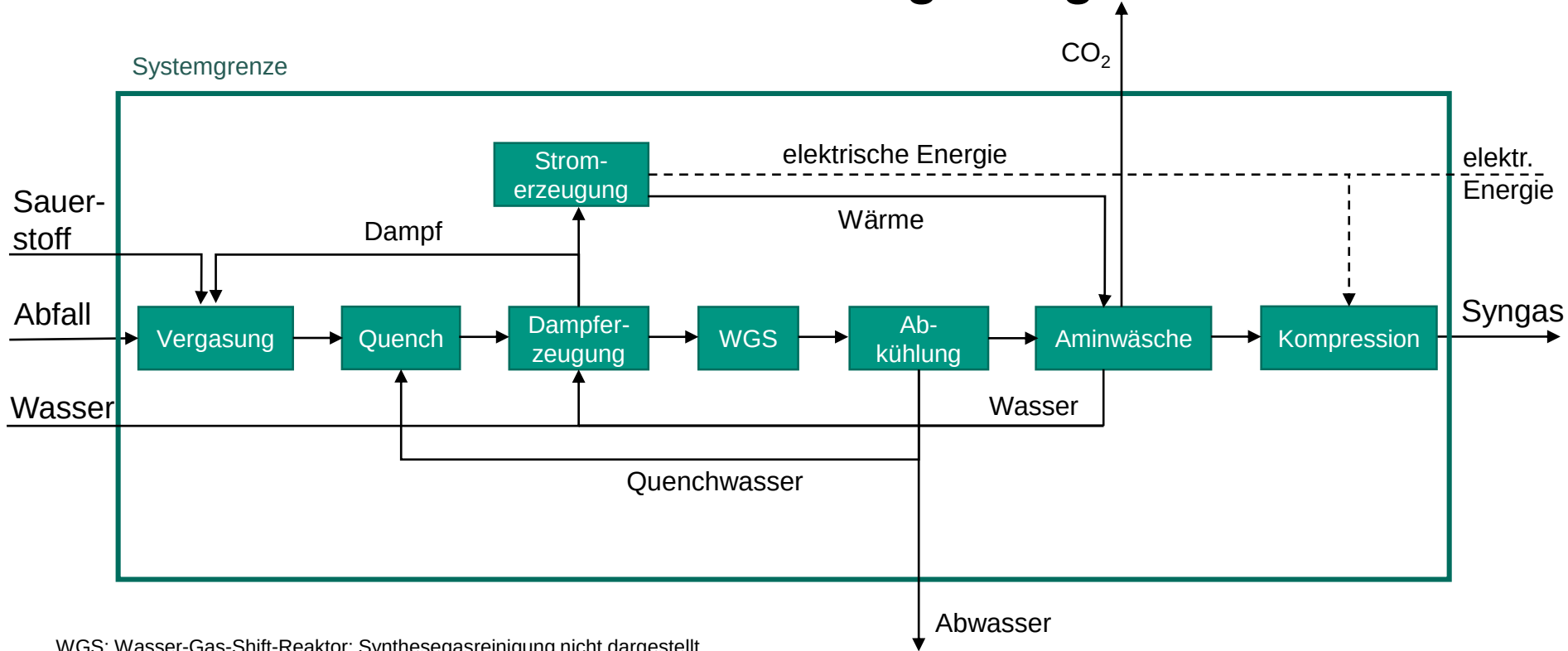
Prozessfließbild Pyrolyse



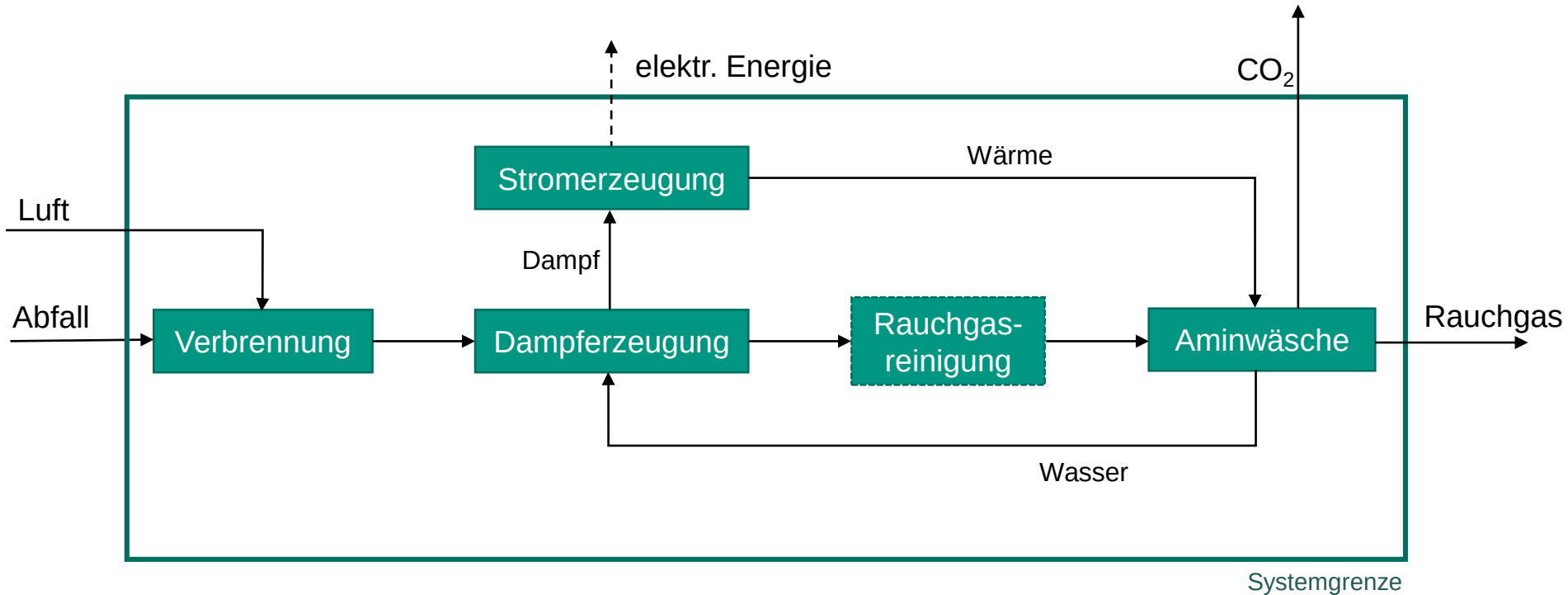
Massenbilanz der Pyrolyse

	Sortierrest	Modellabfall
Öliges Kondensat	40,0	60,5
Wässriges Kondensat	5,0	0,1
Gas	31,0	30,4
Feststoffrückstand	22,0	8,0
Bilanzverlust	2,0	1,0

Prozessfließbild Wirbelschichtvergasung



Prozessfließbild Verbrennung



Ergebnisse Leichtverpackungs-Sortierreste

■ Funktionale Einheit: **1kg LVP-Sortierrest**

	Pyrolyse	Vergasung ohne WGS ($H_2:CO = 0,95:1$)	Vergasung mit WGS ($H_2:CO = 2,1:1$)	Verbrennung mit CO_2 -Abtrennung
Produkt (stofflich) [kg]	Pyrolyseöl: 0,38	Synthesegas: 1,04	Synthesegas: 0,75	-
Produkt (Energie) [MJ]	Wärme: 6,6	-	-	el. Energie: 3,64
Kohlenstoffrecycling [%]	55,0	70,4	44,3	0
CO_2 entstanden [kg]	0,97	0,63	1,20	2,15 (0,02)
el. Energiebedarf [MJ]	-	0,63	0,69	-
Hilfsstoffe [kg]	H_2 : 0,01	O_2 : 0,87	O_2 : 0,87	-

Ergebnisse Leichtverpackungs-Rejects

■ Funktionale Einheit: **1kg Modellabfall**

	Pyrolyse	Vergasung ohne WGS ($H_2:CO = 1,2:1$)	Vergasung mit WGS ($H_2:CO = 2,1:1$)	Verbrennung mit CO_2 -Abtrennung
Produkt (stofflich) [kg]	Pyrolyseöl: 0,61	Synthesegas: 1,5	Synthesegas: 1,2	-
Produkt (Energie) [MJ]	Wärme: 11,1	-	-	el. Energie: 5,96
Kohlenstoffrecycling [%]	65,0	73,7	52,5	0
CO_2 entstanden [kg]	1,02	0,77	1,40	2,95 (0,03)
el. Energiebedarf [MJ]	-	0,78	1,19	-
Hilfsstoffe [kg]	H_2 : 0,01	O_2 : 1,42	O_2 : 1,42	-

Zwischenergebnisse der Kunststoffabfallverwertung

ohne Bewertung der Hilfsstoffe und Nebenproduktausbeuten

- Chemisches Recycling zeigt immer geringere Treibhausgasemissionen als die Verbrennung
- Vergasung ohne WGS hat beste Kohlenstoffausbeute, allerdings muss das Syngas noch weiterverarbeitet werden
- Vergasung mit WGS zu Methanolsynthesegas hat eine viel geringere Kohlenstoffrecyclingrate.
- Effizienz des chemischen Recyclings: Polyolefinreichere Kunststoffabfälle sind eher für Pyrolyse zu Steamcrackerfeedstock geeignet, Kunststoffabfälle mit hohen Heteroatomgehalten / viel Sauerstoff eher für Synthesegasherstellung
- Bewertung der Flugstromvergasung des Pyrolyseöls folgt noch