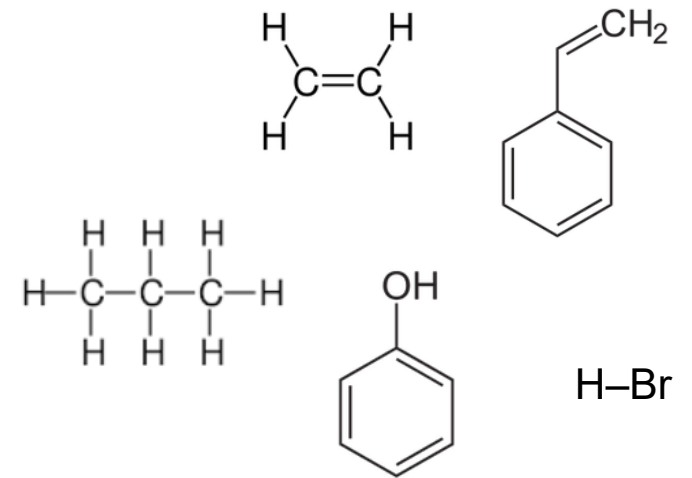
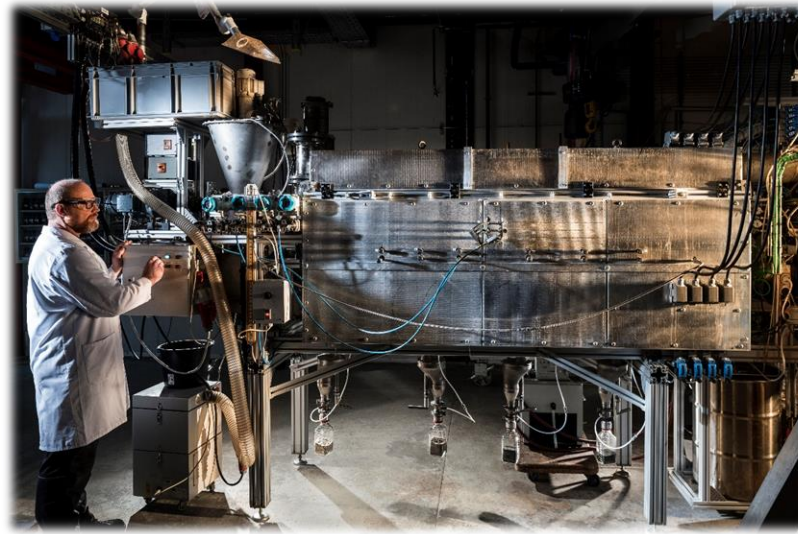


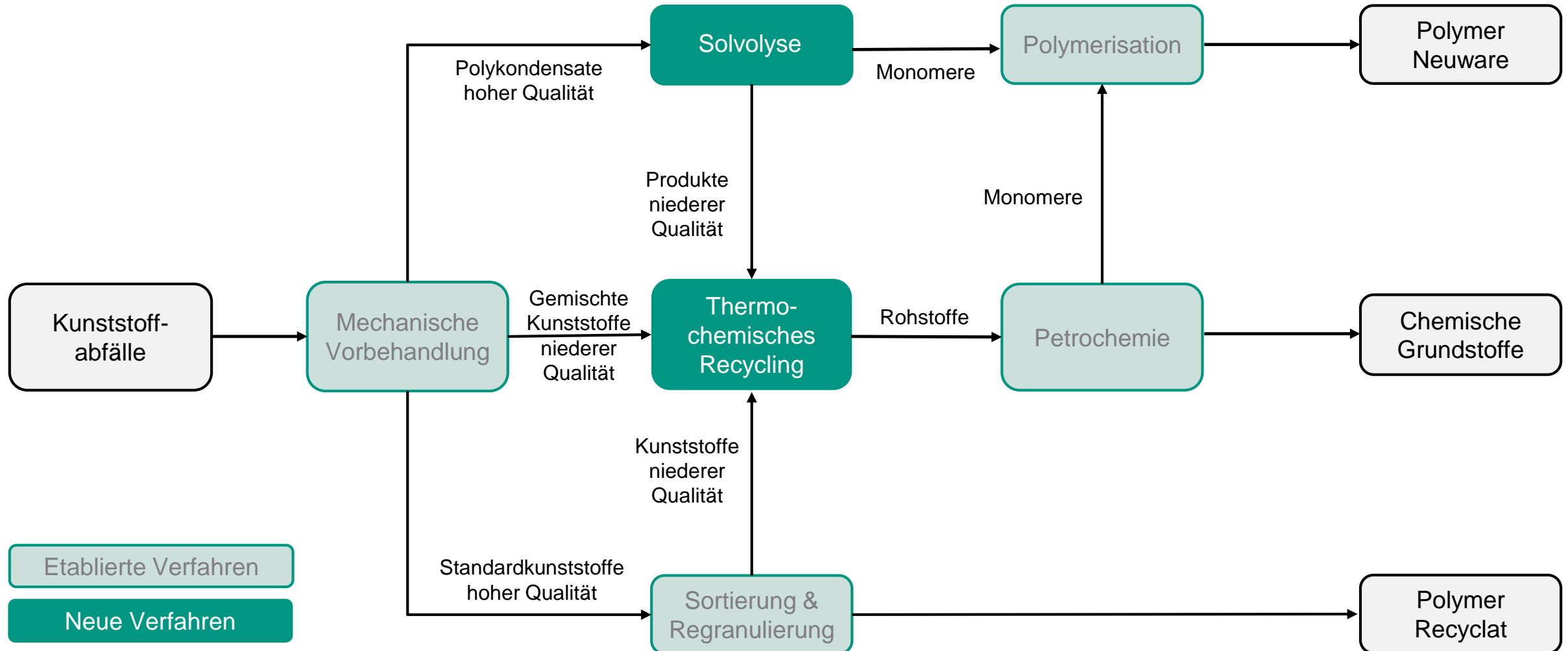
Update Chemisches Recycling – Grundlagenuntersuchungen und Prozessbewertung

PlasticsEurope, 7. September 2021

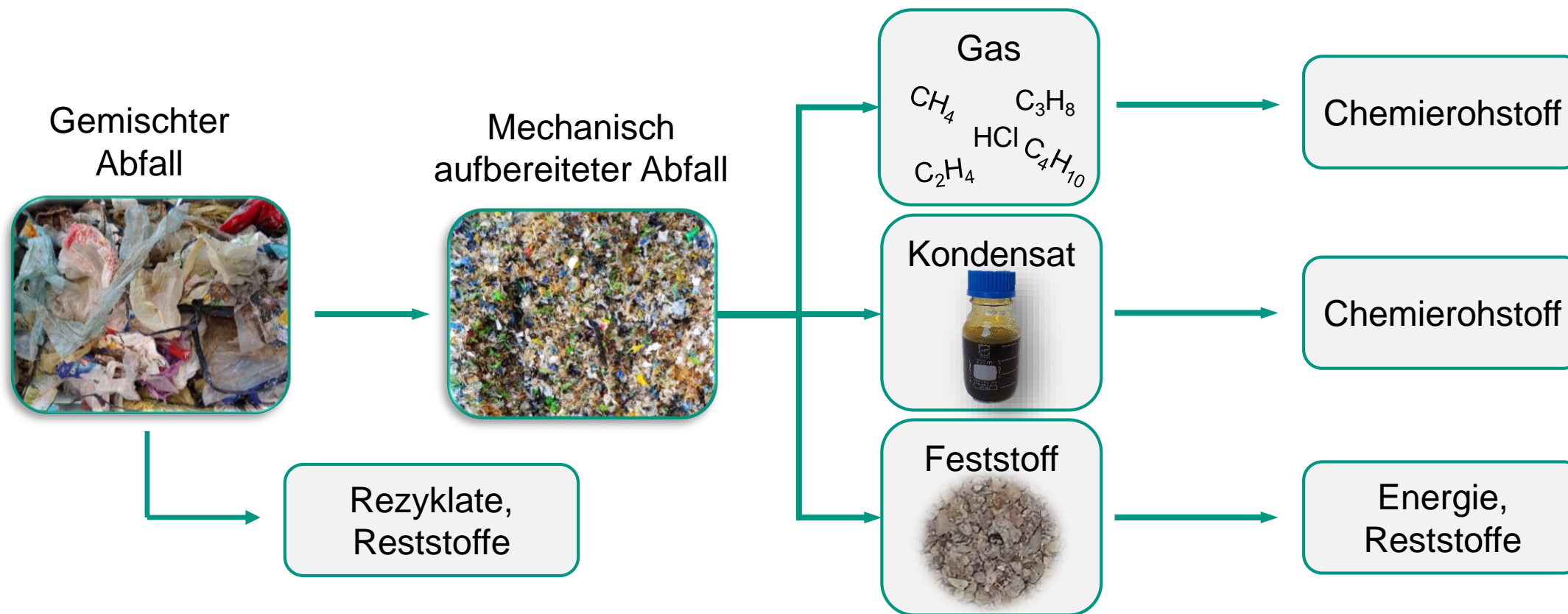
Niklas Netsch, Hans Leibold, Frank Richter, Michael Zeller, Dieter Stapf, Institut für Technische Chemie (ITC)



Notwendige Technologieinfrastruktur einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe



Chemisches Recycling gemischter Kunststoffabfälle – Wertschöpfungskette, Beispiel Pyrolyse



Vorbehandlung

Pyrolyse

Aufbereitung und Synthese

Projektumfang

„Bewertungsgrundlage der Pyrolyse von gemischten Kunststoffabfällen“

- Ziele:
 - Sichtung relevanter Kunststoffströme für chemisches Recycling
 - Bewertungsgrundlagen für das chemische Recycling durch Ermittlung der Daten zu Massen- und Energiebilanzen
 - F&E-Fragestellung zur Optimierung von Wertschöpfungsketten

- Auswahlkriterien der Stoffströme:
 - Reale gemischte Kunststoffabfälle
 - Keine Konkurrenz zu werkstofflicher Verwertung
 - Variierende Bezugsquellen für breites Spektrum der Einsatzstoffqualität
 - Relevantes Abfallaufkommen in Entsorgungswirtschaft

Bedeutende Abfälle im Grundlagenprojekt

Schredderleichtfraktion Automobil (SLF) [2]



Sortierreste (SR) aus LVP-Aufbereitung



Betrachtete
Stoffströme

WEEE-Schredder [3]



Gewerbeabfälle (GA) [4]



Restkunststoffe Baubereich (WDVS) [5]



Restkunststoffe aus der Landwirtschaft AGRAR

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

LVP = Leichtverpackung

WDVS = Wärmedämmverbundsystem

Brennstoffanalyse der Abfälle

	LVP-SR [Gew.-%]	WEEE [Gew.-%]	WDVS [Gew.-%]		GA [Gew.-%]	SLF [Gew.-%]
			EPS	XPS		
Feuchte ⁽¹⁾	1,7	0,5	0,0	0,0	0,0	1,5
Asche (550 °C) ⁽²⁾	10,6	27,6	8,2	6,7	9,2	13,3
C ⁽²⁾	58,5	53,1	82,5	79,4	74,7	67,0
H ⁽²⁾	7,5	6,1	7,1 ⁽³⁾	7,1 ⁽³⁾	8,8	8,5
N ⁽²⁾	< 1,0	1,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,8
S ⁽²⁾	0,1	0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,20
Cl + Br ⁽²⁾	2,0	2,8	0,3	0,1	3,3	1,2
Resultierend. O ⁽²⁾	21,3	8,8	1,9	6,7	4,0	6,1
Heizwert ⁽²⁾ / MJ/kg	ca. 25	ca. 23	ca. 35	ca. 34	ca. 34	ca. 31

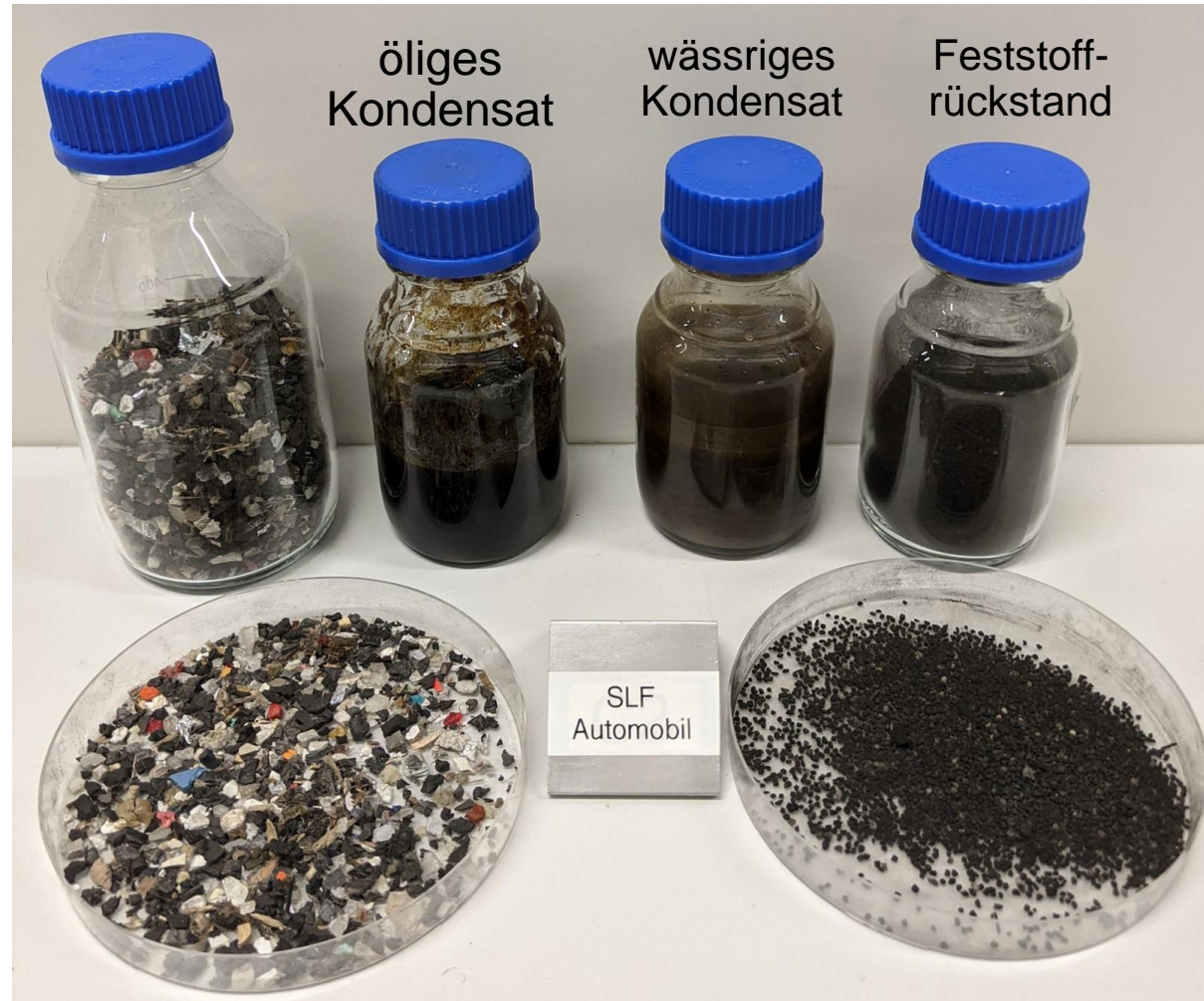
⁽¹⁾ Nach Vorbehandlung

⁽²⁾ Bezogen auf Trockenrückstand

⁽³⁾ kalkulatorischer Wert

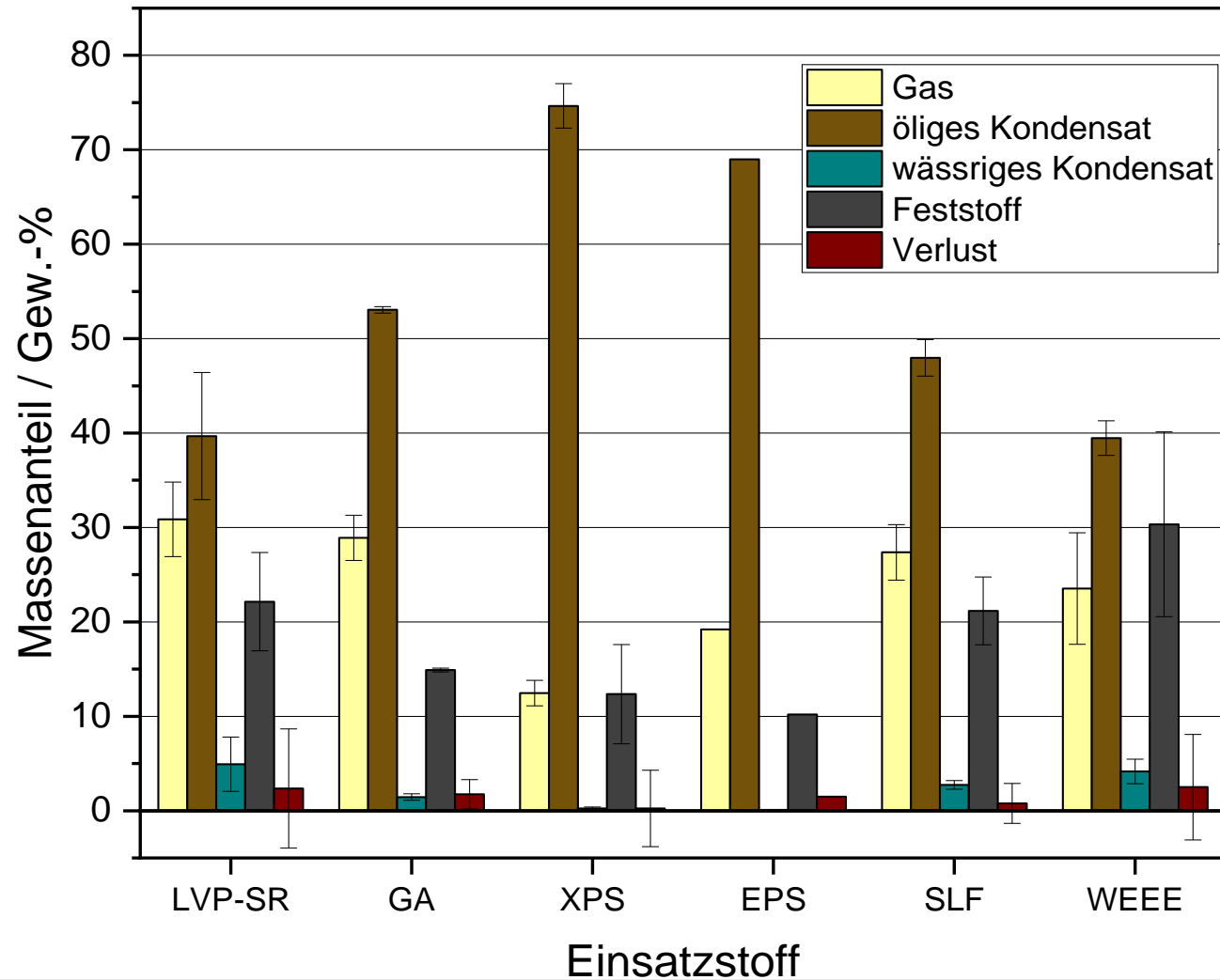
Einsatzstoff- und Produktspektrum der Pyrolyse

Einsatzstoff SLF

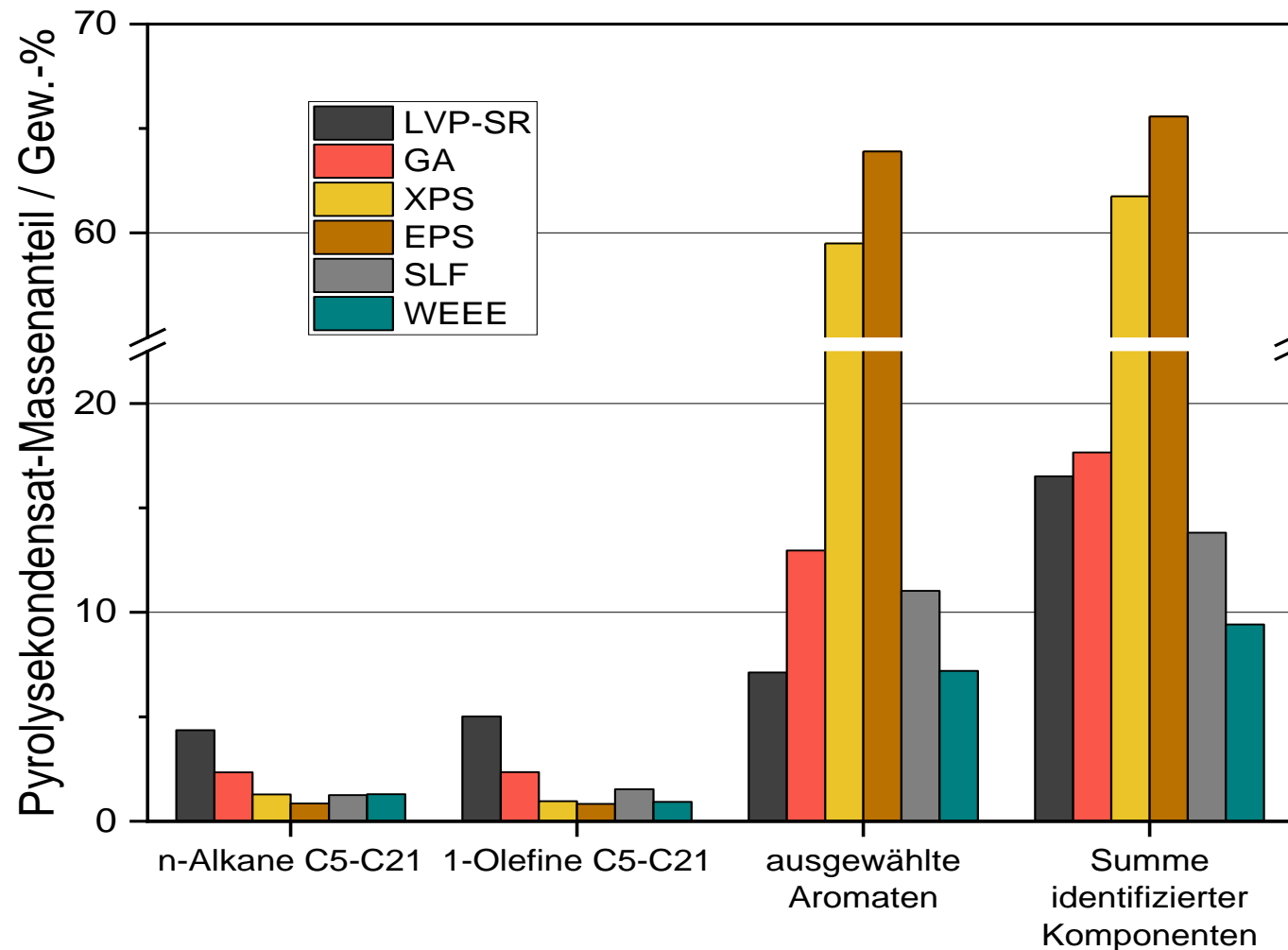


Feststoffrückstand:
Pyrolysekoks,
mineralische Anteile

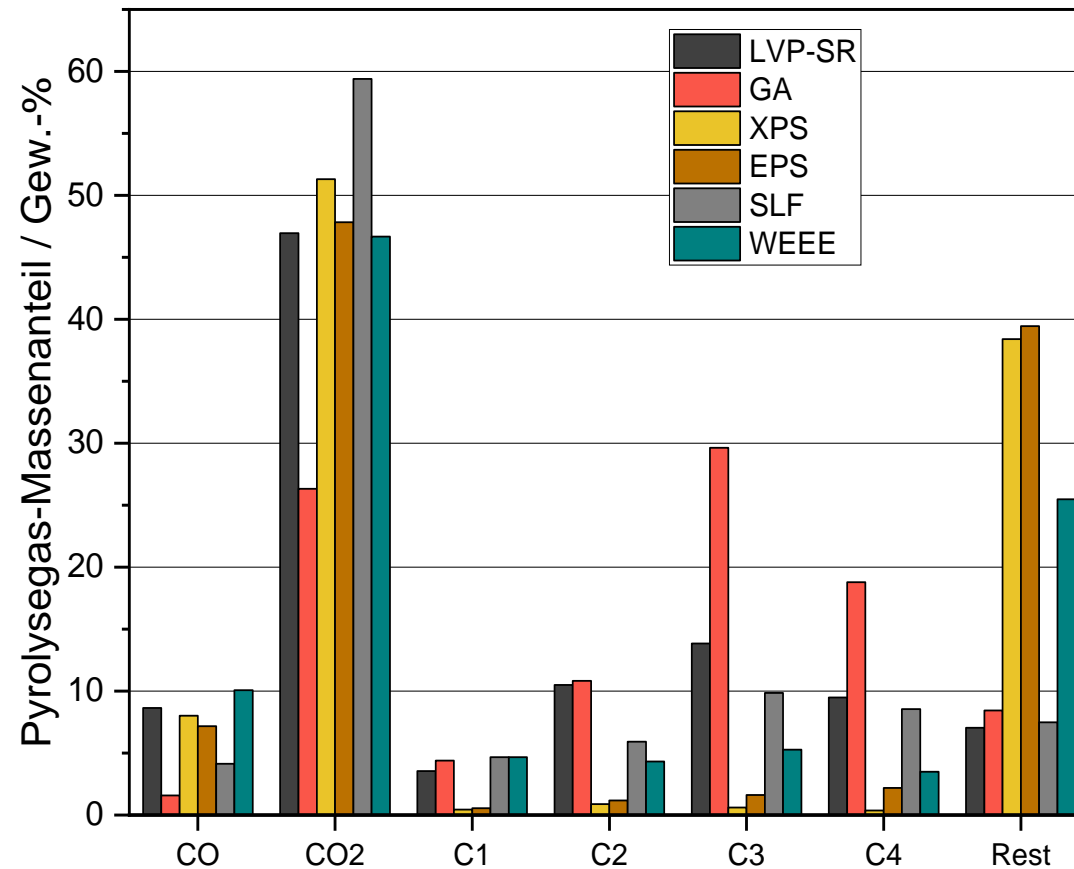
Massenbilanz der Pyrolyse



Pyrolyseöl: Kondensatbestandteile



Pyrolysegaszusammensetzung



Kohlenstoff - Recycling

Einsatzstoff	Anteil an Einsatzstoff-C im öligen Kondensat
	[Gew.-%]
LVP-SR	51,1
GA	60,0
XPS	74,6
EPS	72,9
SLF	57,5
WEEE	60,5

Energiebedarf für Aufheizen, Schmelzen, thermischen Zerfall und Verdampfen

Einsatzstoff	Energiebedarf für Erwärmen, Schmelzen, Pyrolyse, Verdampfung
	[% des Einsatzstoff-Heizwerts]
LVP-SR	5,1
GA	5,2
XPS	4,9
SLF	5,4
WEEE	3,7

- Chemisches Recycling gemischter Kunststoffabfälle durch Pyrolyse:
 - Kombination von mechanischem und chemischem Recycling für alle kunststoffhaltigen Abfallarten
 - Mindestens 50% des Einsatzstoff-Kohlenstoffs kann potenziell als Kondensat rezykliert werden (Ersatz fossiler Rohstoffe für Steam Cracking, Catalytik Cracking)
 - Produktausbeuten und Zusammensetzung hängen von der Abfallart ab
- Datenbereitstellung für Prozessbewertung:
 - Zwischen 50 und 75% des eingesetzten Kohlenstoffs werden als Pyrolyseöl rezykliert
 - Der Energiebedarf des Pyrolyseprozesses liegt bei ca. 5% des Energieinhaltes des Abfalls
- Technologiereife der Pyrolyseverfahren unzureichend:
 - Skalierung der Pyrolysetechnologie
 - Produktoptimierung und Aufbereitung als Chemierohstoff für Einsatzstoff gemischte Kunststoffabfälle
 - Wertschöpfungskettenintegration

Wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse

Publikationen:

- Berliner Abfallwirtschaftskonferenz, 11.6.2021
- Zeller, M., et al.: Chemical recycling of mixed plastic wastes by pyrolysis. Chem. Ing. Tech. 2021, 93 (11), 1-9. <https://doi.org/10.1002/cite.202100102>

BMBF-Projekt 033R214D „KUBA: Nachhaltige Kunststoffwertschöpfungskette: Pilotfall Kunststoffe in Bauwirtschaft und Gebäuden“

- Kombiniertes mech. – chem. Recycling von EPS-/XPS-basierten WDVS

THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien am KIT:

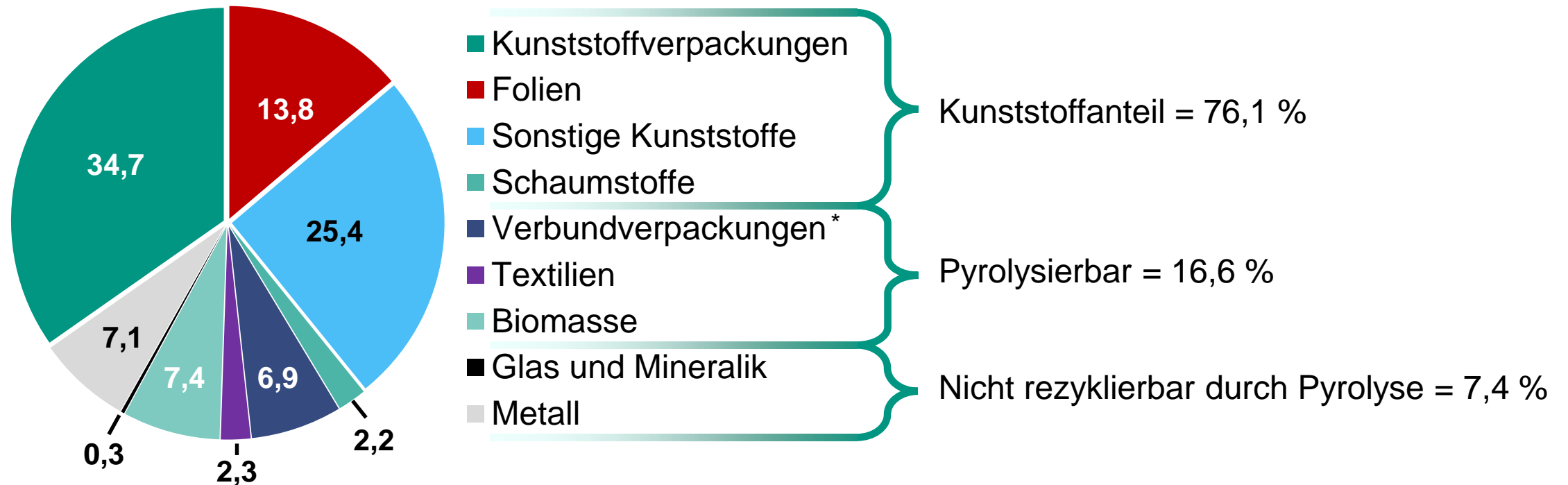
Themenschwerpunkt „Klimaneutrale und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe – Chemisches Recycling“:

- Pilotprojekt und Fallstudie „Sortierreste aus der Sammlung von Leichtverpackungen“
- Fallstudie „Potenziale des chemischen Recyclings für Kunststoffe aus der Automobilbranche“

Folgeprojektanträge: BMBF „ChemRecPolymer“, BMWi „GreenFeed“

Sortierreste der Verpackungsabfälle - Beispiel

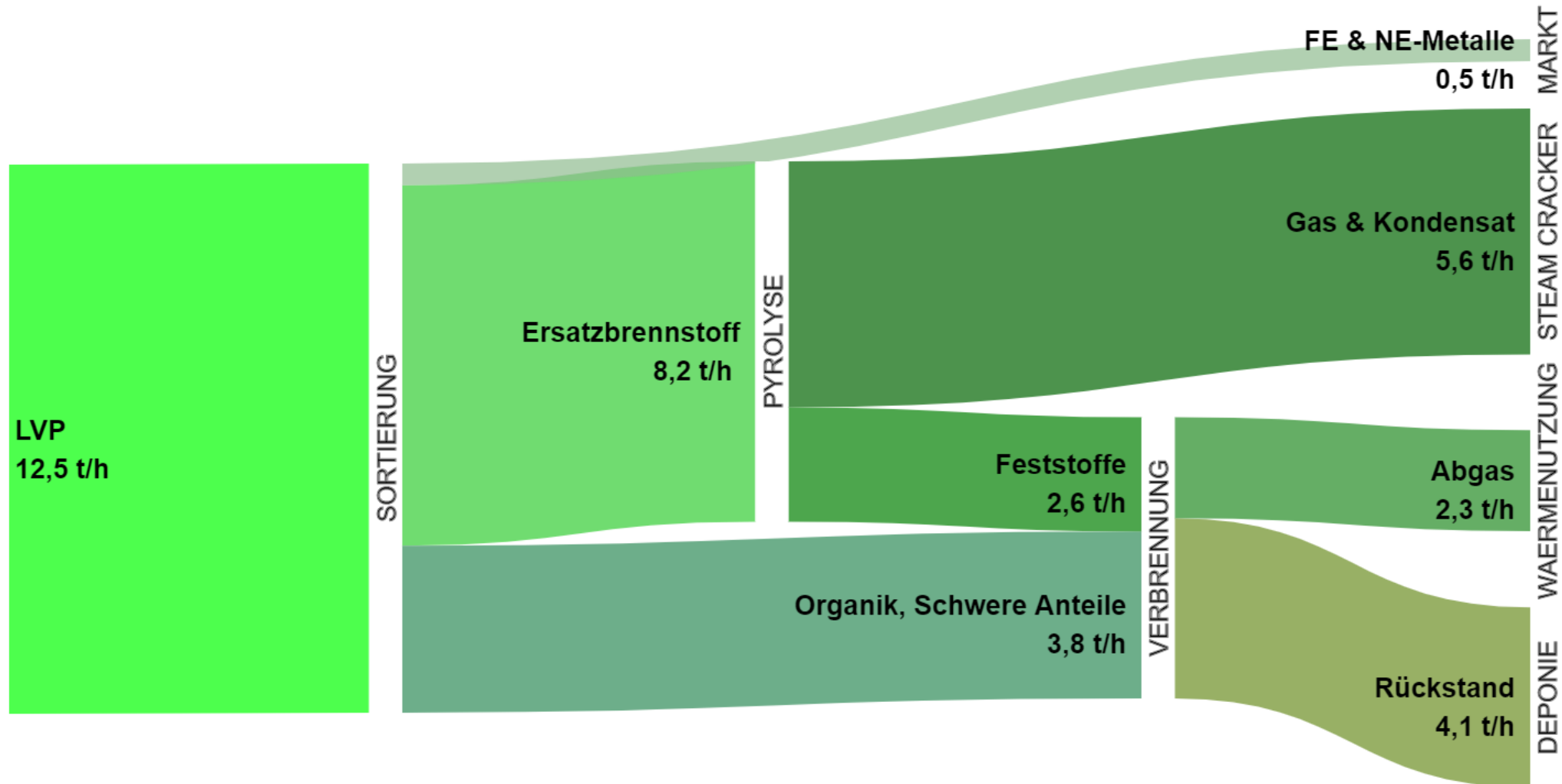
- Mechanische Aufbereitung von LVP - Abfällen („gelber Sack“)
- Sortierreste = Reststoffe nach Abtrennung der Kunststoff-, Metall- und mineralischen Grobfraction
 - Bisher energetisch verwertet



Zusammensetzung der Stichprobe aus Sortieranlage

*) Materialien bestehend aus Verbund von Kunststoff- und Nicht-Kunststoffanteilen (bspw. „Tetra Pak“)

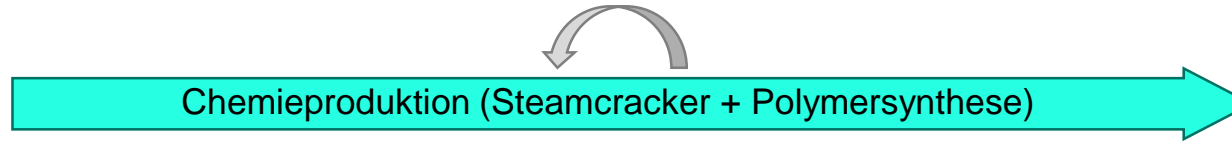
Materialflussdiagramm für Leichtverpackungsabfälle (LVP): Pyrolysepfad



Fallbeispiel: Recycling von Leichtverpackungsabfällen – Vergleich von Verwertungspfaden

Primärkunststoffproduktion:

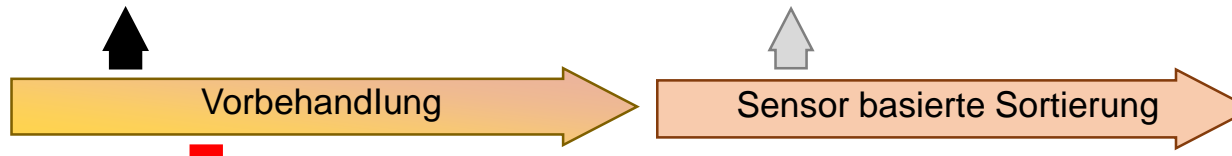
Naphtha



Neuware

Mechanisches Recycling:

LVP - Abfall



Regranulat

Chemisches Recycling:

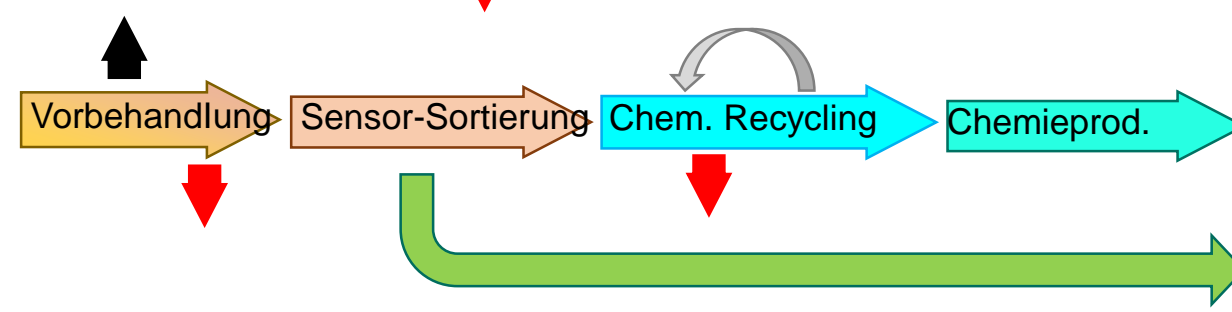
LVP - Abfall



Neuware

Kombiniertes Recycling:

LVP - Abfall



Neuware

Regranulat

▲ Metallrückgewinnung

▼ Mineralische Rückstände zur Deponie

▾ Energetische Verwertung von Rückständen

Vergleich von Verwertungspfaden zum Recycling von LVP - Abfällen mit der Kunststoffherstellung aus fossilen Rohstoffen am Beispiel Polyethylen (HDPE)

Recyclingpfad	Kosten [€/kg _{Input}]	Kummulierter Energiebedarf [MJ/kg _{Input}]	Treibhausgas- potential [kgCO ₂ e/kg _{Input}]	Recyclierter Kohlenstoff
Mechanisch, 42% Ausbeute	-0.16	-18.1	0.2	42%
Mechanisch, 22% Ausbeute	-0.08	-6.9	0.6	22%
Chemisches Recycling	-0.24	-15.9	0.3	59%
Kombiniert, mech. 42% + chem.	-0.29	-30.1	-0.2	74%
Kombiniert, mech. 22% + chem.	-0.25	-23.1	0.0	66%

Volk, R., et al.: Techno-economic Assessment and Comparison of Different Plastic Recycling Pathways - a German Case Study, Journal of Industrial Ecology, 2021, 1-20; <https://doi.org/10.1111/jiec.13145>

Zusammenfassung

Techno-ökonomische und ökologische Bewertung

Vergleich der Kunststoffherstellung aus fossilen Rohstoffen mit dem kombinierten mechanisch / chemischen Recycling von Verpackungsabfällen, unter Berücksichtigung der energetischen Verwertung

- **Kosten:** Wirtschaftlichkeit des mechanischen und des chemischen Recyclings im Großmaßstab
- **Energie:** Mechanisches und chemisches Recycling ähnlich; vorteilhaft gegenüber Produkten auf fossiler Rohstoffbasis
- **Treibhausgasemissionen:** Mechanisches und chemisches Recycling ähnlich; bei hohen Recyclingquoten vorteilhaft gegenüber Produkten auf fossiler Rohstoffbasis
- Hohe **Recyclingquoten** können durch die Kombination von mechanischem und chemischem Recycling erreicht werden.

Danksagung

Bereitstellung der exemplarischen Abfälle durch:

ARN B.V.

Electrocycling GmbH

Sto SE / I.A.R. RWTH Aachen

Pre Zero GmbH & Co. KG

Grundlagenprojekt zum chemische Recycling gemischter Kunststoffabfälle gefördert durch:



PlasticsEurope
Association of Plastics Manufacturers

BKV KUNSTSTOFF
KONZEPTE
VERWERTUNG

HELMHOLTZ RESEARCH FOR
GRAND CHALLENGES



THINKTANK
INDUSTRIELLE
RESSOURCEN-
STRATEGIEN