



# H<sub>2</sub>Cycle II - HydroCycling

## Chemisches Altkunststoff- Recycling zu petrochemischen Grund- und Rohstoffen

KuRT, kick-off meeting  
23.01.2024, Dechema-Haus, Frankfurt/Main

Confidential!

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Fö-Kz. 033R386A-D



# HydroCycling – Voraussetzungen für das Vorhaben

**Kunststoffe** werden auch zukünftig als leichte, leistungsfähige Werkstoffe benötigt.

⇒ Altkunststoff-*Entsorgung* notwendig.

Zum **Landschaftsschutz** wurde Altkunststoff-Deponierung in Deutschland bereits 2005 beendet.

⇒ Altkunststoffe *durch Nachnutzung* entsorgen.

**Klimaschutz** macht *energetische Nutzung* von Altkunststoffen zukünftig ebenfalls inakzeptabel.

⇒ Altkunststoffe *stofflich* nachnutzen (recyceln).

**Altkunststoffe** können - qualitätsbedingt - *nicht ausschließlich mechanisch* recycelt werden.

⇒ *Chemisches Recycling* muss mechanisches Recycling *ergänzen*.

Bisher entwickelte, **chemische Recyclingrouten** *technisch limitiert*.

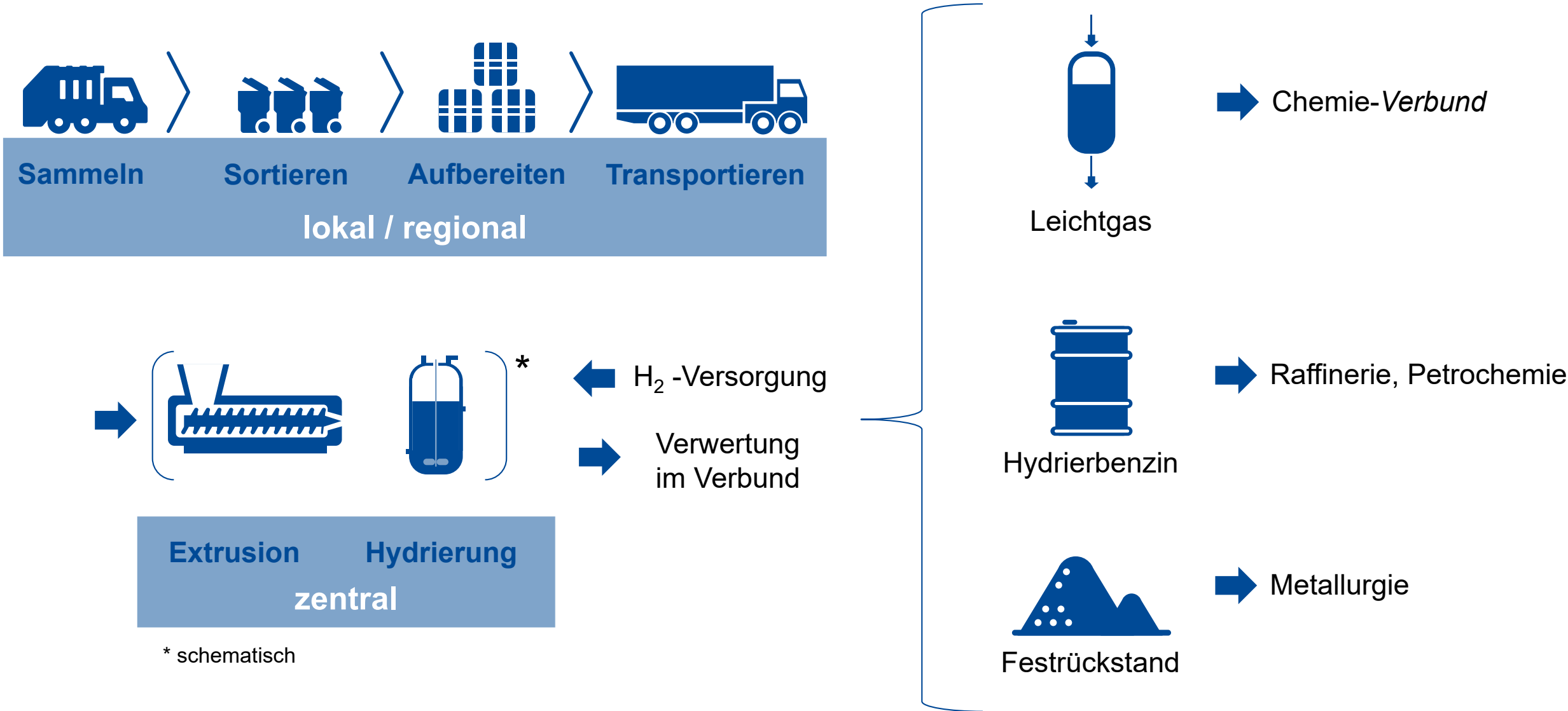
- **Vergasung**: hoher Energiebedarf und ausgedehnte Investitionen in neue Produktionsanlagen.

- **Pyrolysen**: bevorzugt polyolefinreiche Altkunststoffe; Produkte bedürfen hydrierender Nachbehandlung.

⇒ Energie- & investitionseffizientere Recyclingrouten für gemischte Altkunststoffe gesucht.

Neuer Verfahrensansatz: **Direkte Hydrierung von Altkunststoffen** zu Kohlenwasserstoffen

# H<sub>2</sub>Cycle – Integrierter Kreislauf für Gemischte Kunststoffabfälle





# H<sub>2</sub>Cycle II – Zielsetzungen der Untervorhaben

**U0:** Vergleich: HydroCycling mit drei anderen Recycling-Routen

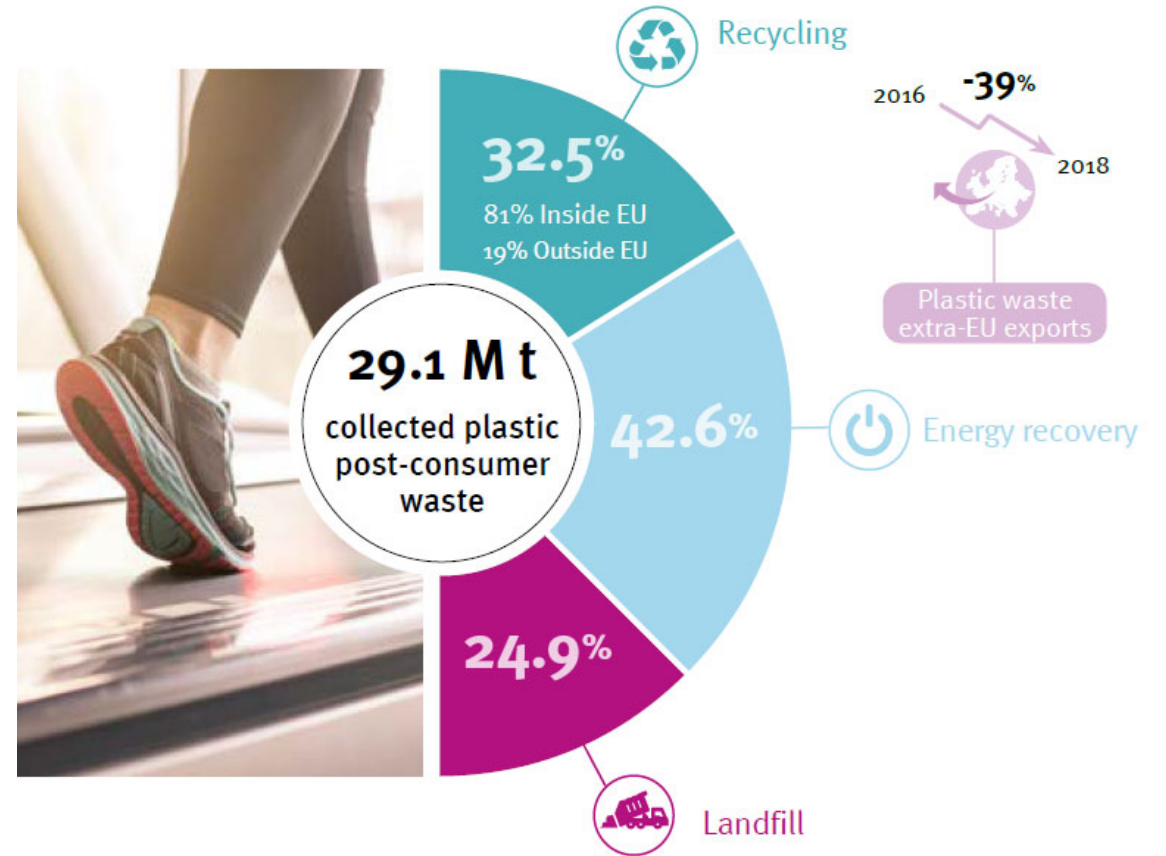
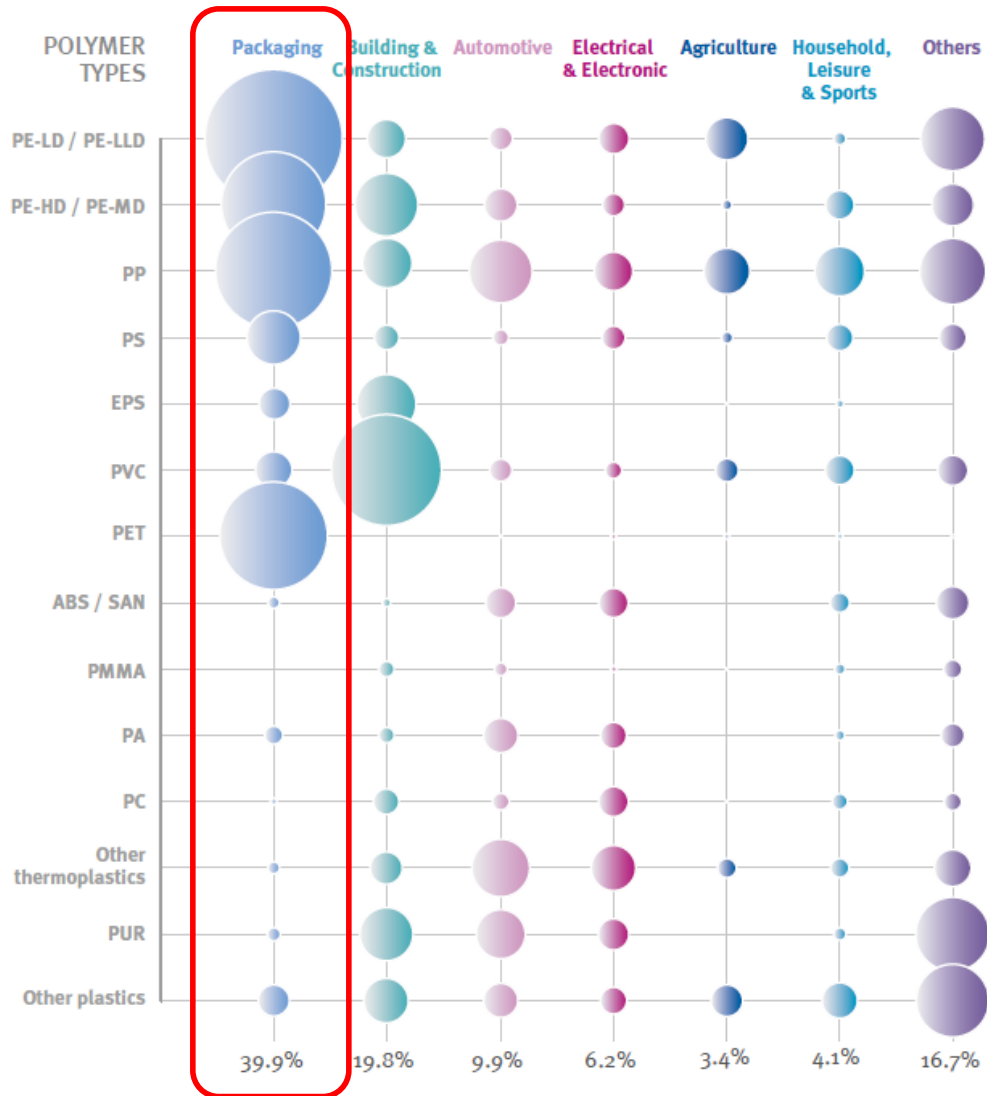
**U1:** Altkunststoff-Versorgung einer kommerziellen HydroCycling-Anlage

**U2:** Verfahren zur Hydrierung von Altkunststoffen

**U3:** Petrochemische und metallurgische Produktverwertung

**U4:** Katalytische Systeme für die Hydrierung realer Altkunststoffe

# H<sub>2</sub>Cycle II – Europäische Kunststoff- & Kunststoffabfall-Mengen

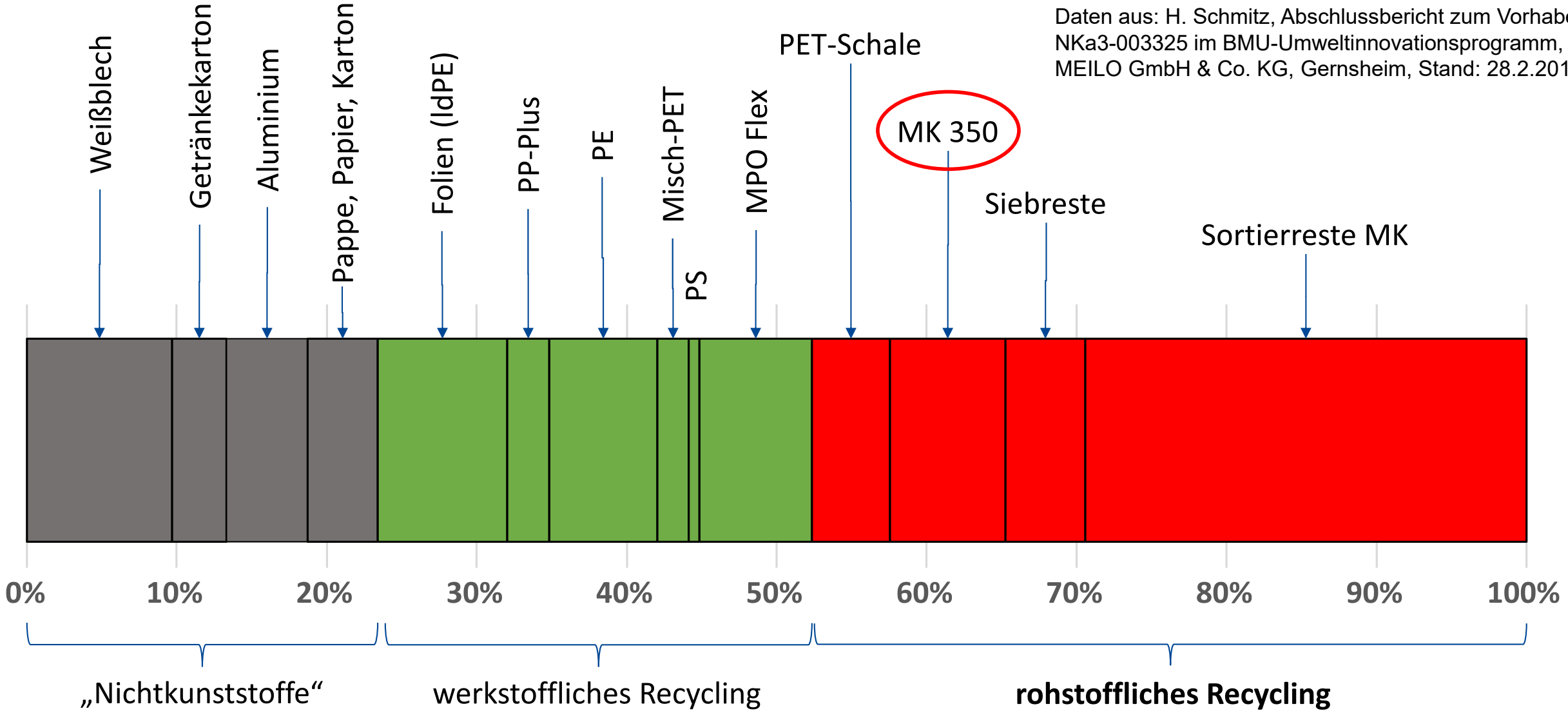


aus: "Plastics – the Facts 2019", PlasticsEurope / EPRO, Düsseldorf, 2019;

## Mengen und Polymertypen in Europa – Kunststoffe & Kunststoffabfälle

# H<sub>2</sub>Cycle II – Zielfraktionen aus dem Dualen System

Daten aus: H. Schmitz, Abschlussbericht zum Vorhaben NKa3-003325 im BMU-Umweltinnovationsprogramm, MEILO GmbH & Co. KG, Gernsheim, Stand: 28.2.2019.



## Rohstoffliches Recycling: Verwertung von schwierig zu recycelnden Fraktionen



# H<sub>2</sub>Cycle

## – Autoklaventests an Polymeren



300 ml



2000 ml

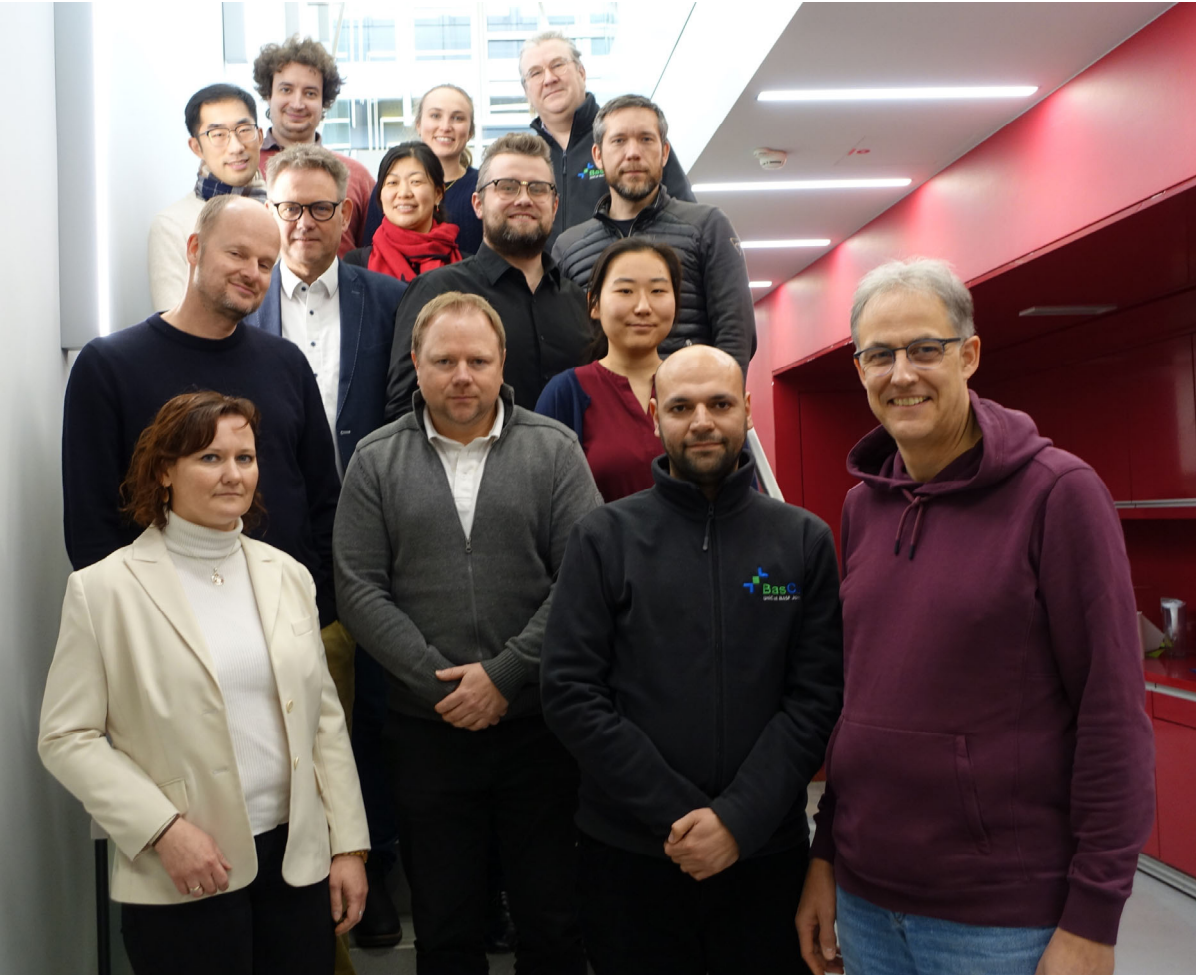
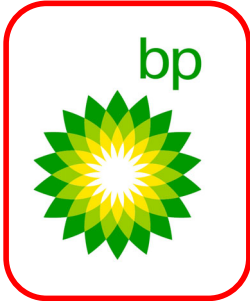


Erste Ergebnisse,  
Patentanmeldung  
in Vorbereitung

Hydrierung zu Kohlenwasserstoffen: Autoklaven in verschiedenen Größen



# H<sub>2</sub>Cycle II – Partner und Unterauftragnehmer



Kick-off meeting, TU Berlin, 7.-8. Dezember 2023



M+ machhammer consulting





# H<sub>2</sub>Cycle II – mehr Details auf den Postern...

03R386A-D

## H<sub>2</sub>Cycle II – Hydrocycling: Gewinnung verwertbarer Altkunststoffe

Ch. Lindner & A. Glüer (Conversio GmbH), P. Döhr (Theo Steil), M. Hechavarria; C. Yin (BASF SE)

### Ausgangssituation und Zielsetzung

Das katalytische Hydrocycling Verfahren soll eine Bandbreite von gemischten und verunreinigten Kunststoffabfällen (KSA) chemisch so zerlegen, dass die entstehenden Bruchstücke direkt in petrochemischen Anlagen zu diversen Produkten weiterverarbeitet werden können. Unsere Aufgabe besteht darin eine potenzielle Hydrocycling-Anlage mit KSA kontinuierlich zu versorgen. Die Trennung, Sammlung und Sortierung von KSA ist jedoch, selbst innerhalb der EU-Mitgliedsstaaten, nicht einheitlich reguliert oder muss erst entwickelt werden. Neben der Betrachtung des Marktes für geeignete KSA und deren Verfügbarkeit, wird die Ausarbeitung eines Logistikkonzeptes eine große Rolle spielen.

### Vorgehen / Verfahrensweise

Der Kunststoffabfallmarkt – an erster Stelle für die Länder DE, BE, NL und FR – wird ganzheitlich untersucht, um geeignete Abfallströme für das Hydrocycling zu identifizieren.

Anteil der verschiedenen Behandlungsverfahren für Alt-KS in EU27+3. Gesamt 32.3 Mt (Quelle: Conversio GmbH)

Im Einzelnen werden folgende Aspekte beleuchtet:

- die Mengen und Verfügbarkeiten der einzelnen Abfallströme unter Berücksichtigung der Wettbewerbssituation
- die Qualität und Zusammensetzung einzelner Abfallströme
- die notwendigen Vorbehandlungsschritte des Abfalls, um als Einsatzstoff für das Hydrocycling geeignet zu sein.
- Regulatorische und ökonomische Faktoren
- Die Ausarbeitung eines Logistikkonzeptes für den potentiellen Anlagenstandort

### Geplante Ergebnisse / Ausblick

Inhaltstoffe SLF/NG	SLF		SLF	
	Ther. Wert	Ther. Wert	Ther. Wert	Ther. Wert
Thermoplastische Kunststoffe	3,72	36,37	4,91	
Herzöhlgeschäufel	5,98	13,57	5,33	
Wärmehaie	9,29	7,23	9,59	
Verbunde	31,18	9,4	9,36	
Stähle	2,65	11,83	2,3	
Edelstähle	5,31	21,41	6,36	
Fasern	7,71	0	1,48	
Styrop	0,83	0	1,69	
Schwamm	3,32	0	4,27	

Herstellung Schredderleichtfraktion und Sortierung der Kunststoffe für das Hydrocycling (Quelle: Theo Steil)

Nach ersten Analysen der KSA-Quellen und Wertschöpfungsstufen wird unser Fokus gerichtet sein auf kunststoffhaltige Abfälle:

- aus Haushalten - gelbe Tonne/Sack - insbesondere Sortierreste aus der Vor- als auch der Nachsortierung (z.B. Fraktion MK 350/MK 352)
- aus der Schredderleichtfraktion (SLF) - aus Altkarossern, Haushaltsgroßgeräten, leichtem Misch- und Sammelschrott.
- aus der potentiellen Sortierung von KSA aus dem Haushaltsrestmüll
- sowie aus dem Sortieren von gemischtem Gewerbeabfall ggf. auch unter Hinzuziehung von Sortierresten von Verpackungen aus Gewerbeabfällen.

### Ergebnisse / Ausblick

Es existieren grundsätzlich genügend Kunststoffabfälle, die als Einsatzstoffe für das Hydrocycling verwendet werden können. Eine Kombination aus verschiedenen Quellen wird notwendig sein. Zukünftige Entwicklungen wie Regularien & Investments erfordern Flexibilität in Bezug auf die Einsatzstoffe und einen robusten Recyclingprozess.

UNTERSTÜTZT VON

Keywords

FKZ 03SR0860

## HydroCycling Zielsetzung: Vom Labor zum Demonstrator

M. Al-Najir\*, S. Riegart\*, P. Wang\*, J. Schönebeck\*, O. Löschke\*, F. Rosowski\*, D. Auhl\*, F. Behrendt\*, M. Bender\*

\* Technische Universität Berlin, Berlin, Germany  
\* BASF SE, Catalysts Research, Ludwigshafen, Germany

### Zielsetzung

In großtechnischen Verfahren Gemischte Kunststoffabfälle chemisch abbauen, um petrochemische Rohstoffe und Basischemikalien zu gewinnen:

- U0: Szenarien für das Altkunststoff-Recycling
- U1: Gewinnung verwertbarer Altkunststoffe
- U2: Hydrierende Altkunststoff-Umsetzung
- U3: Verwertung der Hydrierprodukte
- U4: Katalytische Grundlagen des HydroCycling

### Technische Aspekte

- Mischkunststoff Aufbereitung mittels Extrusion
- katalytische Fragmentierung von Mischkunststoff
- Optimierung der Reaktionsbedingungen
- Katalysatorentwicklung
- Prozessmodellierung
- Produktanalyse z.B. GC, 2D GC, TGA, NMR, DSC

### Inhaltstoffe & Produkte

- PE, PP, PA... → Aliphatische und Iso-Alkane
- PG, PET, PU... → Aromaten
- Anorg. Wertstoffe → Feste Rückstände

### Herausforderungen:

- Art und Wirkweisen von Katalysatoren
- komplexe Produktanalyse
- Abbau- & Prozessverhalten von Polymeren
- Filtration & Extraktion
- Einfluss von Störstoffen

### Vorgehen / Verfahrensweise

Die konkreten Ziele umfassen:

- Entwicklung für Altkunststoff-Dosierung, HydroCycling-Reaktor und Aufarbeitung
- Präparation & Charakterisierung von Hydrocracking-Katalysatoren
- Katalytische Wirkungsmechanismen in Reinpolymer- und Polymergemische
- Numerische Modellierung und Kaltmodell eines HydroCycling-Reaktors

### Extrusion Compounding & Analytik

a) Aufarbeitung: Degradative Extrusion & Compounding

b) Korrelierte Analytik aus Hoch-Druck-Rheometrie plus Mikroskopie & Spektroskopie für Chemisch-Physikalische Eigenschaften (Morphol., Viskosität)

### Reaktionsverhalten

### Modellierung

Simulationsergebnisse zur Fluss- und Phasenverteilung in einem Reaktor (Bildquelle: Lane et al., Ind. Eng. Chem. Res. 2010, 58, 18675-18683)

UNTERSTÜTZT VON

Degradative Extrusion, Katalytisches Hydrocracken, effiziente Extraktion, Modellierung & Simulation

Confidential!



 **BASF**

We create chemistry