

---

# CHEMISCHES RECYCLING VON KUNSTSTOFFABFÄLLEN – MÖGLICHKEITEN UND CHANCEN

REZ Web-Seminar Kunststoffrecycling: Möglichkeiten, Chancen und Grenzen

---

23. März 2022

Martin Nieberl, M.Eng.  
Fraunhofer UMSICHT  
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg  
Abteilung Kreislaufwirtschaft  
Gruppe Recyclingtechnologien  
[martin.nieberl@umsicht.fraunhofer.de](mailto:martin.nieberl@umsicht.fraunhofer.de)  
+49 (0) 9661 8155-414



**Fraunhofer**  
**UMSICHT**

# Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen – Möglichkeiten und Chancen

## Agenda

1. Vorstellung Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
2. Aktuelle Situation der Herstellung und des Abfallaufkommens von Kunststoffen
3. Vorteile und Möglichkeiten des chemischen Recyclings
4. Überblick über chemische Recycling-Verfahren
5. Chemisches Recycling durch Pyrolyse
6. Projektbeispiele
7. Zusammenfassung und Ausblick

# Fraunhofer UMSICHT

## Hauptsitz und Institutsteil

Leiter  
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner



### Fraunhofer UMSICHT OBERHAUSEN

Mitarbeitende	440
Umsatz	39,8 Mio EUR
Technikumsfläche	4500 m <sup>2</sup>



Leiter Institutsteil  
Prof. Dr.-Ing. Matthias Franke

### Institutsteil SULZBACH-ROSENBERG

Mitarbeitende	104
Umsatz	10,2 Mio EUR
Technikumsfläche	2100 m <sup>2</sup>



# Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

## Energie- und Rohstoffwende

### Kreislaufwirtschaft

Chemisches Recycling  
Recycling von  
Kompositmaterialien  
Abfall- und  
Ressourcenstrategien  
Pulvermetallurgie +  
Additive Fertigung

### Dienstleistungen

Prozessentwicklung und  
Pilotanlagenbau  
Analysen und Labor  
Machbarkeitsstudien  
Technologiebewertungen  
Lebenszyklusbewertung

### Energietechnik

Nachhaltige Kraftstoffe  
Nachhaltige Prozesswärme  
und Speicherung  
Negative emission  
technologies

2100 m<sup>2</sup>  
Technika  
und Labore

100  
Wissenschaftler  
und Ingenieure



# Aktuelle Situation

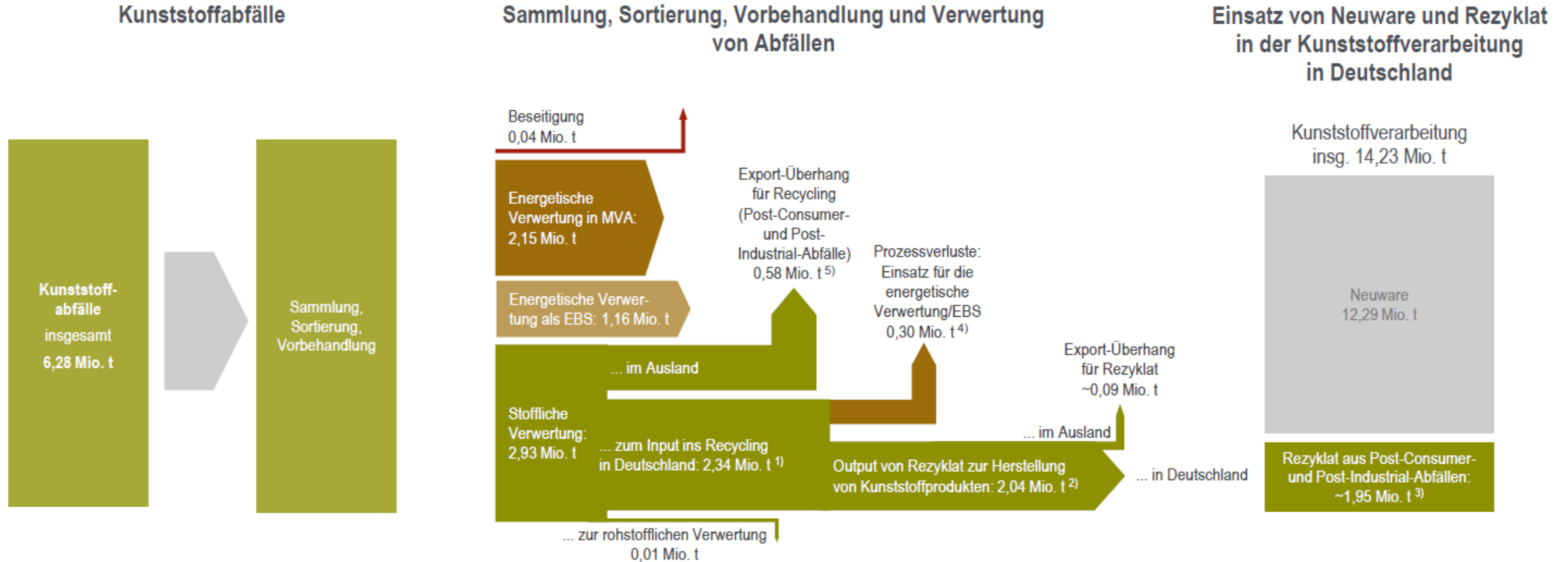
## Herstellung und Verbrauch von Kunststoffen



Quelle: Conversio Market & Strategy (2020) - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019

# Aktuelle Situation

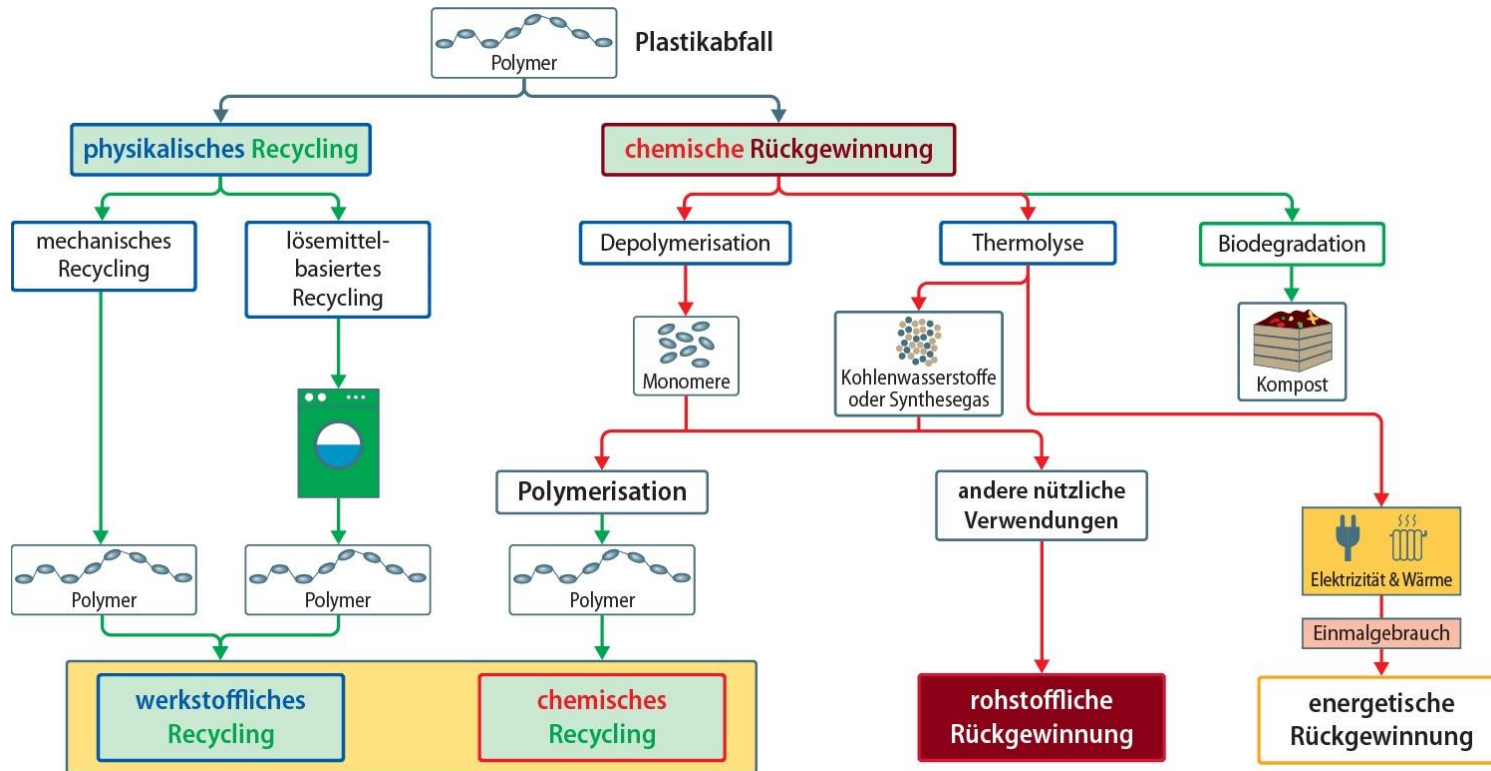
## Abfallaufkommen und -behandlung



Quelle: Conversio Market & Strategy (2020) - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019

# Mechanisches und chemisches Recycling

## Begriffsklärung und -abgrenzung



### Werkstoffliches Recycling:

- Polymerstruktur wird nicht verändert
- Kunststoff bleibt als Material erhalten

### Chemisches Recycling:

- Umwandlung der Polymere in Monomere oder Basischemikalien
- zur Herstellung neuer Kunststoffe

### Rohstoffliche Rückgewinnung:

- Umwandlung der Polymere in Monomere oder Basischemikalien

Quelle: Schlummer et. al (2020) - Die Rolle der Chemie beim Recycling - Physikalisches und chemisches Kunststoffrecycling im Vergleich

# Kunststoffrecycling

## Nicht alle Kunststoffe können mechanisch recycelt werden

- Ungeeignet für mechanisches Recycling
  - Duroplaste / Elastomere
    - Polyester
    - Epoxidharz
    - Formaldehydharz
    - Polyurethan
- Bedingt geeignet für mechanisches Recycling
  - Kontaminierte Kunststoffe
  - Heterogene Kunststoffmischungen
  - Gefährliche Abfälle
  - Multi-Material Mischungen
- Glasfaserverstärkte Kunststoffe (z.B. Rotorblätter)
- Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (z.B. Flug- und Automobilbranche)
- Schäume (z.B. Matrasen, Isolierungen, Schwämme)
- Textilien, Fliese
- Kunststoffe mit Flammschutzmittel oder PoP
- Multi-Layer Kunststoffe
- Sortierrückstände
- Gemischte Kunststoffe
- Schredderrückstände (z.B. Automobile)

# Chemisches Recycling

## Vorteile und Möglichkeiten [UBA]

### Vorteile:

- Einsatz von nicht werkstofflich recycelbaren Abfällen möglich
- Ausschleusen von Schadstoffen möglich
- Geringe Störstoffanfälligkeit

### Möglichkeiten:

- Recyceln minderwertiger Abfälle an Stelle von thermischer Verwertung
- Herstellen von Grundstoffen für die chemische Industrie aus Abfällen
- Kunststoffabfall als sekundäre Kohlenstoffquelle
  - Reduzierter Einsatz fossiler Kohlenstoffquellen
  - Deutliche Senkung von Treibhausgasen

### Verfahren:

Solvolyse, Pyrolyse, Vergasung oder als Reduktionsmittel in Hochofenprozessen

# Chemisches Recycling

## Solvolyse / Depolymerisation

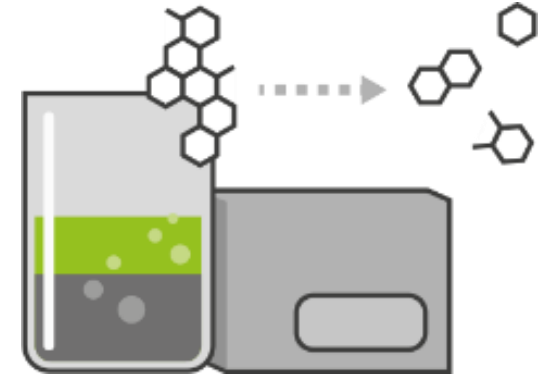
- **Depolymerisation** (Umkehrreaktion von Polymerisation) mit geeigneten Lösemitteln
  - Alkoholyse
  - Glykolyse
  - Hydrolyse
  - Aminolyse
- Anwendbar für Polyadditions- und Polykondensationskunststoffe (e.g. PET, PA, PUR)
- Unterstützt durch Katalysatoren und/oder Mikrowellen
- Produktion von Monomeren und Oligomeren für den direkten Einsatz in der Kunststoffsynthese

### Vorteile

- Hohe Selektivität
- Hohe Ausbeuten
- Hohe Reinheit
- Geringe Kohlenstoffverluste

### Herausforderungen

- Rückgewinnung und Aufbereitung des Lösemittels
- Ungeeignet für heterogene Mischungen und besonders für kontaminierte Kunststoffe



# Chemisches Recycling

## Pyrolyse

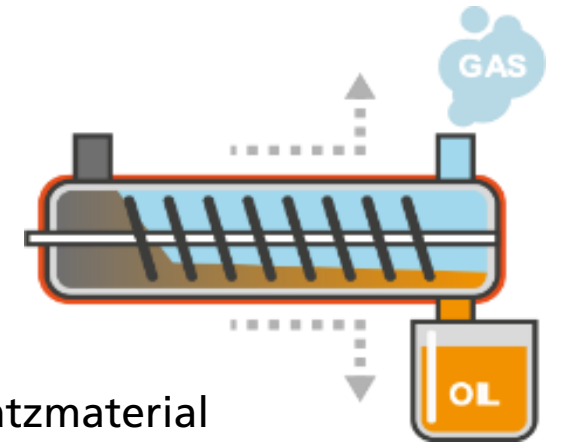
- Thermo-chemische Konversion in O<sub>2</sub>-freier Atmosphäre
- Zersetzung von Kunststoffen in flüssiges, gasförmiges und festes Produkt
- Temperaturen > 300 °C
- Verschiedene Prozessarten (z.B. konventionell, katalytisch)
- Verschiedene Reaktortypen (z.B. Festbett, Wirbelschicht, Drehofen, Schneckenreaktor)
- Flüssiges Produkt für chemisches Recycling
- Gasförmiges Produkt für energetische Nutzung
- Festes Produkt für Metall- oder Keramikrecycling

### Vorteile

- Hohe Flexibilität bzgl. Einsatzmaterial
- Robust gegen Störstoffe (ohne Katalysator)
- Flüssiges Produkt ist reich an werthaltigen Chemikalien

### Herausforderungen

- Weites Produktspektrum (ohne Katalysator)
- Aufbereitung des flüssigen Produktes notwendig
- Kohlenstoffverluste im gasförmigen und festen Produkt



# Chemisches Recycling

## Vergasung

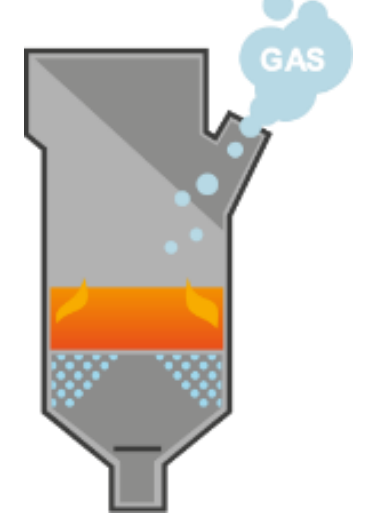
- Thermo-chemische Konversion mit teilweiser Oxidation
- Zugabe von Luft, O<sub>2</sub> und/oder Wasserdampf
- Produktion von Syngas (CO, H<sub>2</sub>) und CH<sub>4</sub> aus Kunststoffabfällen
- Synthese zu Methanol und/oder Olefine
- Verschiedene Reaktortypen (z.B. Festbett, Wirbelschicht)
- Temperaturen 700-1600 °C
- Druck 10-90 bar

### Vorteile

- Höchste Flexibilität bzgl. Einsatzmaterial
- Vielfältig einsetzbares Produkt
- Hoher Entwicklungsstand
- Gute Skalierbarkeit

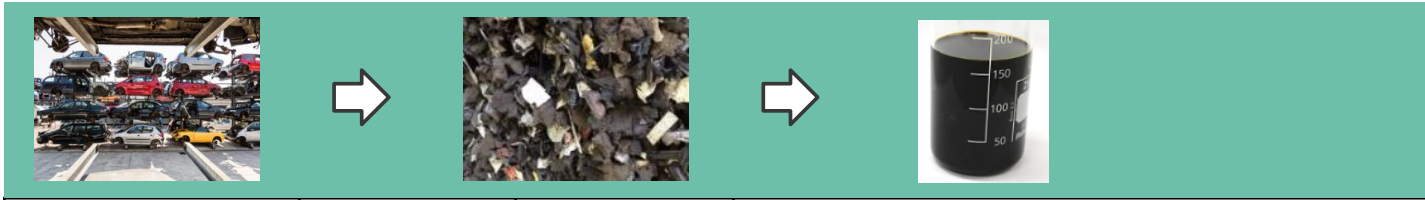
### Herausforderungen

- Teerbildung während Prozess
- Hoher Aufwand zur Reinigung des Syngases
- Höchster Aufwand bei der Resynthese von Kunststoffen
- Kohlenstoffverluste durch teilw. Oxidation



# Fraunhofer UMSICHT – Chemisches Recycling

## Beispiel Schredderleichtfraktion (SLF) aus Altfahrzeugen



		SLF		Pyrolyseöl
Ausbeute	ma.-%	--	24,3	Komponenten area.-%
Heizwert	MJ/kg	18,7	37,8	
Wassergehalt	ma.-%	2,8	0,4	Styrol 39,3
TAN	mg KOH/g	--	9,3	Ethylbenzol 16,3
C	ma.-%	42,5	79,2	Toluol 15,4
H	ma.-%	5,4	7,1	$\alpha$ -Methylstyrol 10,0
N	ma.-%	1,4	2,1	Phenol 4,1
S	ma.-%	0,4	0,2	Benzol 3,2
Cl	ma.-%	1,3	0,1	o-Xylol 3,0
Br	ma.-%	0,1	<0,1	
Anorg. Elemente	ma.-%	17,0	0,7	

### Flüssiges Produkt:

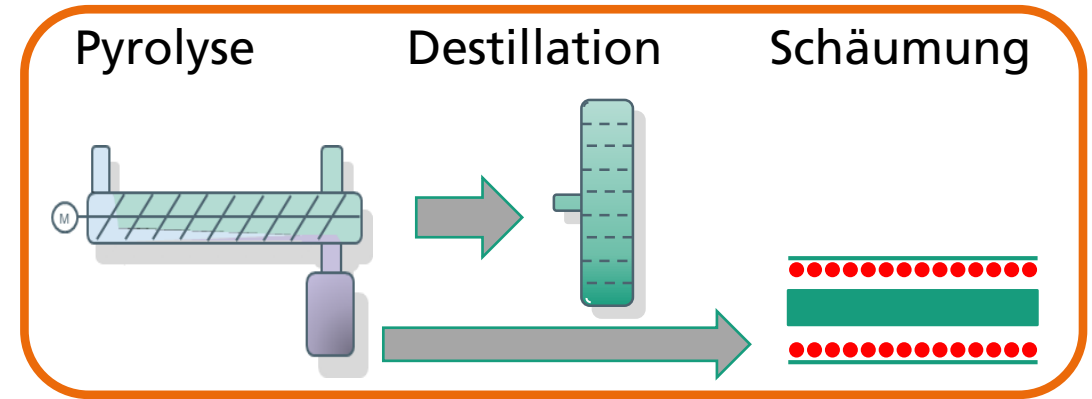
- Enthält Wasser und Heteroatome
- Hoher Heizwert
- Hoher Anteil an werthaltigen Aromaten

# Chemisches Recycling bei Fraunhofer UMSICHT

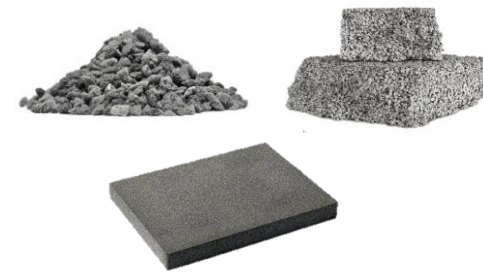
## Recycling von Rotorblättern aus Windkraftanlagen

### Ganzheitliches Recycling von Rotorblättern

- Pyrolyse zersetzt und verdampft Kunststoffe  
→ Trennung von Kunststoff und Glasfasern
- Thermischen Verfahren gewinnen einzelne Chemikalien aus flüssigem Produkt
- Glasfasern zu Isolationsmaterial Schaumglas  
→ Rohstoffliche Rückgewinnung und Nutzung der Glasfasern und der Kunststoffmatrix



Endprodukt  
GFK-Schaumglas



Endprodukt  
Chemikalien

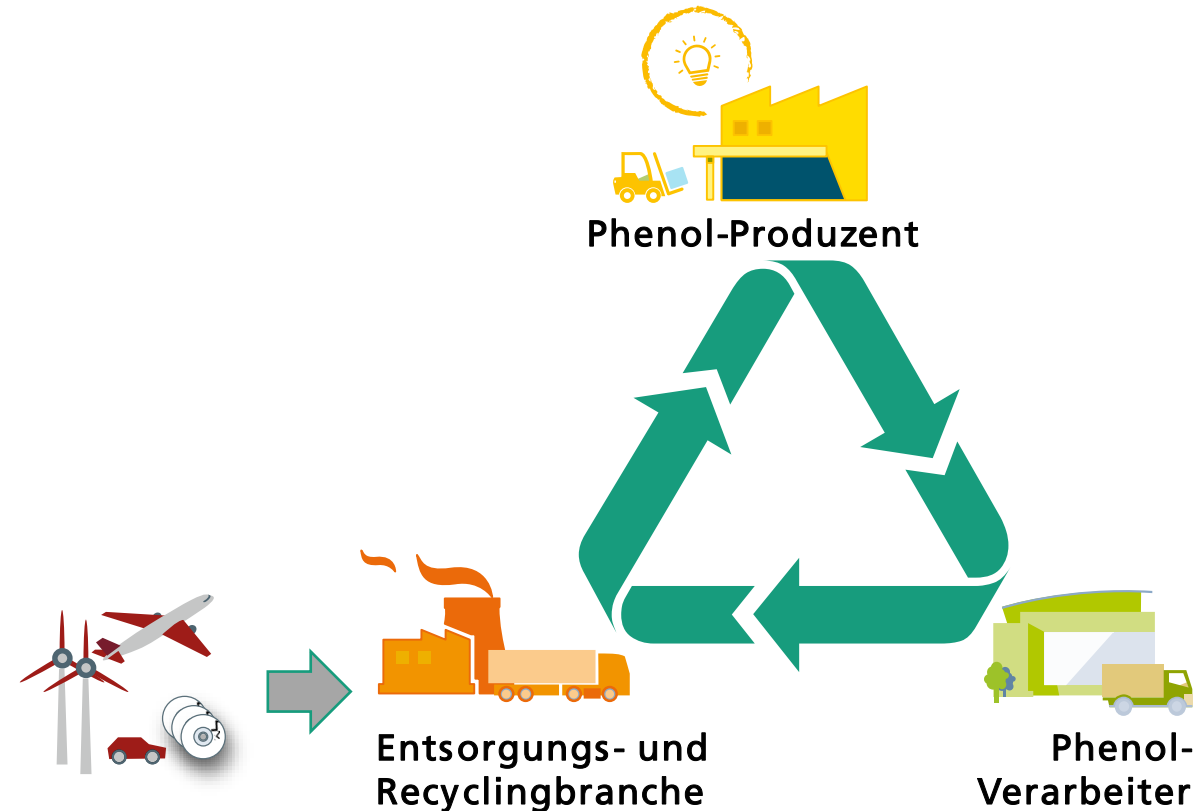


# Chemisches Recycling bei Fraunhofer UMSICHT

## Phenolrückgewinnung aus Verbundmaterialien

### Aromatenproduktion aus Kunststoffabfällen

- Pyrolyse zersetzt Epoxid- und Phenolharze zu Phenol
  - Flüssiges Produkt ist reich an Phenol
  - Aufreinigung und Trennung liefert Phenol mit Reinheit von >99 %
  - Phenol als Grundchemikalie für die chemische Industrie und als Ausgangsstoff für Epoxid- und Phenolharze
- Chemisches Recycling von Phenol



# Chemisches Recycling

## Zusammenfassung und Ausblick

- **Chemisches Recycling** kann substantziell zu einer **Kreislaufwirtschaft** für Kunststoffe beitragen
- Es sollte sich ausschließlich auf **Abfälle** beschränken, die **nicht werkstofflich recycelt** werden können
- Die **technische Machbarkeit** wurde im Labormaßstab mehrfach **erwiesen**
- **UpScaling** und **Langzeitkampagnen** um technische Machbarkeit auch im industrienahe Betrieb nachzuweisen
- Auf dieser Grundlage sollen **ökonomische und ökologische Bewertungen** angestellt werden
- Die **breite und industrielle Umsetzung** des chemischen Recycling benötigt außerdem
  - Sektorintegration → Energie, Chemie und Abfallmanagement
  - Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette (vom Abfall bis zum Endprodukt)
  - Minimierung von Kohlenstoffverlusten



# Fraunhofer

## UMSICHT

## Danke für Ihre Aufmerksamkeit



**Martin Nieberl, M.Eng.**  
Recyclingtechnologien  
Abteilung Kreislaufwirtschaft  
[martin.nieberl@umsicht.fraunhofer.de](mailto:martin.nieberl@umsicht.fraunhofer.de)  
+49 (0) 9661 8155-414

**Fraunhofer UMSICHT**  
**Institutsteil Sulzbach-Rosenberg**  
An der Maxhütte 1  
92237 Sulzbach-Rosenberg  
[www.umsicht-suro.fraunhofer.de/en.html](http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/en.html)