

Malte Vogelgesang, M.Sc.

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Waste4Future

Mit digitalen Techniken zur „optimalen“ Sortierung

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Standorte in Deutschland



Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit **76** Institute und Forschungseinrichtungen mit mehr als **30.000** Mitarbeitenden in Deutschland

Hauptstandorte ●
Nebenstandorte ○



Das Fraunhofer IWKS

Alzenau, Bayern – Hanau, Hessen

Alzenau, Bayern



Bioökonomie

Aus biogenen Rohstoffen nachhaltige sowie leistungsstarke Produkte und Prozesse entwickeln



Digitalisierung der Ressourcen

Steigerung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von Produktsystemen entlang ihres Lebenszyklus



Energiematerialien

Recyclingkonzepte für Batteriematerialien und elektronische Bauteile sowie Faserverbundleichtbau mit Rezyklatwerkstoffen

Hanau, Hessen



Magnetwerkstoffe

Synthese und Recycling von Hochleistungspermanentmagneten im Technikumsmaßstab





© Wikipedia, Ole Poulsen



© Pixels, Pixabay



© Alberto Saz/AP



© Achilleas Chiras/dbpa



Projekt Waste4Future

Waste4Future

Fraunhofer-Leitprojekt

Vom Abfall zum Rohstoff

Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft

Es werden neue Möglichkeiten für ein Recycling geschaffen, aus dem hochwertige Ausgangsstoffe entstehen. Die entstehenden Lösungen sollen es ermöglichen, den im Kunststoff enthaltenen Kohlenstoff im Kreislauf zu führen. Statt in Form von CO₂ zur globalen Erwärmung beizutragen oder als Plastikmüll die Umwelt zu belasten, steht er als »grüne« Ressource für die Industrie bereit.

Details

- Fördervolumen: 8,8 Mio. €
- Förderprogramm: Fraunhofer-Leitprojekt
- Zeitrahmen: 01.01.2021 – 31.12.2024
- Homepage: www.waste4future.fraunhofer.de



Der Abfall von heute
ist die Ressource von
morgen.«

Waste4Future-Projekt,
Fraunhofer IWKS, FHR, LBF, IKTS, IMWS, IOSB, IVV, IZFP

Betrachtete Abfallströme

Kunststoffhaltige Abfälle bislang in thermischer Verwertung

Schredderleichtfraktion (SLF)



Sinkgut Gelber Sack (DSD)

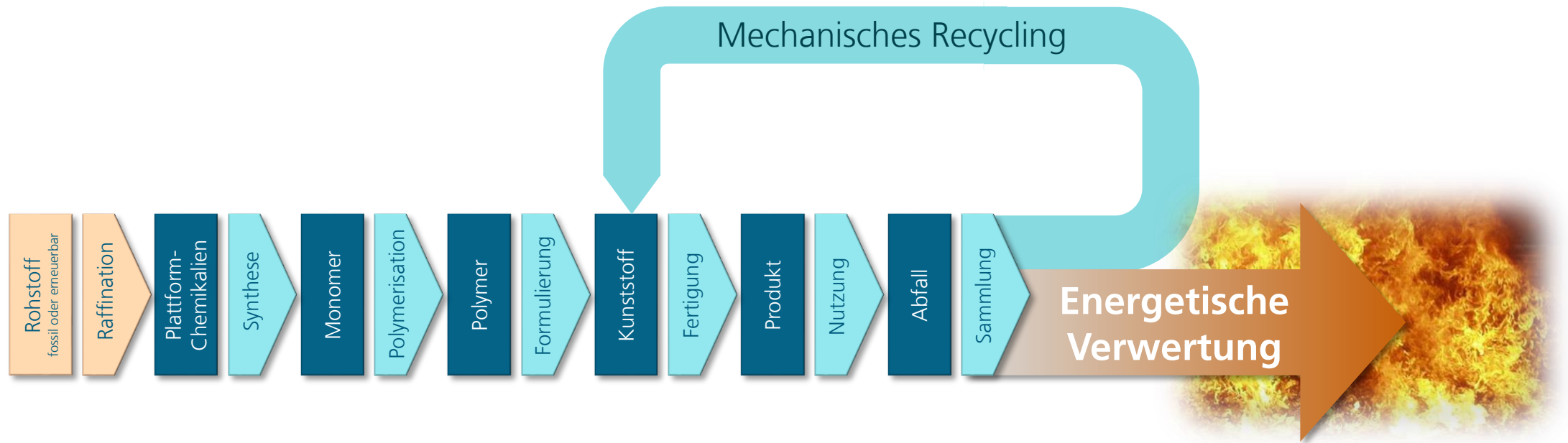


Verwertung von Kunststoffabfällen

Status Quo

Herausforderung

- Keine ausreichende Kreislaufwirtschaft
- Mechanisches Recycling abhängig von möglichst reinen Kunststofftypen



Verwertung von Kunststoffabfällen

Status Quo

Herausforderung

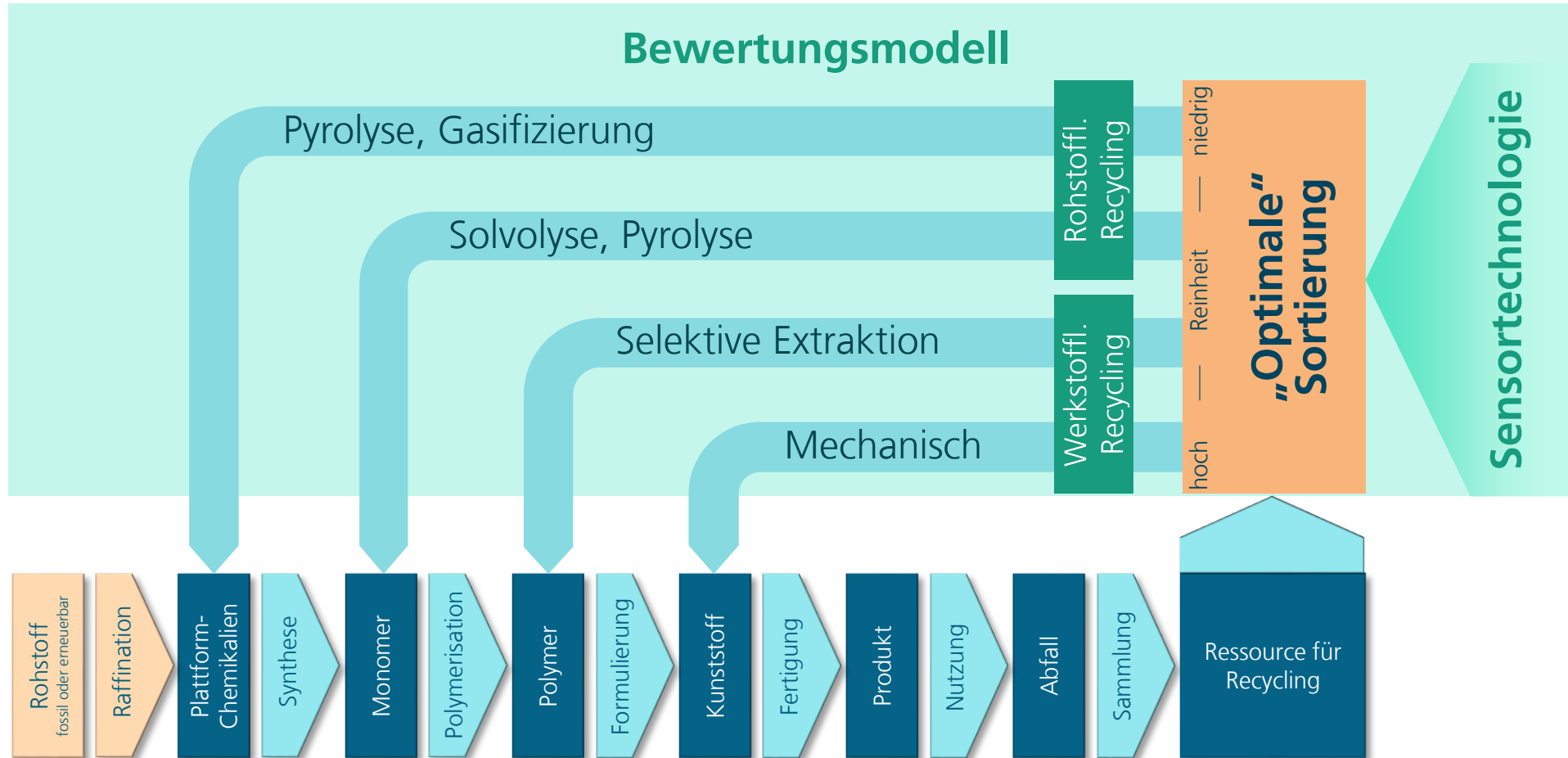
- Keine ausreichende Kreislaufwirtschaft
- Mechanisches Recycling abhängig von möglichst reinen Kunststofftypen

Wie kommen wir zum Kreislauf?



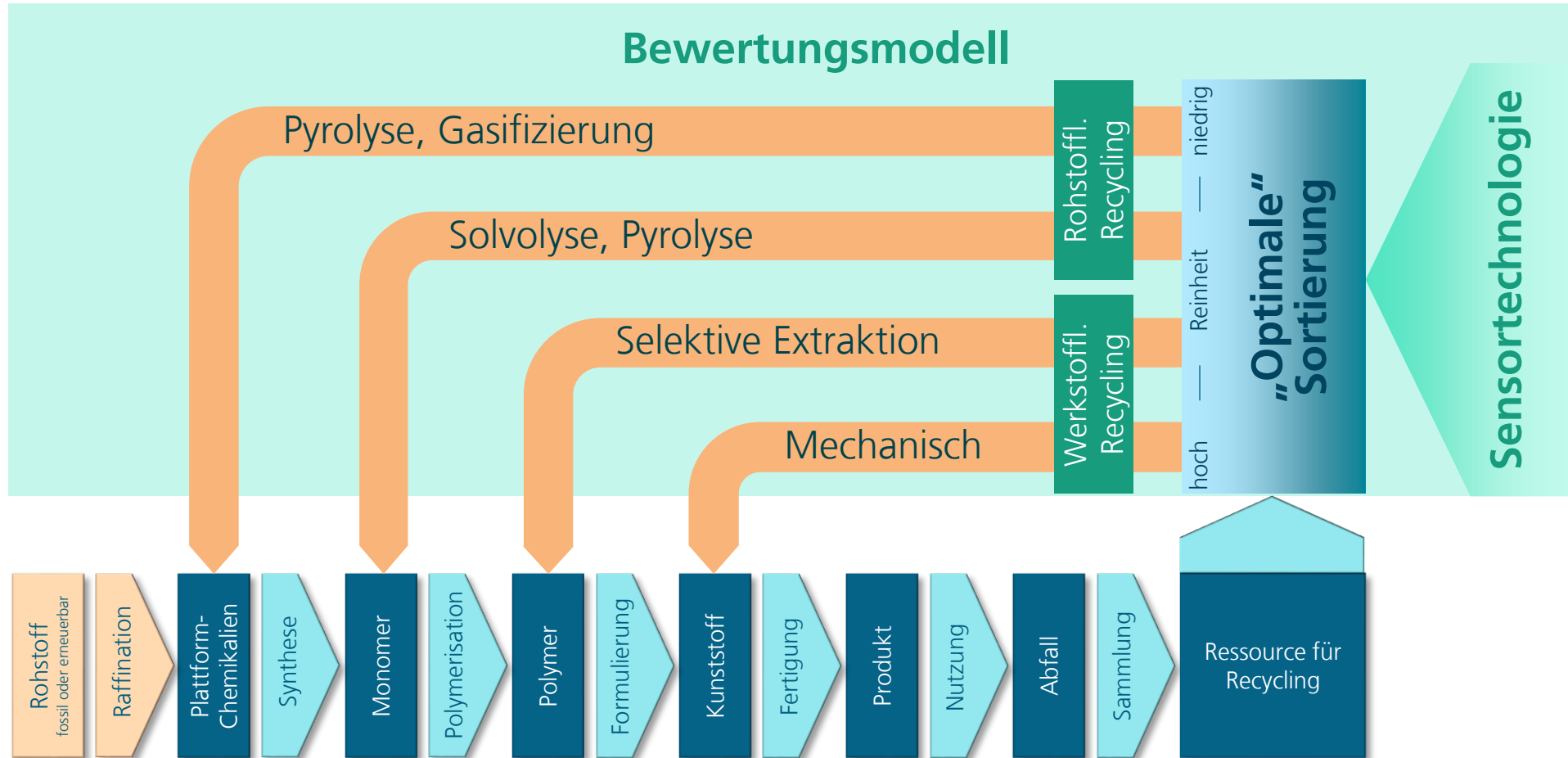
Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



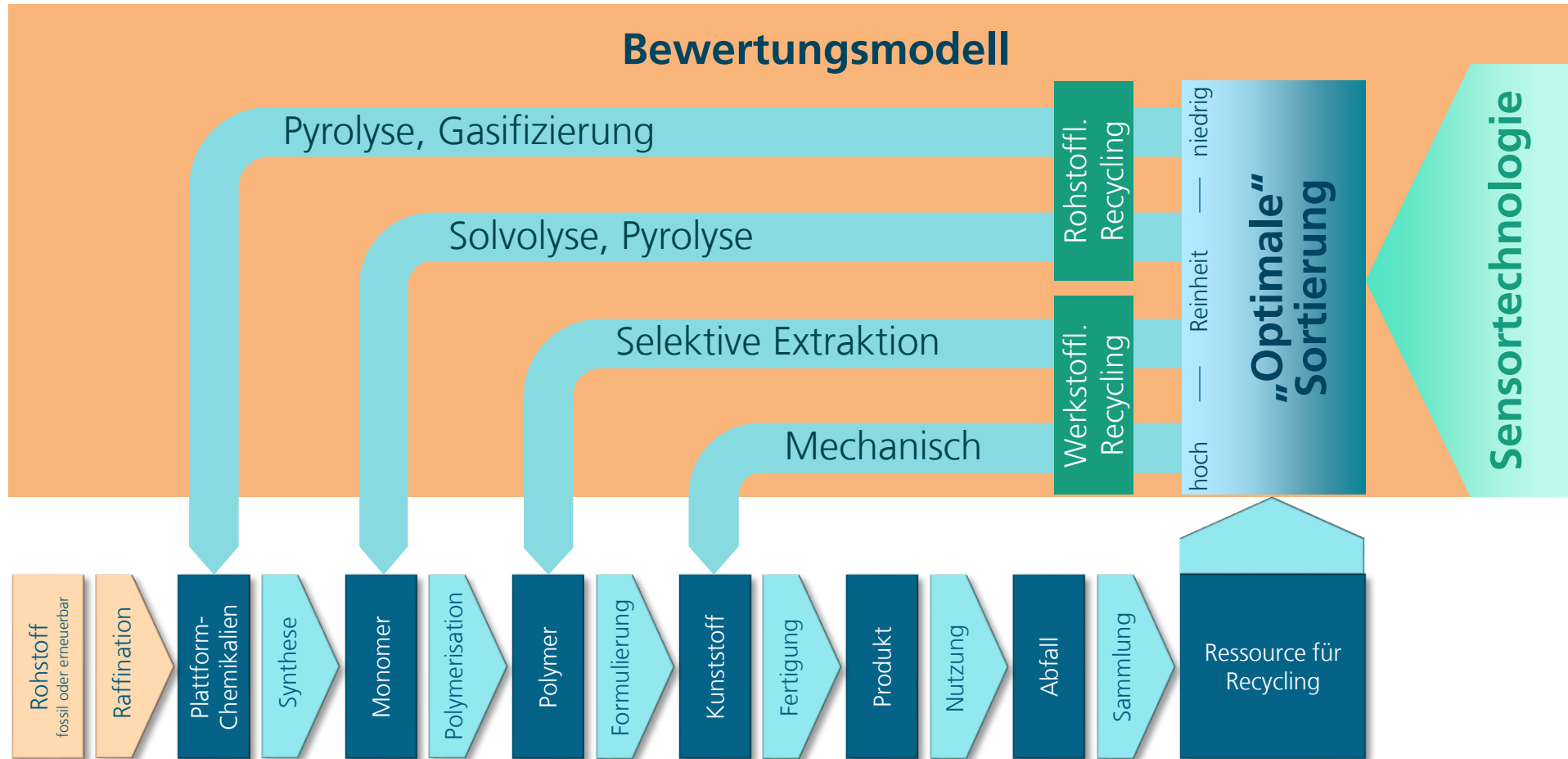
Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



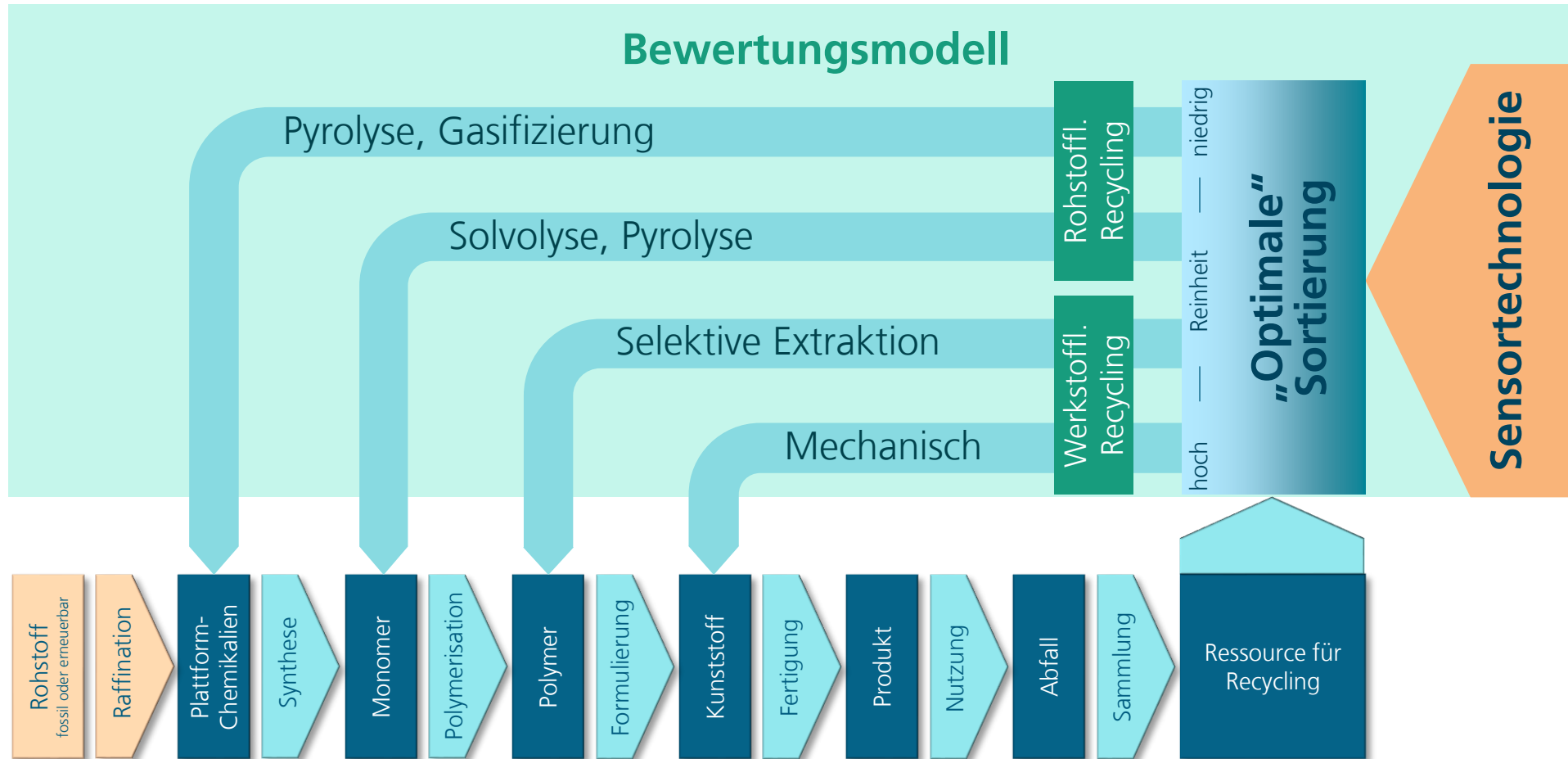
Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision

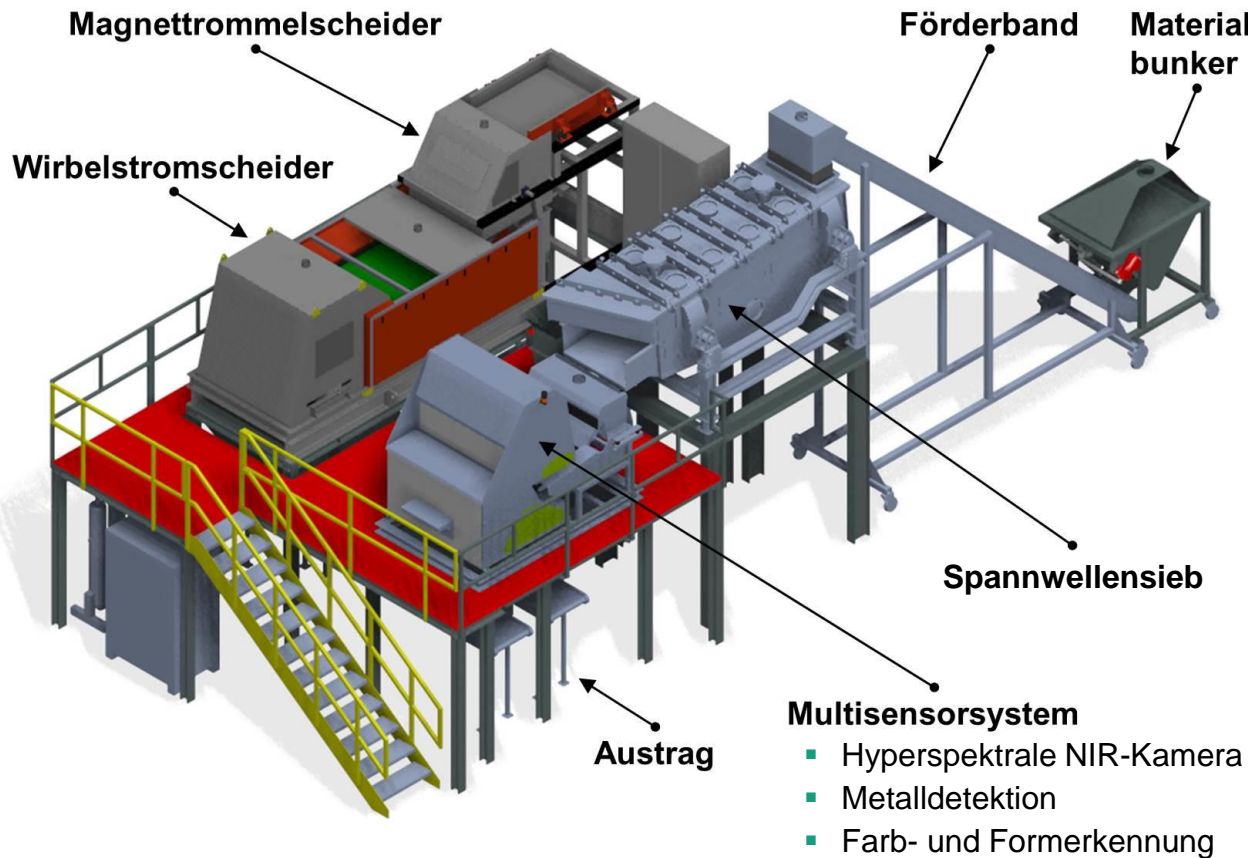




Sortierung und Sensorik

Modulare Sortieranlage

Sensorbasierte Sortierung



Flexible Prozessführung durch Verkettung einzelner Sortierschritte

- Beliebige Reihenfolge von Sortierschritten
- Wiederholen von Sortierschritten
- Auswertung von Maschinen- und Sensordaten mittels Machine Learning

THz-Sensor

Sensorentwicklung

THz-Sensor

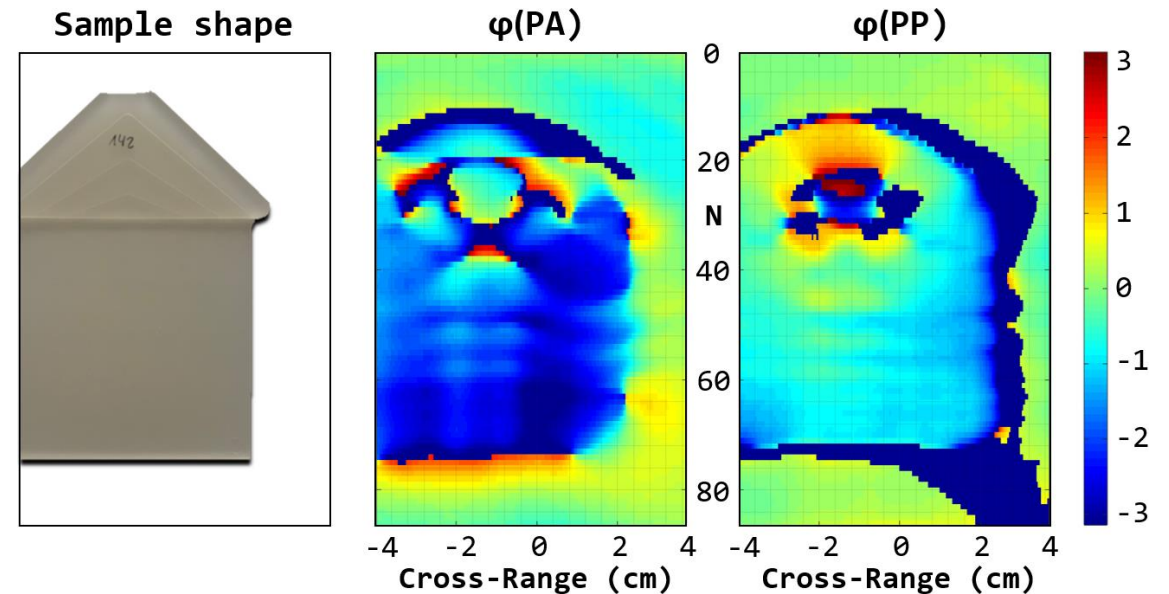
Eigenschaften

- 32 Sende- und Empfangskanäle (TRX)
- Frequenzbereich 120 GHz – 170 GHz
- Messrate (abbildend*): aktuell bis zu 250 Hz
- Ausgangsleistung max. 6 dBm
- Öffnungswinkel $\pm 45^\circ / \pm 5^\circ$
- Abstand zwischen Antennenelementen 2.1mm
- 6 Module pro System kombinierbar (192 TRX-Kanäle)
- 24V Versorgungsspannung @ 2A
- Datenschnittstelle via Ethernet/RJ45
- Schlanke Modulgröße 20 x 8 x 12 cm³

*Algorithmik zur MIMO-Prozessierung auf Grafikprozessor (CUDA)



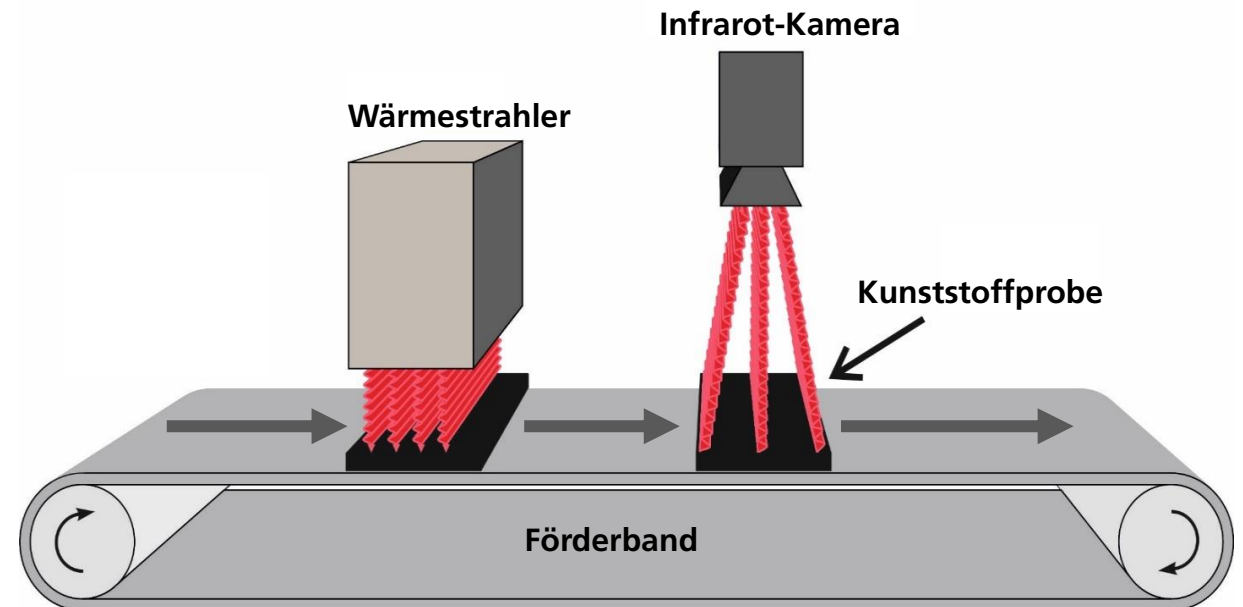
32-channel MIMO Sensor
(Antenne designed von IMST GmbH)



Thermographie-Sensorik

Funktionsweise

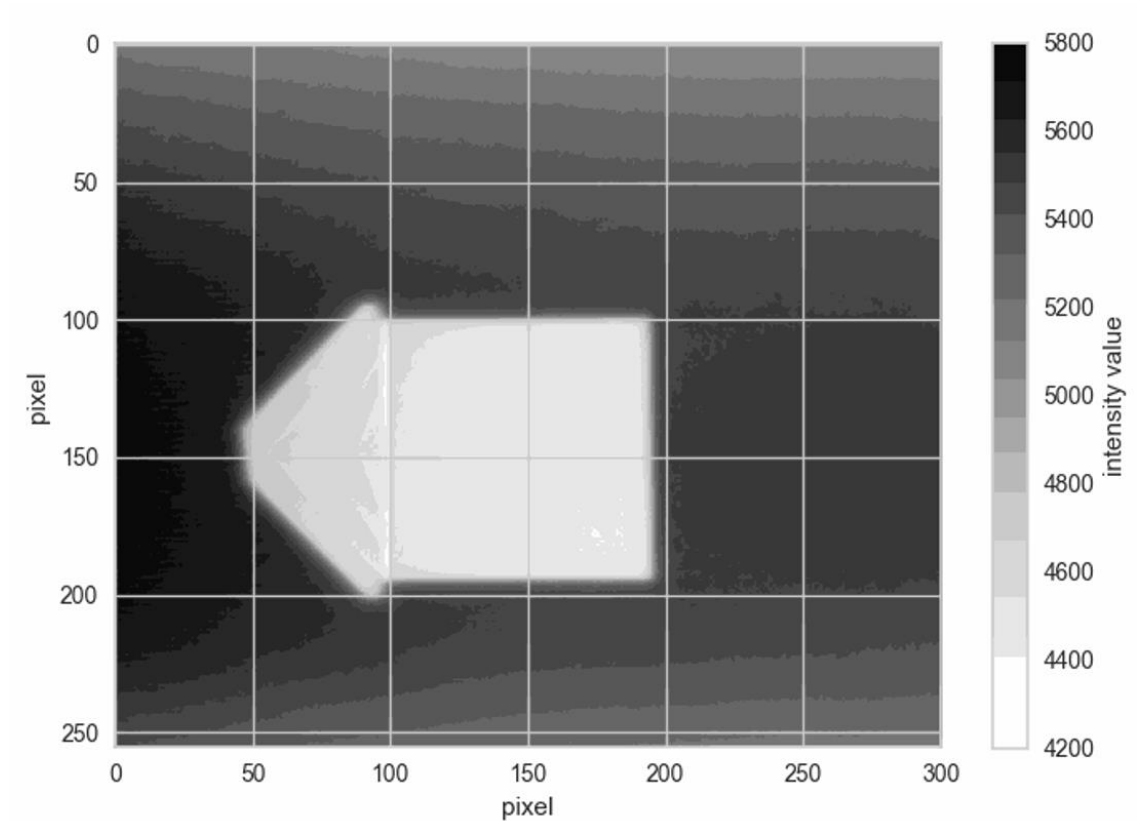
- Förderband bewegt Proben (~10 cm/s)
- Infrarot-Heizung erwärmt die Proben
- 2D-Infrarotkamera erfasst IR-Emission
- Abdeckung der gesamten Breite des Bandes
- Videosequenz der Probe während der Bewegung
- Erstellung von Abkühlkurven der Proben



Thermographie-Sensorik

Funktionsweise

- Förderband bewegt Proben (~10 cm/s)
- Infrarot-Heizung erwärmt die Proben
- 2D-Infrarotkamera erfasst IR-Emission
- Abdeckung der gesamten Breite des Bandes
- Videosequenz der Probe während der Bewegung
- Erstellung von Abkühlkurven der Proben



Sortierdemonstrator

Sortierung schwarzer Kunststoffe mit THz-Zeilenscanner

- Beschickung mittels Linearförderer
- Transport mittels Förderbands (ca. 1 m/s)
- Pneumatische Trennung

- Aufbau mit Farbzeilenkamera, SWIR-HSI, Thermografie, Ultraschall und THz + 3DLT bestückbar
- Schwarze Kunststoffe: Klassifizierung mittels THz-Sensors

- Sensordatenfusion in Fusionskoordinatensystem
- Synchronisation über Sensorabstand (Kalibrierkörper) und Timestamp (NTP-Synchronisation)

- Analyse der Alterung von PP (und PA) mittels NIR

- Video: Sortierung von zwei Fraktionen
 - Polyamid (linker Container)
 - Nicht-Polyamid (rechter Container)

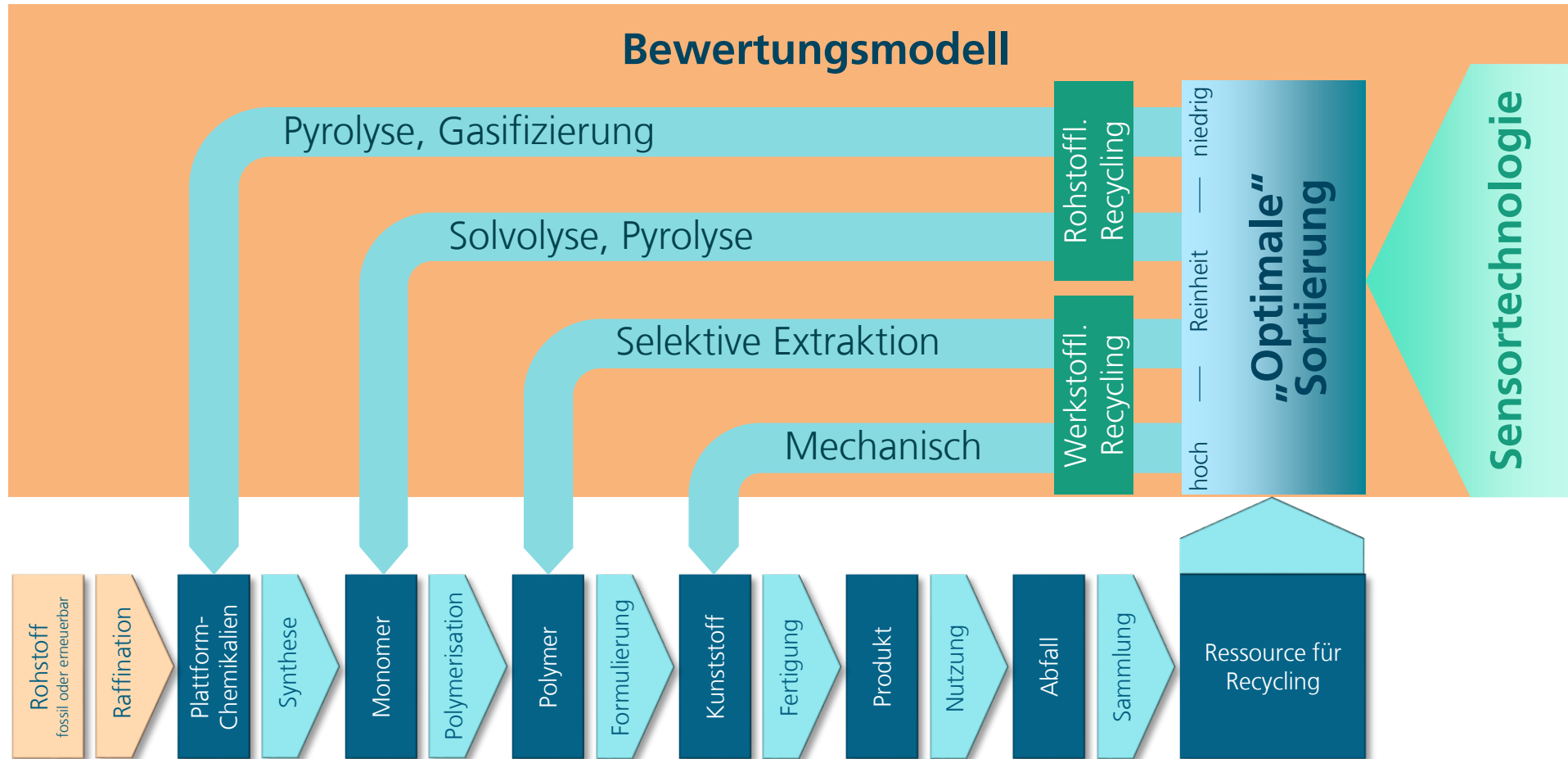




Prozessmodellierung und Bewertung

Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



Datenquellen

Stoffstrom, Prozess, Markt und Umwelt

Materialdaten

- Sensor-System neu entwickelter Technologien

Prozessdaten

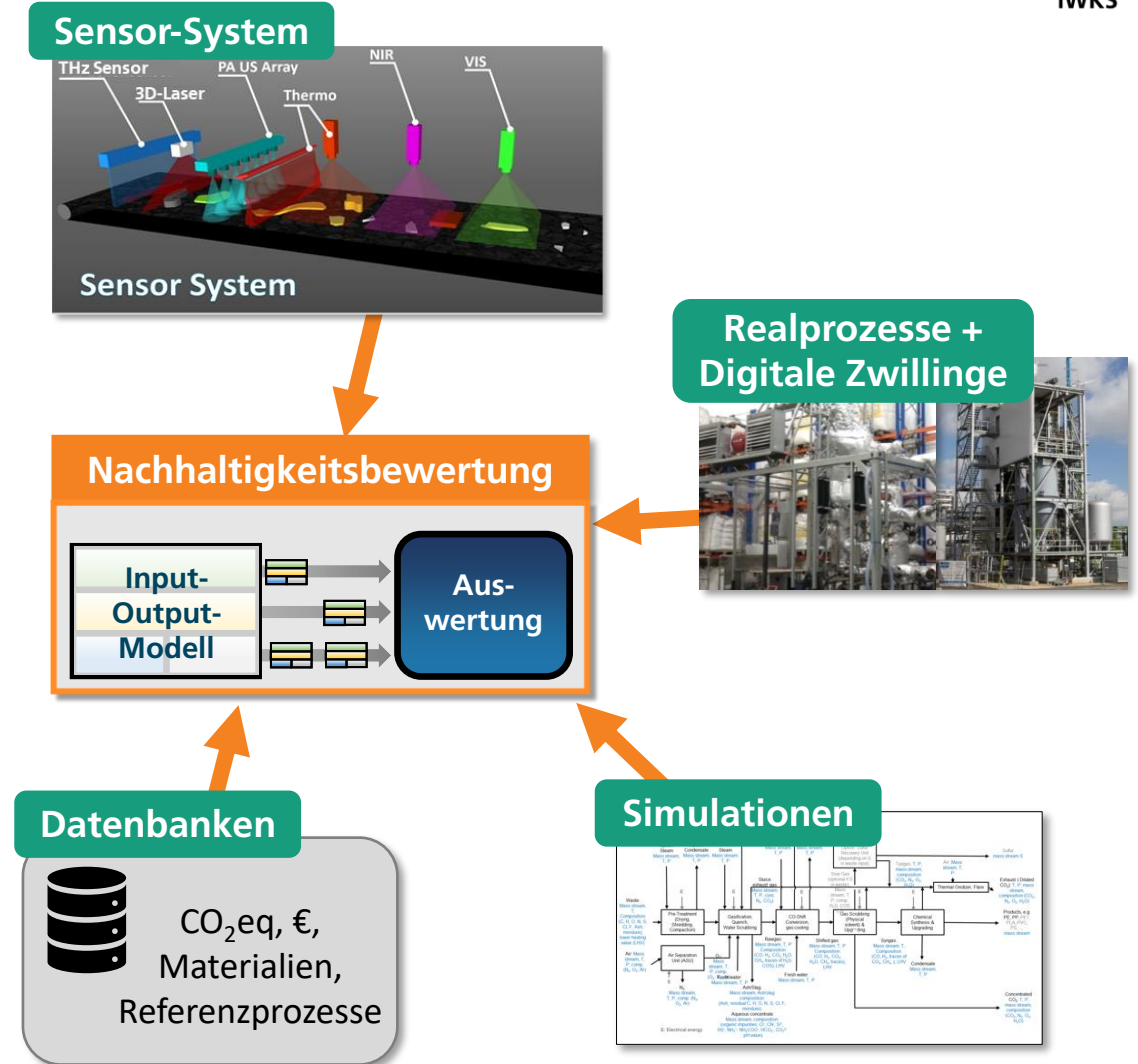
- Labor-, Technikums- und industrielle Anlagen
- Digitale Zwillinge
- Verfahrenstechnische Simulationen im Industriemaßstab

Preisinformationen

- Marktdatenbanken zu Strompreisen, Rezyklatpreisen und Rohmaterialien
- Eigene Datenbank, gespeist von Partnern und aus Projekten

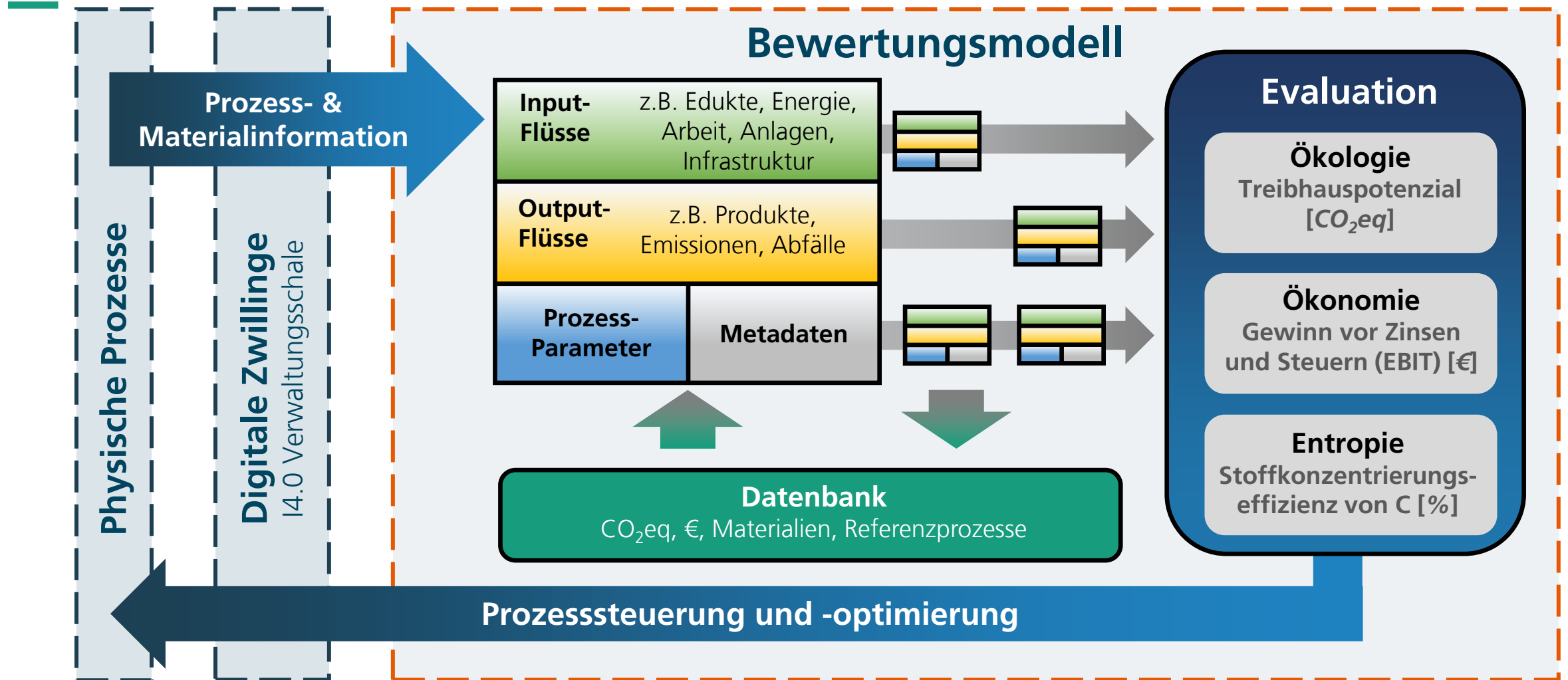
Umwelteinflüsse

- Renommierte Ökobilanz-Datenbanken



Bewertungsmodell und Digitale Zwillinge

Schnittstellen zwischen physischer und digitaler Welt

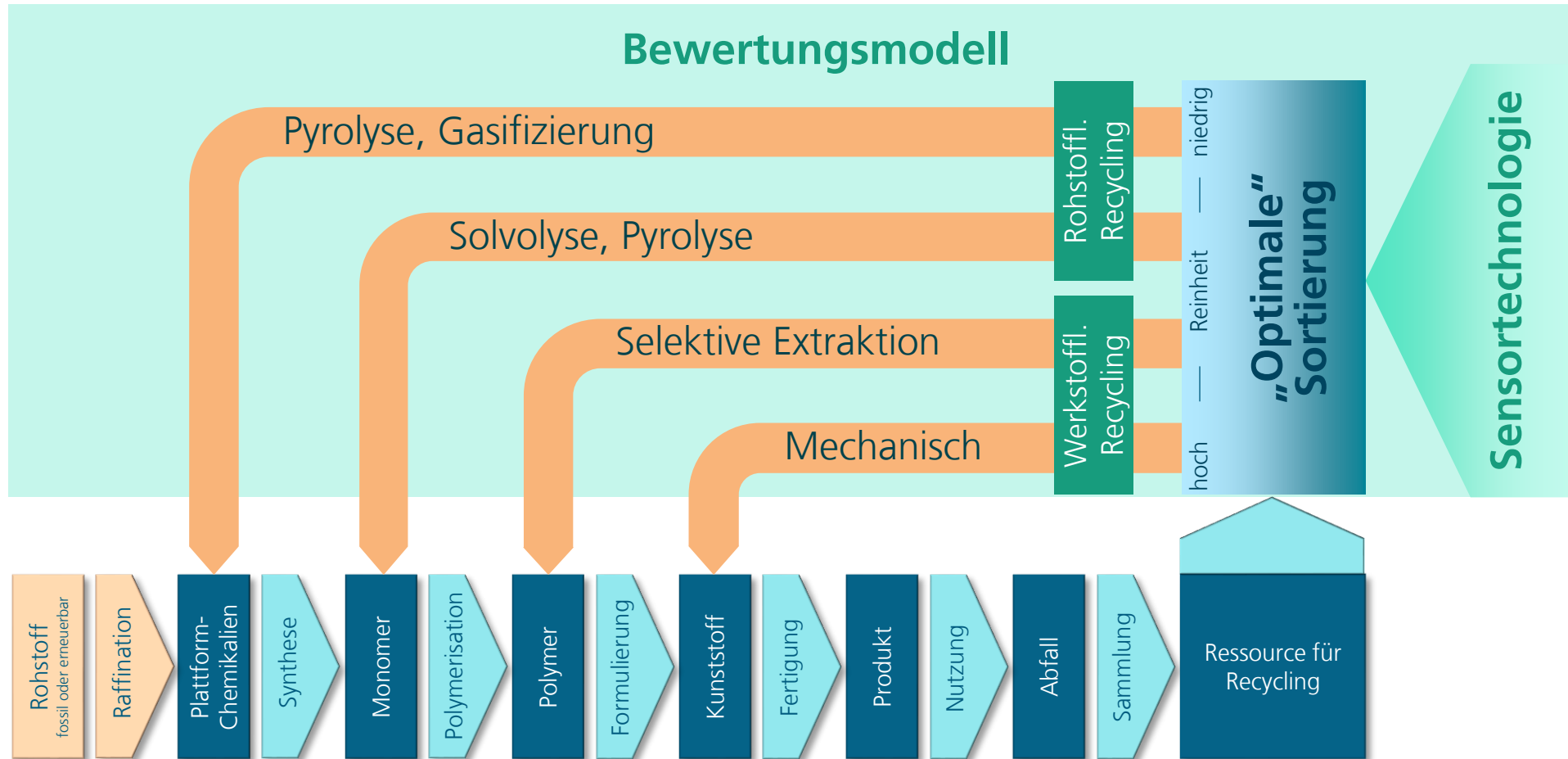


A photograph of a complex industrial facility, likely a recycling plant. The scene is filled with a dense network of metal pipes, structural steel beams, and various pieces of machinery. In the foreground, a large, conical stainless steel tank is mounted on a metal frame. To the right, there are yellow safety railings on a platform. The background shows more industrial structures under a bright sky. A teal-colored rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing white text.

Recyclingverfahren und energetische Verwertung

Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



Mechanisches Recycling

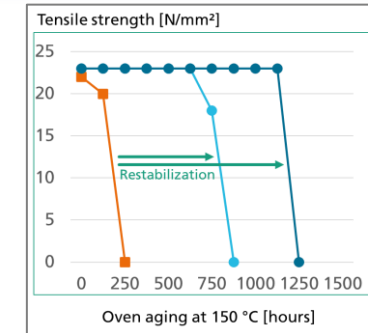
Re-Additivierungskonzepte



- Optimierte Additivzugabe über **Online-Rheologie**

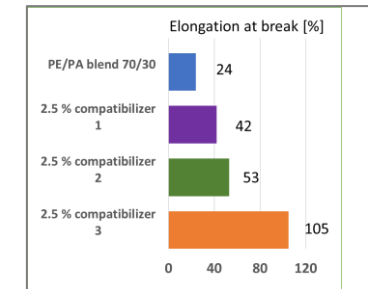
Re-Stabilisierung

- Alle thermoplastischen Polymere
- Lebensdauer und Recycling-Stabilität



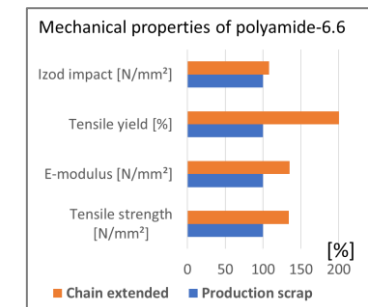
Kompatibilisierung

- Mischungen oder PCR
- Abhängig von Zusammensetzung



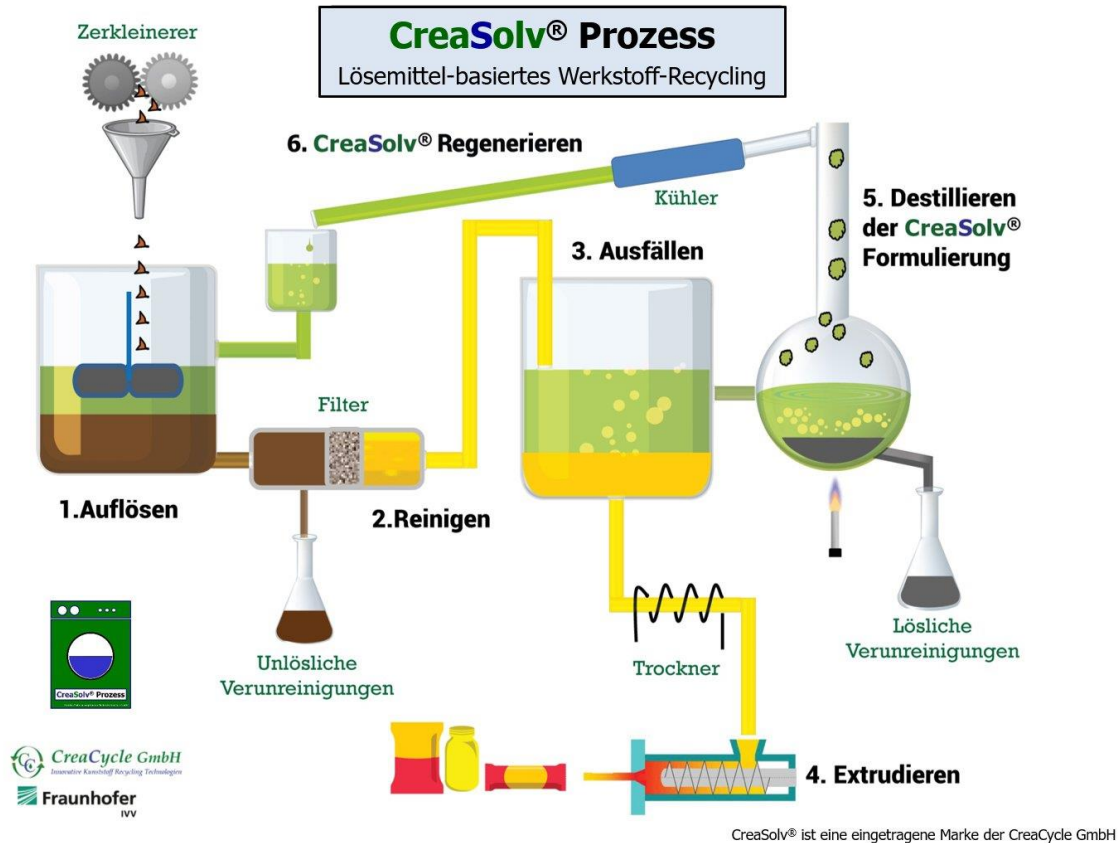
Kettenverlängerung

- Polykondensate
- Reaktive Extrusion, Reparatur



Selektive Extraktion

CreaSolv®-Prozess



Vorteile

- Anwendbar für alle Thermoplaste
- Spezifische und sichere Lösungsmittel
- Abscheidung von Verunreinigungen und Störstoffen



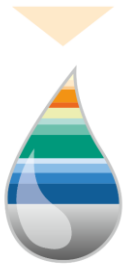
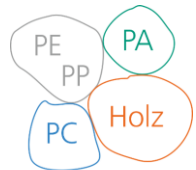
- Frei von Fremdpolymeren
- Frei von Verunreinigungen und schädlichen Substanzen
- Konkurrenzfähig gegenüber Neuware



- Von Labormaßstab bis TRL 8

Direktpyrolyse

Gesamtmaterial



Hoher Aufwand für Auftrennung oder Upgrading

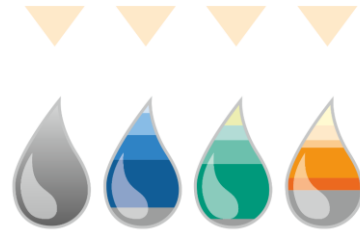
Mit Vorkonditionierung

Entfernung von Heteroatomen



Geringerer Aufwand für Upgrading?

Getrennte Fraktionen



Dedizierte Methoden zur Auftrennung

Labor- und Technikumsuntersuchungen

ALPA Festbettreaktor



Pyrolyse-Drehrohrofen



Gase

Flüssigkeiten

Feststoffe

Philipp-Henry Rathsack @Fraunhofer IKTS

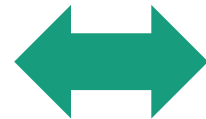
Gasifizierung

Sammeln von Validierungsdaten auf industrierelevantem Maßstab

Daten aus Labor und Technikum



Vergleich mit Daten von
Großanlage



Finale Validierungsdaten / ASPEN-Modell



Technische Daten

Betriebsdruck	40 bar(Ü)
Betriebstemperatur	900 – 2.000 °C
Thermische Leistung	10 MW
Sauerstoffbedarf	bis zu 430 Nm ³ /h
Dampfbedarf	bis zu 450 kg/h
Syngas-Menge	bis zu 2.300 Nm ³ /h

David Scheithauer @Fraunhofer IKTS

Thermische Verwertung

Verbrennung mit Energiegewinnung



Thermische Verwertung

„Produkte“

- Abfallentsorgung
- Strom
- Wärme

Kraftwerkstypen

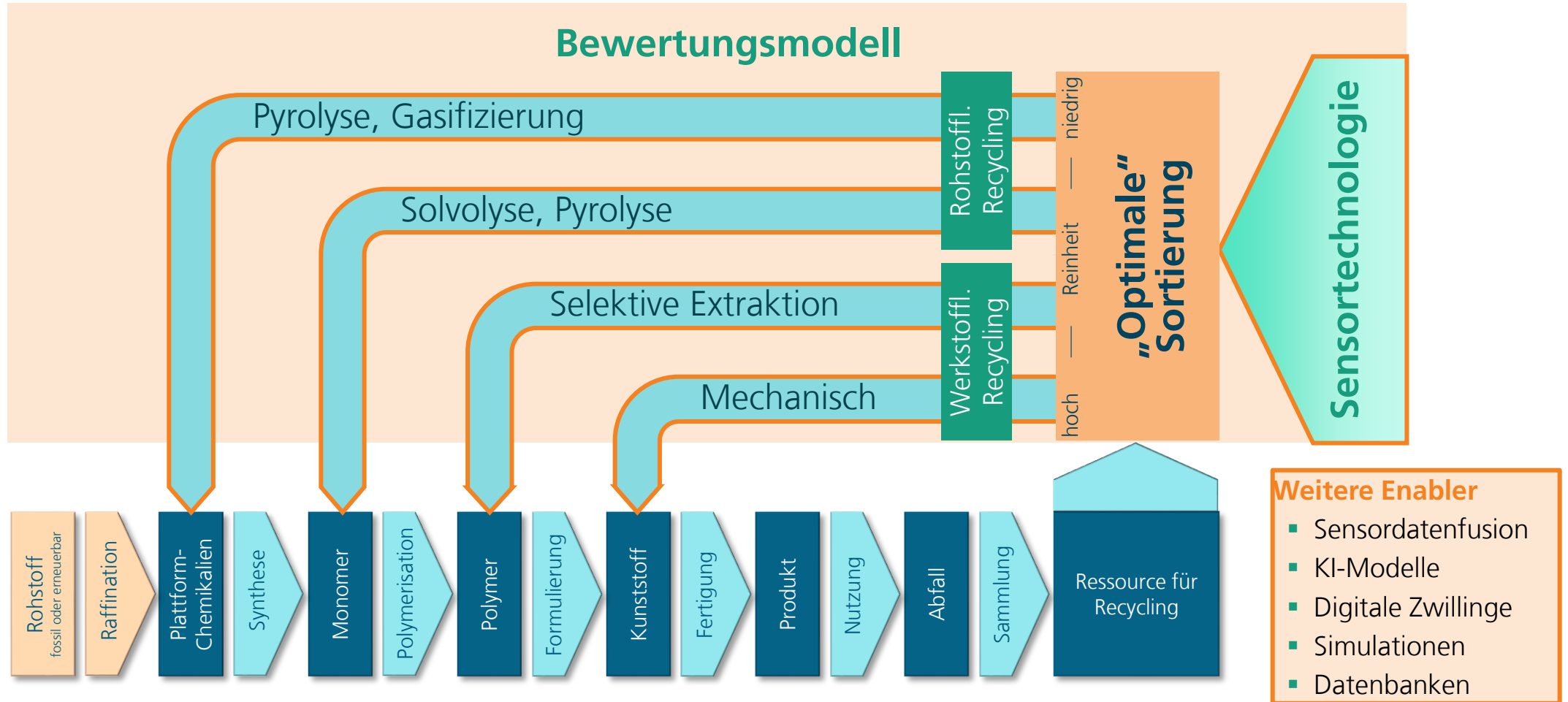
- Ersatzbrennstoff (EBS)-Kraftwerk
- Müllheizkraftwerk (MHKW)

Modellierung

- ASPEN-Simulation thermischer Verwertungsprozesse
- Orientierung an bestehenden Anlagen hinsichtlich Kapazität und Wirkungsgrad

Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision



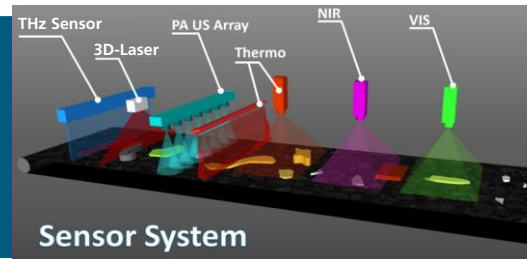
Zusammenfassung

Eine „optimale“ Sortierung stellt die Weichen für ein erfolgreiches Recycling

1

WAS?

Sortierung auch schwarzer Kunststoffe



Die Zukunft der **Kreislaufwirtschaft** liegt in einer stärkeren **Vernetzung** der Akteure und Prozesse.«

Abteilung Digitalisierung der Ressourcen
Fraunhofer IWKS

2

WONACH?

Anhand der Bewertung von Prozesspfaden

Nachhaltigkeitsbewertung



3

WARUM?

Für effektive und effiziente Recyclingprozesse





Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



Kontakt

Malte Vogelgesang, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Digitalisierung der Ressourcen

Fraunhofer IWKS

Brentanostr. 2a, 63755 Alzenau

malte.vogelgesang@iwks.fraunhofer.de

