

***Aktuelle Forschungsthemen im Bereich  
Kunststoffsartierung und Anforderungen an  
Sensor Based Sorting & Control***

EcoPhotonics – Photonik und künstliche Intelligenz für Nachhaltigkeit,  
Ressourcen- und Energieeffizienz - 08.03.2022

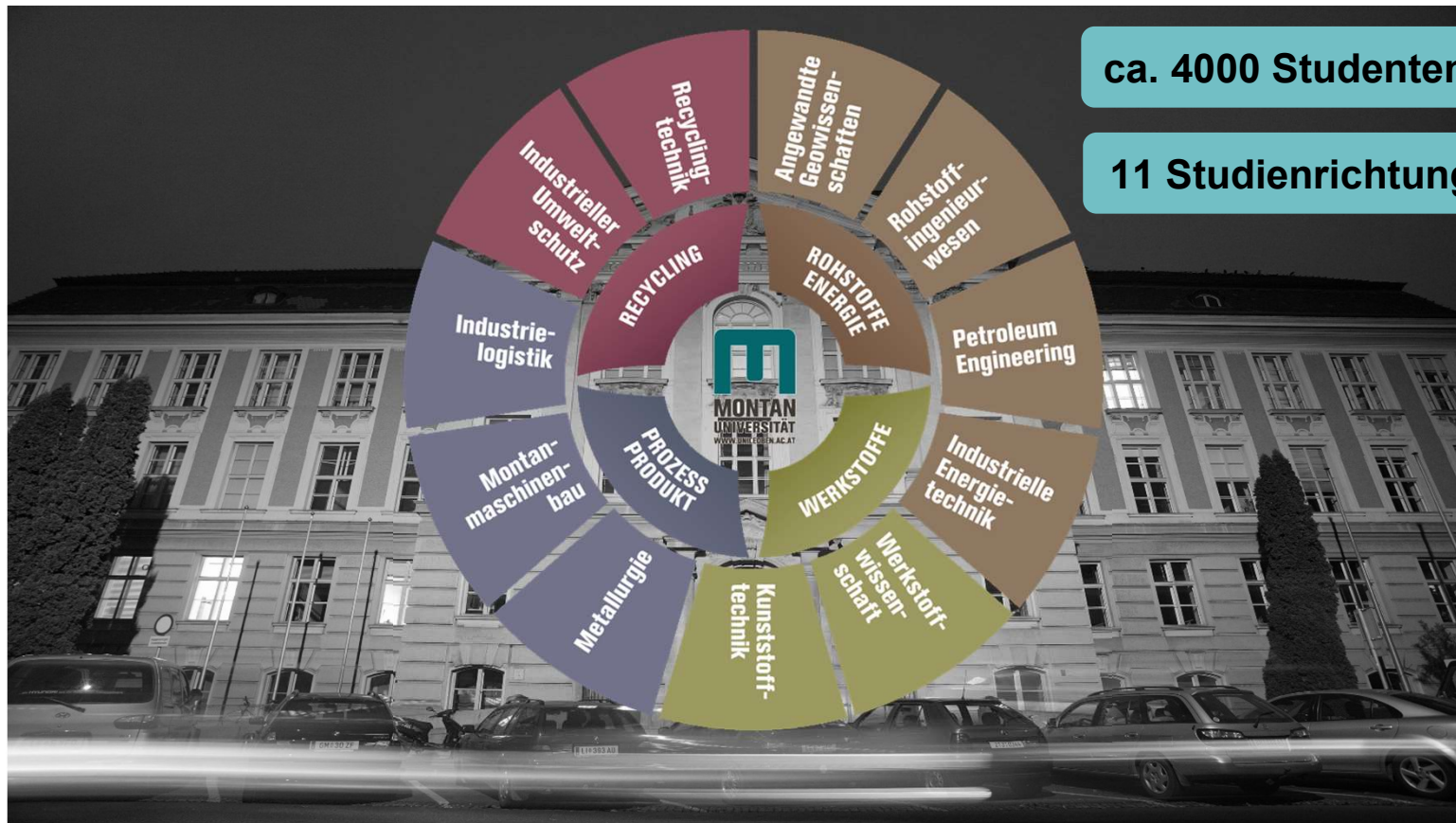
Reinhold Huber

# Inhalt

---

- Vorstellung
- Kunststoffkreislauf
- Sensor based Sorting & Control (SBSC)
- Forschungsprojekte

# Montanuniversität Leoben



ca. 4000 Studenten

11 Studienrichtungen

# Kunststoffrecycling - Leoben

DEPARTMENT FÜR

**Umwelt- & EnergieverfahrenSTECHNIK**





# LS – Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

## Fakten

- 5 Arbeitsgruppen
- ~ 30 Mitarbeiter (18 Dissertanten)
- ~ 20 laufende Forschungsprojekte
- ~ 100 Kooperations- & Industriepartner
- 25 Abschlussarbeiten (BA, MA, DISS)



Prof. Roland Pomberger, Lehrstuhlleiter

## Forschungsthemen

- Altlastensanierung
- Abfallwirtschaftliche Systeme & Stoffströme
- Mechanisch-sensorische Aufbereitung
- Bewertung (Recyclingfähigkeit, LCA, ...)

Umweltanalytik



Dr. Alexia Aldrian

Materialorientierte  
Abfalltechnik



Dr. Daniel Vollprecht

Prozessorientierte  
Abfalltechnik



Dr. Renato Sarc

Digitale  
Abfalltechnik



Dr. Reinhold Huber

Future Waste &  
Abfallwirtschaft



Dr. Thomas Nigl

## Analyselabor (Akkreditiert nach EN ISO/IEC 17025)

- Abwässer, Abfälle, und Böden
- Prozessprodukten und –rückständen

## SBS-Labor und Technikum

- SBS bezogene Rohgutanalysen
- Versuchstechnische Simulation und Validierung

# AG Digitale Abfalltechnik - Themenfokus

- **Technologie**

- sensor-basierte Maschinen-, Prozess- und Qualitätskontrolle
- sensor-basierte Klassifizierung und Sortierung

SBSC

- **Stoffströme**

- Kunststoffabfälle,
- Bio-Abfälle,
- Metallschrott,
- Altglas, ...

Sekundärrohstoffe

- **Tätigkeit**

- Rohgut- und Produktanalysen
- Applikationsvalidierung und -evaluierung
- Erforschung und Entwicklung von Klassifikationsverfahren
- Erforschung und Entwicklung Sortierverfahren und -prozessen



# *Inhalt*

---

- Vorstellung
- Kunststoffkreislauf
- Sensor based Sorting & Control (SBSC)
- Forschungsprojekte

# Produktion vs. Recycling



**Europa:**  
**55 Mio. t**  
Produktion



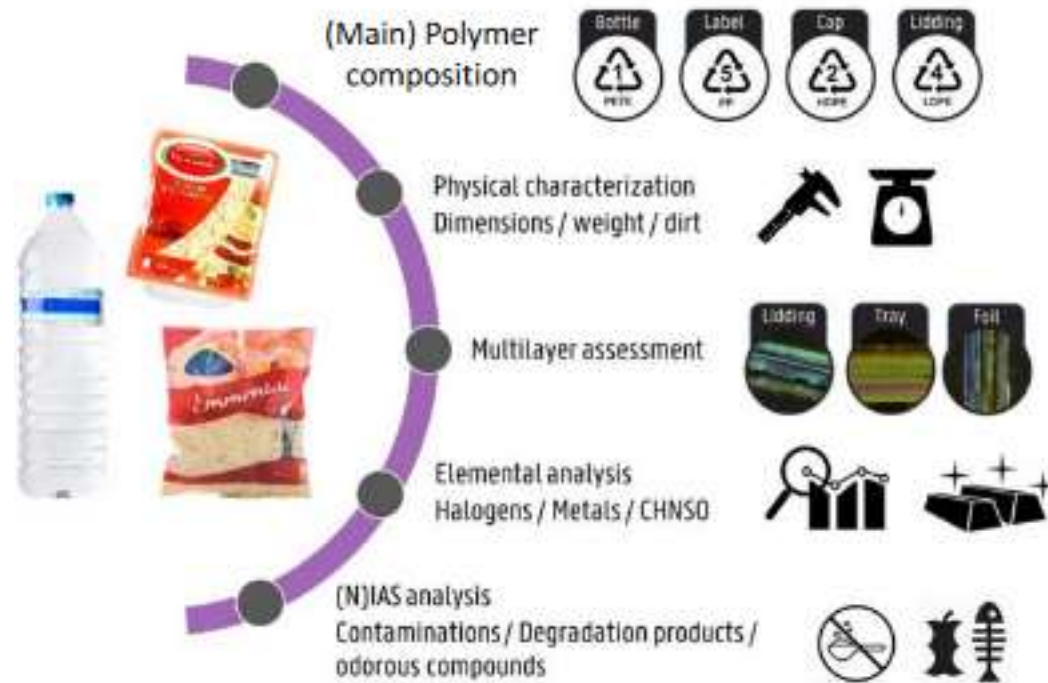
**10,2 Mio. t**  
Recycling\*

## WORLD PLASTICS PRODUCTION



\*post-consumer plastic waste which was collected and sent to recycling facilities inside and outside Europe.

# Kunststoffprodukte

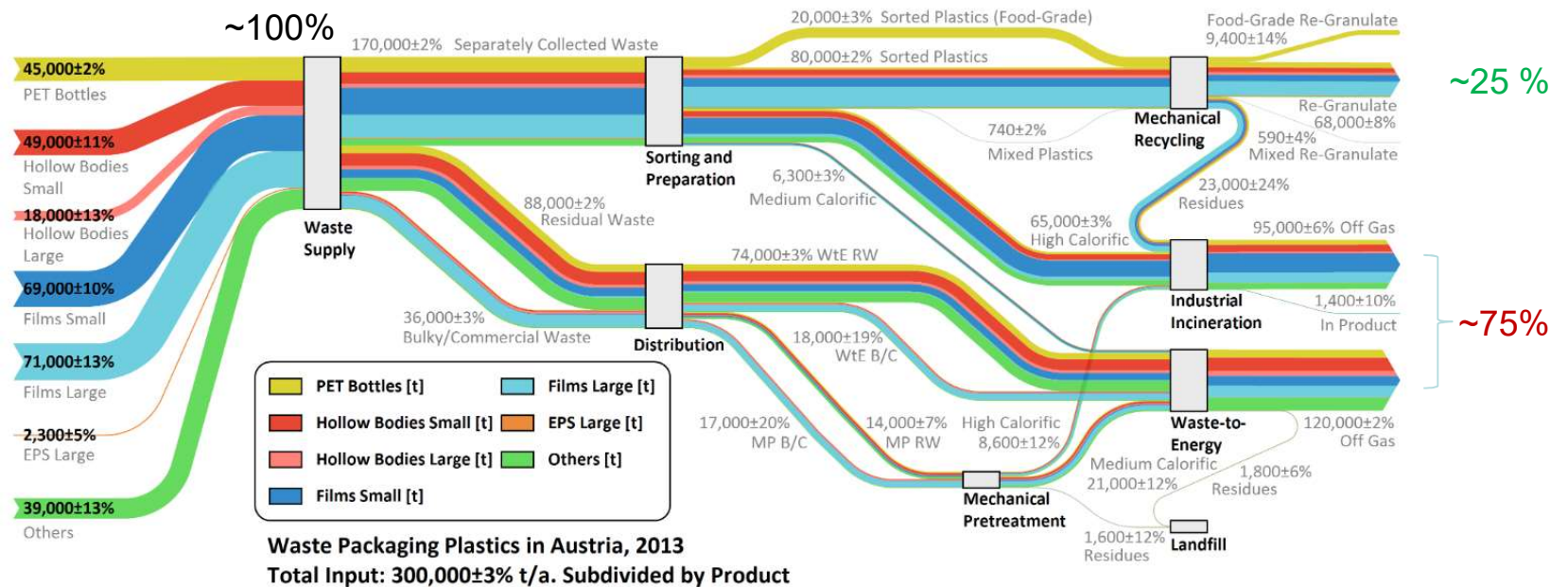


→ Down Cycling und Thermische Verwertung

# KU-Abfallströme: Österreich

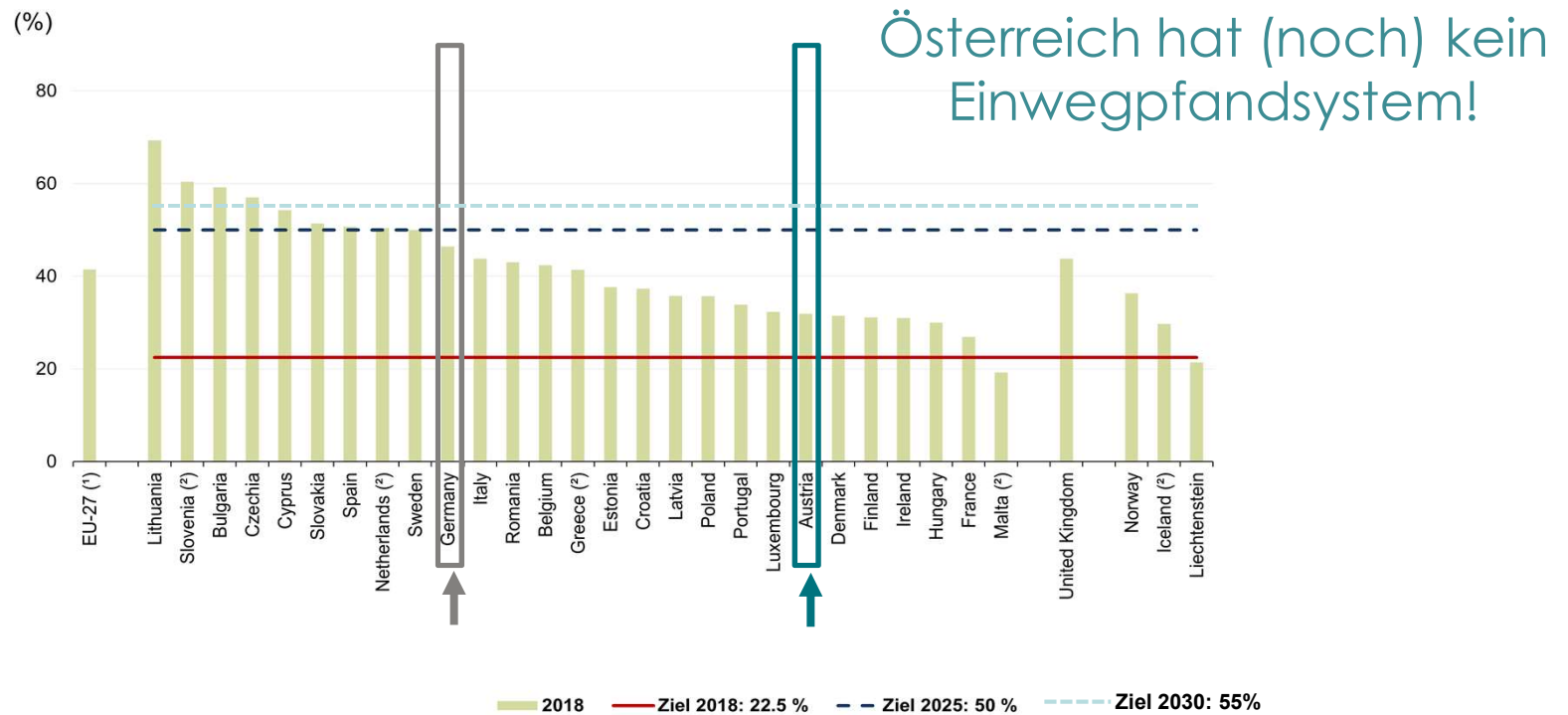
Austrian waste plastic recycling routes, subdivided by product category (Van Eygen, 2018).

## Abfallzusammensetzung: Produktgruppen



→ Recyclingquoten der EU

# Recyclingraten in Europa



(¹) Eurostat estimates.

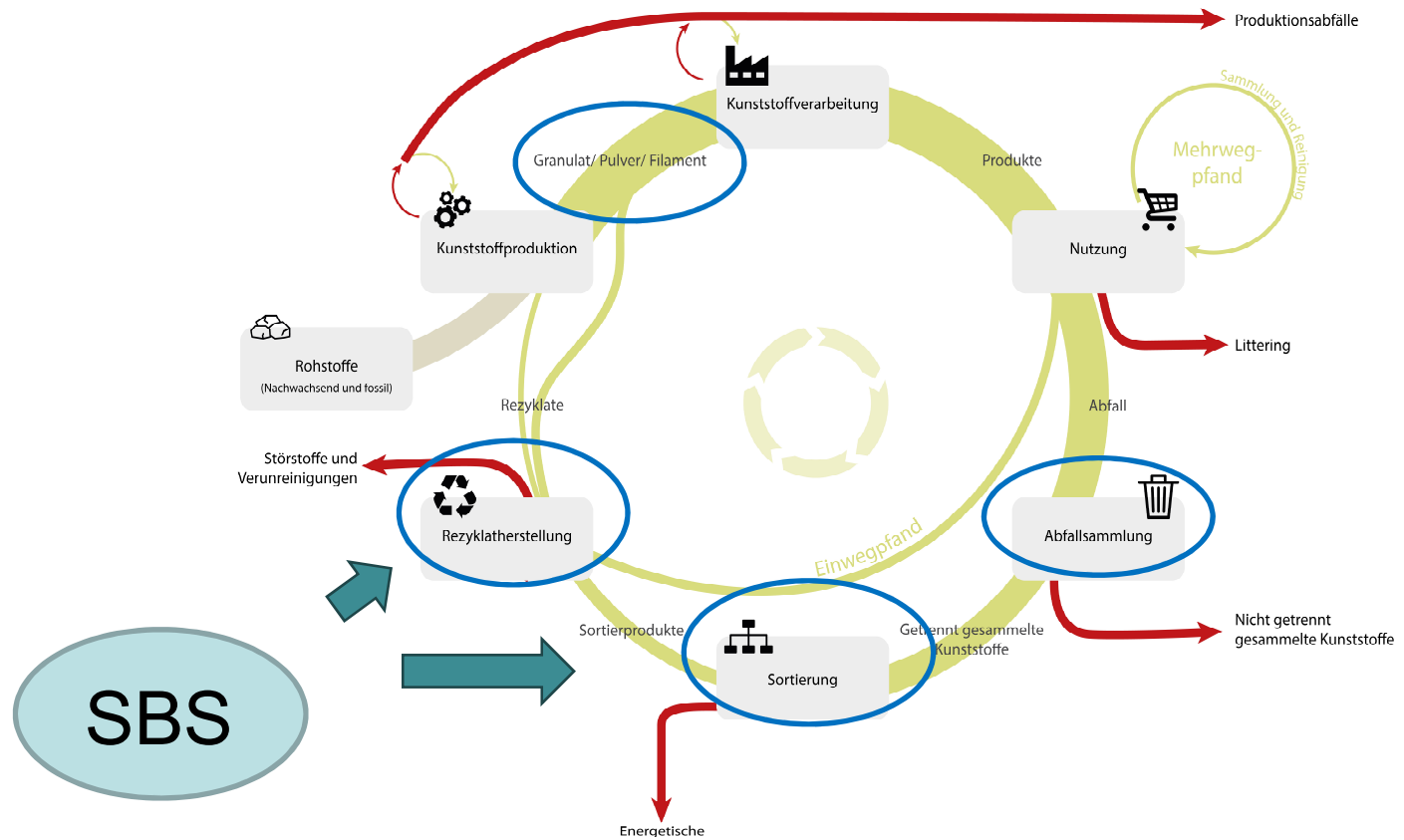
(²) 2017 data instead of 2018.

Source: Eurostat (online data code: env\_waspacr)



# Kunststoffkreislauf

Schlögl (2020) Masterarbeit  
Erstellt auf Basis von GPA 2019, Hellerich 2010,  
Reh et al. 2013 und Schweiger 2020



# Ansätze und Anforderungen

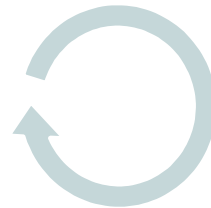
---

## Produktdesign

- Design for Recycling  
(Monolayerfolien, ...)

## Recycling

- Steigerung der Rezyklatmengen
- Steigerung der Rezyklatqualität
- Stärkere Diversifizierung nach Werkstoffparametern



## Sammlung

- Einwegpfandsysteme
- Getrennte Sammlung

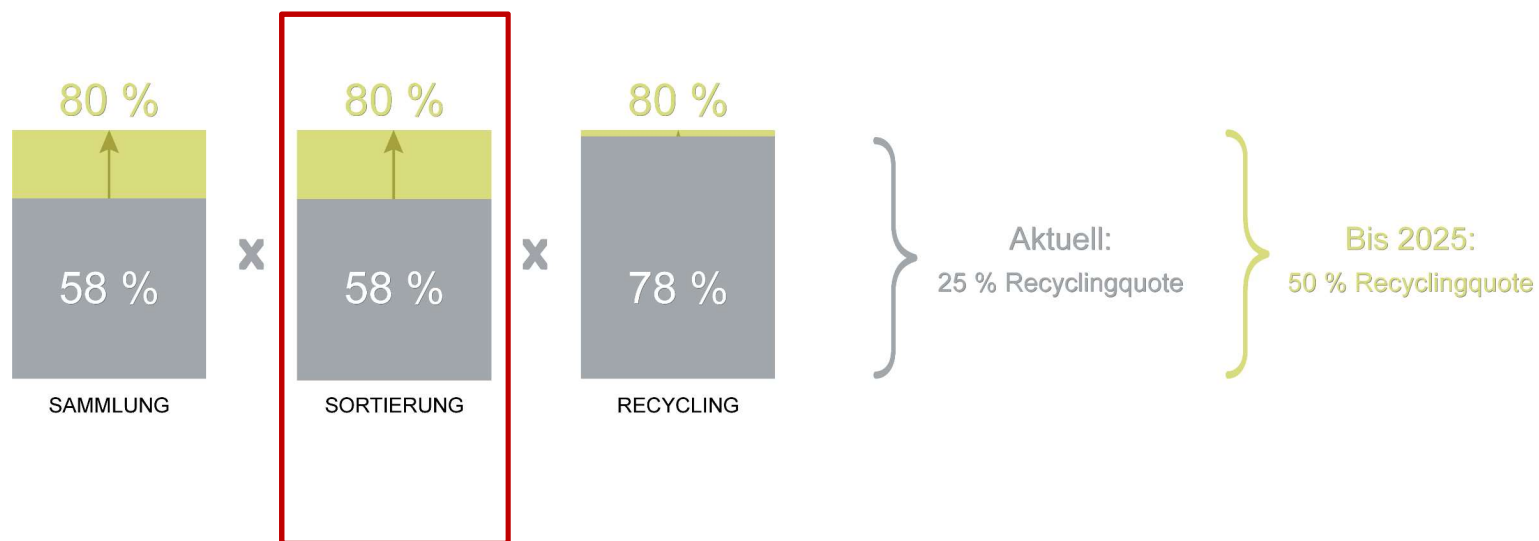
## Sortierung /Aufbereitung

- Sortierung von Mischfraktion, Nicht-Verpackungsabfällen
- Steigerung der Produktmengen
- Steigerung und Diversifizierung der Produktqualitäten
- produktspezifische Sortierung

# Bedeutung Sortierung

Schlögl (2022) Tagungsbandbeitrag DGAW  
Erstellt auf Basis von ARA (2019)

...für Kunststoffverpackungsabfälle in Österreich:



**Differenz von 22 Prozentpunkten!**

# Inhalt

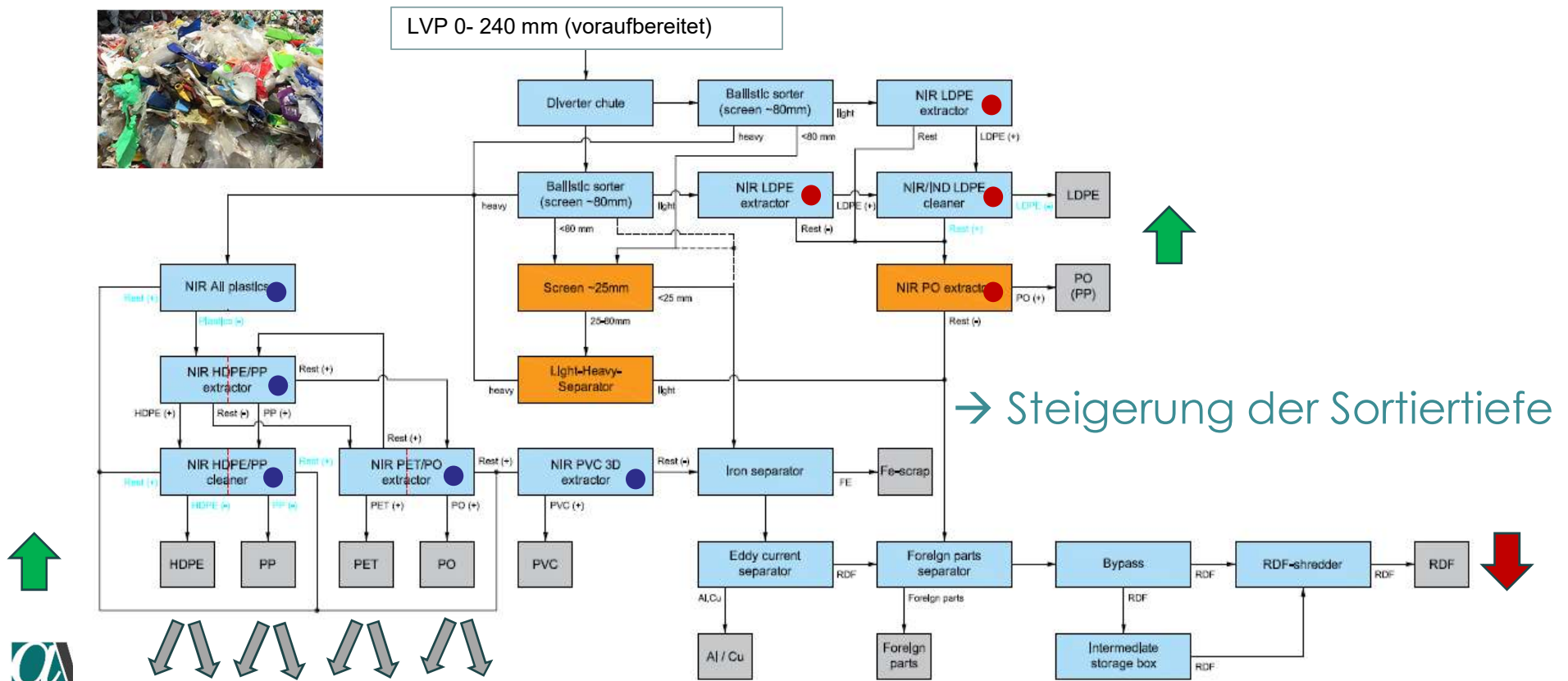
---

- Vorstellung
- Kunststoffkreislauf
- **Sensor based Sorting & Control (SBSC)**
- Forschungsprojekte

# Anlage

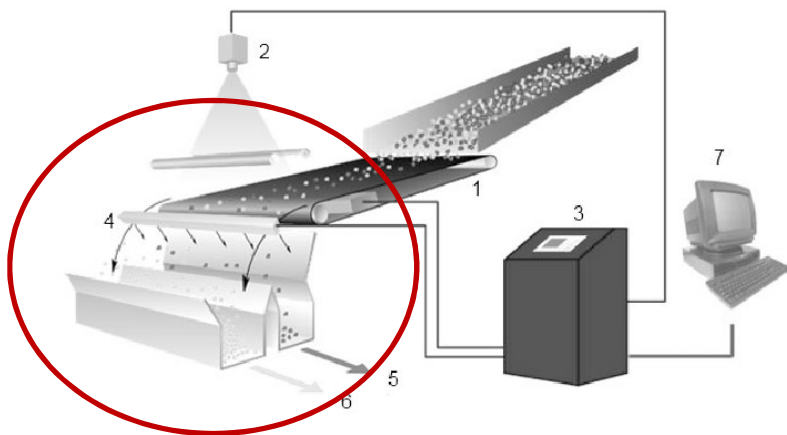


LVP 0- 240 mm (voraufbereitet)

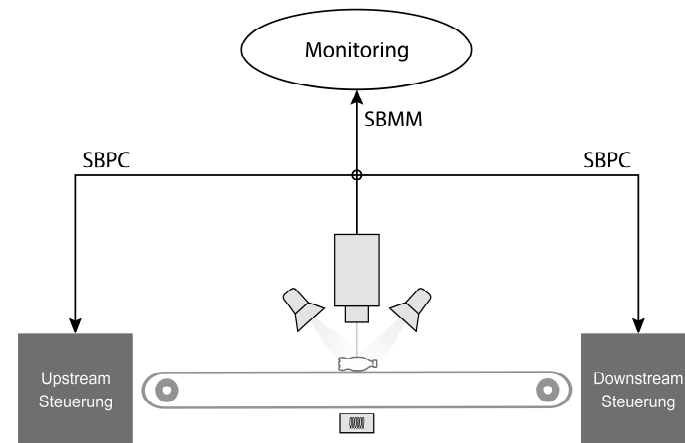


# Sensor Based Sorting & Control (SBSC)

## Sensor Based Sorting



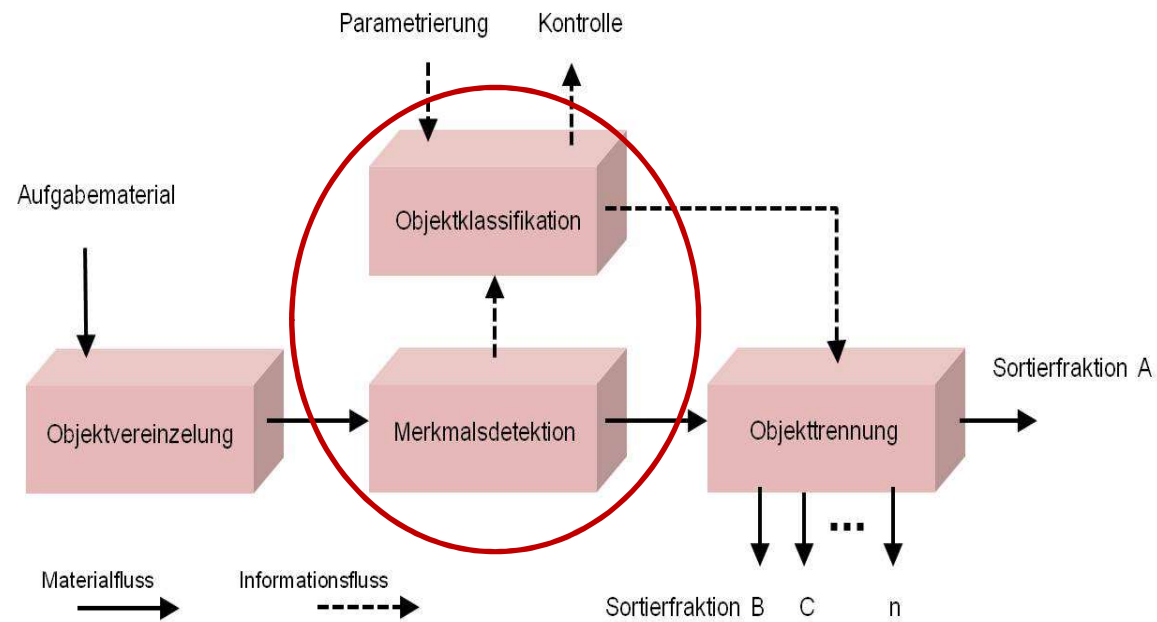
## Sensor Based Process Control



Links: Kamradt et al. (2012) DOI: 10.1002/cite.201200070, Rechts: Schlögl (2022) Tagungsbandbeitrag DGAW

→ höherer Automatisierungsgrad

# Modell

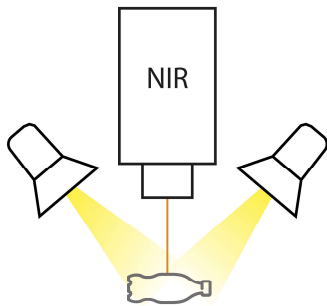


**=> SBS sind komplexe mechatronische Systeme**

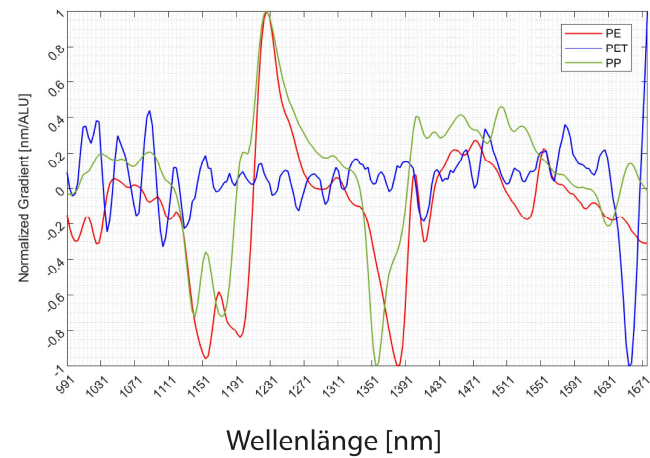


# Objektklassifizierung

Detektion



Datenverarbeitung



Klassifikation



# *Inhalt*

---

- Vorstellung
- Kunststoffkreislauf
- Sensor based Sorting & Control (SBSC)
- Forschungsprojekte

# Projekte AG „Digitale Abfalltechnik“

- Projekt 1: C-PlaNeT / 2021 – 2023 / Namrata Mhaddolkar  
**Bio-basierte und abbaubare Biokunststoffe**  
Sammlung, Erkennung und Sortierung



- Projekt 2: EsKorte / 2020 – 2022 / Sabine Schlögl  
Entwicklung und Erprobung eines **sensorgestützten Stoffstromüberwachungs- und -steuerungssystems für Kunststoffanalgen**  
Vernetzung von SBS und SBMM  
Automatisierte Inputnachführung und Output-Sicherung



- Projekt 3: Multilayer-Detection / 2021-2022 / Koinig Gerald  
**Sensor basierte Sortierung (kleinteiliger) Mono-/Multilayerfolien**  
Herstellung von PE und PP Monolayerfraktionen und Recyclate  
Optimierung NIR-Detektion und Einsatz von ML und KI-Algorithmen



## Projekte AG „Digitale Abfalltechnik“

---

- Projekt 4: DeSort / 2019-2022 / Josef Adam  
**Qualitätssicherung Biogener Abfälle**  
Sammlung, Kompostierung  
Kunststoff und BIO-Kunststoffe  
KI basierter Störstoffscanner, Sortierung von Kompost
- Projekt 5: Vorstudie Tracer-Systems / 2022 / Karl Friedrich  
Recherche zu Tracertechnologien  
**Integrationsbedingungen von Tracer based Sorting** im DACH-Raum
- Projekte 6: PCCL-K1/ 2021-2024, Karl Friedrich  
Entwicklung von **Sortierstrategien für Post-Consumer-Polymeren (PE,PP, PVC)**  
Diversifizierung des stofflichen Sortiergrades nach der Dichte, MFR, Taktizität, Alterung,..  
Korrelation zwischen spezif. Werkstoffparametern und spektroskopischer Methoden

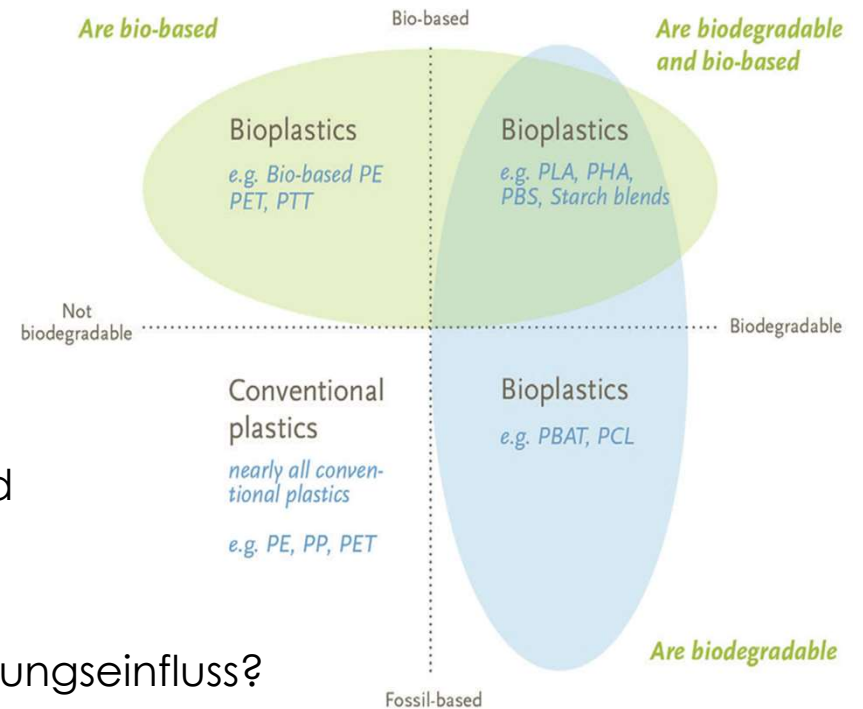


# Projekt 1: C-PlaNeT



<https://www.biomat-shop.com>

- Anteil am KU-Markt ~ 1%, stark wachend
- Keine klare Zuordnung => Störstoff
- Verteilung im Abfall?
- Sensorische Charakterisierung und Alterungseinfluss?

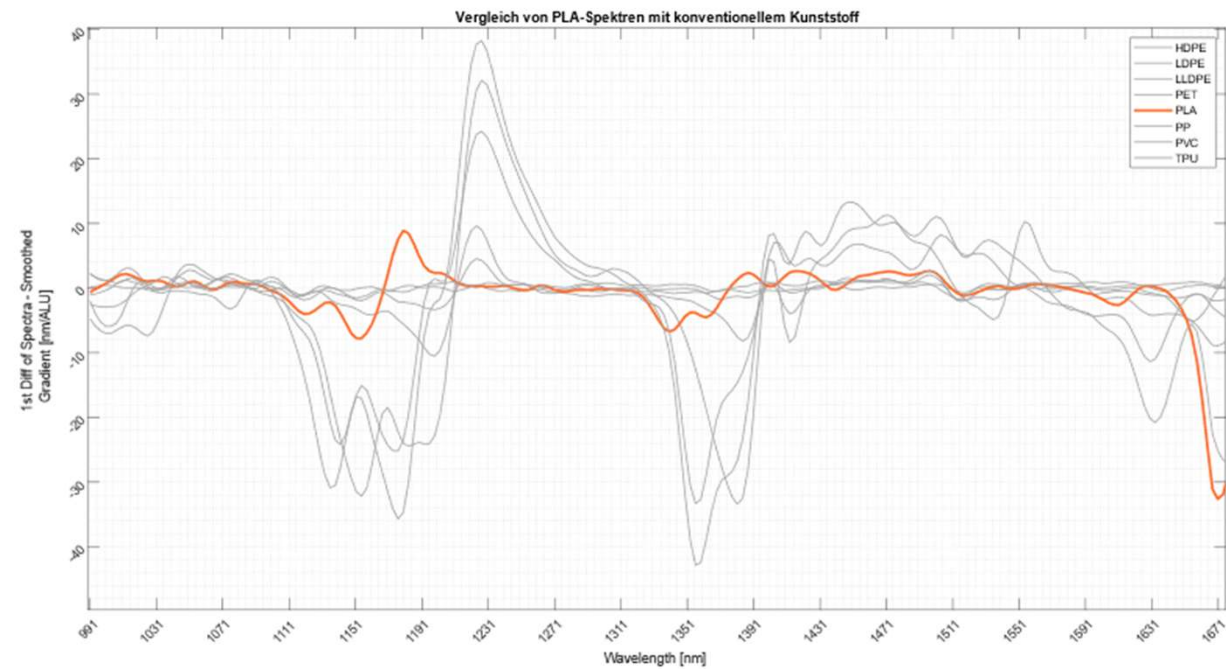


# Projekt 1: C-PlaNeT

## Verteilung

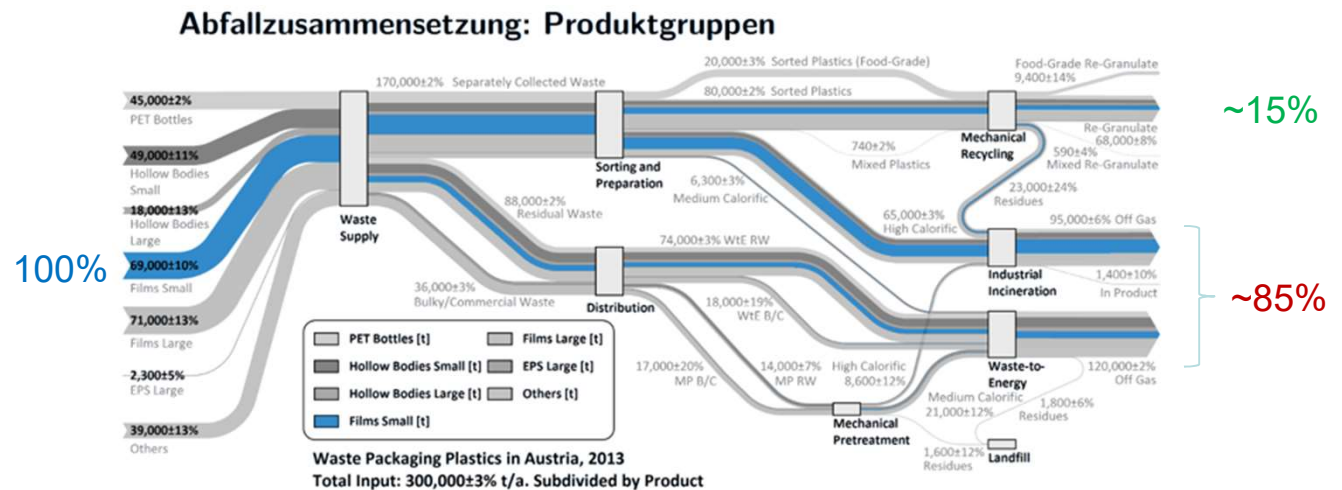
- LVP: ~50%
- Bio-Abfall: ~30%
- Restmüll: ~20%

## PLA vs. Standardkunststoffe



Quelle: Mhaddolkar, N., Koinig, G. R., & Vollprecht, D. (2021). Analysing suitability of existing NIR sorting technology for capturing recyclable bioplastics. In *Sardinia Symposium 2021*

# Projekt 3: Multilayer Detection (Flims Small)

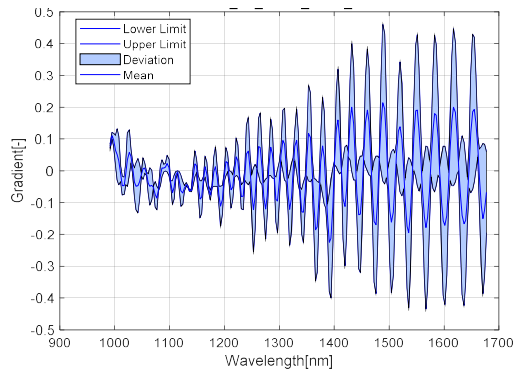


Austrian waste plastic recycling routes, subdivided by product category (Van Eygen, 2018).

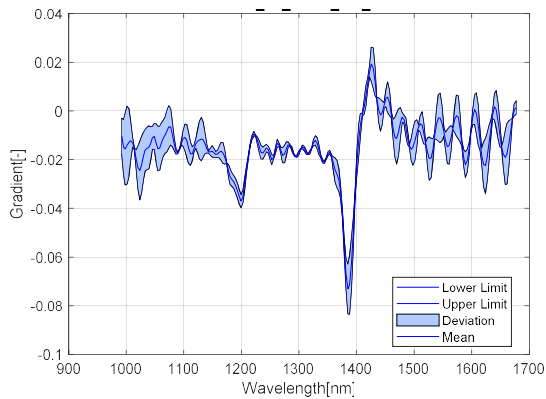
- Multilayeraufbau sehr vielfältig (bis zu 8 Schichten)
- Geringe Schichtdicke => geringe Strahlungsmodulation
- Reflexions- und Interferenzerscheinungen
- Transportstabilität, kleinteilig (< A4), geringe Schüttdichte (~25 kg/m<sup>3</sup>)
- Verschmutzung (Fleischverpackung, ...)



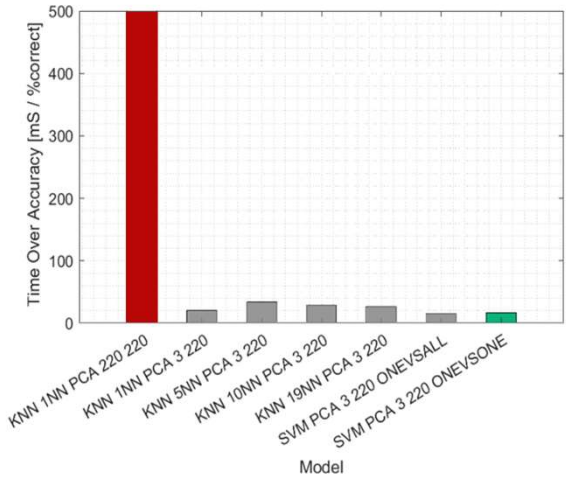
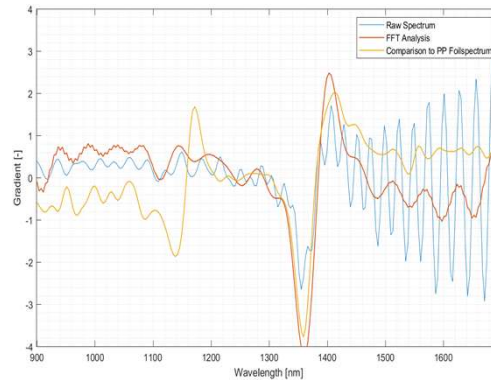
# Projekt 6: Multilayer Detection



Optimierte Spektralaufnahme



Filterung mittels FFT



Klassifizierung mittels ML

# Projekt 5: Vorstudie Tracer-Systeme

- **Watermark**
  - Aufbringen von (unsichtbaren) Wasserzeichen
- **Prägen (CurvCode)**
  - Aufbringen von 3D Strukturen
- **Fluorescence**
  - Aufbringen fluoreszierender Labels
  - Werkstoffdotierung mit Fluorophoren



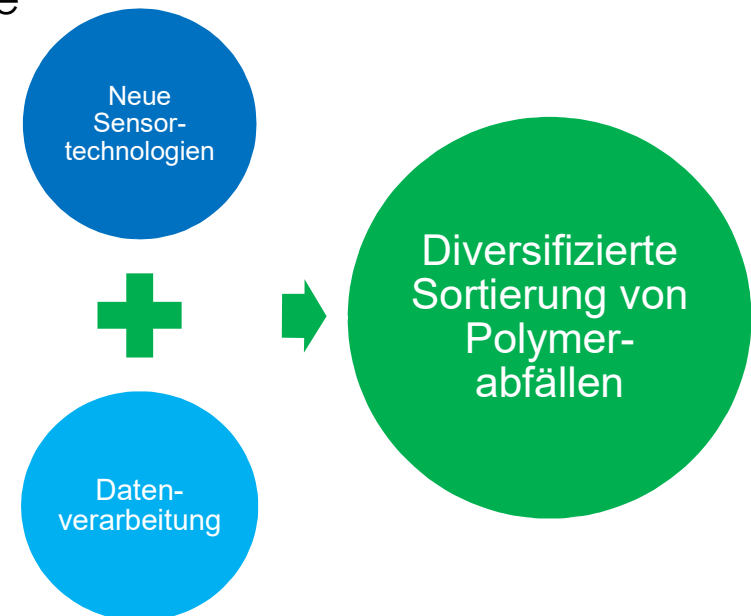
Hamburg T.R.E.N.D. 2020 - Kreislaufwirtschaft am Tropf?, 04.02.2020:  
Tracer-Based-Sorting – Verpackungen effizient nach  
Spezifikation und Recyclingweg sortieren  
Jochen Moesselin, Gründer und Geschäftsführer Polysecure GmbH

=> spezifische Sensortechnik erforderlich!?

# Projekt 6: PCCL-K1

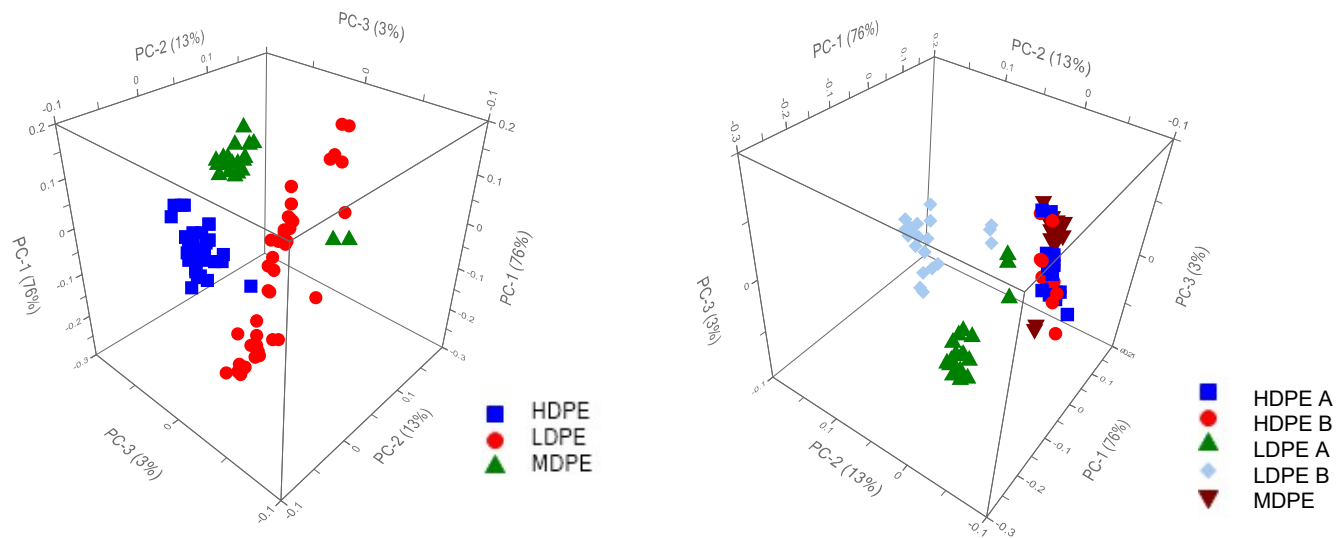
## Diversifizierung der Sortierung nach chemisch/physikalischen Werkstoffparameter:

- Weiterentwicklung von Nahinfrarotspektroskopie
- Nutzung alternativer spektroskopischer und bildgebender Methoden
  - Mittlere Infrarotspektroskopie
  - Raman-Spektroskopie
  - Fluoreszenzspektroskopie
  - Röntgenfluoreszenzanalyse
  - Laserinduzierte Plasmaspektroskopie
- Anwendung der multivariaten Datenanalyse in Kombination mit Big-Data-Verarbeitung und automatisierten Entscheidung durch KI



# Projekt 6: PCCL-K1

Differenzierte PE-Klassifizierung nach Dichteklassen mit NIR (900-1700 nm):



- PCA wurden in verschiedenen Spektralbereichen und mit unterschiedlichen Vorbehandlungen durchgeführt
- Unterscheidung zwischen H-, M-, L-DPE und Unterklassen von LDPE-Typen

# Herausforderung SBSC

---

## Detektion

- multisensorische Ausrüstung
- neue Sensortechnik (MIR, Raman, Fluoreszenz, Tracer, ....)
- hohe Signalqualität und –stabilität

## Klassifikation

- Sensordatenfusion
- intelligente Datenvorverarbeitung und -reduktion
- KI-Algorithmen (ML, Deep Learning, ...)
- Tracer und Werkstoffparameter (Dichte, MFR, Füller, Farbe, Alterung, ...)
- Stoffstromparameter

## Prozesse

- komplexere Verschaltung
- flexible Funktion
- höhere Effizienz (Trenngrad, Betriebskosten)
- Maschinen- und Datenvernetzung
- Automatisierung und Prozesskontrolle (Betriebs- und Stoffstromdaten)


# DANKE FÜR IHR INTERESSE

---

## Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW)

Montanuniversität Leoben  
Franz-Josef-Straße 18  
8700 Leoben

 [avaw.unileoben.ac.at](http://avaw.unileoben.ac.at)

 03842 402 5101

 [avaw@unileoben.ac.at](mailto:avaw@unileoben.ac.at)