

# Ökologische Bewertung eines Closed Loop Recyclings am Beispiel PET

W. Frühwirth<sup>1</sup>, B. Brandt<sup>1</sup>, M. Pfitzner<sup>1</sup>, E. Jahn<sup>1</sup>, K. Detter<sup>1</sup>, V. Gabriel<sup>1</sup> & S. Heinrich<sup>2</sup>



APPLIED LIFE SCIENCES | VERPACKUNGS- UND RESSOURCENMANAGEMENT

<sup>1</sup>) FH Campus Wien, Fachbereich Nachhaltiges Ressourcenmanagement und Verpackungstechnologie, Wien, Österreich

<sup>2</sup>) Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH, Wels, Österreich

# Departement Applied Life Sciences

APPLIED LIFE SCIENCES

BAUEN UND GESTALTEN

GESUNDHEITSWISSENSCHAFTEN

ANGEWANDTE PFLEGEWISSENSCHAFT

SOZIALES

TECHNIK

VERWALTUNG, WIRTSCHAFT, SICHERHEIT, POLITIK

# **Departement Applied Life Sciences**

## **Verpackungs- und Ressourcenmanagement**

**Verpackungstechnologie**  
Bachelor

**Nachhaltiges  
Ressourcenmanagement**  
Bachelor

**Packaging Technology and  
Sustainability**  
Master

Verpackungstechnologie

Nachhaltiges  
Ressourcenmanagement

Packaging Technology  
& Sustainability



Organisationsform  
berufsbegleitend



Studiendauer  
6 Semester



Studiendauer  
4 Semester



Studienbeitrag / Semester  
€ 363,36<sup>1</sup>  
+ ÖH Beitrag + Kostenbeitrag<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Studienbeitrag für Studierende aus Drittstaaten € 727,- pro Semester

<sup>2</sup> für zusätzliche Aufwendungen rund ums Studium  
(derzeit bis zu € 83,- je nach Studiengang bzw. Jahrgang)

180 ECTS

120 ECTS



Abschluss  
Bachelor of Science in Engineering (BSc)



Abschluss  
Master of Science in Engineering (MSc)



# PET2PACK

**Branchenprojekt Recycling von  
PET-Rigid-Verpackungen**

# Agenda

- > **Ausgangslage**
- > **Projektüberblick**
- > **Ergebnisse der Sortieranalyse**
- > **Recyclierungsversuche**
- > **Ökologische Evaluierung**
- > **Diskussion**

## EU Kreislaufwirtschaftspaket

Transformation von linearer Wertschöpfung zu zirkulärem Wirtschaftssystem

### ▪ **EU Kunststoffstrategie**<sup>3</sup>

- ⇒ 2030 sind alle auf dem EU-Markt in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen wiederverwendbar oder kosteneffizient zu recyceln
- ⇒ **Erhöhung Recyclingquoten bis 2030:**
  - ⇒ **55 % der Kunststoffverpackungen**<sup>1</sup>

### ▪ **EU Einwegkunststoff-Richtlinie**<sup>2</sup>

- ⇒ Mindestzyklatgehalte von 25 % bei PET Getränkeflaschen ab 2025 bzw. von 30 % bei sämtlichen Einweg-Kunststoff-Getränkeflaschen ab 2030



<sup>3</sup> [https://environment.ec.europa.eu/strategy/plastics-strategy\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/plastics-strategy_en)

<sup>1</sup> EU Richtlinie 2018/852

<sup>2</sup> EU Richtlinie 2019/904

*Aktuell werden in Österreich **25 %** der Kunststoffverpackungen **recycelt**.*

***96 %** der **formstabilen Verpackungen** werden **überwiegend thermisch verarbeitet**.*

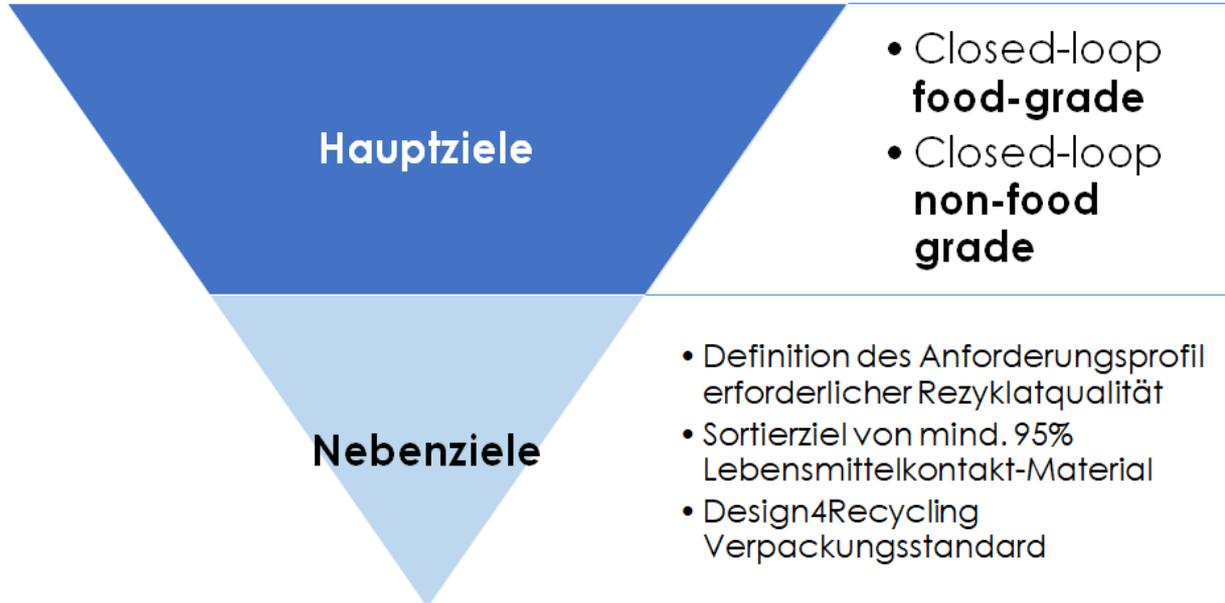
***PET-Formkörper** (ohne Getränkeflaschen) machen in Österreich **8 %** der Kunststoffverpackungsabfälle aus, diese sind u.a.*

- **PET-Trays**
- **PET-Becher**
- **PET-Hohlkörper (exkl. Getränkeflaschen)**

# Agenda

- > **Ausgangslage**
- > **Projektüberblick**
- > **Ergebnisse der Sortieranalyse**
- > **Recyclierungsversuche**
- > **Ökologische Evaluierung**
- > **Diskussion**

## Aufbau und Etablierung einer im Kreislauf orientierten Wertschöpfungskette für **PET-Rigid- Food und Non-food-Verpackungen** anhand von **2 Use-Cases**

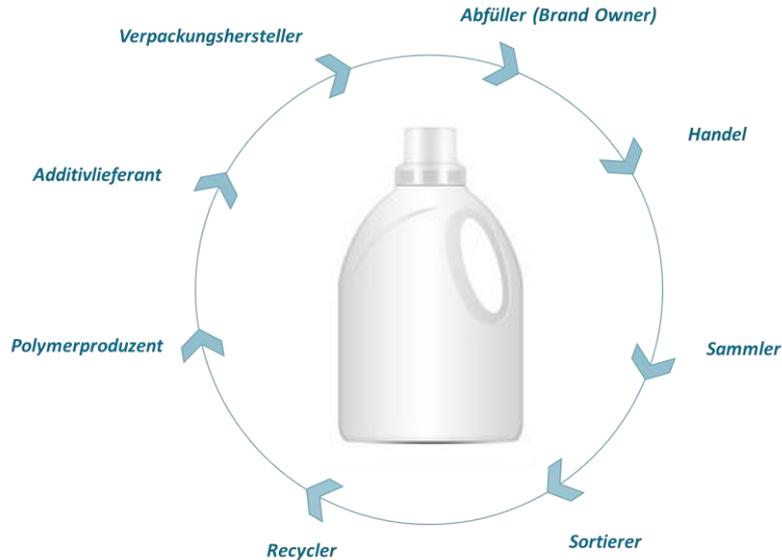


## rPET Cups or Trays – Food-Grade



- > Transparente formstabile PET-Becher und –Trays/Tassen
- > Füllgüter: Lebensmittel, Frischeprodukte, Getränke, Convenience
- > Brand Owner/Partner: Wojnar's Wiener Leckerbissen Delikatessenerzeugung GmbH, Greiner Packaging International GmbH
- > Erforschung: **Food-Grade Kreislauf** für den Einsatz von **PET-Becher oder Trays**

## rPET Hohlkörper – Non-Food



- > transparente formstabile PET-Hohlkörper
- > Füllgüter: Non-Food, Chemikalien
- > Brand Owner: Henkel CEE GesmbH
- > Erforschung: Kreislauf für non-food-grade Hohlkörper-Verpackungen schließen

## **PACKFORCE AUSTRIA** das österreichische verpackungsforum



# Agenda

- > **Ausgangslage**
- > **Projektüberblick**
- > **Ergebnisse der Sortieranalyse**
- > **Recyclierungsversuche**
- > **Ökologische Evaluierung**
- > **Diskussion**

# Ziel der Sortierung



- > Wie hoch ist der PET Anteil in der österreichischen LVP-Sammlung ?
- > Wie hoch davon ist der PET Rigid Anteil (PET Mono) (*exkl. Getränkeflaschen*) ?
  - > Basis: Getrennte LVP-Sammlung "Gelber Sack"
- > Zusammensetzung der „PET rigid“ Sortierfraktion

# Übersicht Sortieranalyse



## ➤ 5 Regionen:

- Burgenland
- Niederösterreich
- Steiermark
- Tirol
- Oberösterreich

## ➤ Abfallkategorien:

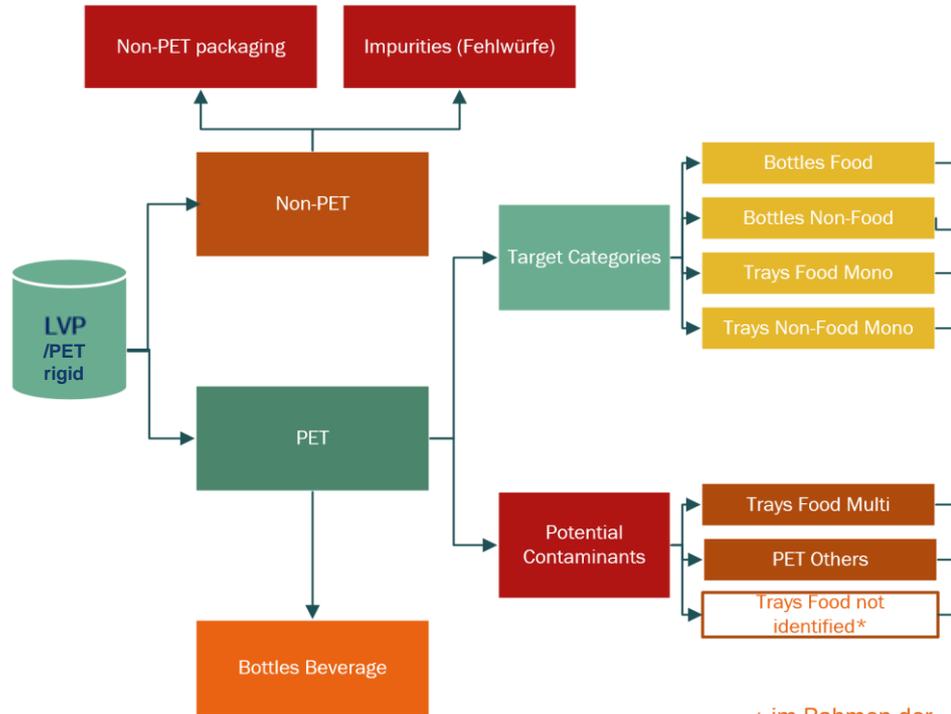
- LVP-Input Stadt/Land → ~ 631kg
  - ❖ Phase I: 95 Säcke zu je 110 Litern
  - ❖ Phase II: 130 Säcke zu je 110 Litern
- PET Rigid Output → ~ 175 kg
  - ❖ Phase I: 33 Säcke zu je 110 Litern
  - ❖ Phase II: 20 Säcke zu je 110 Litern
- Insgesamt 278 Säcke zu je 110 Litern

# Methodik Sortierung



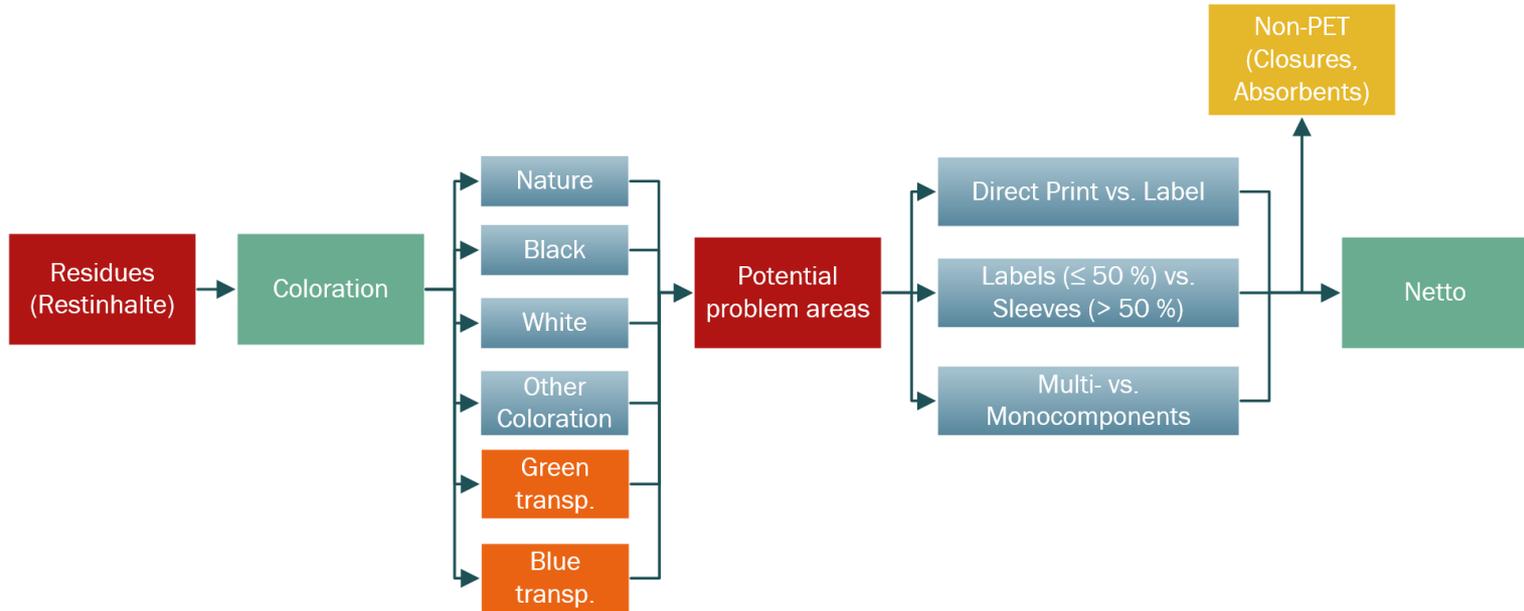
- > Phase 1 (November – Dezember 2020)
- > Berechnung → Bestimmung Mindestprobenmenge (Ende Dezember 2020)
- > Phase 2 (Februar 2021)
- > Nachsortierung & Zusammenlegung (April 2021)
- > Hochrechnung auf Gesamtaufkommen LVP und PET Rigid in Österreich

# Methodik Sortierung - Grobanalyse



\* im Rahmen der Nachsortierung abgezogen

# Methodik Sortierung - Detailanalyse



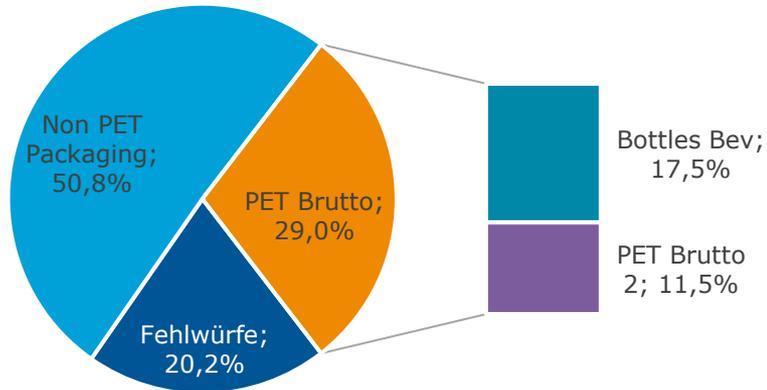
Ergebnisse:

# Gesamt: Input vs. Output



## LVP Input Gesamt

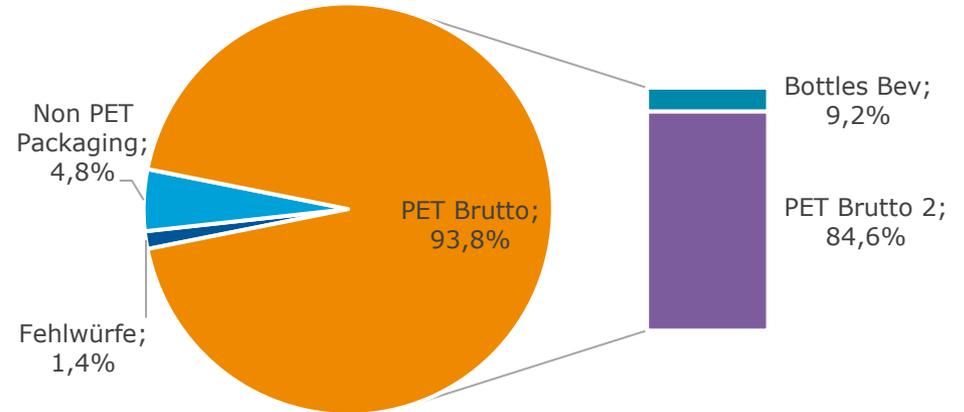
Grundgesamtheit: 631 kg



> ~12% entfällt auf PET Brutto 2

## PET Rigid Output Gesamt

Grundgesamtheit: 175 kg



> ~85% entfällt auf PET Brutto 2

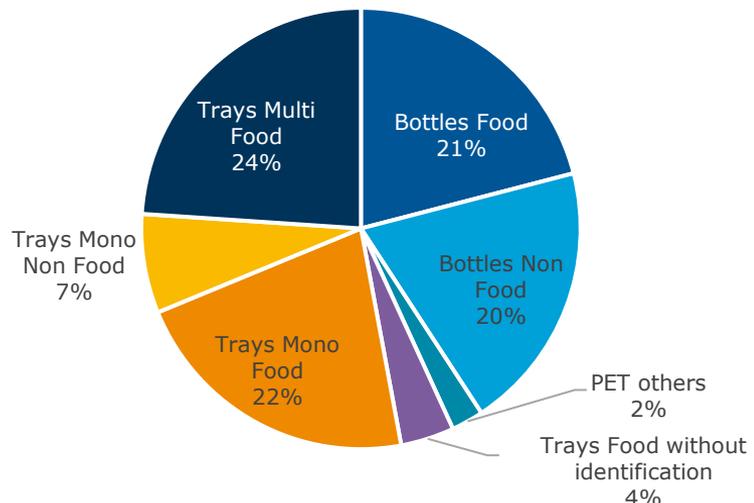


Ergebnisse:

# PET Brutto 2: Input vs. Output

### LVP Input: PET Brutto 2

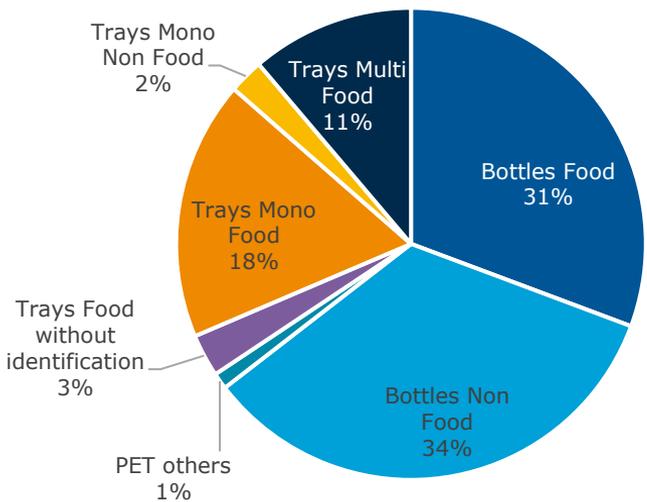
Grundgesamtheit: 73 kg



> Trays Food Mono (~ 22 %) und Multi (~24 %) als dominante Verpackungsformen

### PET Rigid Output: PET Brutto 2

Grundgesamtheit: 148 kg



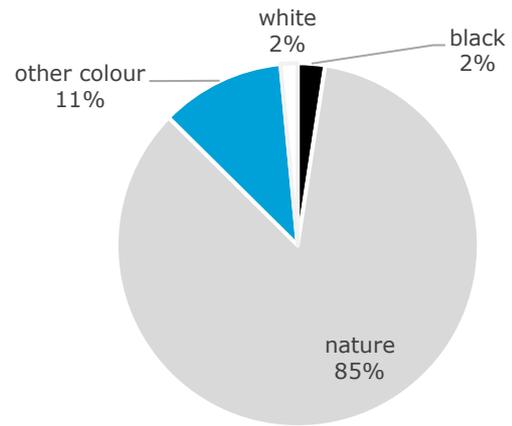
> Bottles Non-Food (~ 34 %) und Food (~ 31 %) als dominante Verpackungsformen



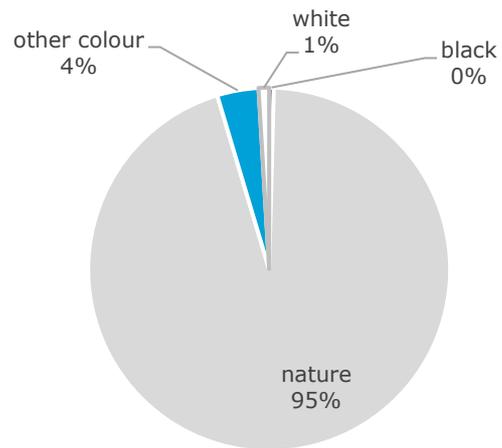
Ergebnisse:

# PET-Trays Mono Food nach Farbe: Input vs. Output

LVP Input: Trays Food Gesamt  
Grundgesamtheit: 18,4 kg



PET-Rigid-Output: Trays Food Gesamt  
Grundgesamtheit: 30,4 kg



- Transparente Verpackungen dominieren bei Food Trays
- schwarze Trays gelangen nicht in die Output-Fraktion

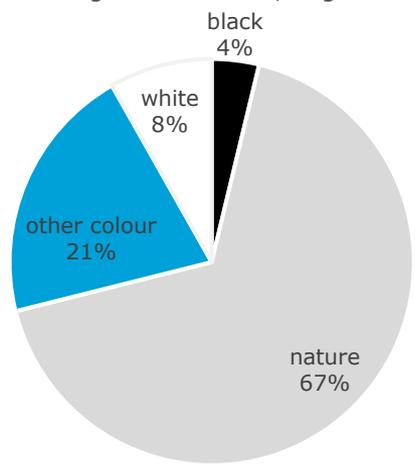


Ergebnisse:

# PET-Non-Food Bottles nach Farbe: Input vs. Output

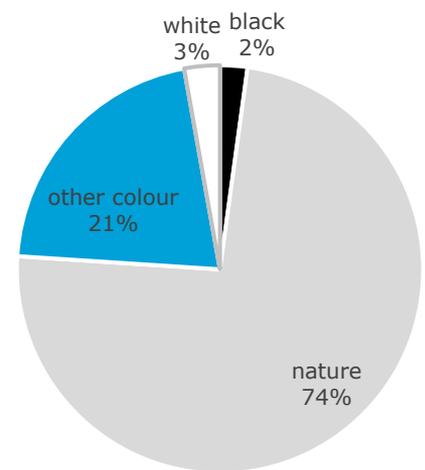
LVP Input: Non-Food-Bottles

Grundgesamtheit: 13,8 kg



PET-Rigid Output: Non-Food-Bottles

Grundgesamtheit: 50 kg



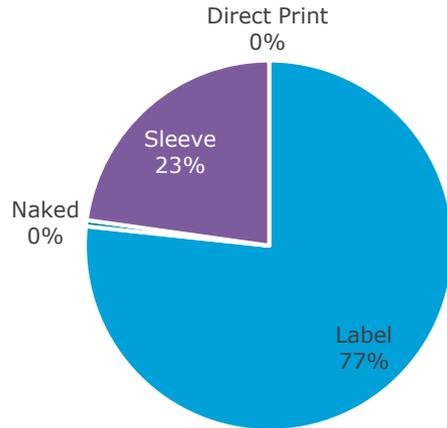
- Transparente Verpackungen dominieren
- Farbe weiß bei Non-Food-Bottles zeigt stärkste Abnahme (~ 8 % → ~ 3 %)

Ergebnisse:

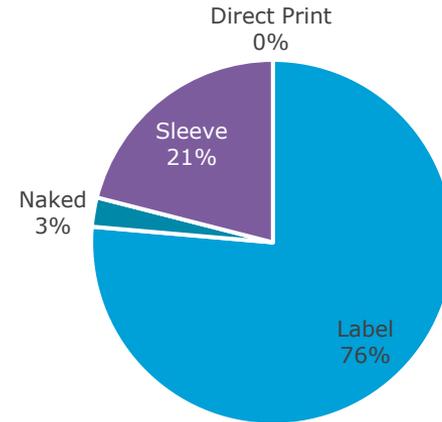
# PET-Non-Food Bottles nach Kennzeichnung: Input vs. Output



LVP Input: Non-Food-Bottles  
Grundgesamtheit: 13,8 kg



PET-Rigid Output: Non-Food-Bottles  
Grundgesamtheit: 44,9 kg



- Keine signifikante Abnahme bei Non-Food-Bottles mit Sleeves von Input zu Output gegeben (~ - 2,0 %) – während bei Food-Bottles diese Reduktion im Vergleich sehr deutlich ist (~ -21 %)



Ergebnisse:

# Restinhalt pro Monoverpackung

## Größte Restinhalte PET Brutto/Netto



### Bottles Food:

- Ø 3,7 g
- 11,7 % Restinhalt



### Bottles Non-Food:

- Ø 1.9 g
- 4 % Restinhalt



### Trays Food Mono:

- Ø 0,3 g
- 1,7 % Restinhalt



### Trays Non-Food Mono:

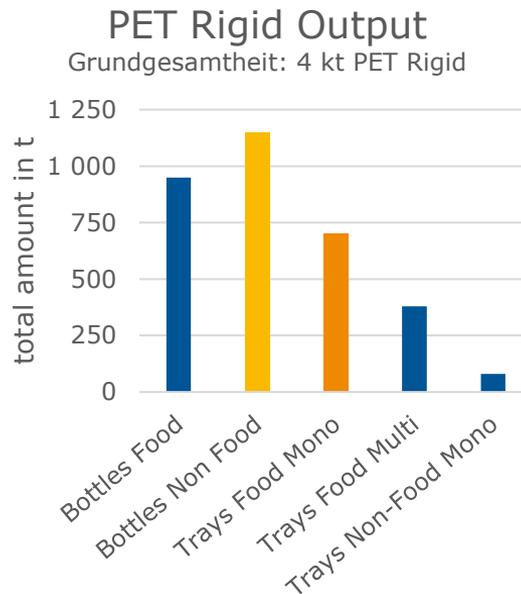
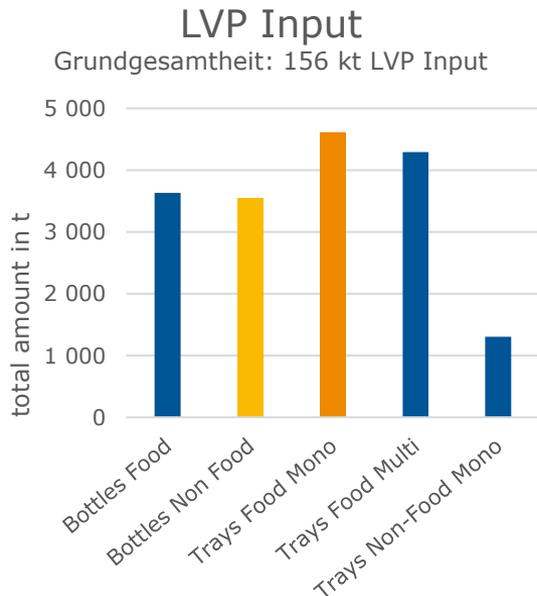
- Ø 0,2 g
- 1,5 % Restinhalt

➤ Bottles Food mit größten Anteil an Restinhalten gefolgt von Bottles Non-Food



Ergebnisse:

# Hochrechnung Österreich: Jahresaufkommen PET-Bottles und Trays



➤ PET Bottles Non-Food und Food Trays mit 8,1 kt im LVP Input und 1,9 kt im Output

# Agenda

- > **Ausgangslage**
- > **Projektüberblick**
- > **Ergebnisse der Sortieranalyse**
- > **Recyclierungsversuche**
- > **Ökologische Evaluierung**
- > **Diskussion**

# AP Recycling

## 1. Versuch:

### **PET-Trays (food)**

- ❖ Gelb verfärbt
  - ❖ Analysen notwendig
  - ❖ Warum verfärbt?
- gute Eigenschaften im Vergleich zu Neuware



## 2. Versuch:

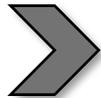
### **2x PET non-food-Bottles**

- 1) Mit Kleber + Etiketten-Rückständen
    - ❖ Stark verfärbte Folie
  - 1) Ohne Rückstände
    - ❖ Nachsortiert (per Hand)
    - ❖ Sehr klare Folie
- Mechanische Eigenschaften vergleichbar gute Ergebnisse zu Neuware
- Kleber + Rückstände → Grund für Verfärbung

## 3. Versuch:

### **Food-Trays PET**

- ❖ Händisch nachsortiert
- ❖ Klare Folie, gute Eigenschaften
- ❖ Folienherstellung schwieriger (IV niedriger)



## Technikum

**jeweils 3x Food & non-Food mit verschiedenen Wäschen**

# 1. Versuch: **PET-Trays** **(food)**

- ❖ Gelb verfärbt
- ❖ Analysen notwendig
- ❖ Warum verfärbt?
- gute Eigenschaften im Vergleich zu Neuware



**TCKT:**  
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Analysen TCKT:

- Zugversuch
- Schlagbiegeversuch
- Folienzugversuch
- DSC
- IV-Bestimmung
- IR-Spektrum



## 2. Versuch: **2x PET non-food-Bottles**

- 1) Mit Kleber + Etiketten-Rückständen
    - ❖ Stark verfärbte Folie
  
  - 1) Ohne Rückstände
    - ❖ Nachsortiert (per Hand)
    - ❖ Sehr klare Folie
- Mechanische Eigenschaften vergleichbar gute Ergebnisse zu Neuware
- Kleber + Rückstände → Grund für Verfärbung

Übersicht 2. Laborversuch – Non-Food-Bottles

MIT Kleber- und  
Etikettenrückständen



OHNE Kleber- und  
Etikettenrückstände



## Übersicht 2. Laborversuch – Non-Food-Bottles



MIT Kleber- und  
Etikettenrückständen



OHNE Kleber- und  
Etikettenrückstände





### 3. Versuch: **Food-Trays PET**

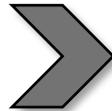
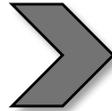
- ❖ Händisch nachsortiert
- ❖ Klare Folie, gute Eigenschaften
- ❖ Folienherstellung schwieriger (IV niedriger)



OHNE Kleber- und Etikettenrückstände

### 3. Versuch: **Food-Trays PET**

- ❖ Händisch nachsortiert
- ❖ Klare Folie, gute Eigenschaften
- ❖ Folienherstellung schwieriger (IV niedriger)



Technikum

**jeweils 3x Food &  
non-Food mit  
verschiedenen  
Wäschen**

# Wichtigste Aussagen



- > Ca. 1/3 PET im LVP: 60 % Getränkeflaschen, 40 % PET Brutto 2
- > 94 % PET-Anteil in PET Rigid Output: 10 % Getränkeflaschen, 90 % PET Brutto 2
- > Verunreinigung in Form von Restinhalten → Bottles Food (11,7 %) und Bottles Non-Food (4 %) mit größten Anteilen an Restinhalten
- > Gesamtes Mengenpotential an PET Non-Food Bottles (Mono) und PET Food Trays (Mono) in Österreich im LVP mit 8,1 kt und in der PET-Rigid Output Fraktion mit 1,9 kt

# Agenda

- > **Ausgangslage**
- > **Projektüberblick**
- > **Ergebnisse der Sortieranalyse**
- > **Recyclierungsversuche**
- > **Ökologische Evaluierung**
- > **Diskussion**

# Ökologische Evaluierungen mittels Ökobilanzen



- > ...untersuchen verschiedene Umweltwirkungen eines bestimmten Produkts oder einer bestimmten Dienstleistung entlang des Lebensweges
  
- > ...unterstützen
  - > Identifizierung von Möglichkeiten Umwelteffekte zu verringern
  - > Entscheidungsträger als Entscheidungsgrundlage
  - > im Marketing von Produkten und Dienstleistungen
  
- > sind in Übereinstimmung mit ISO 14040/44

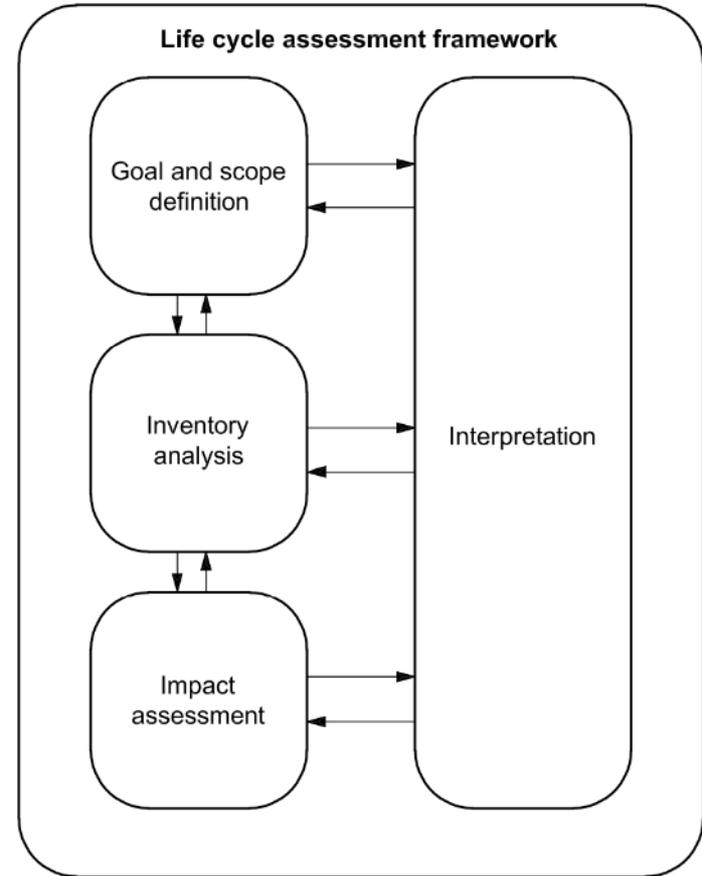
# Überblick: Phasen einer LCA

**Ziel und Untersuchungsrahmen**  
(Goal and scope definition)

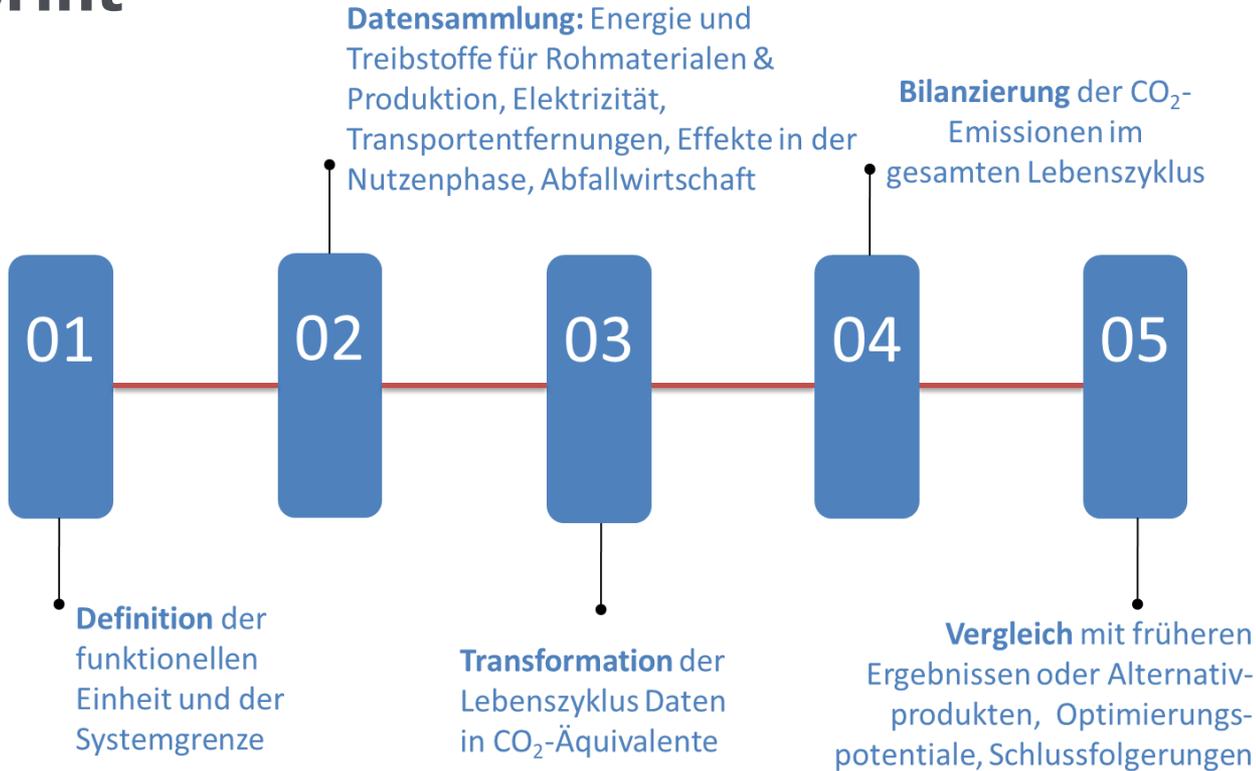
**Sachbilanz**  
(Life Cycle) Inventory

**Wirkungsabschätzung**  
(Life Cycle) Impact Assessment

**Interpretation**



# Ökologische Evaluierung am Beispiel Carbon Footprint



# Ökologische Evaluierung - Szenarien



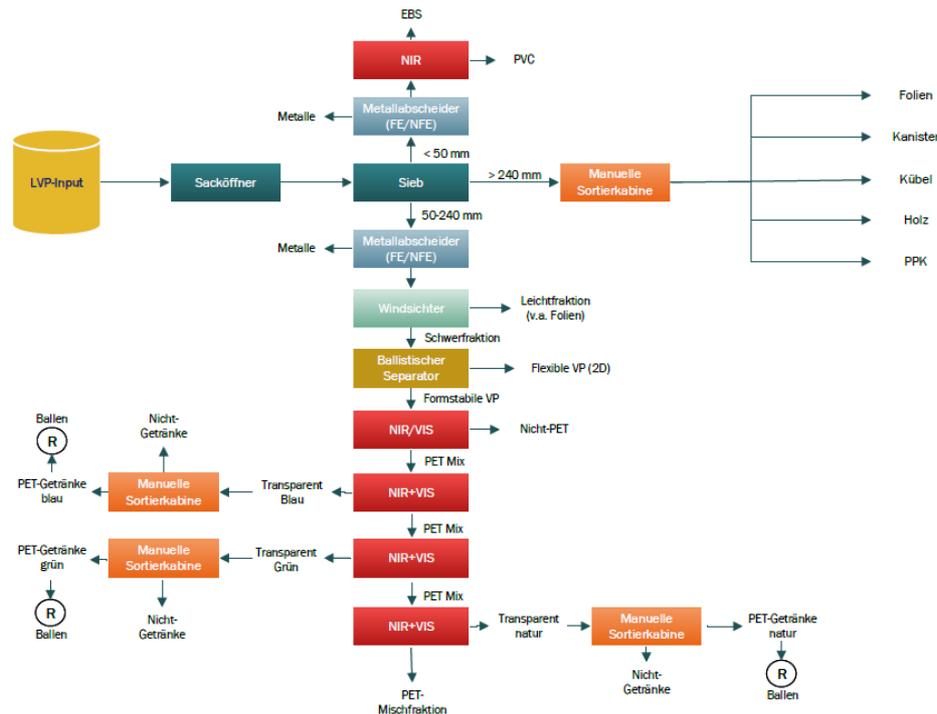
- Status Quo
- Geschlossene Kreisläufe für alle Use-Cases (Recyclingströme) vs. Downcycling
- Vollständige Nutzung aller PET-Getränkeflaschen für die Neuproduktion von Getränkeflaschen
- Vollständige thermische Verwertung der Kunststoffe



Szenario:

# Status Quo: PET Getränkeflaschen & Rigid Ebene Sortieranlage

- Input: LVP (Gelber Sack/Gelbe Tonne)
- Zielfractionen Output:
  - PET-Getränkeflaschen grün, blau und natur
  - PET-Rigid Mischfraktion





Szenario:

# Status Quo: PET Rigid Ebene Recyclinganlage

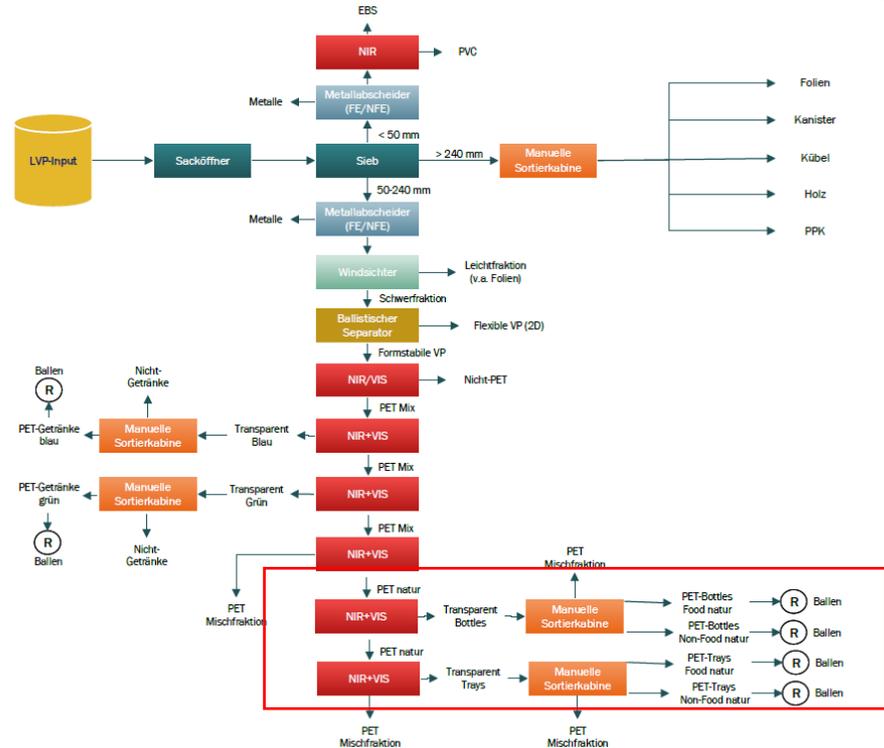


- Input: PET-Mischfraktion (Rigid)
- Ziel-Output:
  - PET-Granulat für Produkthersteller Vlies, Gartenmöbel usw.

Szenario:

# Closed Loop: PET Trays & Bottles → Food & Non-Food Ebene Sortieranlage

- Input: LVP (Gelber Sack/Tonne)
- Zielfractionen Output:
  - PET-Getränkeflaschen grün, blau und natur
  - PET-Bottles Food natur
  - PET-Bottles Non-Food natur
  - PET-Trays Food natur
  - PET-Trays Non-Food natur
  - PET-Mischfraktion

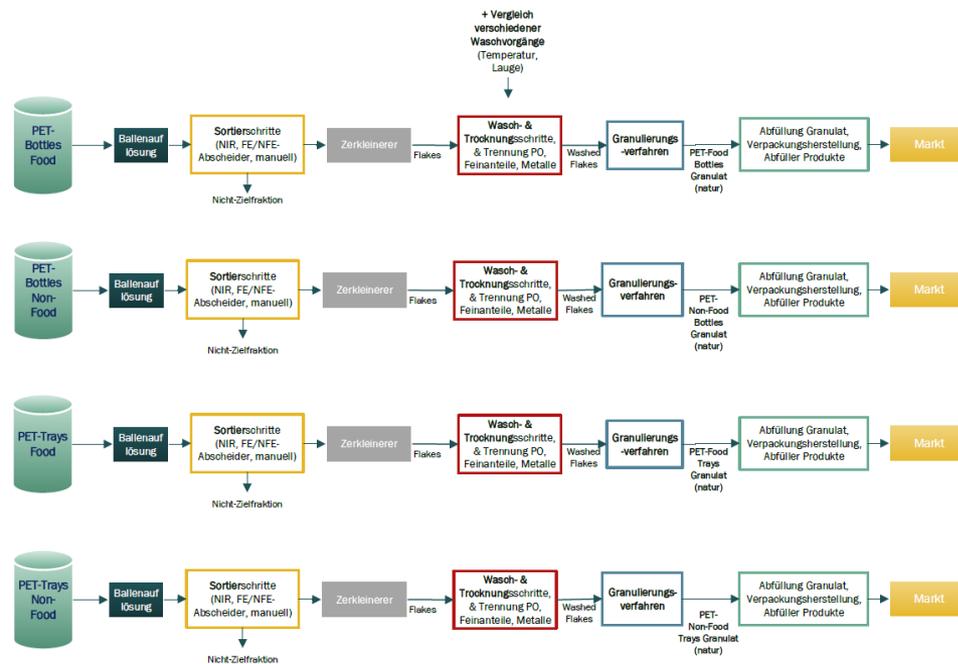




Szenario:

# Closed Loop: PET Trays & Bottles → Food & Non-Food Ebene Recyclinganlage

- Input: Sortierte Fraktionen PET Trays, Bottles, jeweils Food & Non-Food
- Prozessschritte in Entwicklung:
  - Hygienisierungsverfahren je Fraktion?
  - Wäscheparameter
  - Visuelle Sortierung nach Wäsche und Trocknung?
- Output: PET Granulat für Bottles Food, Bottles Non-Food, Trays Food und Trays Non-Food

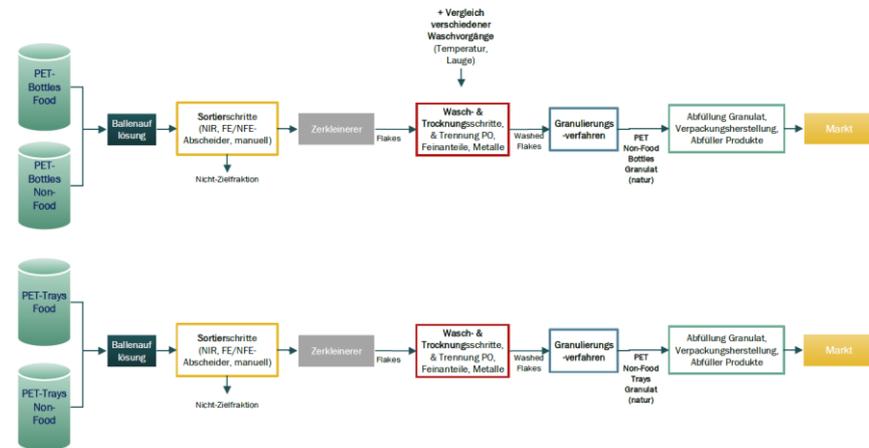




Szenario:

# Open Loop: PET Trays & Bottles → Non-Food Ebene Recyclinganlage

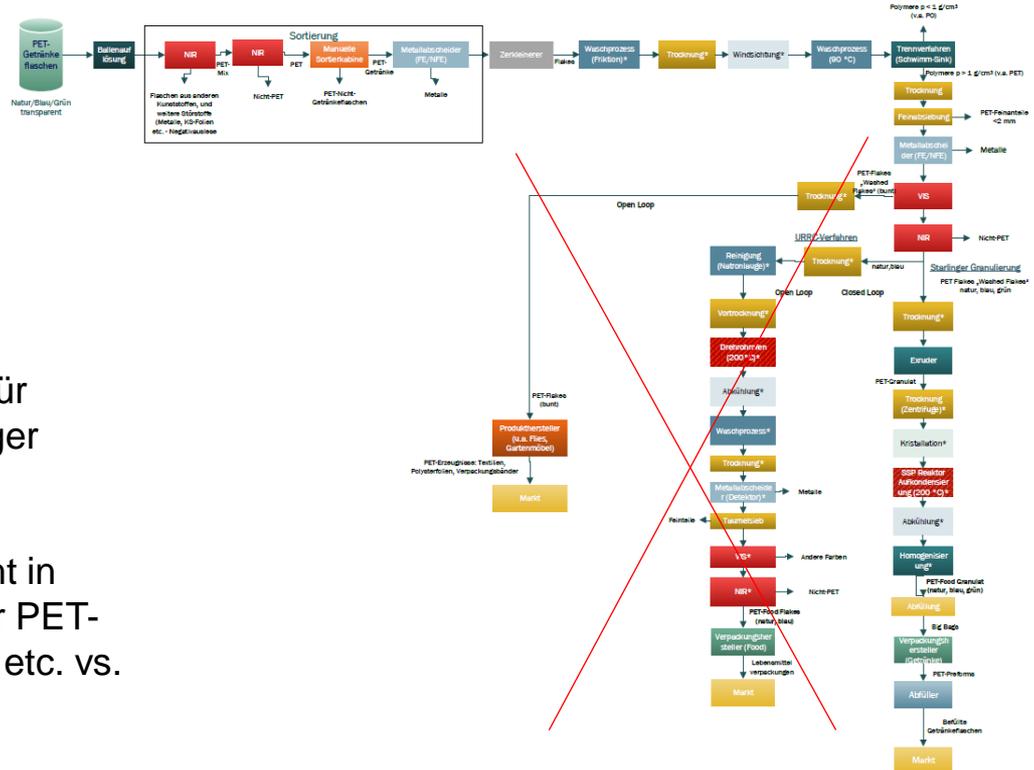
- Input: Sortierte Fraktionen PET Trays (Food+ Non-Food), PET Bottles (Food+Non-Food)
- Prozessschritte in Entwicklung:
  - Hygienisierungsverfahren je Fraktion?
  - Wäscheparameter
  - Visuelle Sortierung nach Wäsche und Trocknung?
- Output: PET Granulat für Bottles Non-Food und Trays Non-Food
- Vergleich: Reduzierte Anzahl an Recycling-Ketten vs. vermehrter Einsatz von Virgin-Material



Szenario:

# PET-Getränkeflaschen → PET-Getränkeflaschen

## Ebene Recyclinganlage



- Input: PET-Getränkeflaschen natur, blau, grün
- Ziel-Output: PET-Food Granulat natur, blau grün für Getränkeflaschen (Annahme: Starlinger Granulierungsverfahren)
- Vergleich: verbleibendes Material geht in Verbrennung, Input Virgin-Material für PET-Lebensmittelverpackungen und Vlies etc. vs. Recyclingprozesse



Szenario:

# Vollständige Thermische Verwertung der Kunststoffe

- Ökologische Auswirkungen Input Virgin-Material vs. Recyclingprozesse gesamt
- Reduzierte Prozesse in Sortieranlagen?
- Auswirkungen auf Sammelinfrastruktur und -prozesse?



## Design4Recycling?

### Tbd!

- Angenommenes Design4Recycling Szenario – Best Practise
- Auswirkung von verbessertem Design4Recycling auf Massenströme in Sammelinfrastruktur, Sortier- und Recyclinganlagen?
- Auswirkungen zu erreichender Recyclingquoten, verpflichtender Rezyklatanteile, Mehrweg- und Pfandsystem?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

[werner.fruehwirth@fh-campuswien.ac.at](mailto:werner.fruehwirth@fh-campuswien.ac.at)