

PET-Recycling über Getränkeflaschen hinaus – Recyclingszenarien und ihre Umweltwirkungen

Werner Frühwirth¹, Bernd Brandt¹, Katrin Detter¹, Hanna Schenk¹, Manuel Pfitzner¹, Viktoria Helene Gabriel¹
¹Section Packaging- and Resource Management, FH Campus Wien, University of Applied Sciences, Vienna, Austria

FACHBEREICH VERPACKUNGS- UND RESSOURCENMANAGEMENT



Department Applied Life Sciences

APPLIED LIFE SCIENCES

BAUEN UND GESTALTEN

GESUNDHEITSWISSENSCHAFTEN

ANGEWANDTE PFLEGEWISSENSCHAFT

SOZIALES

TECHNIK

VERWALTUNG, WIRTSCHAFT, SICHERHEIT, POLITIK

Department Applied Life Sciences

Verpackungs- und Ressourcenmanagement

Nachhaltige Verpackungstechnologie
Bachelor

Nachhaltiges Ressourcenmanagement
Bachelor

Packaging Technology and Sustainability
Master

Soon (ab 09/2025):

Sustainability Assessment and Resource Management
Master

Über Mich

Arbeitsgruppe: Life Cycle Assessment



Dipl. Ing. Werner Frühwirth, MSc.
werner.fruehwirth@fh-campuswien.ac.at

EU Kreislaufwirtschaftspaket

Transformation von linearer Wertschöpfung zu zirkulärem Wirtschaftssystem

- **EU Kunststoffstrategie³**
 - 2030 sind alle auf dem EU-Markt in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen wiederverwendbar oder kosteneffizient zu recyceln
 - **Erhöhung Recyclingquoten bis 2030:**
 - ⇒ **55 % der Kunststoffverpackungen¹**
- **EU Einwegkunststoff-Richtlinie²**
 - ⇒ Mindestzyklatgehalte von 25 % bei PET-Getränkeflaschen ab 2025 bzw. von 30 % bei sämtlichen Einweg-Kunststoff-Getränkeflaschen ab 2030
- **2024: Verpackungs- und Verpackungsabfallverordnung (PPWR)⁴**
 - ⇒ Unmittelbares Inkrafttreten in den Mitgliedsstaaten



¹ EU Richtlinie 2018/852 (Directive on packaging and packaging waste)

² EU Richtlinie 2019/904 (Directive on single-use plastics)

³ European Commission (2018): A European Strategy For Plastics In A Circular Economy https://environment.ec.europa.eu/strategy/plastics-strategy_en

⁴ Vorschlag EU Verordnung 2022/0396(COD). COM(2022) 677 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0677>

Recycling von Verpackungsabfall in Österreich

Recycling- quote (oben) und Gesamt- Verwertungs- quote (unten)	Papier, Pappe & Kartonagen	Glas	Metall	Kunststoff	Holz	Sonstige	Quoten insge- samt
2020	80	81,6	66,1	25,3	20,7	0	63,3
	98	85,9	66,1	100	100	94,6	94,4
2021	81	82,3	73,9	26,1	29,9	0	65,4
	98,1	85,2	73,9	100	100	100	94,7
2022	79,3	86,3	76,3	24,5	28,7	0	65,7
	98,1	88,8	76,3	100	100	99	95,2

Recyclingrate
(in %)

Source: Umweltbundesamt/Environment Agency Austria 2024



PET2PACK

Branchenprojekt
Recycling von PET-Formkörper Verpackungen

Branchenprojekt PET2Pack

- > *“Creating more efficient and sustainable products from the start would help to reduce energy and resource consumption, as it is estimated that more than 80% of a product's environmental impact is determined **during the design phase**” (European Parliament)*

Kreislaufschließung von PET Formkörper (rigid) Verpackungen

Use Cases:

PET Food-Trays

PET Food & Non-Food Bottles

Projektlaufzeit:

**Juli 2020 –
März 2024**

- > Nutzung von Sekundärmaterial
- > Schaffen eines richtigen Kreislaufes, kein “Downcycling”
→ Verarbeitung von **Lebensmittelkontaktmaterial (food contact material)** zu Lebensmittelkontaktmaterial
- > Hilfestellung für die Industrie durch wissenschaftliche Entscheidungsfindung bezogen auf Nachhaltigkeit und Kreislaufführung

Sortieranalysen¹

- Dauer: November 2020 - März 2021
- Regionen:



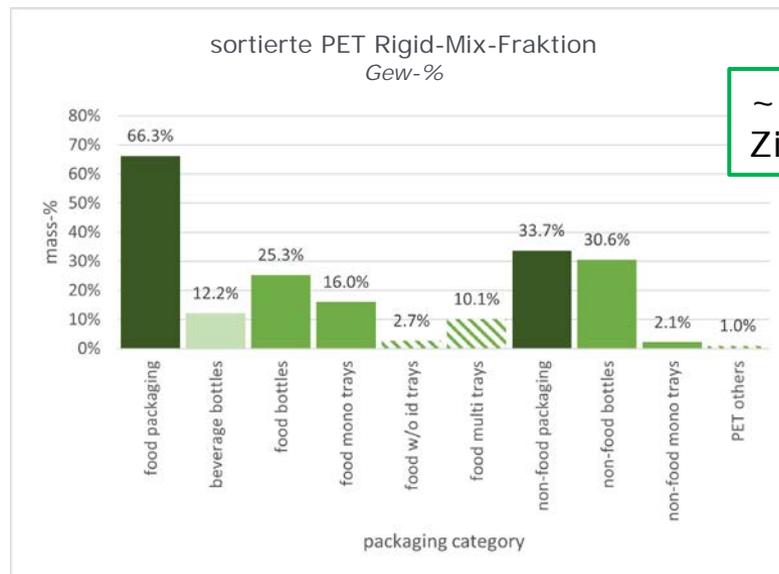
- Probenmenge:
 - 631 kg Gelber Sack
 - 175 kg PET-Rigid-Mix-Fraktion
(zusätzliche Outputfraktion aus Sortieranlagen)

¹ Gabriel, Viktoria Helene et al (2023): Rigid Polyethylene Terephthalate Packaging Waste: An Investigation of Waste Composition and Its Recycling Potential in Austria. In: Resources. 2023, 12(11)

* inkl. Getränkeflaschen

Verpackungskategorien¹

Gelber Sack, PET-Rigid-Mix-Fraktion



~ 86 %
Zielfraktion*

Ökologische Evaluierung mittels Ökobilanzen

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

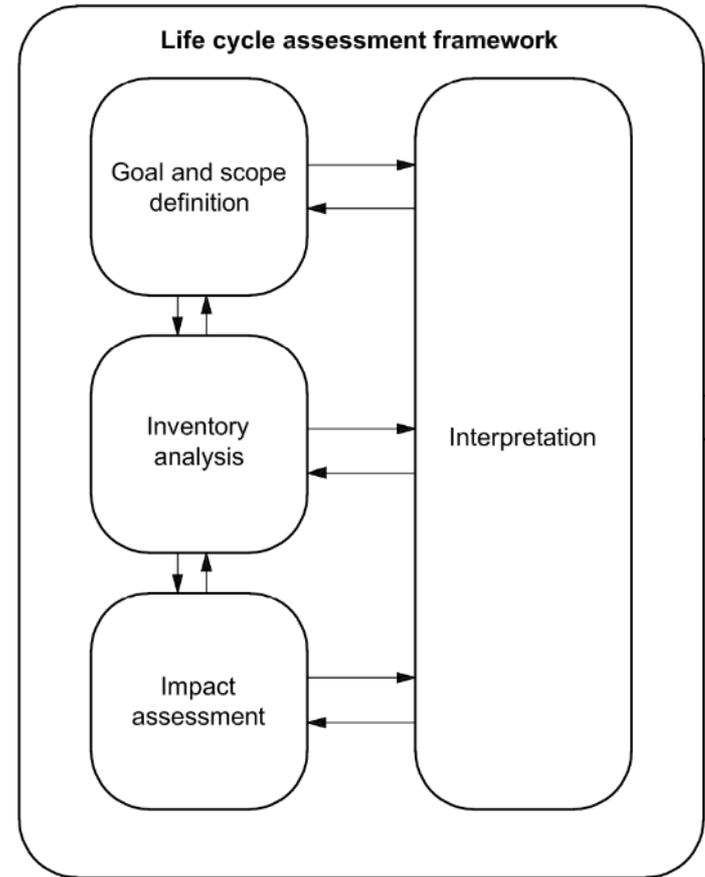
Überblick: Phasen einer LCA

Ziel und Untersuchungsrahmen
(Goal and scope definition)

Sachbilanz
(Life Cycle) Inventory

Wirkungsabschätzung
(Life Cycle) Impact Assessment

Interpretation



Overview: PET2Pack

¹ Wolf, Marc-Andree (2020). The Circular Footprint Formula (CFF) and its practical application.

Goal & Scope: *Quantifizierung der Umweltwirkungen der Sortierung und des Recyclings von PET-Rigid-Mix (food trays & non-food bottles) und Evaluierung der daraus resultierenden Umweltpotentiale.*

- **Status Quo** Sortierung und Recycling von PET-Getränkeflaschen und PET-Rigid-Mix
- **Szenarien** für Closed und Open-loop Recycling von PET-rigid-Mix Fraktionen (food trays & non-food bottles)

ISO 14040/14044 konform

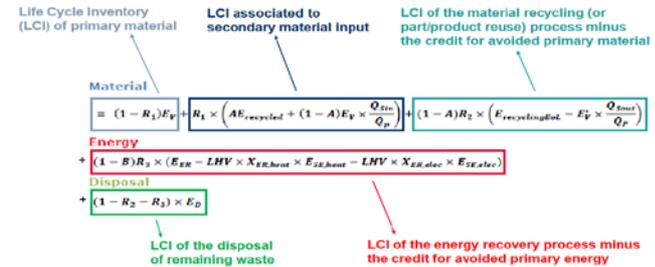
LCI: Primärdaten von österreichischen Sortier- und Recyclinganlagen sowie Sekundärdaten. Massen- und Energieflüsse sind **(gewichtete) Durchschnittswerte der österreichischen Sortier- und Recyclinginfrastruktur**. Transportdistanzen wurden auf Basis von Literaturdaten modelliert.
Cut-Off / Allokation: Basiert auf Zielfraktionen

LCIA:

Environmental Footprint, EF 3.1

Circular Footprint Formula des JRC für die Allokation von Belastungen / Gutschriften

Circular Footprint Formula:



Interpretation & Evaluation:

Robustheits- und Vollständigkeitsprüfungen, Hot-Spot-Analysen, Potenziale von Ökostrom, Elektrifizierung von Transporten, ...

Status Quo: PET-Getränkeflaschen & PET-Rigid-Mix

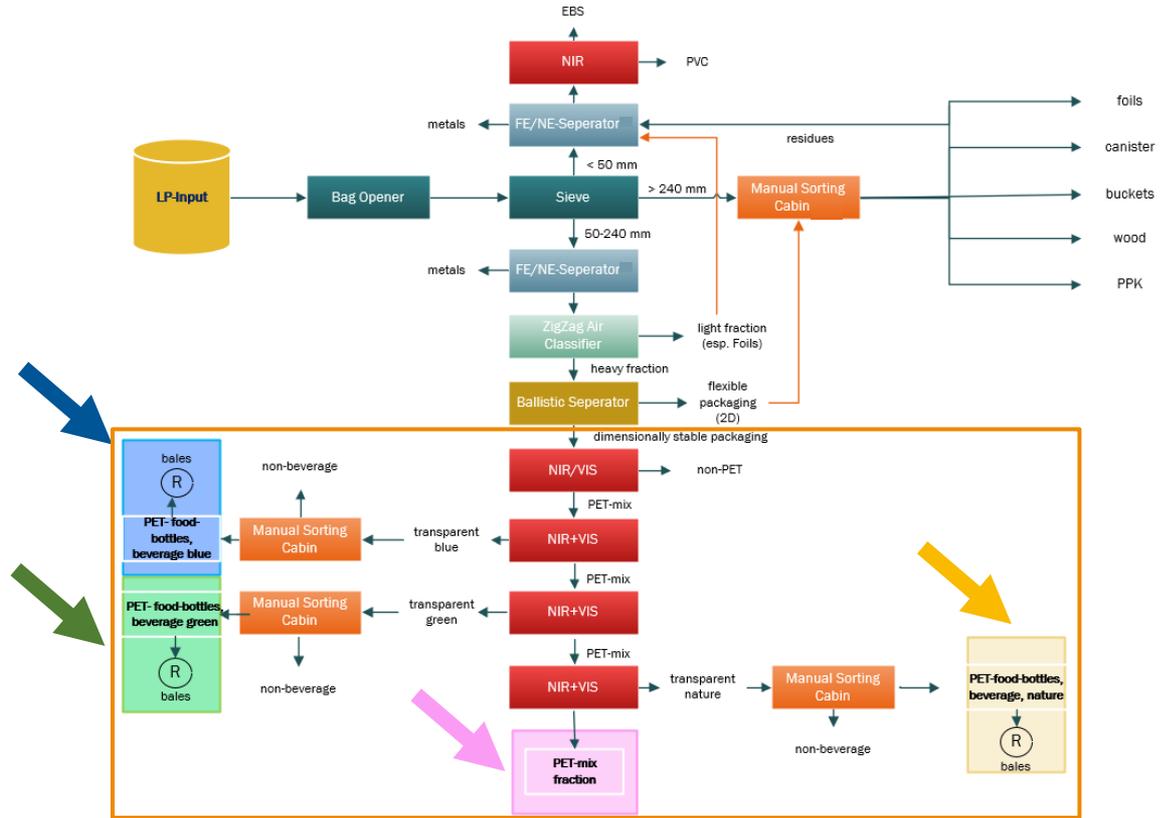
LEVEL: Sorting Facility

Input:

- ✓ Gelber Sack – Leichtverpackungen

Output (Zielfraktionen):

- ✓ PET-Getränkeflaschen – blau, grün & natur
- ✓ PET-Rigid-Mix Fraktion



Status Quo: PET-Rigid Mix

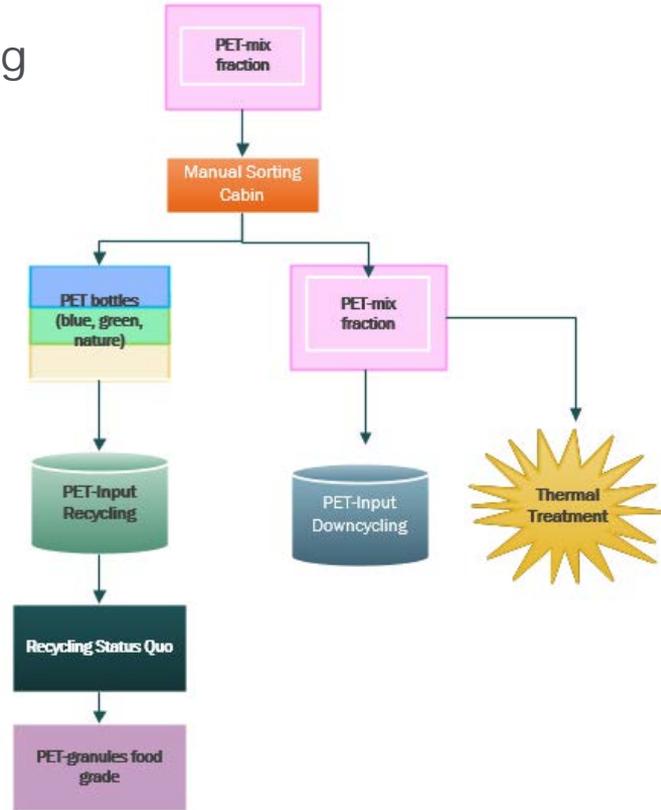
LEVEL: Thermische und Stoffliche Verwertung

Input:

- ✓ PET-Rigid-Mix Fraktion

Output (Zielfractionen):

- ✓ PET-Rigid-Mix Fraktion, Downcycling und Thermal Treatment
- ✓ Sortierte und rezyklierte PET-Getränkeflaschen (blau, grün & natur) → rPET-Granulat, food-grade



Szenario: Closed-Loop Recycling PET-Rigid-Mix – Food Trays & Non-Food Bottles

LEVEL: Sorting Facility

Input:

- ✓ Gelber Sack – Leichtverpackungen

Output (target fractions):

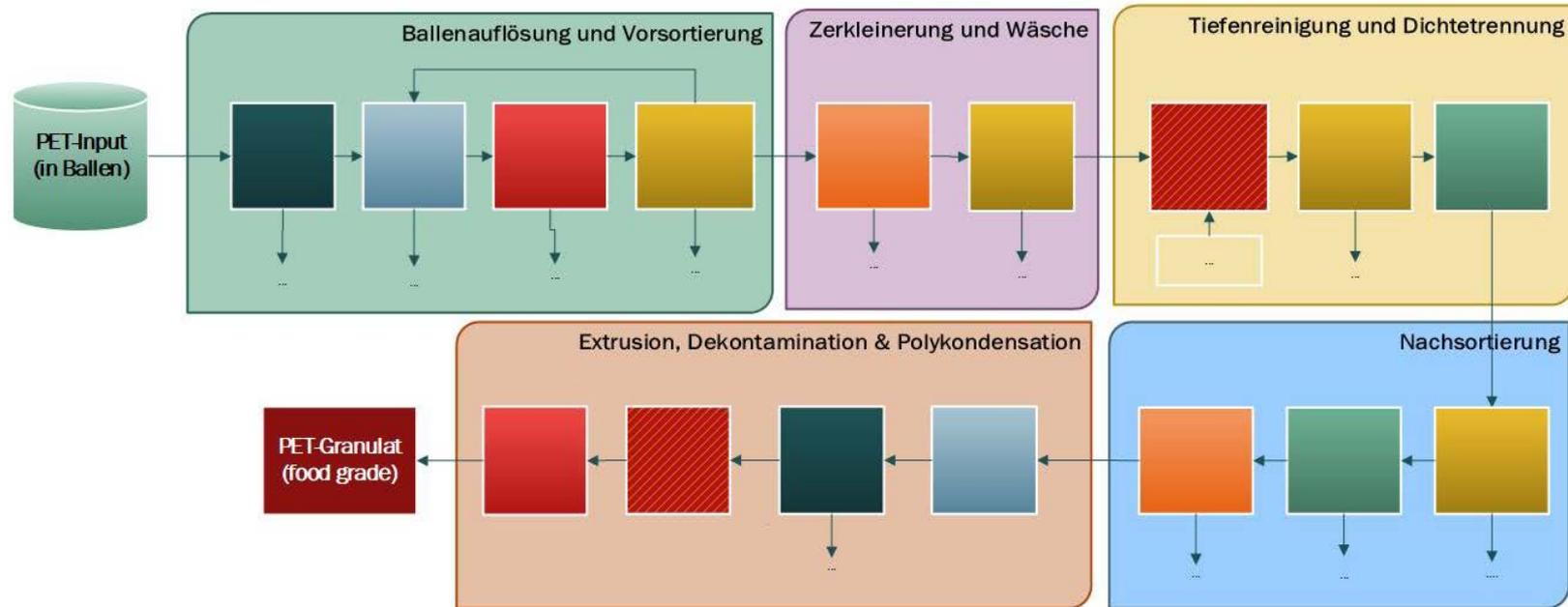
- ✓ PET-Getränkeflaschen, grün, blau & natur
- ✓ PET-Trays mono, food
- ✓ PET-Flaschen, non-food
- ✓ PET-Mix, other



Status Quo: Recycling Facility

Ballenauflösung und Vorsortierung

umfasst Siebklassierung, Ballistischer Separator, Sortieren im Magnetfeld bzw. elektrischen Feld, sensorgestützte, optische Sortierverfahren und manuelle Sortierung

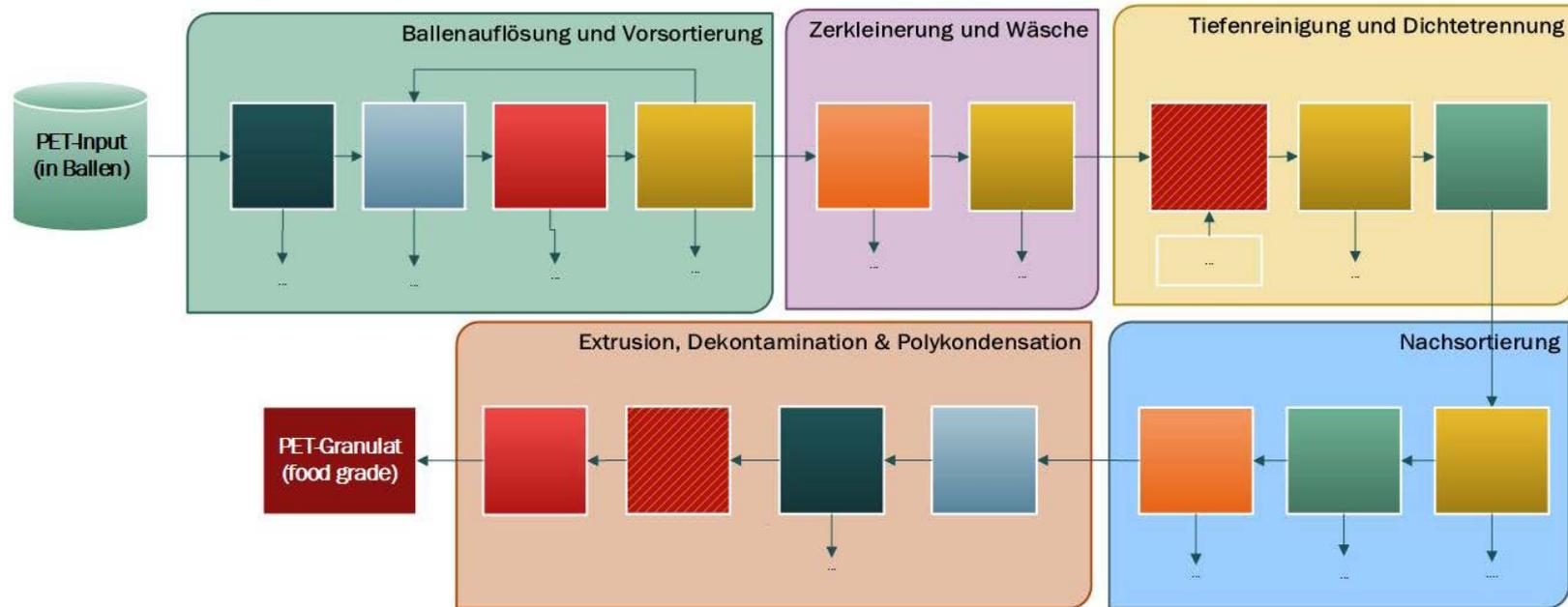


Unterschied PET Bottles vs. Food Trays: Menge der Nicht-Zielfractionen (Fremdmaterialien/-farben, Metalle, Übergrößen usw.) und Entsorgung/Verwertung dieser

Status Quo: Recycling Facility

Zerkleinerung und Wäsche

umfasst Waschmühlen und Zentrifugen

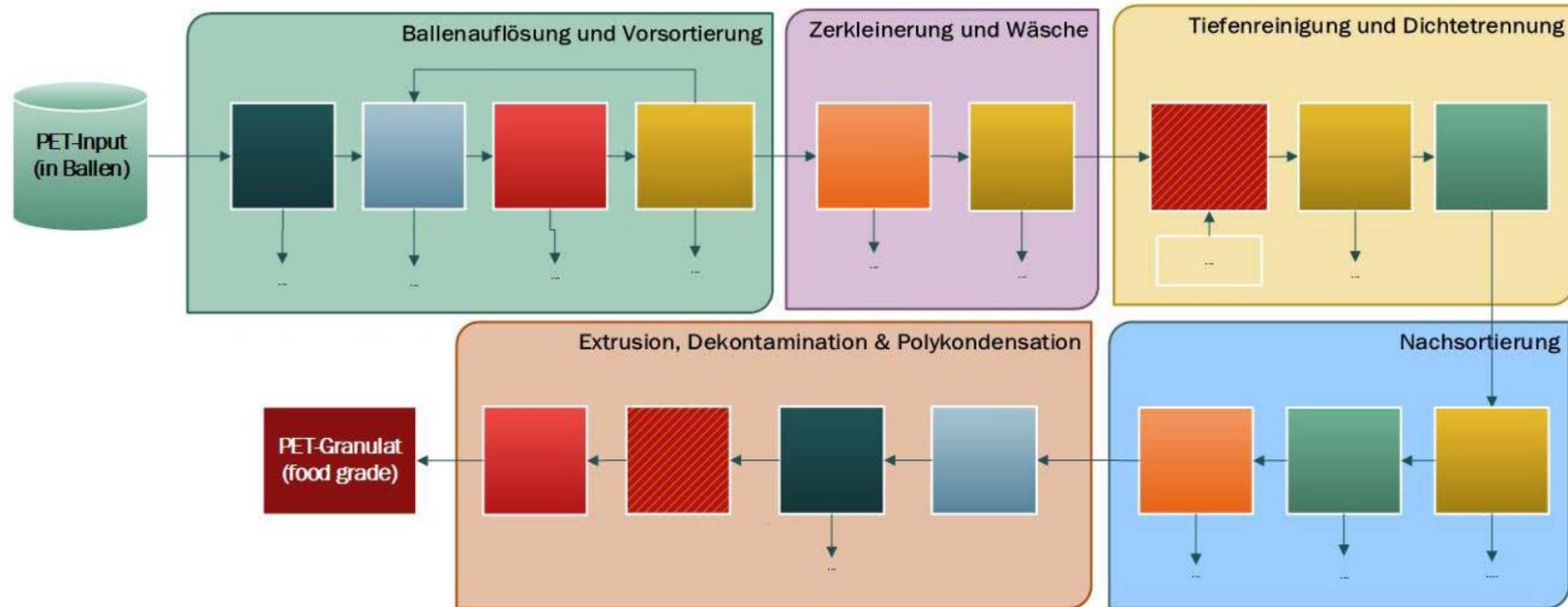


Unterschied PET Bottles vs. Food Trays: geringfügige Unterschiede in Menge des Feinabriebs

Status Quo: Recycling Facility

Tiefenreinigung und Dichtentrennung

umfasst Schwimm-Sink-Verfahren, Zentrifugen, Windsichter und Heißwäsche



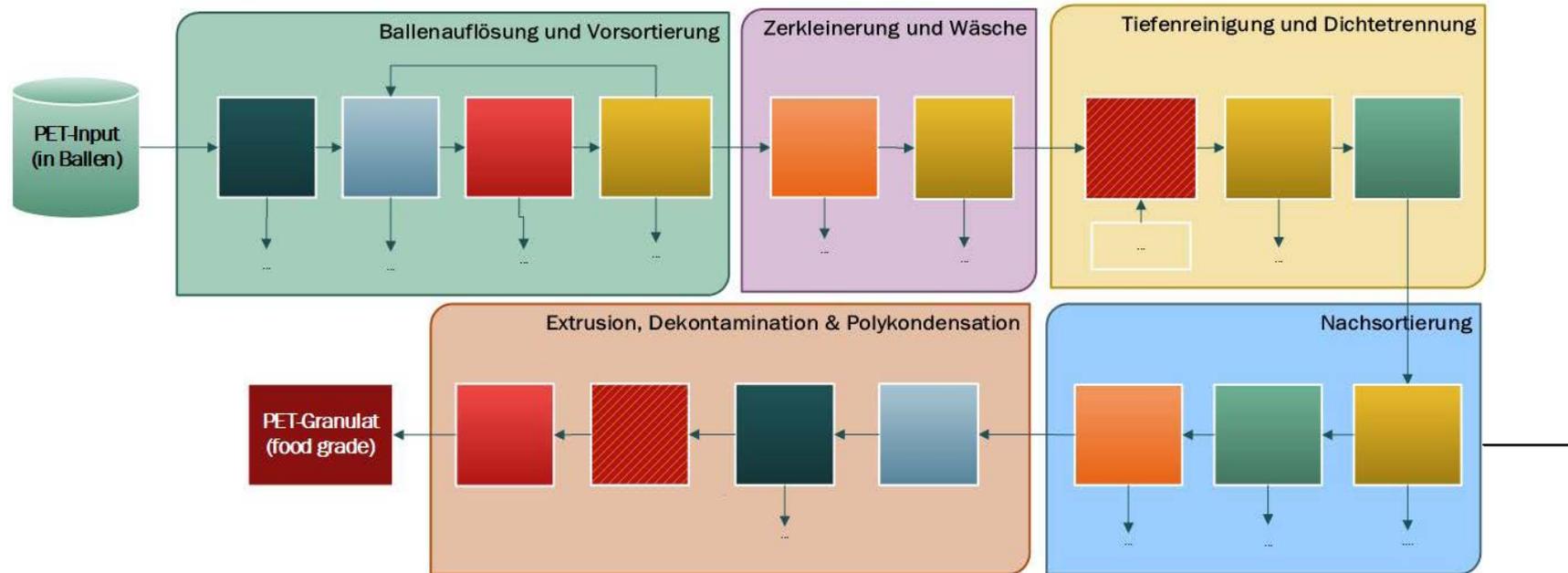
Unterschied PET Bottles vs. Food Trays:

geringfügiger Unterschied der Menge des anfallenden Flake-Rejects (Labels, PO, Fines,..)

Status Quo: Recycling Facility

Nachsortierung

umfasst Flakesorter, Siebklassierung, Sortieren im Magnetfeld bzw. elektrischen Feld, sensorgestützte, optische Sortierverfahren

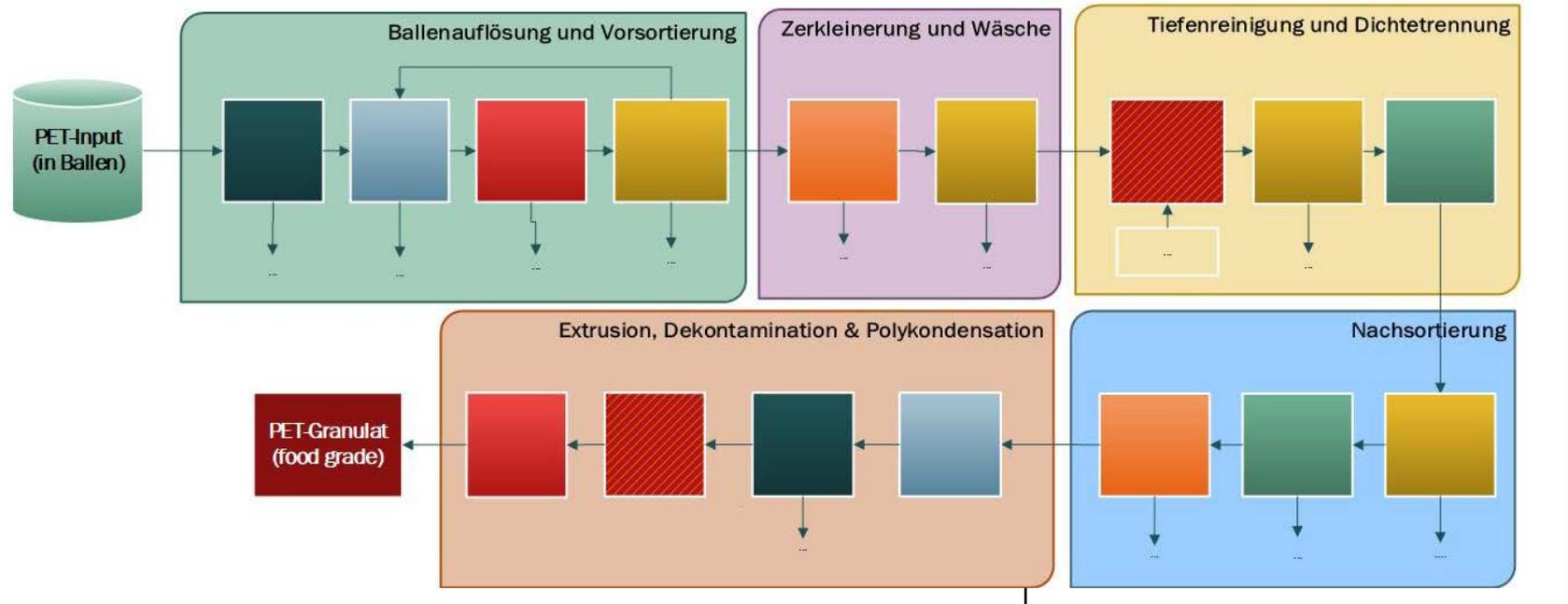


Unterschied PET Bottles vs. Food-Trays: geringfügiger Unterschied der Menge des anfallenden Rejects (PVC, PE, PS,...)

Status Quo: Recycling Facility

Extrusion, Dekontamination & Polykondensation

umfasst Extrusion, Filter, Granulierung, Nachtrocknung, Flüssigreaktor/SSP



Unterschied PET Bottles vs. Food Trays: keine Nachtrocknung bei Trays erforderlich, bei Trays Durchsätze geringfügig abweichend und längere Verweilzeit im Reaktor, um die geforderten Viskositäten zu erreichen

Ergebnisse: Sortierung & Recycling

PET Beverage Bottles

Ergebnisse Zielfractionen (AT):

- > **100% rPET-Granulat, food grade***
- > GWP: 1,12 kg CO₂eq. / kg

*Allokation PET-Sortierung auf PET-Getränkeflaschen und PET-Mix

PET Trays / Non-Food Bottles

Ergebnisse Zielfractionen (AT):

- > **100% rPET-Granulat, food grade***
- > GWP: 1,25 kg CO₂eq. / kg

*Allokation PET-Sortierung auf PET-Getränkeflaschen und PET-Mix

Vergleich:

100% vPET-Granulat, food grade**

Reduktionspotential: -66%

**GWP nach EF v3.1, ecoinvent 3.10, geography: RER

Vergleich:

100% vPET-Granulat, food grade**

Reduktionspotential: -62%

**GWP nach EF v3.1, ecoinvent 3.10, geography: RER

Ergebnisse: Umweltwirkungen von 1kg rPET-Granulat je Wirkungskategorie

Methode	EF v3.1		EF v3.1		EF v3.1		EF v3.1		EF v3.1	
	climate change		energy resources: non-renewable		eutrophication: freshwater		human toxicity: carcinogenic, organics		water use	
Indikator	global warming potential (GWP100)		abiotic depletion potential (ADP): fossil fuels		fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)		comparative toxic unit for human (CTUh)		user deprivation potential (deprivation-weighted water consumption)	
Einheit	kg CO2-Eq		MJ, net calorific value		kg P-Eq		CTUh		m3 world eq. deprived	
Use Case	rPET_bev	rPET_ft	rPET_bev	rPET_ft	rPET_bev	rPET_ft	rPET_bev	rPET_ft	rPET_bev	rPET_ft
Sortierung	2.66E-01	2.81E-01	1.59E+00	1.68E+00	6.61E-05	6.98E-05	7.36E-10	7.77E-10	9.70E-02	1.02E-01
Recycling	8.59E-01	9.73E-01	7.58E-01	-3.80E-01	1.08E-04	6.96E-05	6.40E-10	5.44E-10	2.58E-01	2.38E-01
1 kg rPET Granulate	1.12E+00	1.25E+00	2.35E+00	1.30E+00	1.75E-04	1.39E-04	1.38E-09	1.32E-09	3.55E-01	3.40E-01

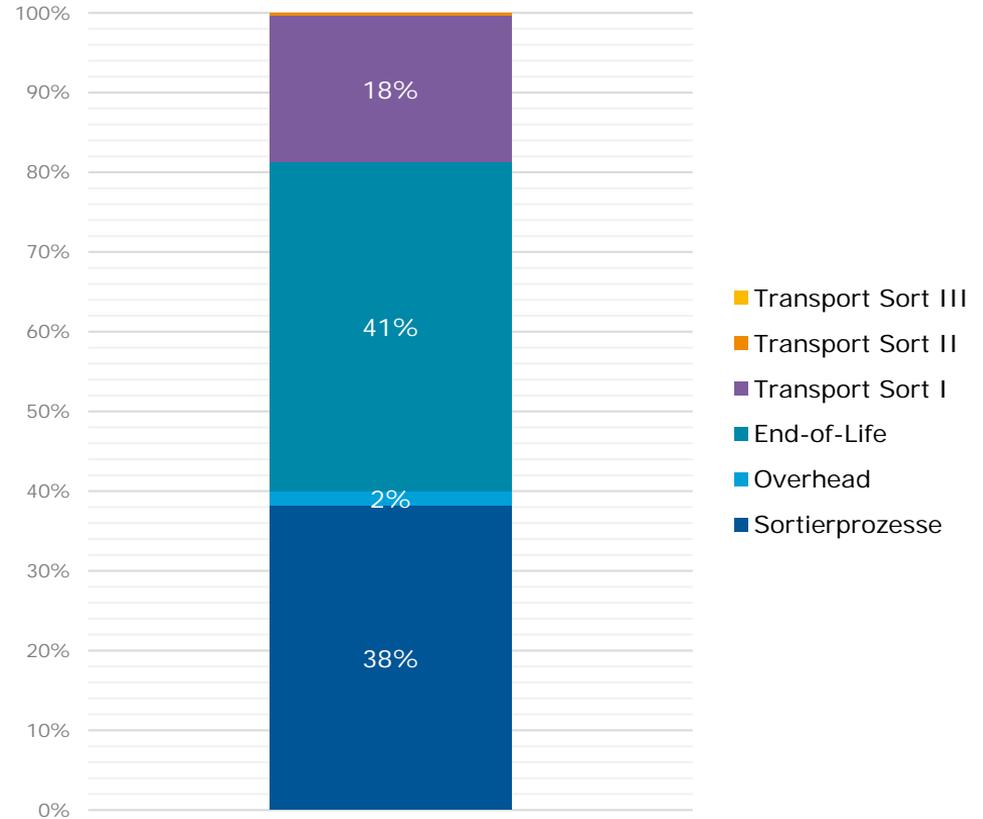
rPET_bev ... rPET Granulat Getränkeflaschen

rPET_ft ... rPET Granulat Non-Food Bottles & Trays

Ergebnisse: Sortierung

starre PET-Verpackungen

Aufschlüsselung des Beitrags der Prozessschritte (in % von GWP) bei der Sortierung von starren PET-Verpackungen



Transportentfernungen:

Transport sort I: Sammlung - Sortieranlage

Transport sort II: Sortieranlage zu EoL Anlage (Verbrennung)

Transport sort III: Sortieranlage zu EoL Anlage (Recycling)

Ergebnisse: Recycling

rPET-Getränkeflaschen (rPET_bev)



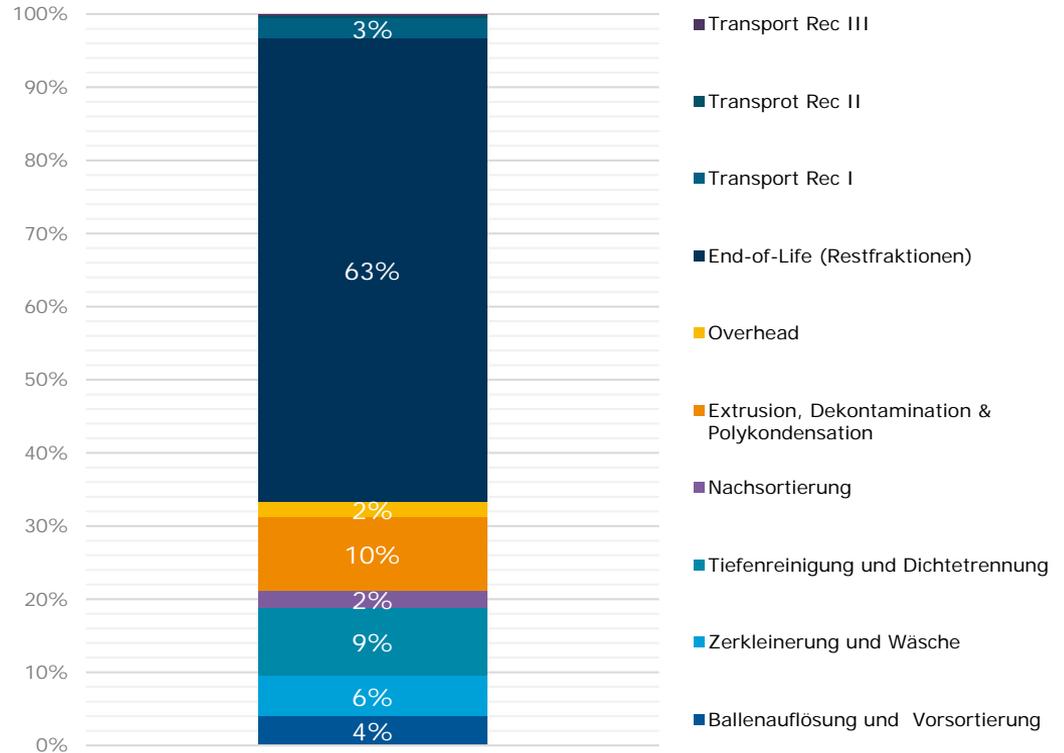
Transportdistanzen:

Transport Rec I: Sortierung - Recycling

Transport Rec II: Recycling zu EoL Anlage (Verbrennung)

Transport Rec III: Recycling zu EoL Anlage (Recycling)

Aufschlüsselung des Beitrags der Prozessschritte (in % von GWP) beim Recycling von PET- Getränkeflaschen



Ergebnisse: Recycling

rPET-Mix (rPET_ft)



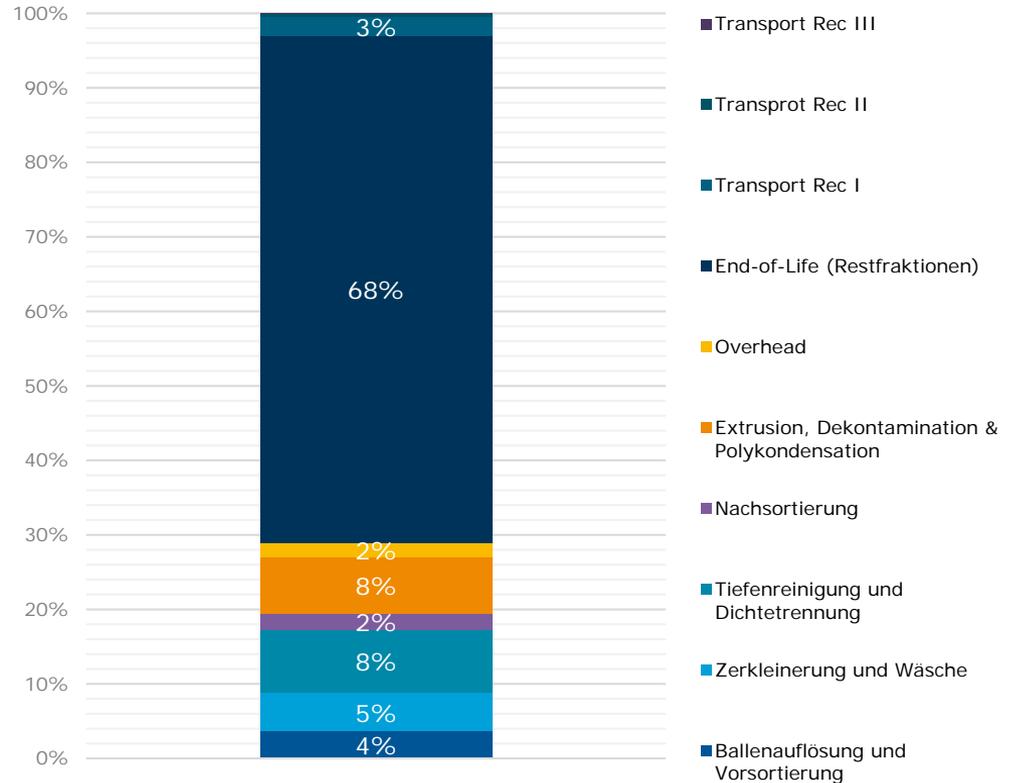
Transportdistanzen:

Transport Rec I: Sortierung - Recycling

Transport Rec II: Recycling zu EoL Anlage (Verbrennung)

Transport Rec III: Recycling zu EoL Anlage (Recycling)

Aufschlüsselung des Beitrags der Prozessschritte (in % von GWP) beim Recycling von PET-Mix

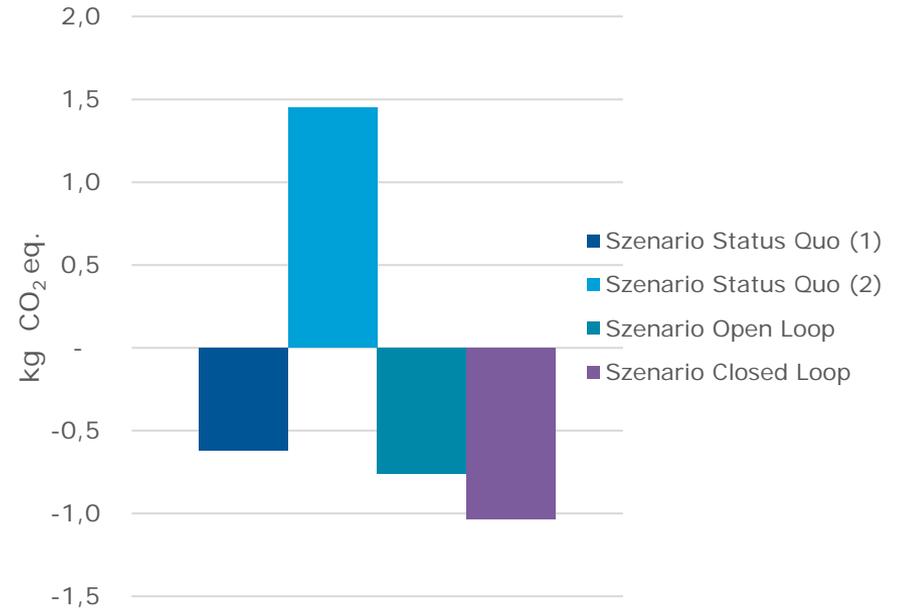


Ergebnisse – Szenarien*

- > **Szenario Status Quo 1:** PET Mischfraktion (Allokation auf PET-Bottles und PET-Mix: 85% Verwertung zu Folien/Umreifungsbändern, 15 % thermische Verwertung)
- > **Szenario Status Quo 2:** PET Mischfraktion (Allokation auf PET-Bottles und PET-Mix: 90 % thermische Verwertung, 10 % PET Bottles Beverage Recycling)
- > **Szenario Open Loop:** PET Mischfraktion (Allokation auf PET-Bottles und PET-Mix: 10 % PET Bottle Beverage Recycling, 80 % Downcycling (non-food-grade), 10 % thermische Verwertung)
- > **Szenario Closed Loop:** (Allokation auf PET-Bottles und PET-Mix: 10 % PET Bottles Beverage Recycling, 33 % non-food-grade Recycling, 57% food grade Recycling)

Verwertung von 1 kg PET-Mix:

*inkludiert Transporte, Sortierung, stoffliche und thermische Verwertung von 1 kg PET Mischfraktion
Bezogen auf 1 kg verwertete Fraktion



Recycling Burdens / Credits:

$$(1 - A)R_2 * \left(E_{recEol} - E_v^* * \frac{Q_{Sout}}{Q_P} \right)$$

Energierückgewinnung Burdens / Credits:

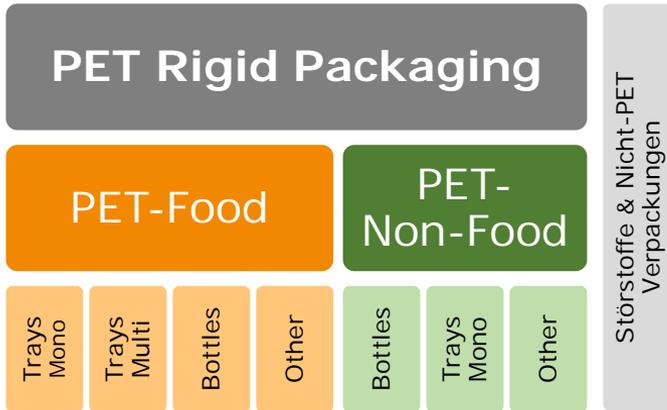
$$(1 - B)R_3 * (E_{ER} - LHV * X_{ER,heat} * E_{SE,heat} - LHV * X_{ER,elec} * E_{SE,elec})$$

Ergebnisse Hochrechnung 1/2: Massenbilanz Gelber Sack



Verpackungsabfallaufkommen in Österreich
(Datenbasis: 2021):¹

- > 298.727 t Kunststoffverpackungsabfälle
- > **154.931 t Kunststoffverpackungsabfälle in separater Sammlung (2021)**
- > **102.000 t Kunststoffverpackungsabfälle Input in Sortieranlagen (2021)**



Beispiel: Hochrechnung des Reduktionspotentials durch Verwendung von in Österreich hergestelltem rPET auf Basis des Verpackungsabfallaufkommens [t CO₂-eq.] (Daten: 2021, Quelle: BMK, BAWP Statusbericht 2023)

Kunststoffverpackungen in separater Sammlung (2021): 154.931 t

→ rd. 1/10 PET-Getränkeflaschen

(calc.) Reduktionspotential → ~ **29.114 t CO₂ eq.**

Kunststoffverpackungen Input Sortieranlagen (2021): 102.000 t

→ rd. 1/10 PET-Getränkeflaschen

(calc.) Reduktionspotential → ~ **19.167 t CO₂ eq.**

¹: BMK (2023): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2023 für das Referenzjahr 2021

Ergebnisse Hochrechnung 2/2:

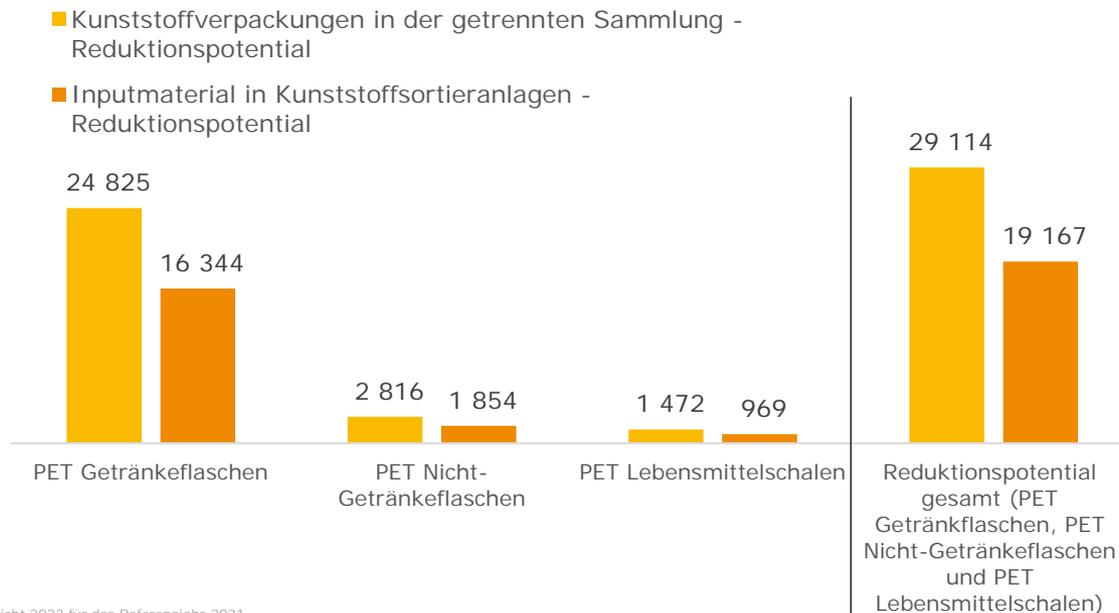
Massenbilanz Gelber Sack



Beispiel: Hochrechnung des Reduktionspotentials durch Verwendung von in Österreich hergestelltem rPET auf Basis des Verpackungsabfallaufkommens [t CO₂-eq.] (Daten: 2021, Quelle: BMK, BAWP Statusbericht 2023)

Verpackungsabfallaufkommen in Österreich (Datenbasis: 2021):¹

- > 298.727 t Kunststoffverpackungsabfälle
- > **154.931 t Kunststoffverpackungsabfälle in separater Sammlung (2021)**
- > **102.000 t Kunststoffverpackungsabfälle Input in Sortieranlagen (2021)**



¹: BMK (2023): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2023 für das Referenzjahr 2021

Key Messages

- > **Allgemein** - Reduktion des Ressourcenverbrauchs/Design4Recycling, zur Bedienung der abfallwirtschaftlichen Grundsätze und Recyclingziele aus umwelttechnischer Sicht:
 - > Food-Grade Recycling für qualitative hochwertige Anwendungen
 - > Non-Food-Grade Recycling zur Bedienung der Quantität
 - > Primärmaterial wo notwendig zur Qualitätssicherung
- > Energieverbrauch ist wesentlicher Einflussfaktor → Reduzieren / Einsatz von Ökostrom
- > Unterschiede zwischen food grade und non-food grade in aktueller Modellierung aufgrund dünner Datenlage mit Unsicherheiten behaftet

Geplante Publikationen

- > Life Cycle Assessment of the sorting of post-consumer rigid polyethylene terephthalate (PET) packaging in Austria
- > Life Cycle Assessment of the recycling of post-consumer rigid polyethylene terephthalate (PET) packaging in Austria





Danke für die Aufmerksamkeit!

Dipl. Ing. Werner Frühwirth, MSc.

werner.fruewirth@fh-campuswien.ac.at