



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Schließen sich Pflichtenheft und CO₂-Äquivalent bei Recyclingprodukten aus?

28. Internationaler Altkunststofftag 9.- 10. Juni in Bad Neuenahr

Benedikt Kauertz - ifeu gGmbH · Heidelberg

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Das ifeu - unabhängige Forschung seit 1978

Unabhängiges gemeinnütziges Forschungsinstitut · rund 120 Wissenschaftler:innen · Standorte Heidelberg, Hamburg und Berlin



Fachbereich Industrie und Produkte · Leitung: Benedikt Kauertz und Frank Wellenreuther

Nachhaltige Produkte

- **Ökobilanzen** · PCFs · SSEFs für **Verpackungen**, Lebensmittel und Inhaltsstoffe, Agrar- und Forstprodukte sowie innovative Materialien (Biokunststoffe, Recyclingprozesse) — inklusive Methodenentwicklung, LCA-Tools sowie wissenschaftliche Grundlagen für Verpackungsregulierung

Nachhaltige Unternehmen

- Aufbau von Corporate-GHG-Accounting-Systemen — Bilanzgrenzen, **Emissionsfaktoren**, Datenerhebung, Berechnungsansätze
- Supplier-Specific Emission Factor Programme (**SSEF**)
- Bearbeitung großer Produktportfolios (z.B. für Handelsunternehmen mit sehr großem Produktportfolio)
- Entwicklung von Reduktionszielen und Pfaden (SBTi, Net-Zero, Szenarien)

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Ökobilanz als Instrument der Umweltbewertung



Umweltwirkungskategorien:

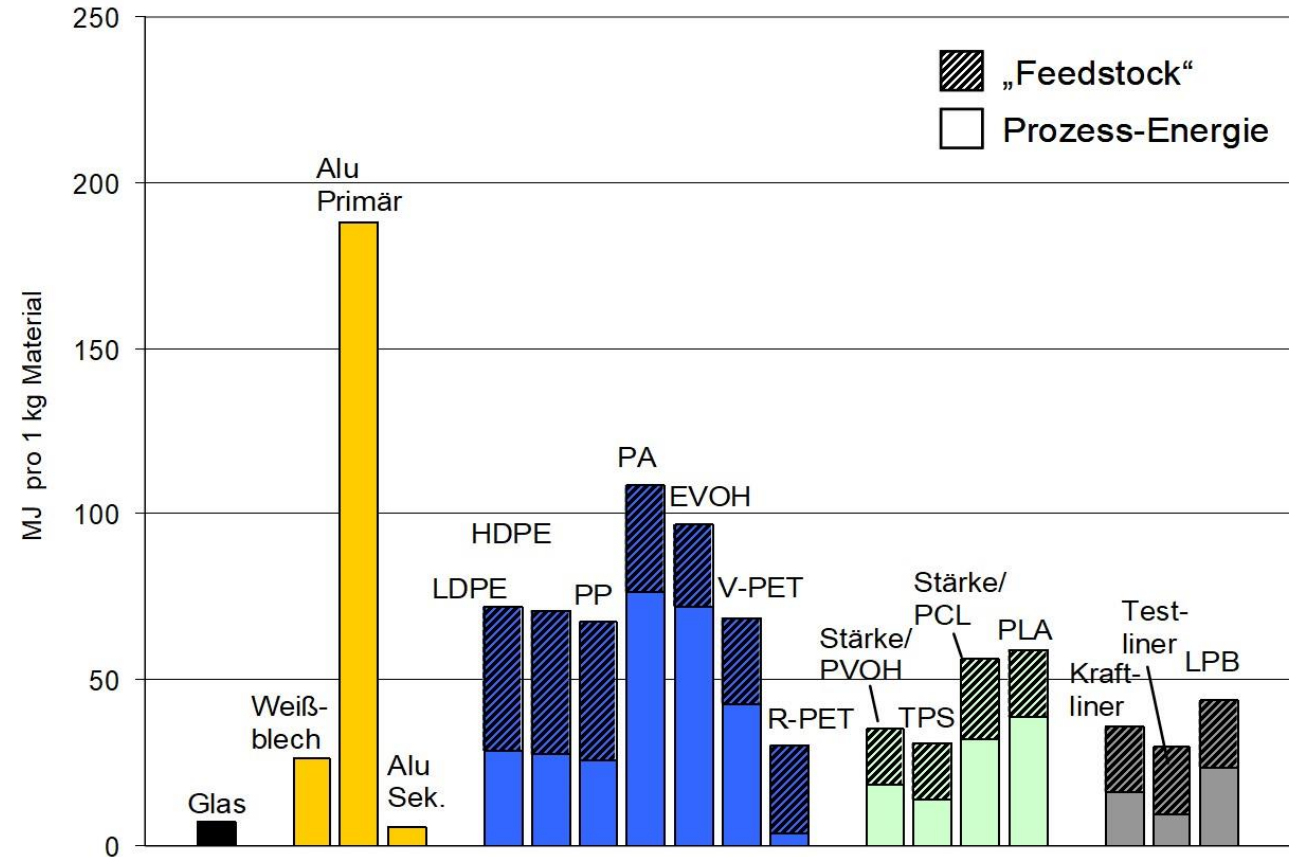
- Klimawandel (CO₂-Äquivalente)
- Ressourcenverbrauch, Versauerung
- Eutrophierung (terrestrisch & aquatisch)
- Weitere Kategorien ...

- Ökobilanzen sind Simulationen mit dem Anspruch die reale Situation des **Betrachtungsgegenstandes** möglichst genau abzubilden.
- Wie bei jeder Simulation bestimmt die Menge und Qualität des **Dateninputs** die Belastbarkeit der Ergebnisse.
- Andererseits ist auch das Setting der Simulation entscheidend. In der Ökobilanz sind das vor allem die **Systemgrenzen**, also:
 - was wird untersucht?
 - wie werden die Übergänge zu anderen Systemen gestaltet (Allokation)?
- Die ökobilanzielle Berechnung generiert numerische Ergebnisse.
- Diese Werte werden **Umweltproblemfeldern** zugeordnet und bewertet.

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Warum stehe ich als Produkt-Ökobilanzierer heute hier?

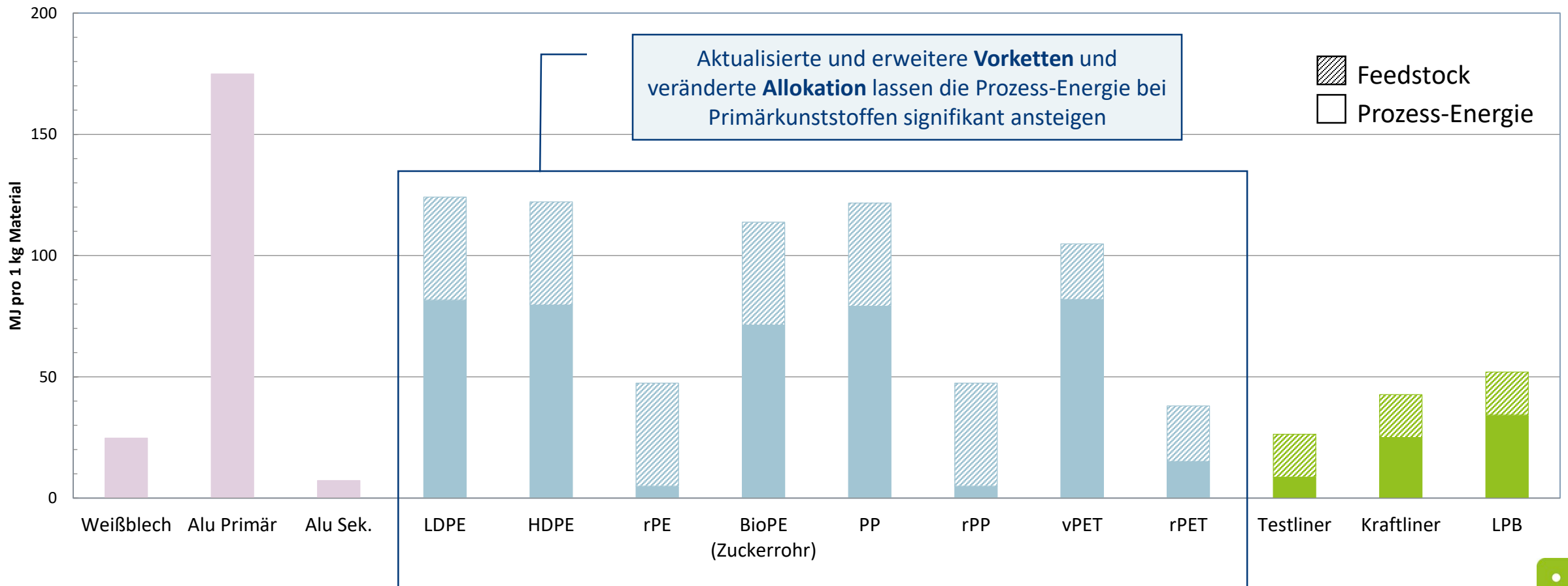
- Die nebenstehende Abbildung ist aus dem Jahr 2005 (also heute 21 Jahre alt).
- Herr Bosewitz fragte mich im Frühjahr 2025, ob es dazu eine **Aktualisierung** gibt....
- ...dann sprachen wir über **Kunststoffrecycling** und **Sekundärkunststoffanwendungen**...
- ... und kamen über das Thema **Verpackung** zu den sonstigen **Produkten**...
- ...am Ende haben wir uns auf einen Vortrag geeinigt...



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Wie sieht das Bild heute aus?

KEA total (MJ/kg Material)



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Das Konzept des kumulierten Energieaufwandes (KEA)

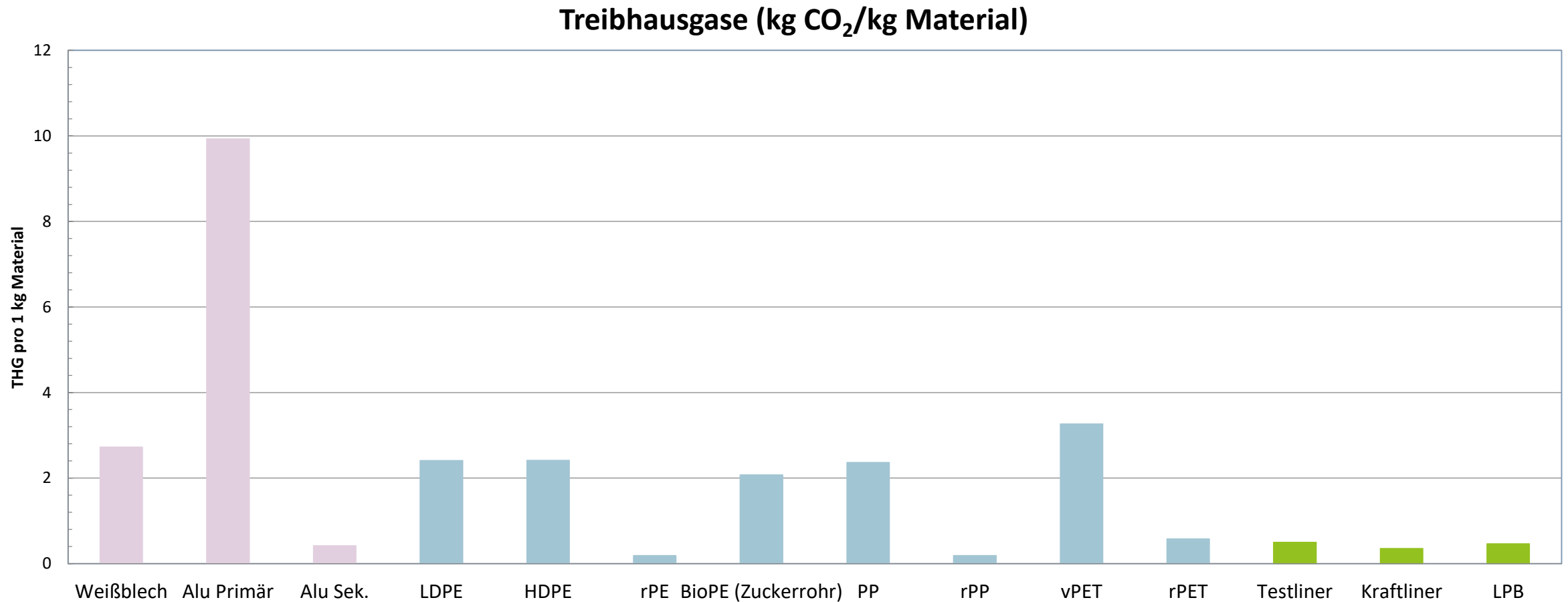
- Der **Kumulierte Energieaufwand (KEA)** beschreibt die gesamte Energiemenge, die für ein Produkt oder Gebäude über den gesamten Lebenszyklus benötigt wird.

Stärken des KEA	Grenzen des KEA
Einfach verständliche Kennzahl	Betrachtet nur Energieaufwand
Gute Vergleichbarkeit von Materialien und Konstruktionen	Andere Umweltwirkungen bleiben außen vor
Besonders geeignet für frühe Planungsphasen	Unterschiedliche Energiequalitäten werden kaum berücksichtigt
Transparente Darstellung „grauer Energie“	Keine direkte Aussage zu Umweltwirkungen (z. B. THG als CO ₂)
Seit Jahrzehnten etabliert in Ökobilanzen	Strommix und technologische Entwicklungen schwer abbildbar

→ Daher: ergänzende Betrachtung von **Umweltauswirkungen** nötig für die Gesamtschau.

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Ergänzende Auswertung der THG-Emissionen



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Zwischenfazit 1

- Die werkstoffliche Nutzung von Sekundärmaterial...
 - ...ist **ökobilanziell vorteilhaft**, da die „wieder Nutzbarmachung“ weniger Prozess-Energie benötigt als die Primärmaterialherstellung.
 - Das zeigt der KEA total
 - Und vor allem die THG-Bilanz
 - ...ist **energetisch sinnvoll**, da es die Feedstock-Energie erhält, die zu einem späteren Zeitpunkt in der thermischen Verwertung einen anderen Energieträger ersetzen kann.
 - Das zeigt nur der KEA total

➔ Ziel sollte es sein, die Feedstock-Energie **möglichst lange zu halten**– aber mit dem geringstmöglichen (Energie-) Aufwand.

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

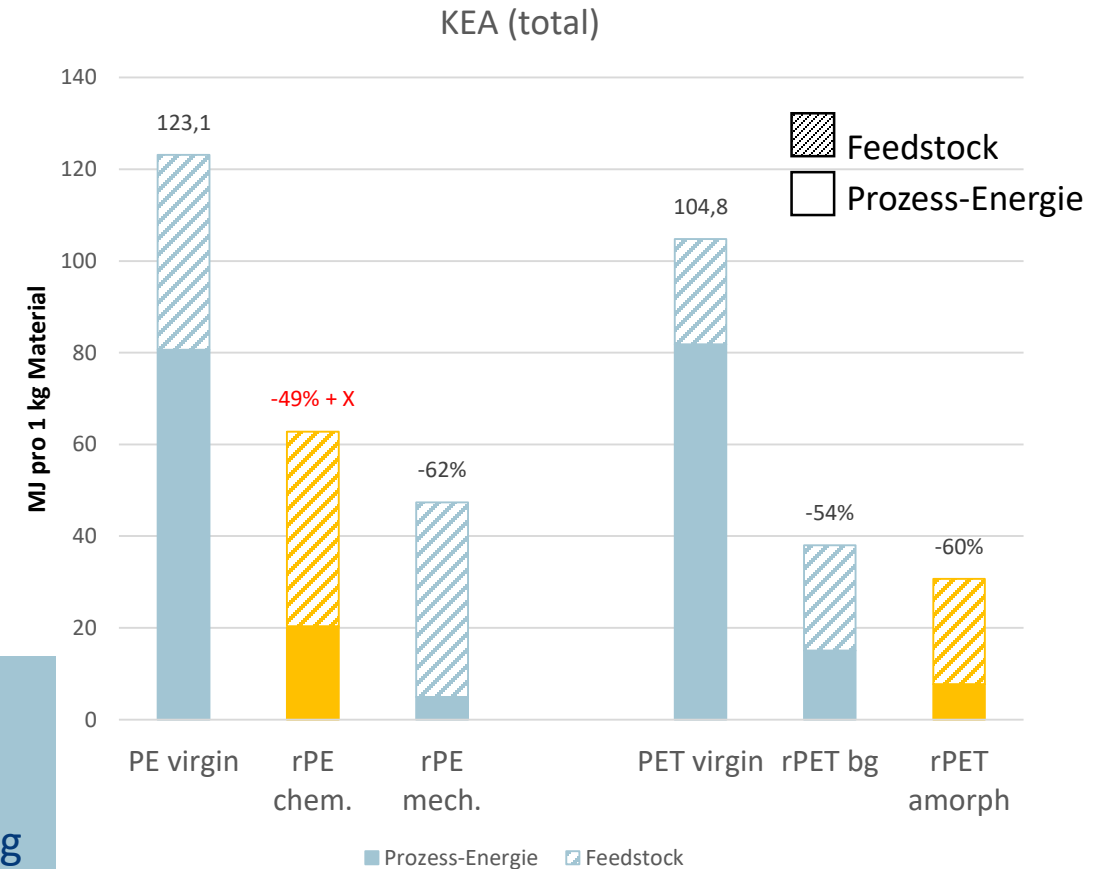
Unterschiedliche Recyclingprozesse



- Ergänzung einer Abschätzung zum chemischen Recycling von PE
 - Datenbasis ist UBA 154/2024
 - Bilanzraum geht nur bis HVE, Polymerisation fehlt
 - Reduktionspotenzial überschätzt
- Ergänzung einer Abschätzung zum PET-Recycling niedrige Rezyklat-Qualität (nicht lebensmitteltauglich)
 - Auf Basis teils sehr alter Prozessdaten
 - Ohne Dekontamination

Kernbotschaft:

Rezyklat-Qualität, Anwendungsspektren und Prozessenergiebedarf bedingen sich gegenseitig



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Zwischenfazit 2

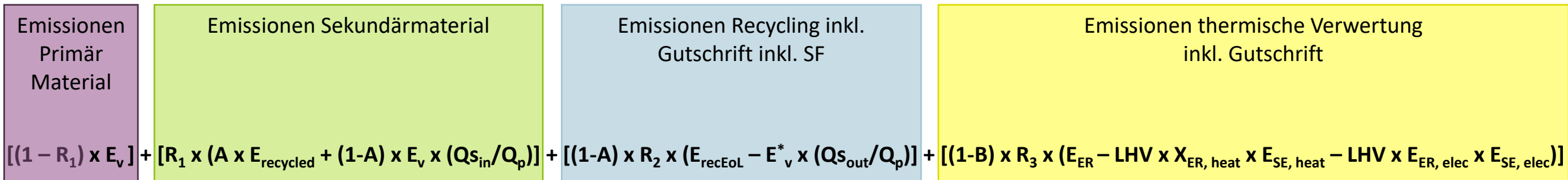
- Ziel sollte es sein, die Feedstock-Energie **möglichst lange zu halten**– aber mit dem geringstmöglichen (Energie-) Aufwand.
- Langfristige und wiederholbare Materialnutzungen bedingen **hochwertige Recyclingprozesse**.
- Hochwertige Recyclingprozesse gehen in der Regel mit **mehr Umweltlasten** einher.

→ Setzt die Ökobilanz hier die richtigen **Anreize**?

→ Ist die Frage, was „richtige“ oder „falsche“ **Sekundärmaterialanwendungen** sind überhaupt auf Ebene der Ökobilanz bewertbar?

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Circular Footprint Formula des PEF

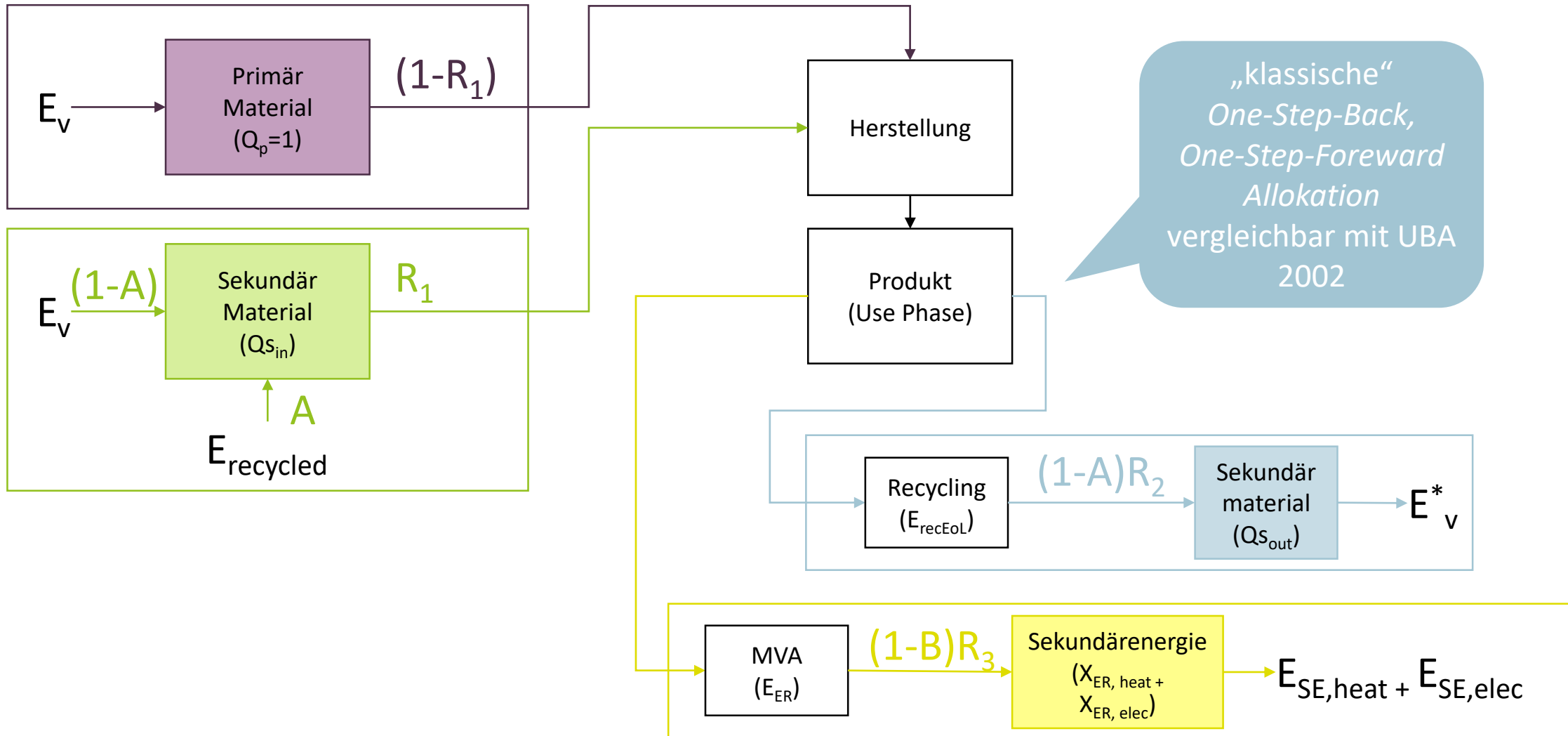


Parameter der Circular Footprint Formel:

- A:** Allokationsfaktor für Belastungen und Gutschriften zwischen dem Lieferanten und dem Nutzer recycelter Materialien.
- B:** Allokationsfaktor für Energieverwertungsprozesse; er gilt sowohl für Belastungen als auch für Gutschriften.
- Q_{s_{in}}:** Qualität des eingehenden Sekundärmaterials, d. h. die Qualität des recycelten Materials zum Zeitpunkt der Substitution.
- Q_{s_{out}}:** Qualität des ausgehenden Sekundärmaterials, d. h. die Qualität des recycelbaren Materials zum Zeitpunkt der Substitution.
- Q_p:** Qualität des Primärmaterials, d. h. die Qualität des Neumaterials.
- R₁:** Anteil des Materials im Input des Produktionsprozesses, das aus einem vorherigen System recycelt wurde.
- R₂:** Anteil des Materials im Produkt, das in einem nachfolgenden System recycelt (oder wiederverwendet) wird. R₂ berücksichtigt daher Ineffizienzen bei Sammlung und Recycling (oder Wiederverwendung). R₂ wird am Ausgang der Recyclinganlage gemessen.
- R₃:** Anteil des Materials im Produkt, das am Ende des Lebenszyklus (EoL) zur Energiegewinnung genutzt wird.
- E_{recycled} (E_{rec}):** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus dem Recyclingprozess des recycelten (wiederverwendeten) Materials entstehen, einschließlich Sammlung, Sortierung und Transport.
- E_{recyclingEoL} (E_{recEoL}):** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus dem Recyclingprozess am Ende des Lebenszyklus entstehen, einschließlich Sammlung, Sortierung und Transport.
- E_v:** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus der Gewinnung und Vorverarbeitung von Neumaterial entstehen.
- E_v^{*}:** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus der Gewinnung und Vorverarbeitung von Neumaterial entstehen, das durch recycelbare Materialien ersetzt wird.
- E_{ER}:** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus dem Energieverwertungsprozess entstehen (z. B. Verbrennung mit Energierückgewinnung, Deponierung mit Energierückgewinnung usw.).
- E_{SE,heat} und E_{SE,elec}:** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus der spezifisch substituierten Energiequelle entstanden wären – für Wärme bzw. Strom.
- E_D:** Spezifische Emissionen und verbrauchte Ressourcen (pro Analyseeinheit), die aus der Entsorgung von Abfallmaterialien am Ende des Lebenszyklus des analysierten Produkts entstehen – ohne Energierückgewinnung.
- X_{ER,heat} und X_{ER,elec}:** Wirkungsgrad des Energieverwertungsprozesses für Wärme bzw. Strom.
- LHV:** Heizwert (unterer Heizwert) des Materials im Produkt, das zur Energiegewinnung verwendet wird.

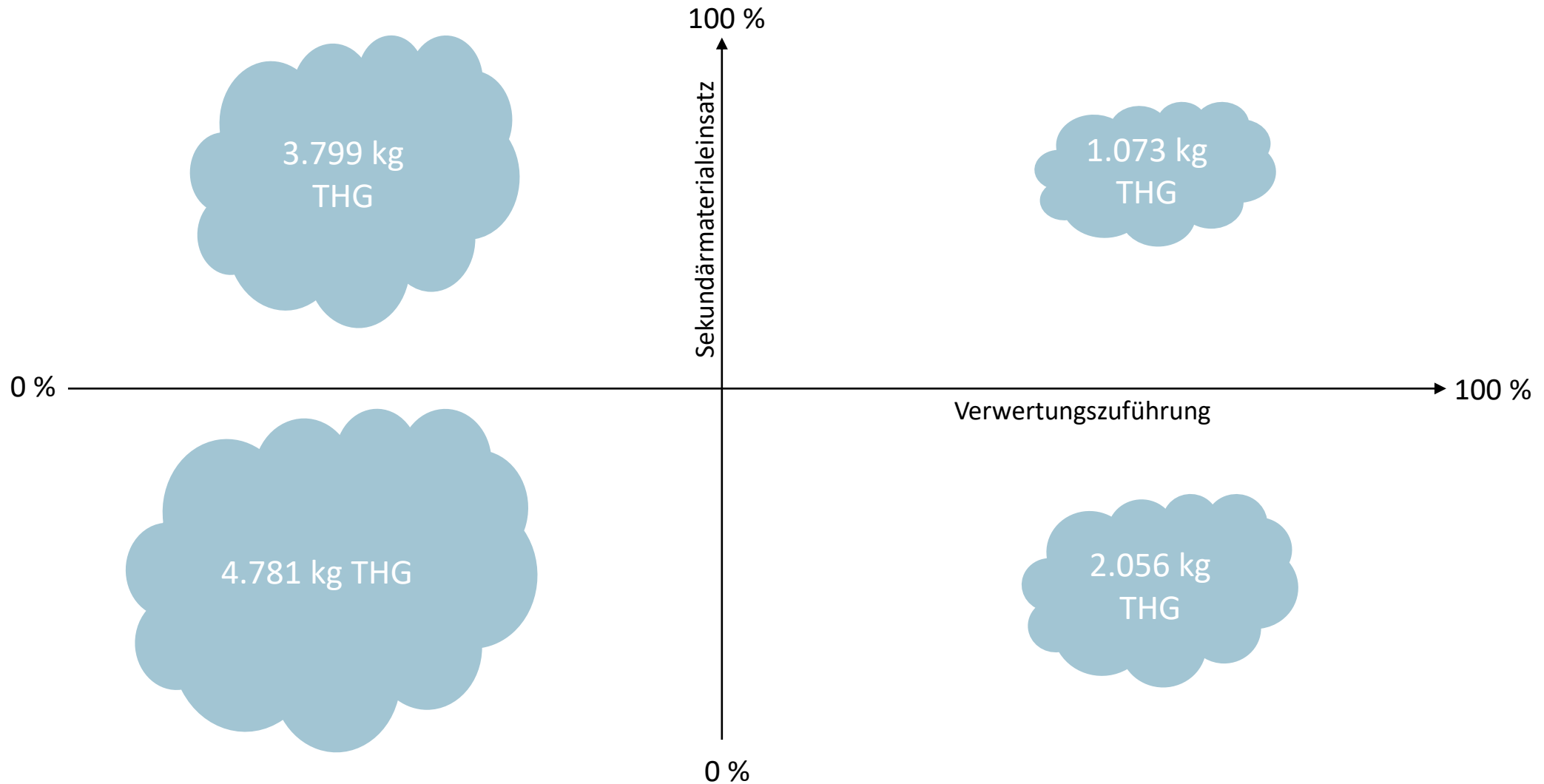
Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Circular Footprint Formula des PEF



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Prototypische PEF-Beispielrechnungen: 1.000 kg Produkt aus PE



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Auswirkungen der PEF-Allokation

- Verwertungszuführung bringt **ökobilanziell größeren Nutzen** als Sekundärmaterialeinsatz
- Höhe der **Gutschriften für Sekundärmaterial** wird modelliert über $Q_{s_{out}}/Q_p$

Qualität des ausgehenden Sekundärmaterials, d. h. die Qualität des recycelbaren Materials zum Zeitpunkt der Substitution vs. Qualität des Primärmaterials

- Höhe der **Lastschriften für Recyclingaufwendungen** werden gesteuert über den Parameter E_{RecEOL} , der abhängig ist von der eingesetzten Prozesstechnik
- Fragen des **langfristigen Materialerhalts/ Energieerhalts** spielen bei dieser Form der Modellierung keine Rolle

→ Solange $Q_{s_{out}}$ und Q_p nicht allzu weit auseinanderliegen gibt es in der CFF des PEF **keinen Anreiz für hochwertige Recyclingprozesse**

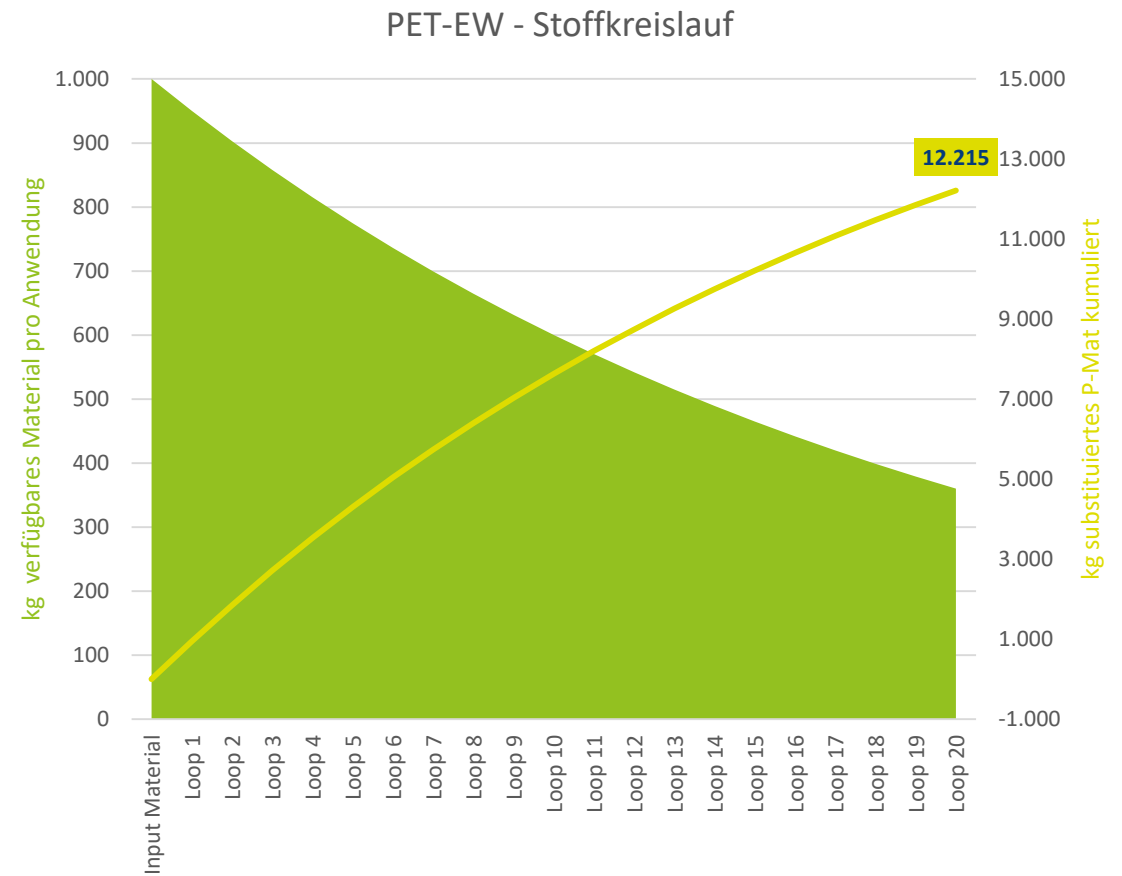
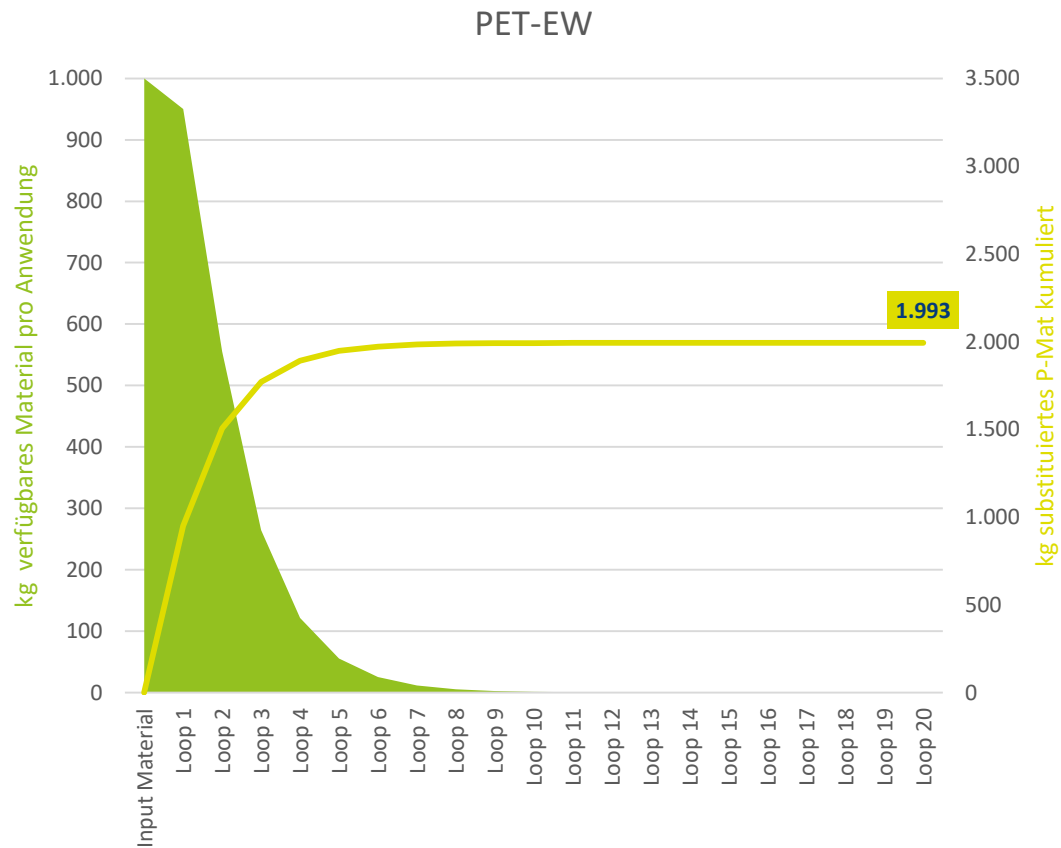
Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Berücksichtigung der Verwendung des Sekundärmaterials

- In der Regel **wissen wir wenig** über die Anwendungen von Sekundärmaterial.
- Ausnahme: Verwertete **PET-Getränkeflaschen**.
 - Wir wissen über die erzielbaren Sekundärprodukte:
 - **PET-EW-Flaschen: 48 %**
 - PET-Folie: 23 %
 - PET-Faser: 11%
 - PET-Sonstige: 19 %
 - Wir kennen die Verwertungszuführungsquoten:
 - **Verwertungszuführungsquote PET EW Flaschen: 97,6 %**
 - Für die anderen Produkte müssen wir schätzen:
 - Verwertungszuführungsquote PET Folie: 50 %
 - Verwertungszuführungsquote PET Sonstige: 10 %
- Für die **Modellierung** nehmen wir an:
 - Nicht von der Verwertungszuführungsquote erfasst Material und Aufbereitungsverluste werden der MVA zugeführt. Nach der Behandlung in der MVA steht kein Sekundärmaterial zur Verfügung.
 - Eine Aufbereitung gebrauchter PET-EW-Flaschen zu PET-Faser bedeutet grundsätzlich eine dissipative Nutzung. Es wird kein Recycling von Textilien auf Basis von PET unterstellt.
 - Grundsätzlich wird Recyclingmaterial aus den Fraktionen PET-Folie und PET-Sonstige im nächsten Loop der Fraktion PET-Sonstige zugeschlagen.
- Zusätzlich modellieren wir ein Szenario in dem PET-Getränkeflaschen zu 100 % wieder PET-Getränkeflaschen werden. -> Szenario **PET-EW Stoffkreislaufflasche**

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

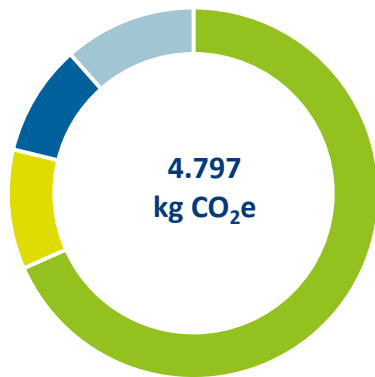
Berücksichtigung der Verwendung des Sekundärmaterials



Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

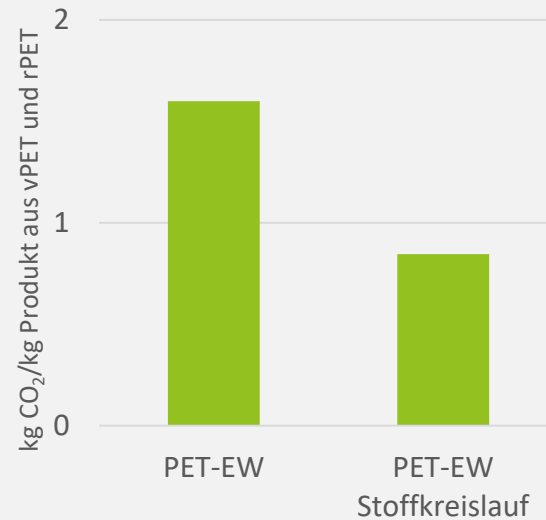
Berücksichtigung der Verwendung des Sekundärmaterials

PET-EW
THG Emissionen für 2.993 kg PET Produkte

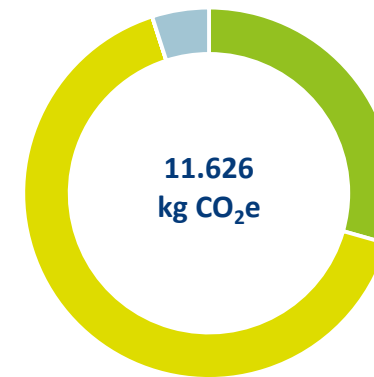


- Materialproduktion Neuware
- Recyclingaufwand B-2-B
- Recyclingaufwand B-2-F
- MVA inkl. GS

THG-Emissionen pro kg
Produkt



PET-EW Stoffkreislauf
THG Emissionen für 13.215 kg PET Produkte



- Materialproduktion Neuware
- Recyclingaufwand B-2-B
- Recyclingaufwand B-2-F
- MVA inkl. GS

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Berücksichtigung der Verwendung des Sekundärmaterials

- Eine **Verlängerung der Kaskade** führt zu einer höheren Primärmaterialeinsparung.
- Diese **Primärmaterialeinsparung** führt in der Gesamtbilanz über alle Produkte zu einem ökobilanziellen Vorteil der „langen“ Kaskade gegenüber der „kurzen“ Kaskade.
- **„lang“ und „kurz“** bedeuten hier lediglich die Anzahl der Nutzenzyklen – nicht die Bindedauer des Materials.

- ➔ Die hier gezeigten Ergebnisse setzen einen Anreiz Sekundärmaterial eher in kurzlebigen Produkten mit einer hohen Verwertungszuführungsquote einzusetzen (bspw. Verpackungen)
- ➔ Damit einher geht ein Anreiz für hochwertiges Recycling

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Zusammenfassung und Fazit

- Worauf können wir uns einigen?
 - **Sekundärmaterialien** erzielen meist eine **bessere ökobilanzielle Bewertung als Primärmaterialien**, da der Energiebedarf der Aufbereitung oft geringer ist als der Energiebedarf der Primärmaterialerzeugung
 - Der Einsatz von **Sekundärmaterial** in einem Produkt **verdrängt Primärmaterial** (gut für die Ökobilanz) und kann im Fall einer thermischen Verwertung am Lebensende immer noch **primäre Energieträger** ersetzen (ebenso gut für die Ökobilanz).
 - Eine **Verlängerung der Nutzenkaskade** ist prinzipiell dazu geeignet die Umweltbewertung aller Produkte in der Kaskade zu verbessern.
 - Wir wissen per Stand heute wenig über die **Wiederrecyclingfähigkeit** der Anwendungen in denen Sekundärmaterial eingesetzt wird.
 - Wir wissen per Stand heute wenig über die **Anreicherung** von Migrations- und Abbauprodukten in Kunststoffen bei langfristig wiederholten (mechanischem) Recycling.

Workshop C - Kunststoffproduktgestaltung im interdisziplinären Dialog

Zusammenfassung und Fazit

- Was sollten wir diskutieren?
 - Soll es einen **Vorrang** für den Einsatz von Sekundärmaterial in wiederrecyclingfähigen Anwendungen geben?
 - *Wie kann ein für diesen Zweck geeignetes **Steuerungsinstrument** aussehen?*
 - Soll es in **Ökobilanzen einen Bonus** geben, wenn Sekundärmaterial in wiederrecyclingfähige Anwendungen fließt?
 - *Wie bemessen wir **valide und transparent** die Wiederrecyclingfähigkeit in Sekundäranwendungen?*
 - *Wie gehen wir mit **langfristiger Materialbindung** um (Bauprodukte, Automotive)?*
 - Ist nicht die **Ausweitung der Regulatorik zur Recyclingfähigkeit** sowie die **Schaffung einer funktionellen Infrastruktur zur Erfassung- und Verwertung aller Wertstoffströme** der bessere Schlüssel für den Ausweg aus dem hier aufgezeigten Dilemma?



Vielen Dank!

Kontakt:

Benedikt Kauertz

benedikt.kauertz@ifeu.de



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG