

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Vom Puzzleteil zum Big Picture –
Vernetzung in der Kreislaufwirtschaft

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

Kreislaufwirtschaft

Vision der Europäischen Union

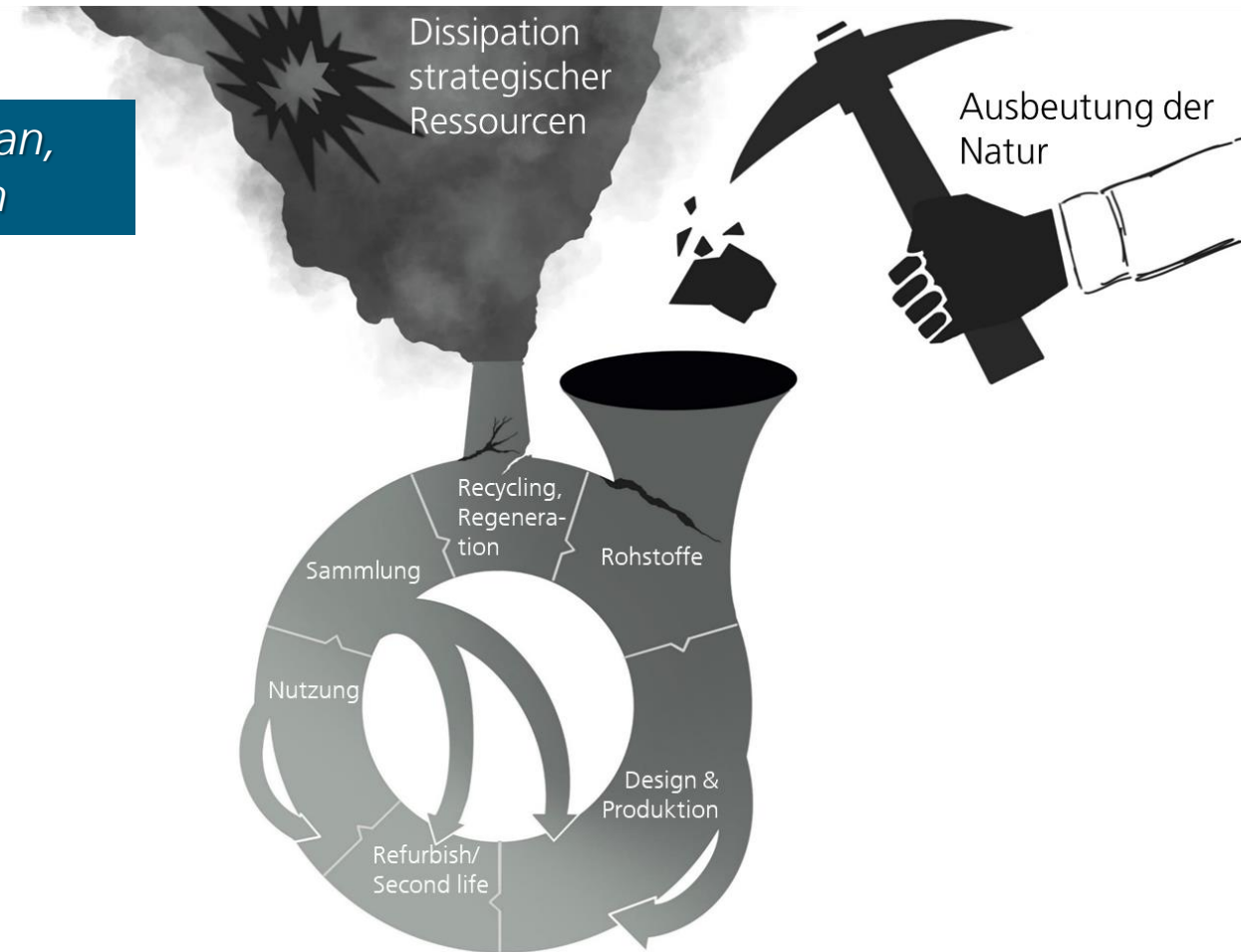
Die EU strebt den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft an, um Europa sauberer und wettbewerbsfähiger zu machen

Ansatz:

- *Minimierung des Einsatzes von Primärrohstoffen*
- *Reduzieren von Reststoffen und Verlusten*

Ziel:

- *Umweltverschmutzung verringern*
- *Druck auf natürliche Ressourcen verringern*
- *(Treibhausgas-) Emissionen verringern*
- *Neue Geschäftsmodelle und Arbeitsplätze schaffen*
- *Resilientere Wertschöpfungsketten ermöglichen*



Vernetzung als Enabler der Kreislaufwirtschaft

Mehr als die Summe ihrer Teile

Status Quo: Fokus auf Einzelprozessen

- Handeln von Akteuren oft nur „Gate to Gate“
- Potentiale sind in großen Teilen ausgeschöpft

Potential: Optimierung des Gesamtsystems

- Vorteile auch für den einzelnen Akteur
- Informationsaustausch ist zentrales Element
- Kann durch digitale Systeme vereinfacht werden



Dissipation strategischer Ressourcen

Ausbeutung der Natur

Lösungsansatz

- 1. Vernetzung von Akteuren**
 - Netzwerke [TReMin]
 - Digitale Plattformen [DigInform]
- 2. Datengrundlage**
 - Datensammlung [RSQ 2]
 - Digitaler Produktpass [ReCircE]
- 3. Entscheidungsunterstützung**
 - Bewertungsmodelle [Waste4Future]
 - Prozessoptimierung [K³I-Cycling]



Vernetzung von Akteuren

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

ReMin - Fördermaßnahme



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



ReMin
Ressourceneffiziente
Kreislaufwirtschaft

Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe

BMBF ReMin

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft –
Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)

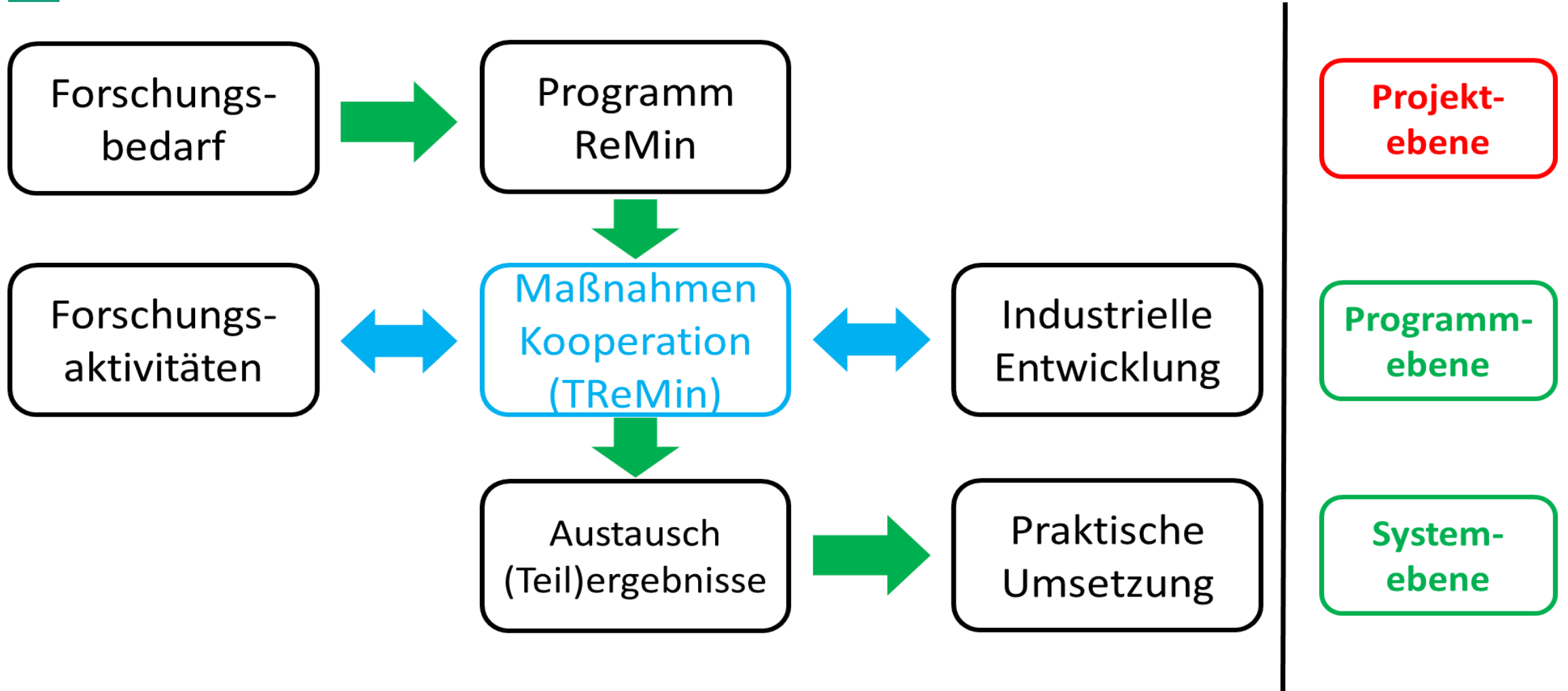


16 + 1 Projektverbünde

- ❖ Verwertung mineralischer Stoffströme
- ❖ Bauen in der Kreislaufwirtschaft
- ❖ Begleitendes Transferprojekt

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Grundlegende Zielsetzung

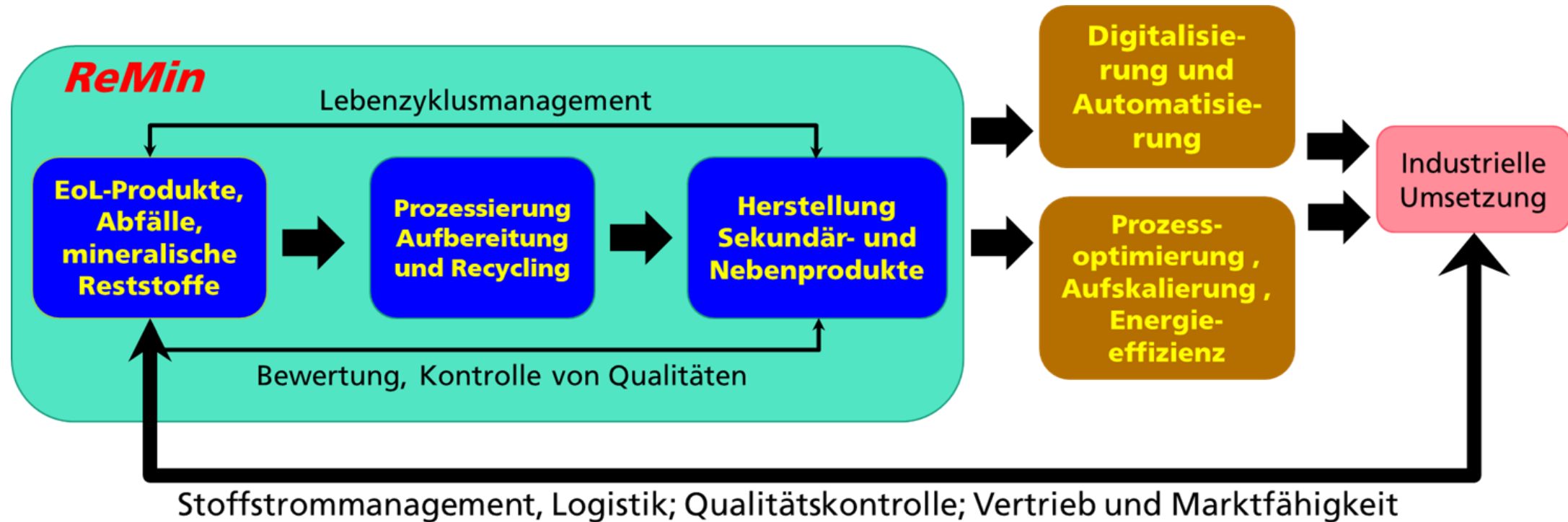


Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Konzept der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft

Grundthema :

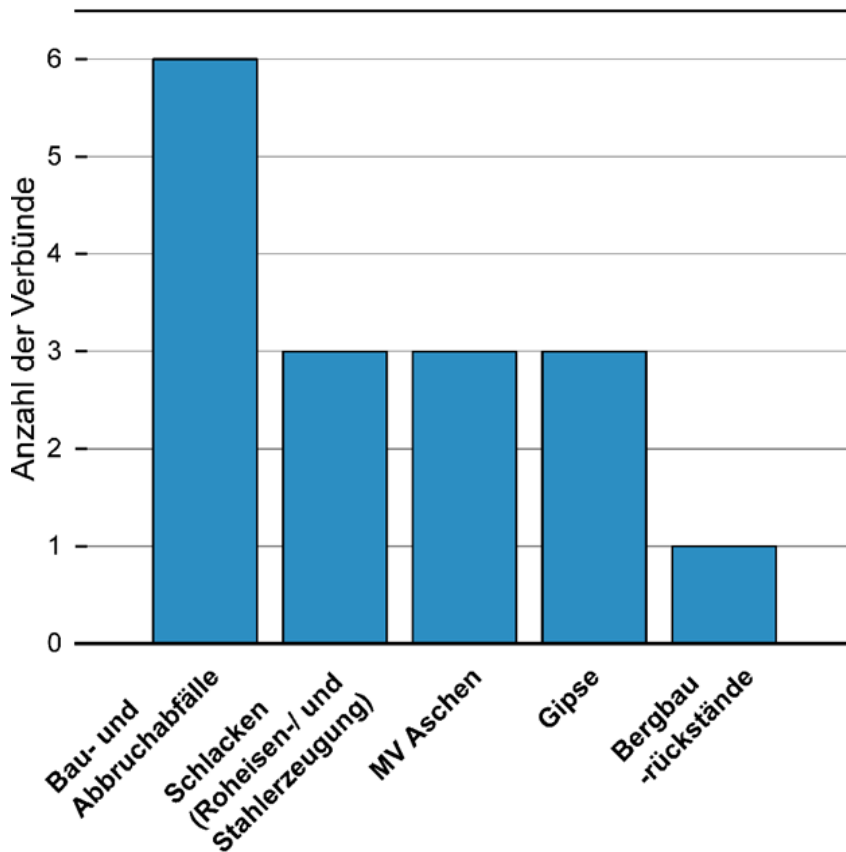
Schritt für Schritt zur industriellen Kreislaufwirtschaft Bau



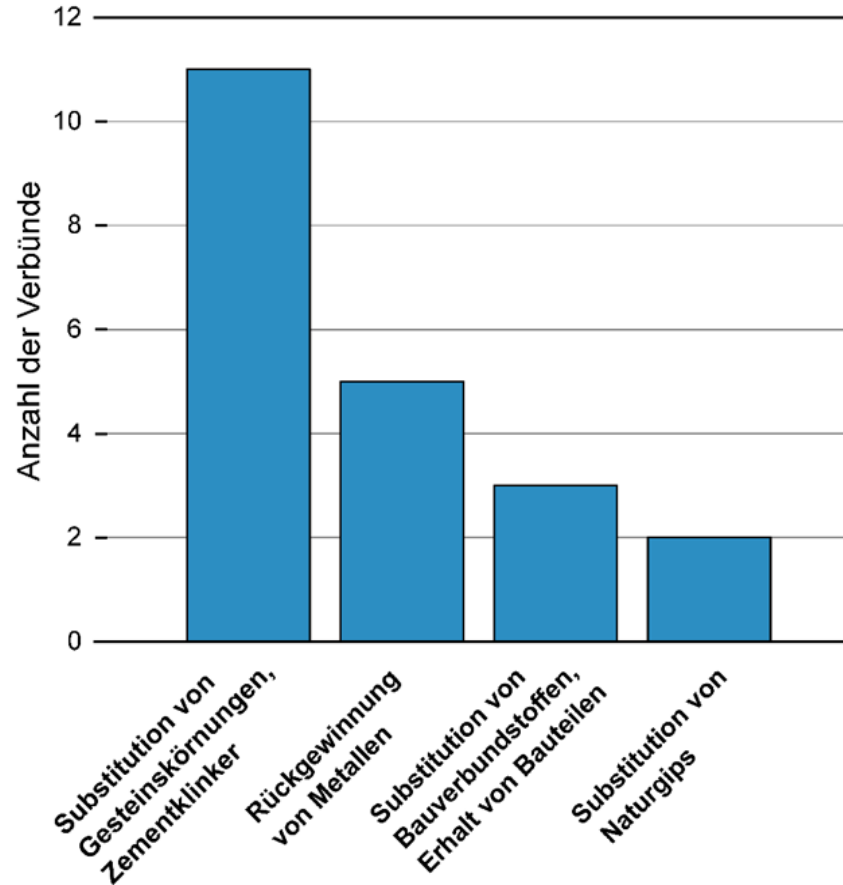
Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Grundlegende Zielsetzung

Ausgangsstoffe



Zielstoffe



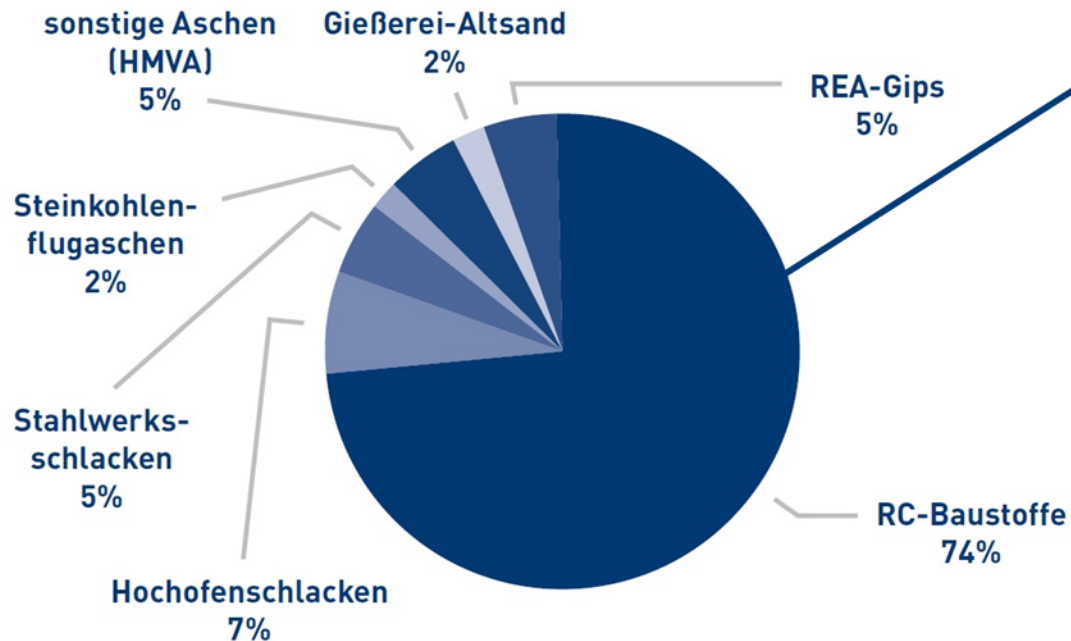
Wege zur Kreislaufwirtschaft

- Werkstoffsubstitution
- (Weiter-)Entwicklung von Verfahren
- funktionaler Wiedereinsatz von Bauteilen
- hohe Anzahl an Innovation im Bereich Aufbereitung, Digitalisierung, Sortierung uvm.

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Stoffströme und Wege zur Kreislaufwirtschaft

Anteile verschiedener Sekundärrohstoffe am Gesamtaufkommen in 2019 (Masse = 100 Mio. t)



Quelle: Zusammenstellung in Anlehnung an Kreislaufwirtschaft Bau 2021

Ca. 74 Mio. t mit Steigerungspotenzial auf bis zu 86.5 Mio. t in 2040 (also ca. 12.5 Mio. t)

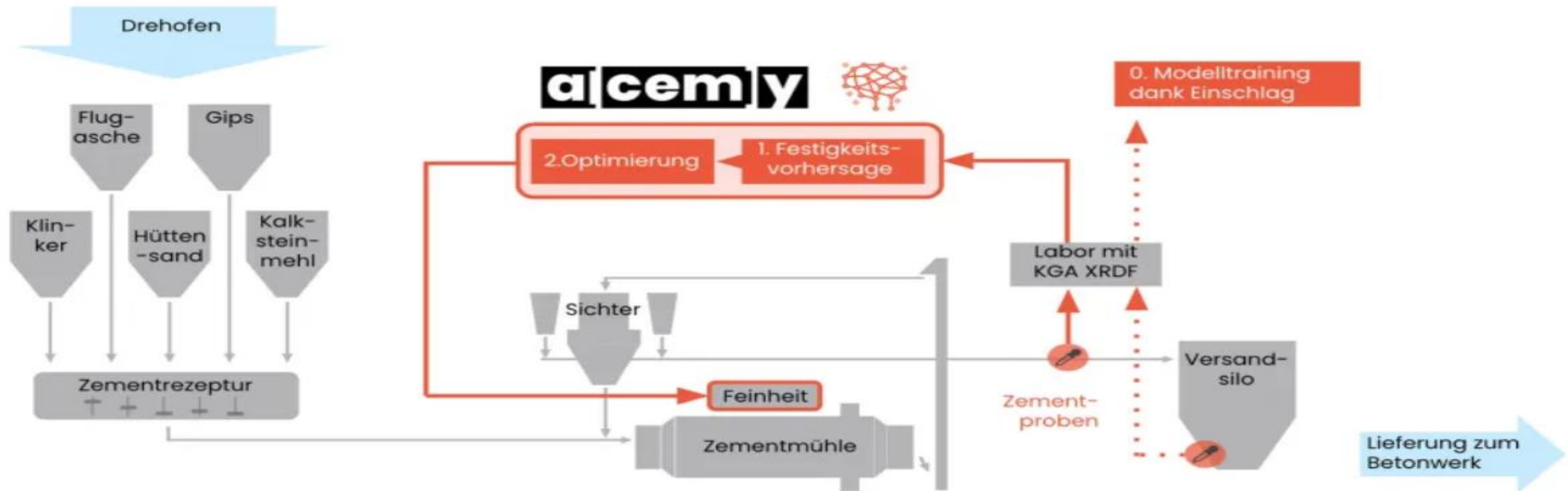
Im ReMin werden Stoffströme mit > 37 Mio. t Kapazität betrachtet (exkl. Gips)

Mit einer Überführung von ca. 1/3 dieser Materialien in RC Baustoffe könnte dieses Ziel erreichbar sein (inkl. Umverteilung einiger Stoffström weg vom Downcycling)

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Digitale Qualitätskontrolle in der Herstellung von Baustoffen (RecyControl)

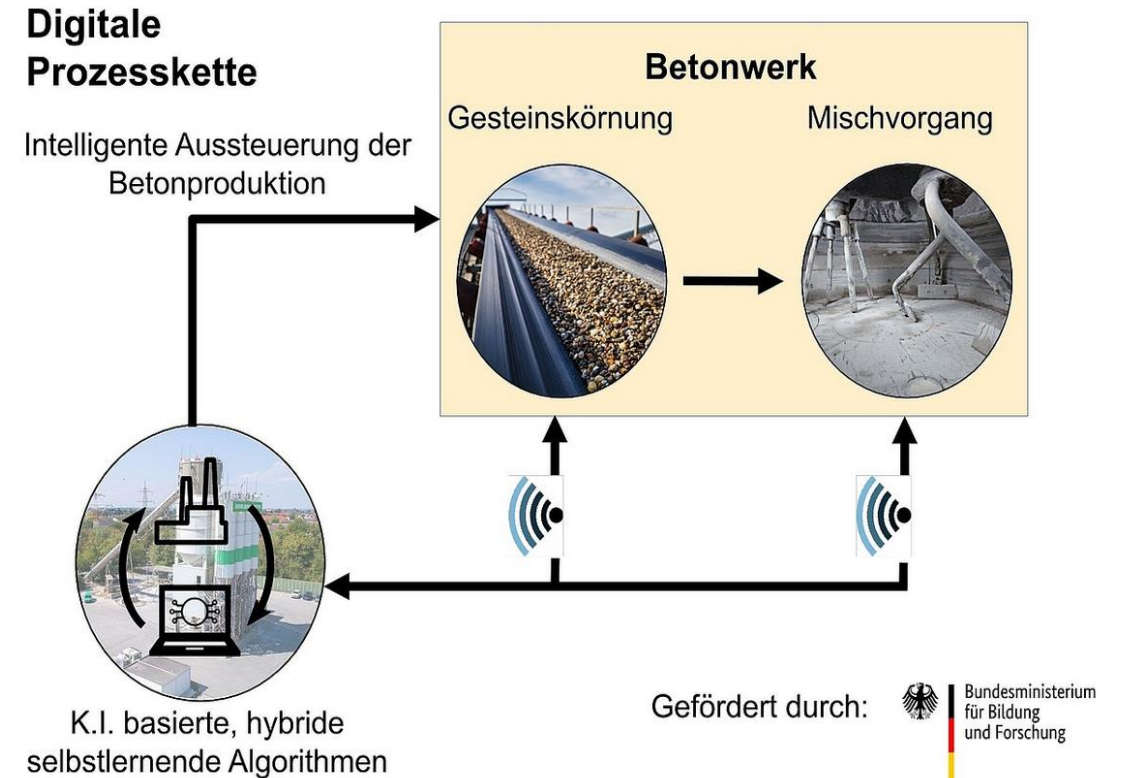
Von reaktiver zu proaktiver Qualitätssteuerung von Zement mit Hilfe von maschinellem Lernen



Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Digitale Qualitätskontrolle in der Herstellung von Baustoffen (RecyControl)

Von reaktiver zu proaktiver Qualitätssteuerung von Zement mit Hilfe von maschinellem Lernen



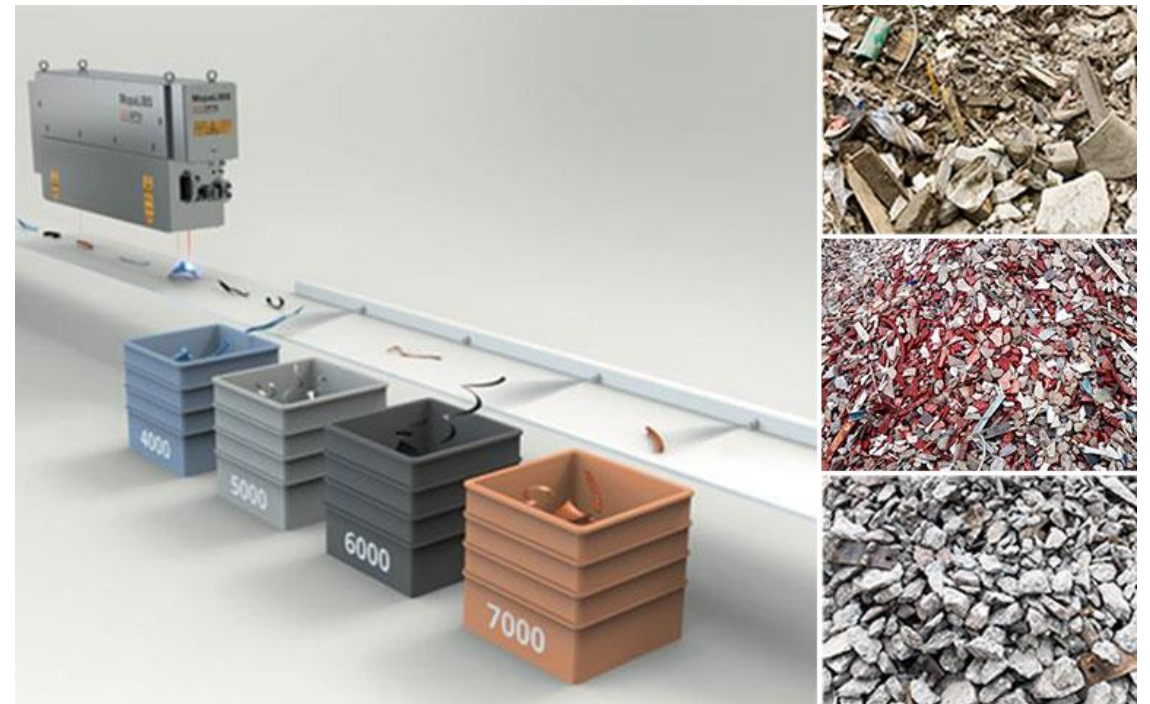
Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

Laserbasierte Baustoffsortierung (LIBS ConSort)



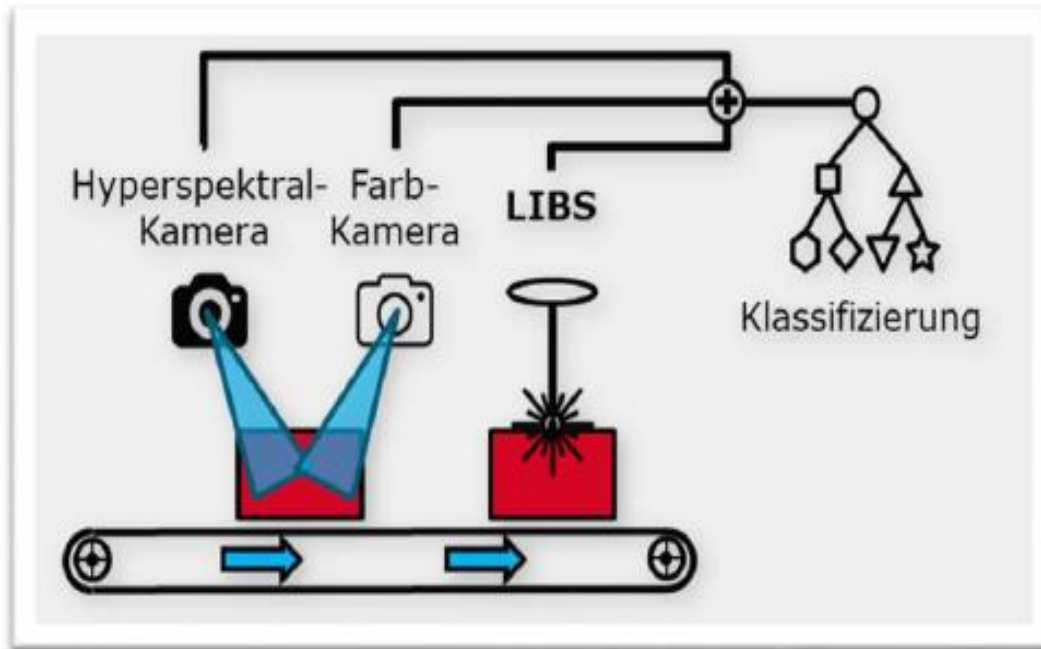
- Baustoffindustrie verlangt
Sortenreinheit
- Verbund- und Störstoffe bei Sortierung

- Aufbereitung von Bau- und Abbruch-
abfällen für die Kreislaufwirtschaft

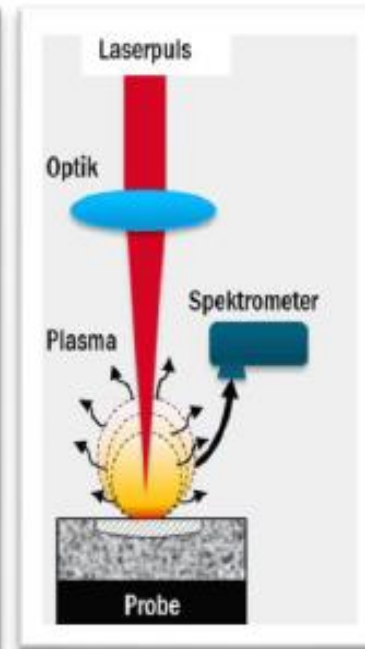


Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

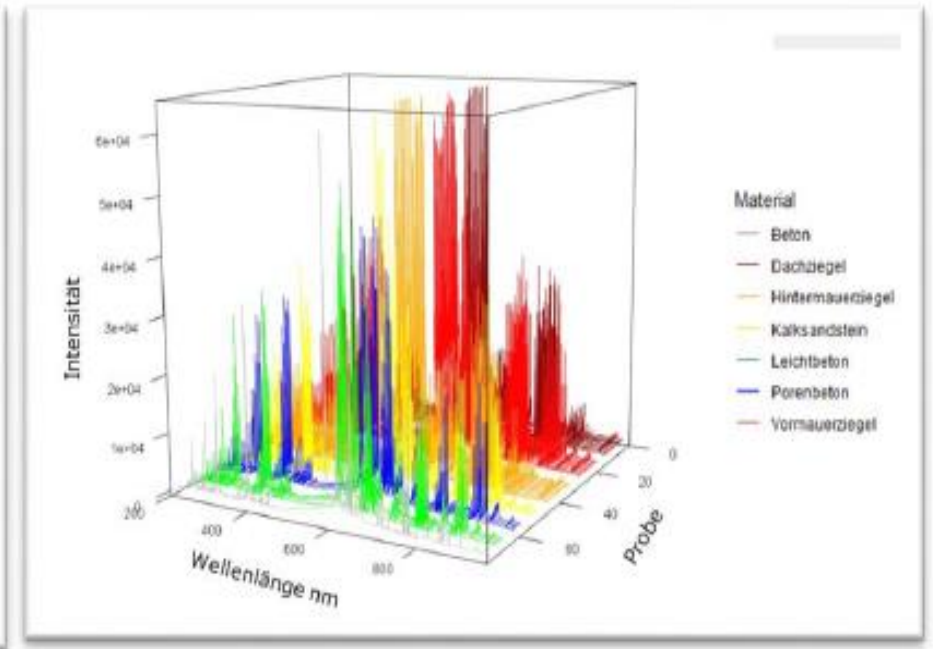
Laserbasierte Baustoffsortierung (LIBS ConSort)



Störstofferkennung



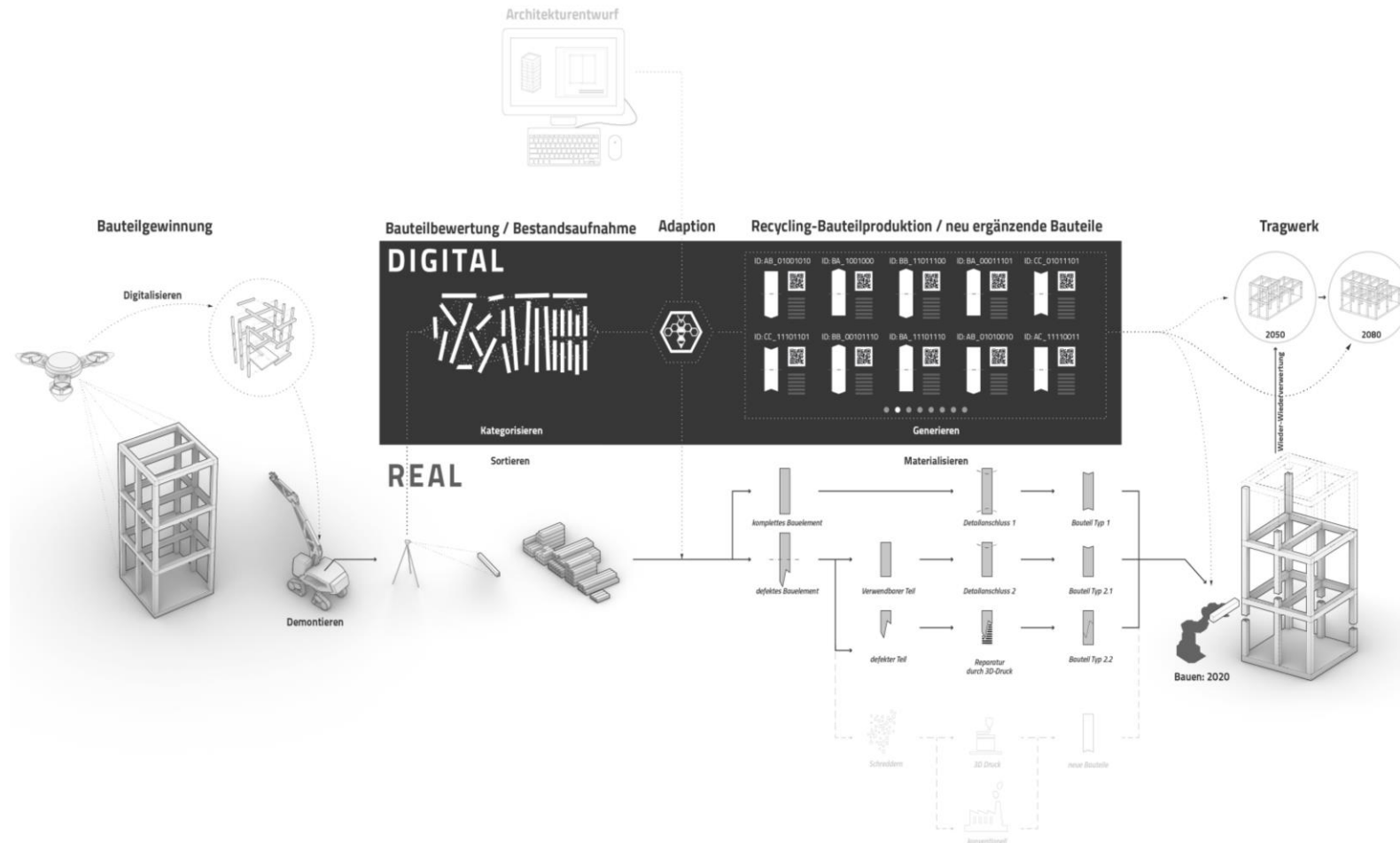
LIBS



- Ausschleusen von Fremd- und Störstoffen auf Basis sensorgestützter Sortierung

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

FERTIGTEIL 2.0 – Real-digitale Prozessketten zur Gewinnung von eingebauten Betonbauteilen



Real-digitale Prozesskette

- Prozess vom Urban Mining bis zur Montage der aufbereiteten Fertigteile 2.0

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

FERTIGTEIL 2.0 – Real-digitale Prozessketten zur Gewinnung von eingebauten Betonbauteilen



Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

BAUSEP - Entwicklung ressourceneffizienter Bauprodukte aus Aschen und Schlacken



BS 7 A: 56A-Schlacke 2/8



BS 7 B: 56A-Schlacke 8/10



BS 1 A: Sand 0/2 mm



BS 1 B: Kies 2/8 mm



BS 1 C: Kies 8/16 mm



BS 1 D: Basalt 1/3 mm



BS 3 A: LDorit 2/5



BS 3 B: LDorit 5/8



BS 3 C: LDorit 8/11



BS 5 A: BaseLith 3/8



BS 5 B: BaseLith 8/11



BS 1 E: Basalt 2/5 mm



BS 1 H: Recycling 4/12 mm



BS 1 F: Basalt 5/8 mm



BS 1 G: Kalkstein 5/8 mm



BS 6 A: E05 0/2



BS 6 B: E05 2/4



BS 6 C: E05 4/8



BS 4 A: H05 2/8



BS 4 B: H05 8/15



BS 2 A: MVB 1/2 EPO



BS 2 B: MVB 1/4 EPO



BS 2 C: MVB 4/8 EPO



BS 2 D: MVB 8/12,5 EPO



BS 2 D: MVB 12,5/16 EPO



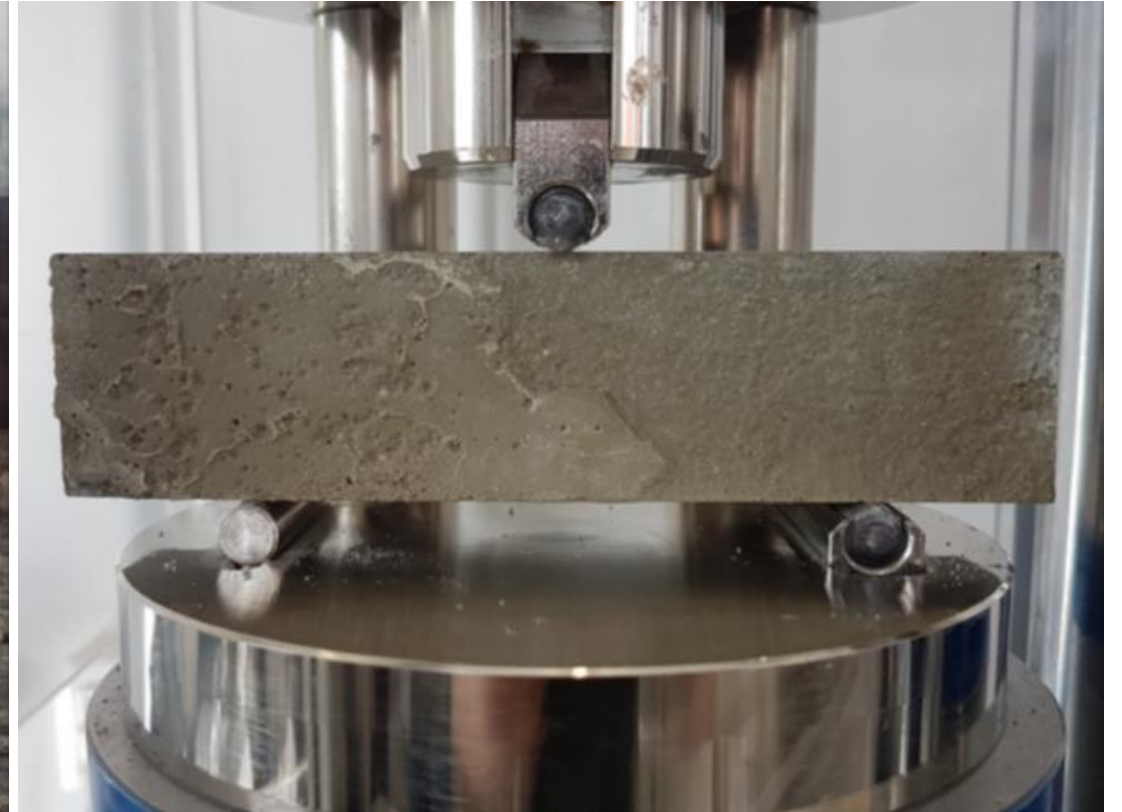
BS 3 D: LDorit 11/14



BS 6 D: E05 8/16

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben TReMin

SlagCEM – Portlandzement und Roheisen aus Stahlwerksschlacken



Projekt DigInform

Digitales Informationsmanagementsystem

- **Gesamttitle:** Digitales Informationsmanagementsystem in der Akteurskette der Kreislaufwirtschaft in der verarbeitenden Industrie
- **Fördergeber:** Bundesministerium für Bildung und Forschung;
Förderrichtlinie „Digital GreenTech – Umwelttechnik trifft Digitalisierung
- **Laufzeit:** 01.04.2021 – 31.09.2023
- **Inhalt:** Die Unterstützung der **Transformation zu einer digitalisierten Kreislaufwirtschaft** mittels eines **geteilten Informationsmanagementsystems** und Bewertung der **Steigerung der Ressourceneffizienz in einem Lebenszyklus**
- **Schwerpunkt:** Produktionsspezifische Abfälle aus der chemischen Industrie
- **Ziel:** *Sicherer Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg in Wertschöpfungsnetzwerken der Fertigungsindustrie zur Optimierung der Ressourceneffizienz*

Projektpartner:



MERCK

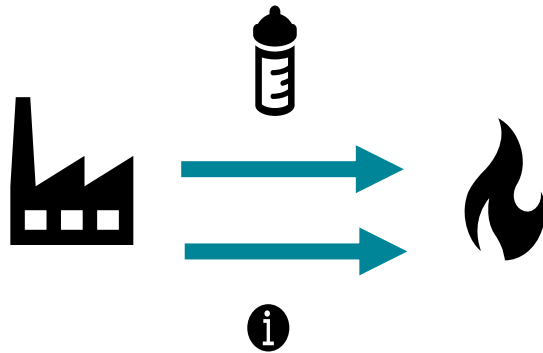


DM
DATA MANAGEMENT
TU DARMSTADT

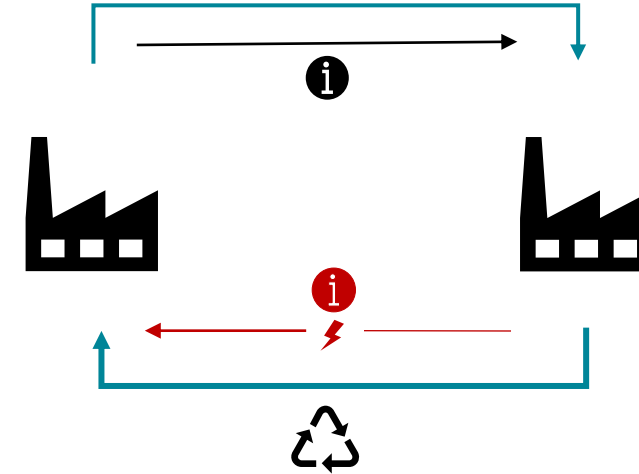


Projekt DigInform

Digitales Informationsmanagementsystem



Heute: Lineare Abfallwirtschaft



Zukunft: Kreislaufwirtschaft

Motivation

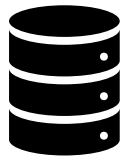
- **Kreislaufwirtschaft** fördern, da sie **hochwertige Sekundärrohstoffe** für die Wirtschaft bereitstellt.
- **Zusammenarbeit** der Akteure entlang der Wertschöpfungskette ist erforderlich
- **Daten- und Informationsaustausch** im Wertschöpfungsnetzwerk ist notwendig.

Projekt DigInform

Digitales Informationsmanagementsystem

Ansatz:

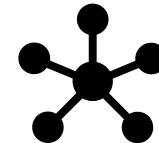
- Konzeption: Anforderungen, Bedürfnisse, Randbedingungen
- Technische Realisierung
- Bewertung des IMS-Einsatzes im Hinblick auf Ressourceneffizienz & Klimaeffekte
- Implementierung & Tests in Use Cases



Hosting in
Deutschland –
Zentrale Lösung

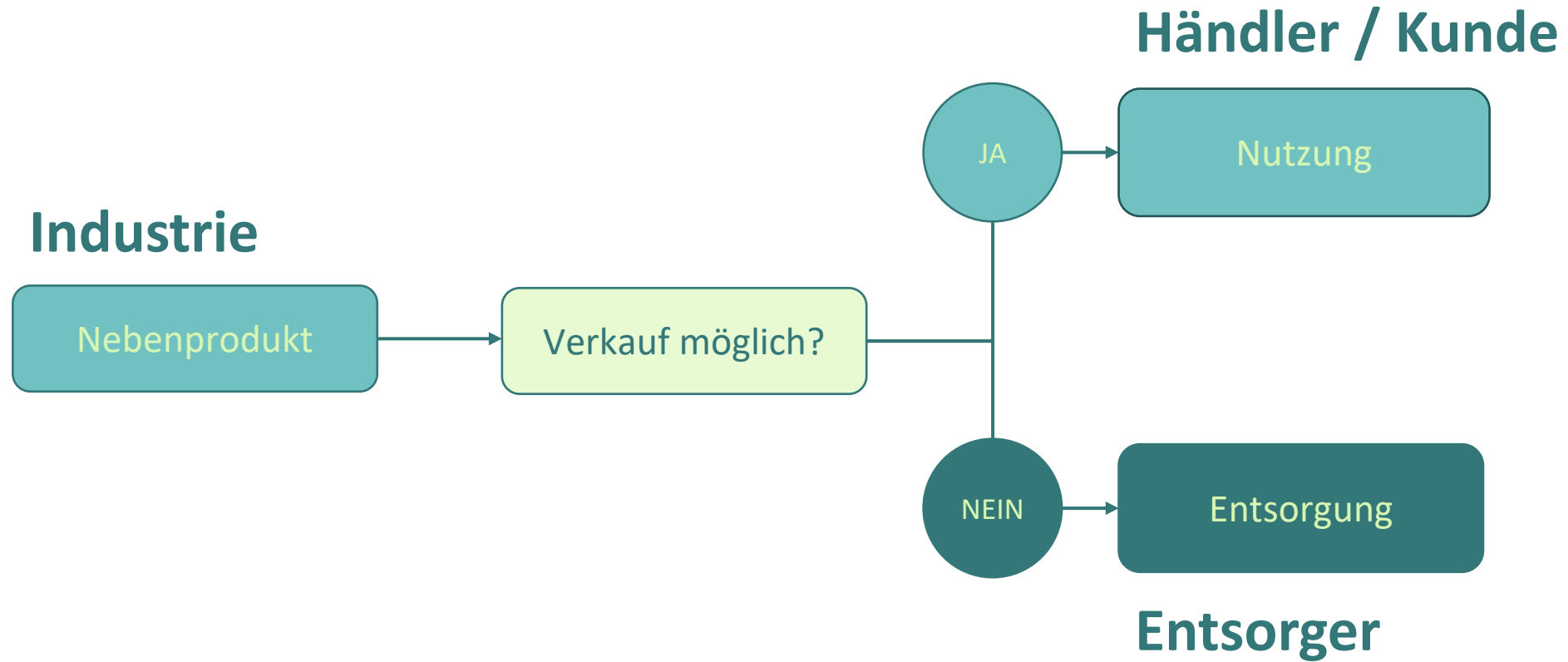


Bedienung über
Web-Frontend




Datenintegration
über API

Prozess der Plattform



Technische Umsetzung

Der Aufbau der Plattform




Welcome

Log in to DigInform to continue to DigInform.

Email address

Password

[Forgot password?](#)



Offers

SITE MANAGEMENT

SELLING


- Offers
- Requests
- Customers

DISPOSAL

- Disposal Offers
- Waste Generators
- Waste Origins

Registered Published Expired Sold Disposed

Offer Id	Material Name	Amount (kg)	Available date	Target date	More Information
7	Ammoniumphosphat-Nährlösung	25000	2023-05-15	2023-05-20	safetyDataSheet.pdf <input type="button" value="Publish Offer"/> <input type="button" value="Send for Disposal"/> materialDescription.pdf analysisCertificate.pdf

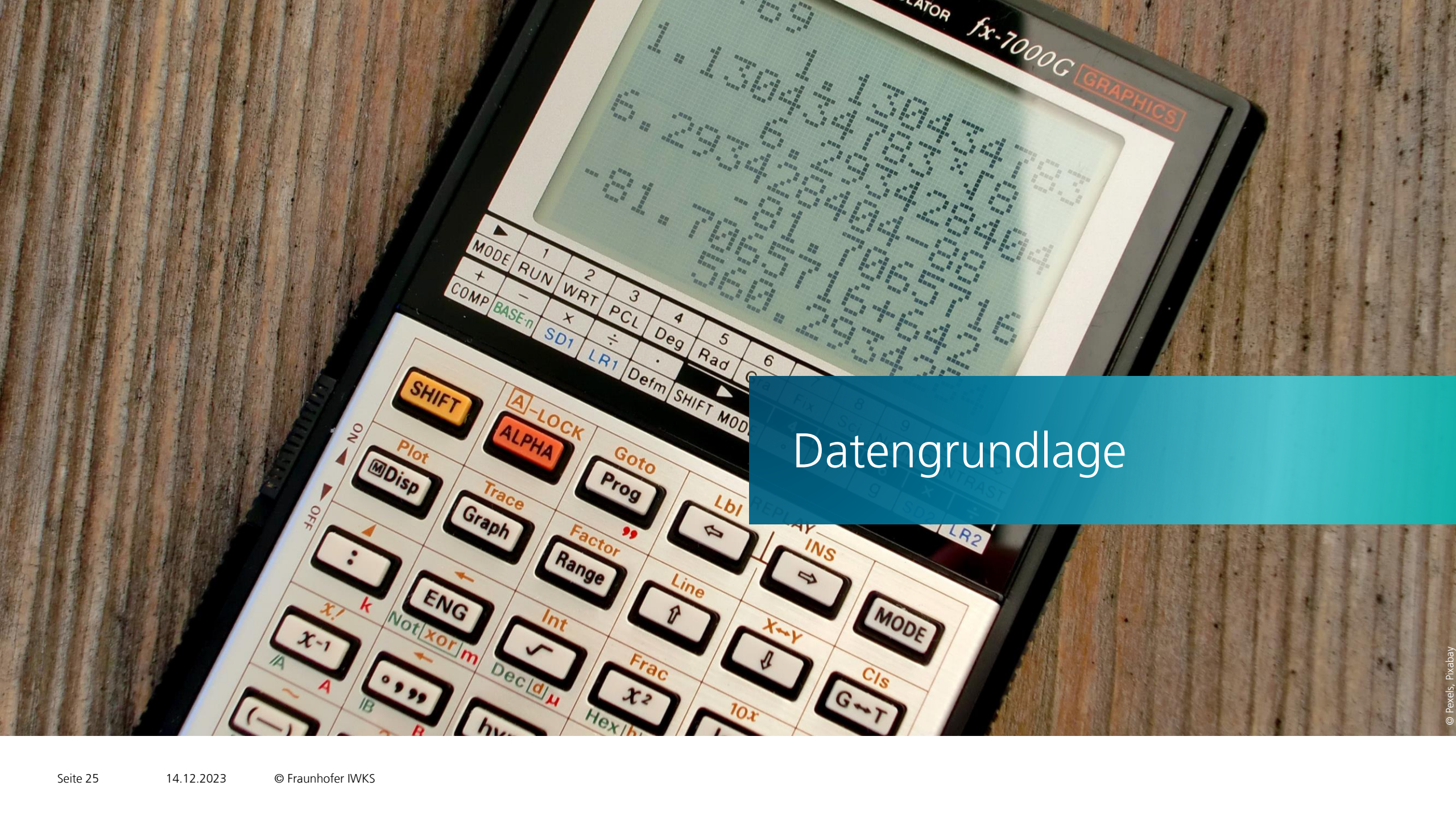


Disposal Requests

GSB

- Disposal Requests
- Disposal Offers

Waste Key	Material Profile Id	Material Name	Amount (kg)	Waste Origin	Status
7	5	Carbo S60 Lösung	12000	Betrieb1	<input type="button" value="Sample required"/>
4	5	Carbo S60 Lösung	23000	Betrieb1	<input type="button" value="Reject"/>



Datengrundlage

RessStadtQuartier

Urbanes Stoffstrommanagement:

Instrumente für die ressourceneffiziente Entwicklung von Stadtquartieren

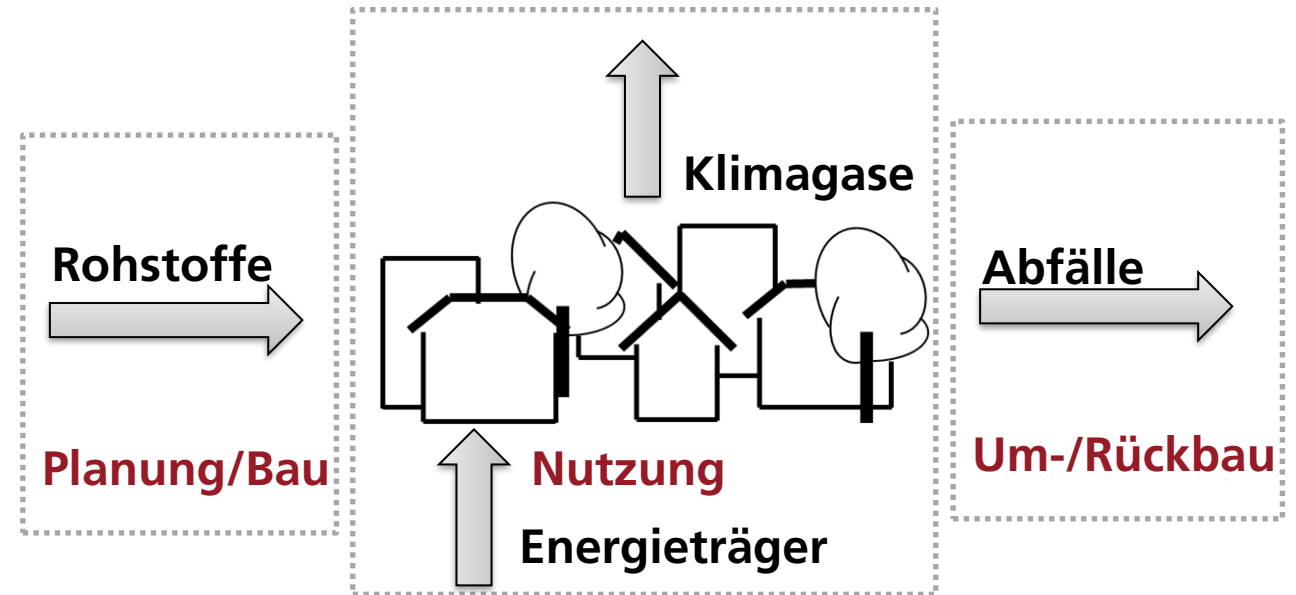
Herausforderung:

Stadtquartiere **steuern Stoff- und Materialströme...**

- Sektoral
(z.B. Stadtplanung, Bauaufsichtsamt, Energieanbieter)
- Reaktiv
(z.B. Verwertungskonzepte bei Abriss, Wärmeplanung)

→ Lösungsansatz: Digitales Stadtquartiersmodell

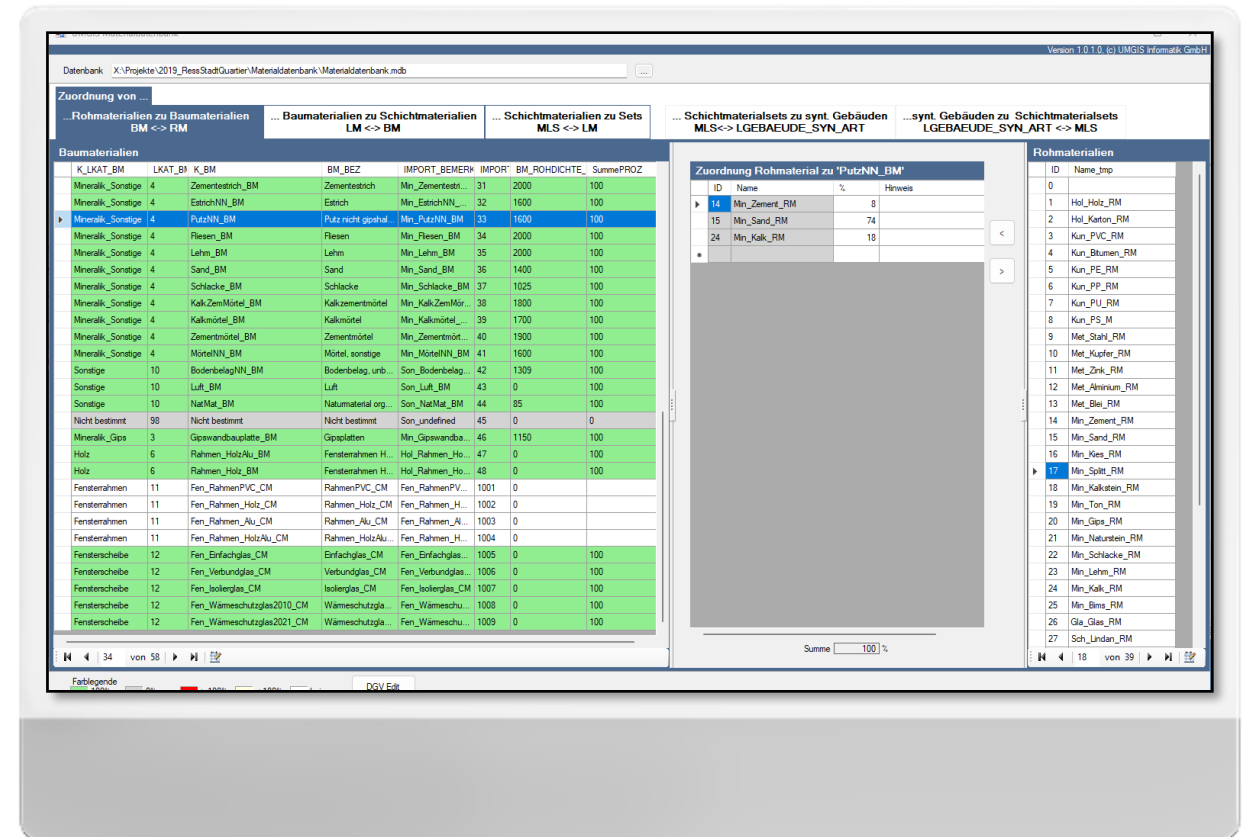
- Gebäudekataster und Materialkataster
- Graue Energien/ Embodied Carbon
- Recycling von Baumaterialien
- Urban Mining
- Wärmebedarf von Gebäuden
- Treibhausgasemissionen von Stadtquartieren
- Carbon Accounting



Systematische Sammlung zu Rohstoffinventaren mit folgenden Elementen:

- ✓ Beschreibung der Zusammensetzung von Bauteilen
- ✓ Differenzierung der Bauteile in unterschiedliche Bauteilschichten
- ✓ Differenzierung der Bauteilschichten in Baustoffen
- ✓ Beschreibung der Zusammensetzung der Baustoffe mit ihren Rohstoffen
- ✓ Zuordnung von Bauteilen zu synthetischen Gebäuden, die den identifizierten Gebäudetypologien und Baualtersklassen zugeordnet sind

Möglichkeit der Integration von Realdaten auf beliebiger Stufe bzw. Ersetzen fehlender Realdaten durch synthetische Daten



The screenshot displays the 'Materialdatenbank' software interface. The main window shows a table titled 'Baumaterialien' with columns for 'K_LKAT_BM', 'LKAT_BM', 'K_BM', 'BM_BEZ', 'IMPORT_BEMERK', 'IMPOR', 'BM_ROHDICHTE', and 'SummePROZ'. The table lists various building materials such as 'Mineralk_Sonstige', 'Zementestrich_BM', 'EtschichNN_BM', 'PutzNN_BM', 'Fliesen_BM', 'Lehm_BM', 'Sand_BM', 'Schlacke_BM', 'KalkZemMörtel_BM', 'Kalkmörtel_BM', 'Zementmörtel_BM', 'MörtelNN_BM', 'BodenbelagNN_BM', 'Bodenbelag_unb...', 'Luft_BM', 'NatMat_BM', 'Nicht bestimmt', 'Gipswandbauplate_BM', 'Rahmen_Holz_Alü_BM', 'Rahmen_Holz_BM', 'RahmenPVC_CM', 'Rahmen_Holz_CM', 'Rahmen_Alü_CM', 'Rahmen_HolzAlü_CM', 'Fensterischebe', 'Fensterischebe', 'Fensterischebe', 'Fensterischebe', and 'Fensterischebe'. A secondary window titled 'Zuordnung Rohmaterial zu PutzNN_BM' is open, showing a table with columns for 'ID', 'Name', '%', and 'Hinweis'. The table lists materials like 'Min_Zement_RM', 'Min_Sand_RM', and 'Min_Kalk_RM'. The interface also includes a navigation bar at the bottom with 'Farblegende' and 'DSV Edit' buttons.

Circular Modul

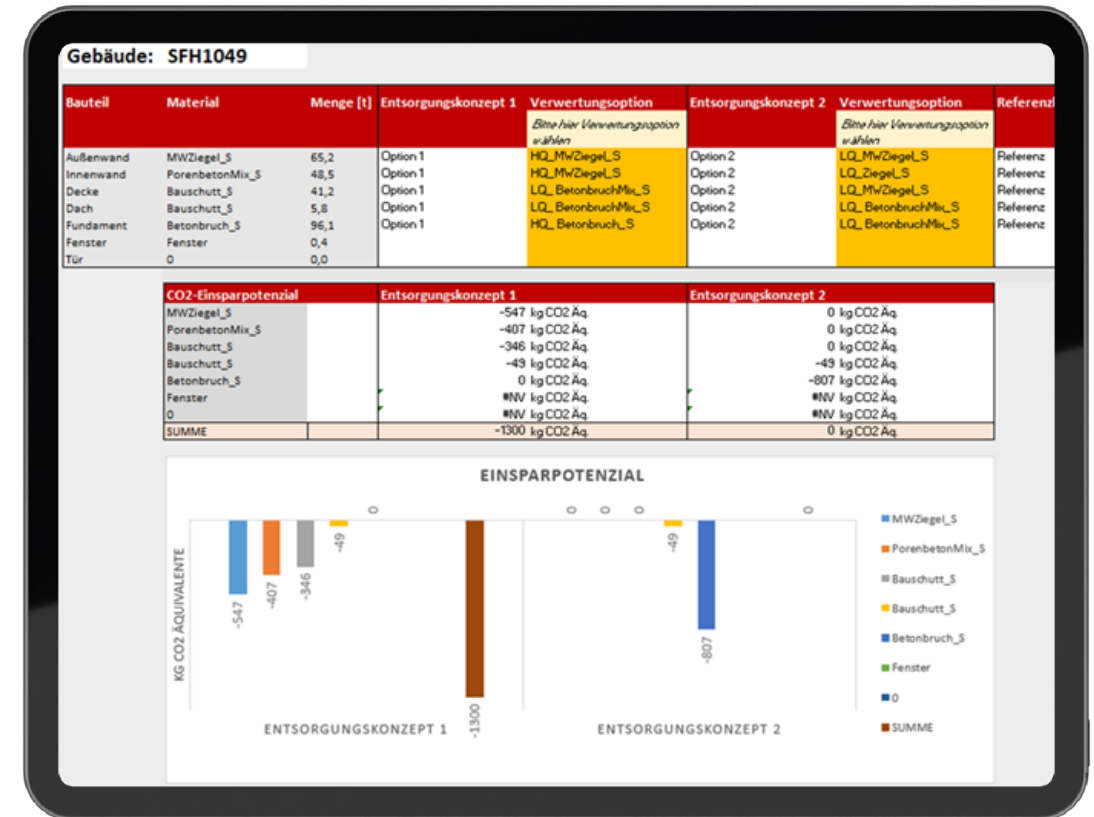
Anwendung

Abbruchmodul:

- ✓ Massenkalkulationen für reelle und synthetische Gebäude
- ✓ Berechnung des freigewordenen Materials anhand von Abbruchverfahren
- ✓ Treibhausgasemissionen für verschiedene Abbruchmaßnahmen in Kombination mit Materialschichten
- ✓ Dauer für den Abbruch von Bauteilen anhand der Fläche

Verwertungsmodul:

- ✓ Analyse der Verwertungsoptionen für freigewordenes Raw Material
- ✓ Gegenüberstellung von Verwertungsoptionen
- ✓ CO2-Einsparpotential



Projektpartner:

GreenDELTA



Deutsches
Forschungszentrum
für Künstliche
Intelligenz GmbH



Fraunhofer
IWKS

Fraunhofer Research Institution for Materials Recycling
and Resource Strategies IWKS

Assoziierter Partner:

CIRGECON
Circular Economy Services

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

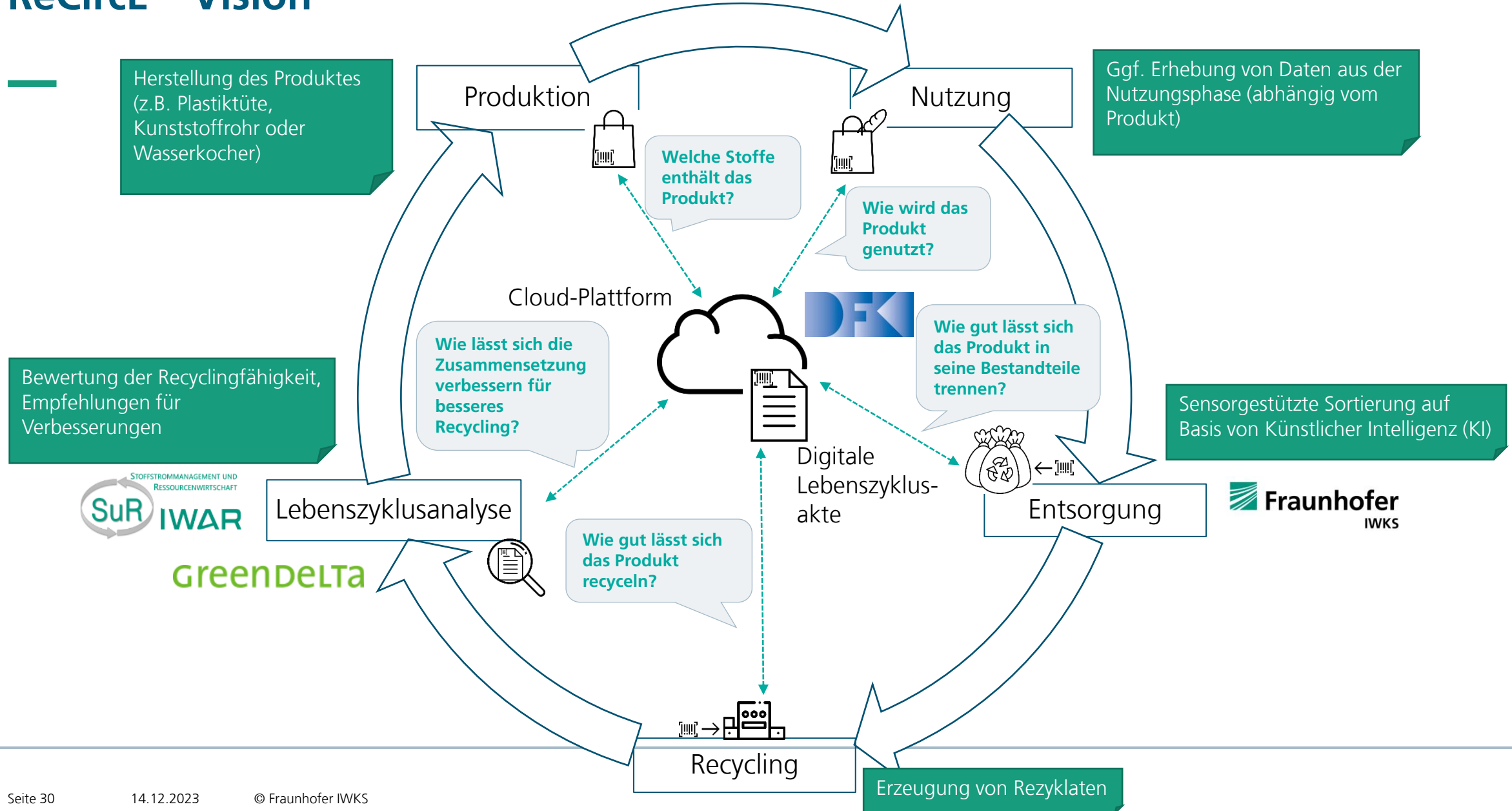
Webpräsenz:

www.recirce.de

Digitaler Produktpass:

<https://dashboard.recirce.de/>

ReCircE – Vision



Herstellung des Produktes
(z.B. Plastiktüte,
Kunststoffrohr oder
Wasserkocher)

Produktion

Nutzung

Ggf. Erhebung von Daten aus der
Nutzungsphase (abhängig vom
Produkt)

Welche Stoffe
enthält das
Produkt?

Wie wird das
Produkt
genutzt?

Cloud-Plattform



Wie gut lässt sich
das Produkt in
seine Bestandteile
trennen?

Bewertung der Recyclingfähigkeit,
Empfehlungen für
Verbesserungen

Sensorgestützte Sortierung auf
Basis von Künstlicher Intelligenz (KI)

Wie lässt sich die
Zusammensetzung
verbessern für
besseres
Recycling?



Lebenszyklusanalyse

Digitale
Lebenszyklus-
akte



Entsorgung



GreenDelta

Wie gut lässt sich
das Produkt
recyceln?

Recycling

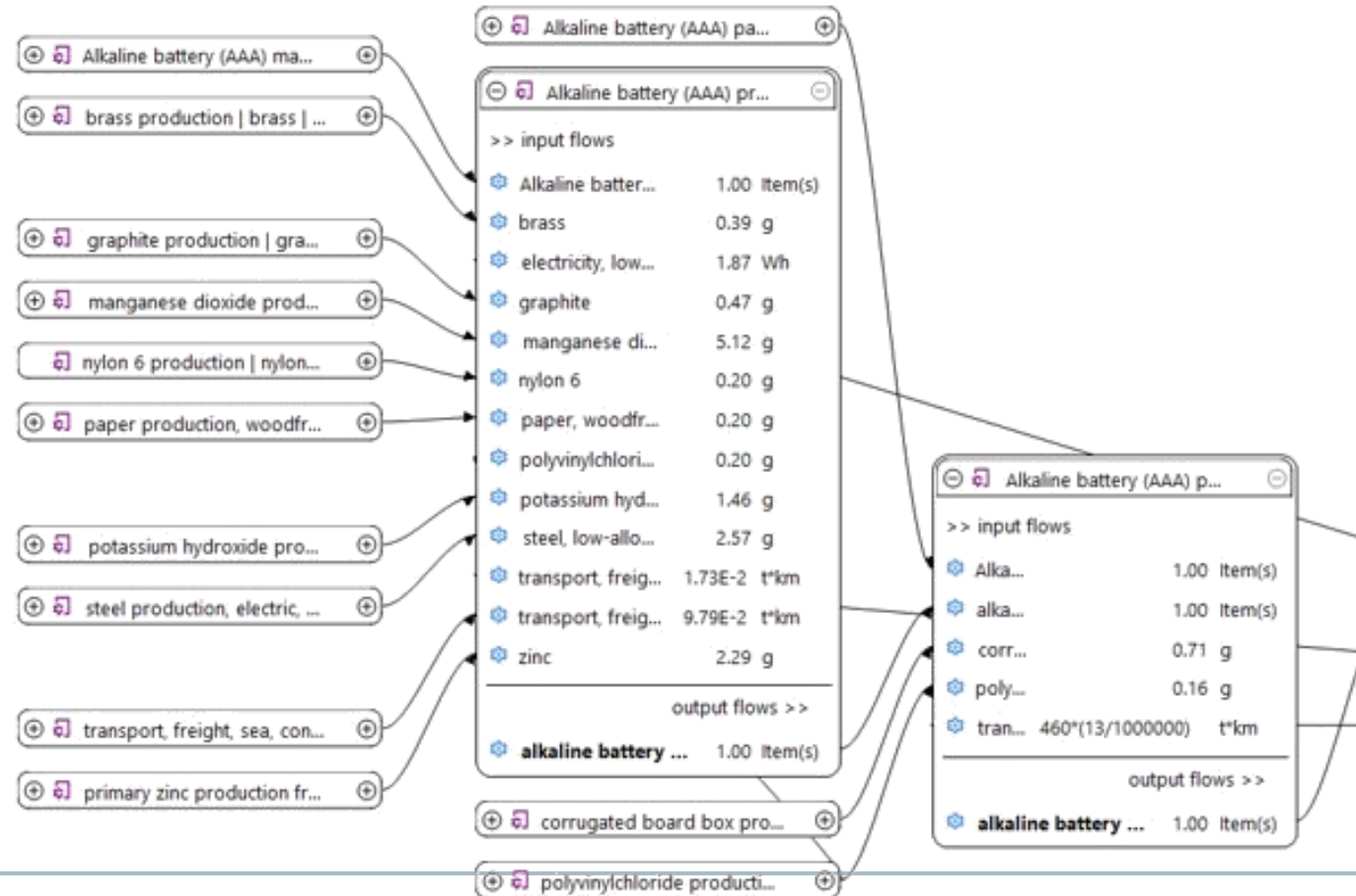
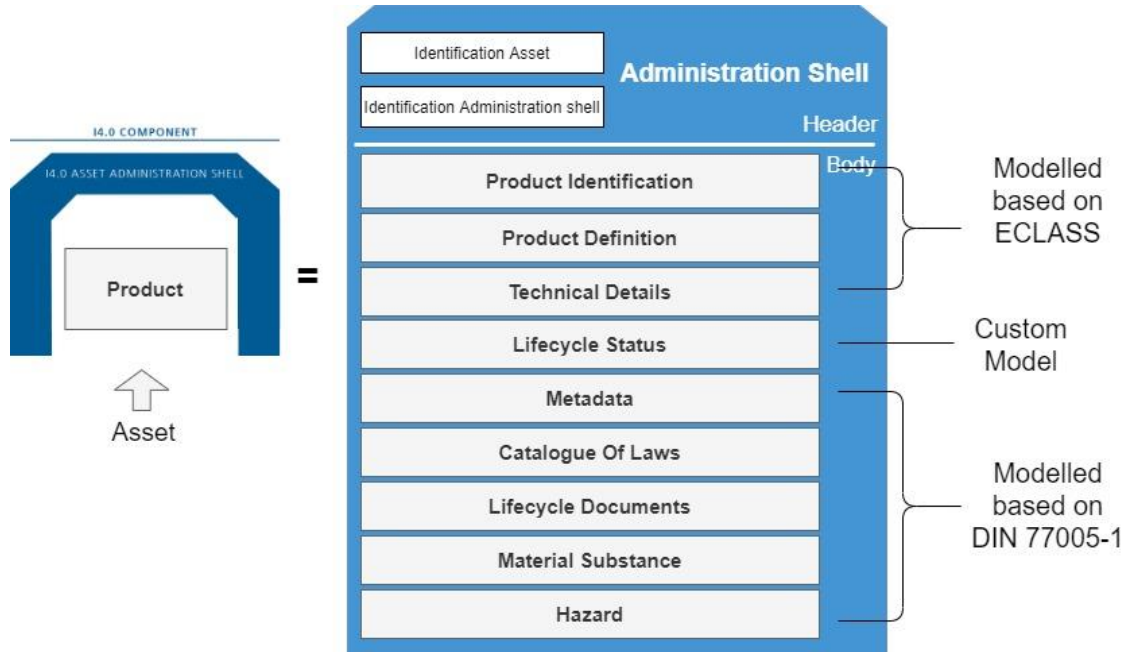
Erzeugung von Rezyklaten

ReCircE – Digitaler Produktpass (DPP)

Architektur der Lebenszyklusakte und Anwendungsszenarien

Eigenschaften:

- Maschinenlesbar
- Flexibel + Erweiterbar
- Cloudbasiert



- Processes
 - > A:Agriculture, forestry and fishing
 - AAA Alkaline battery
 - Alkaline battery (AAA) at retail
 - Alkaline battery (AAA) EoL scenarios
 - Alkaline battery (AAA) in use
 - Alkaline battery (AAA) manufacturing facility
 - Alkaline battery (AAA) packaging
 - Alkaline battery (AAA) packaging facility
 - Alkaline battery (AAA) production



Entscheidungsunterstützung



Projekt Waste4Future

Waste4Future

Fraunhofer Leitprojekt

Vom Abfall zum Rohstoff

Circular Carbon Economy

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 Chemieindustrie bereit.

Details

- Fördervolumen: 7,8 Mio. €
- Förderprogramm: Fraunhofer Leitprojekt
- Zeitrahmen: 01.01.2021 – 31.12.2023
- Projektleitung: Fraunhofer IWKS
- Homepage: www.waste4future.fraunhofer.de



Der Abfall von heute
wird zur Ressource von
morgen.«

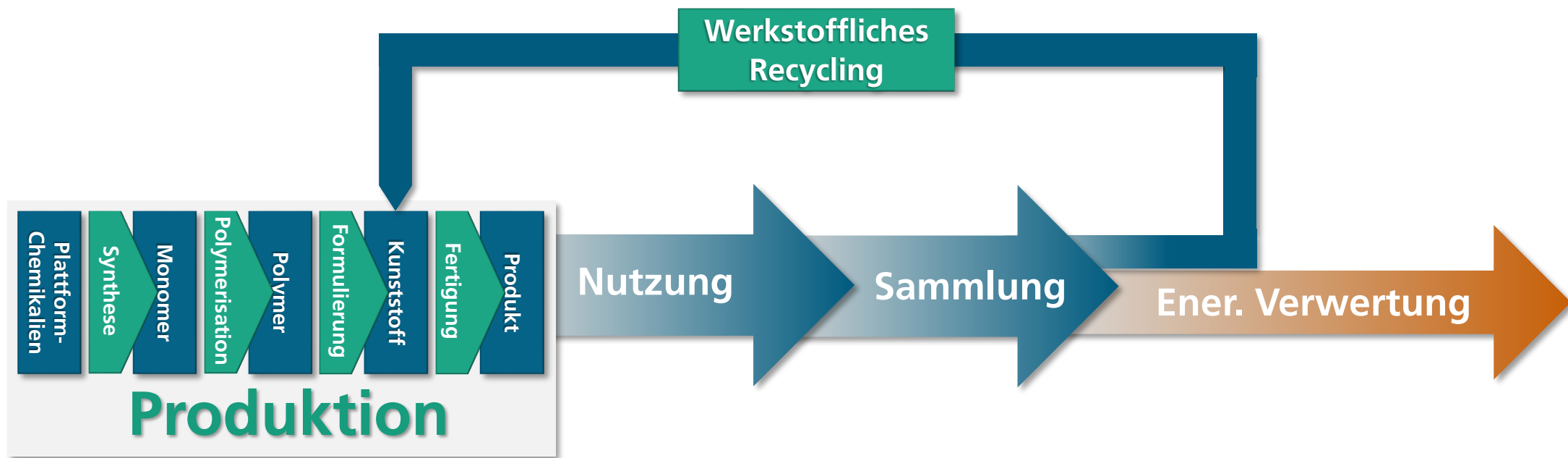
Waste4Future Projekt,
Fraunhofer IWKS, FHR, LBF, IKTS, IMWS, IOSB, IVV, IZFP

Verwertung von Kunststoffabfällen

Aktuelle Situation in Deutschland

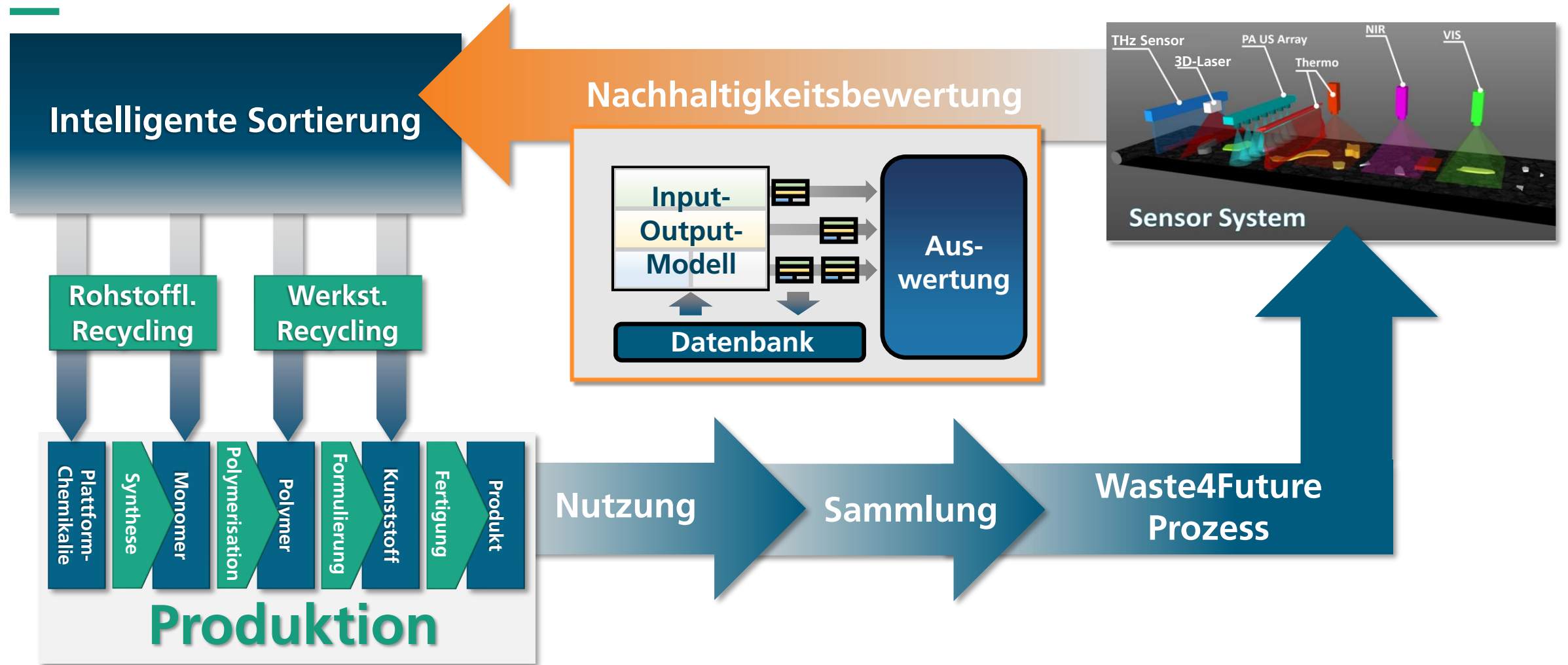
Keine funktionierende Kreislaufwirtschaft

- Großteils lineare Abfallwirtschaft
- Unzureichende Nutzung von Materialien
- Optimierung von Einzelprozessen



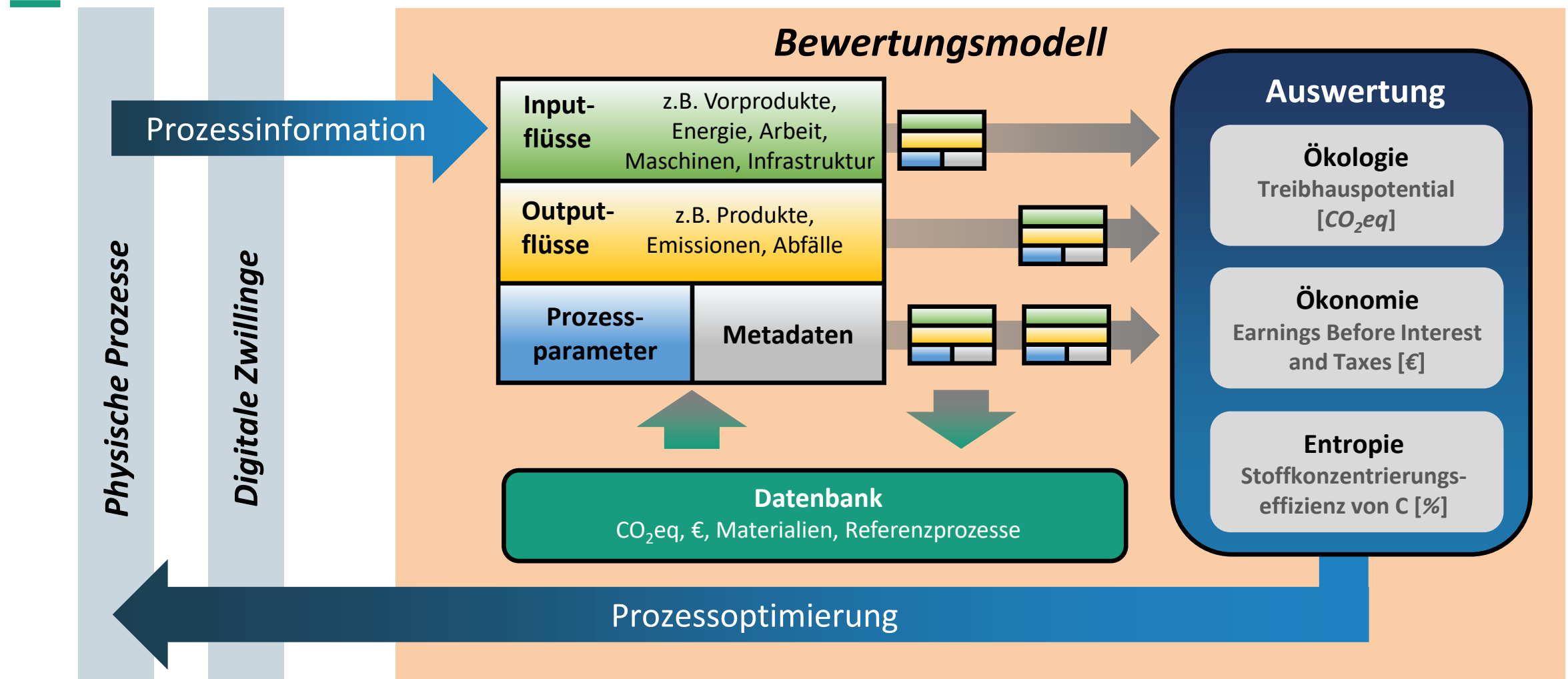
Verwertung von Kunststoffabfällen

Vision im Projekt Waste4Future



Informationsfluss der Bewertung

Schnittstelle zwischen physischen Prozessen und Nachhaltigkeitsbewertung



Schredderleichtfraktion (SLF)

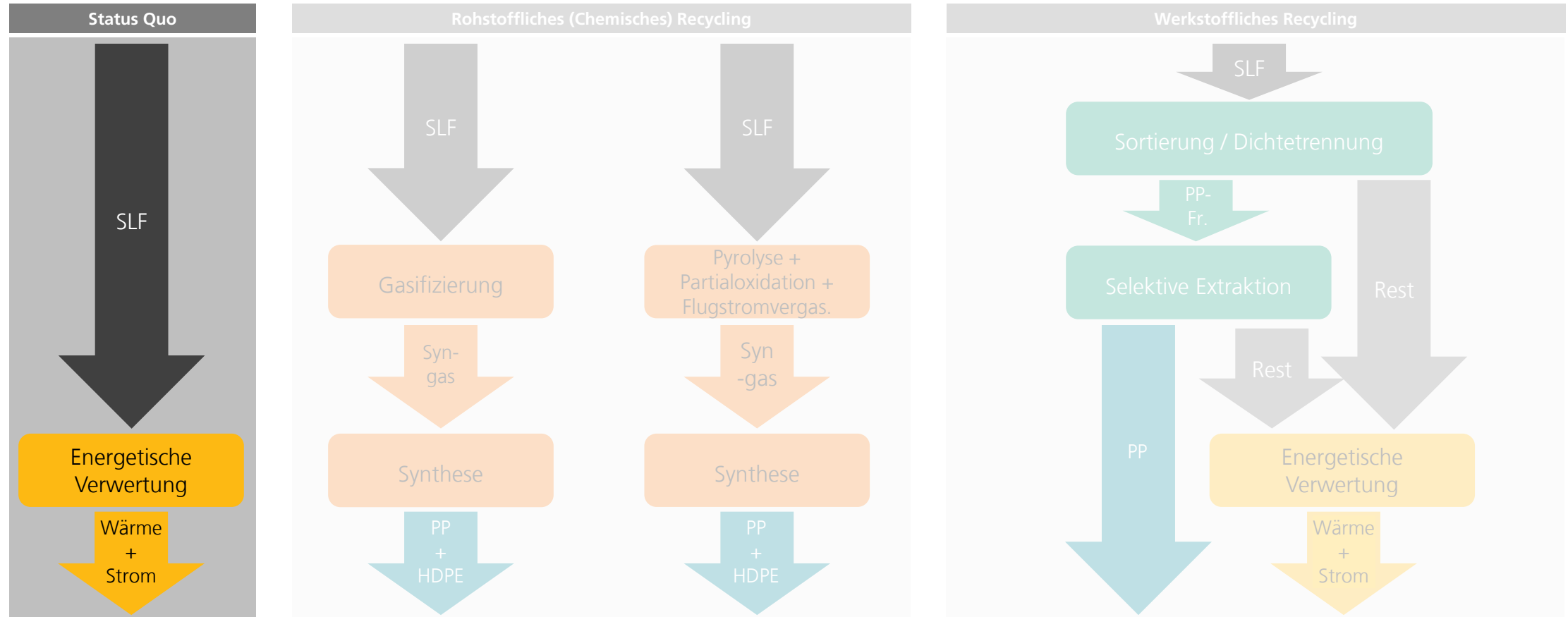
Betrachteter Abfallstrom1

- **Heterogenes Gemisch** aus Kunststoffen, Holz, Metallen, anderem...
- Herkunft aus **Schredderprozessen von Automobilen** und Elektrogroßgeräten
- Hoher Anteil **schwarzer Kunststoffe**
- Qualität „**Ersatzbrennstoff**“ (EBS)



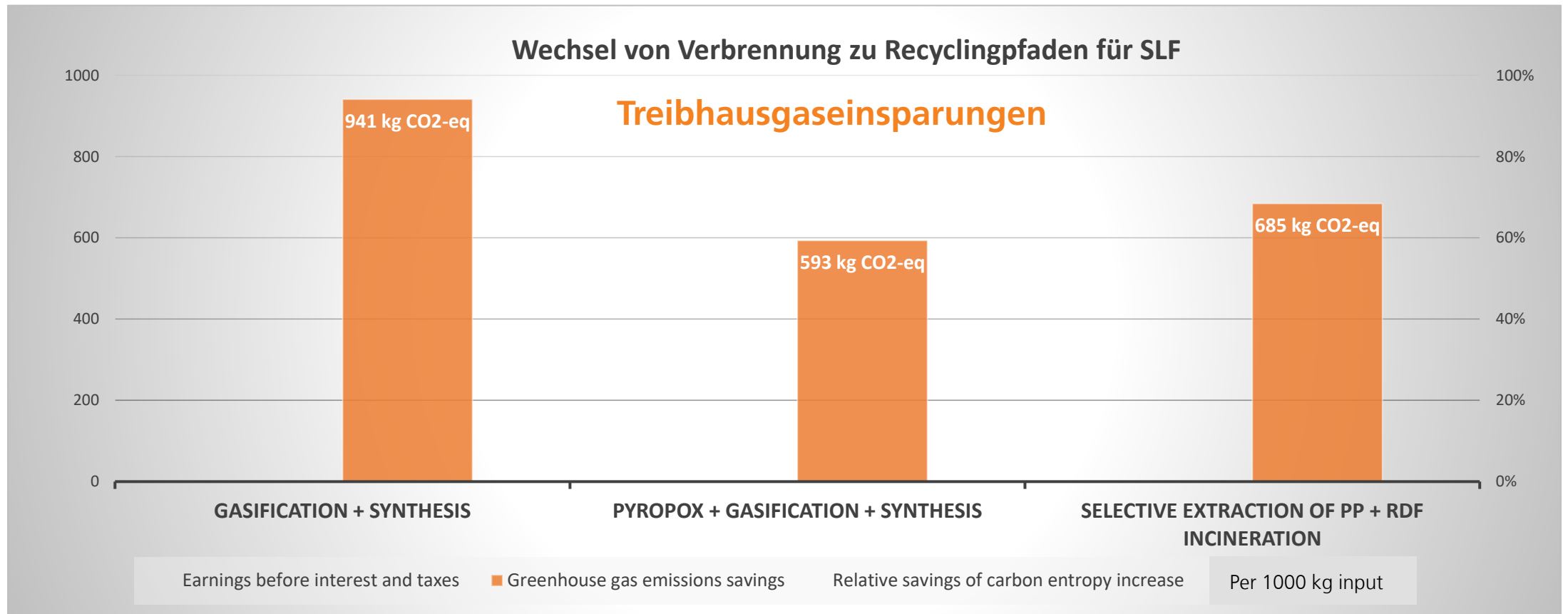
Erfasste Prozessketten der Schredderleichtfraktion (SLF)

Ersatzbrennstoff



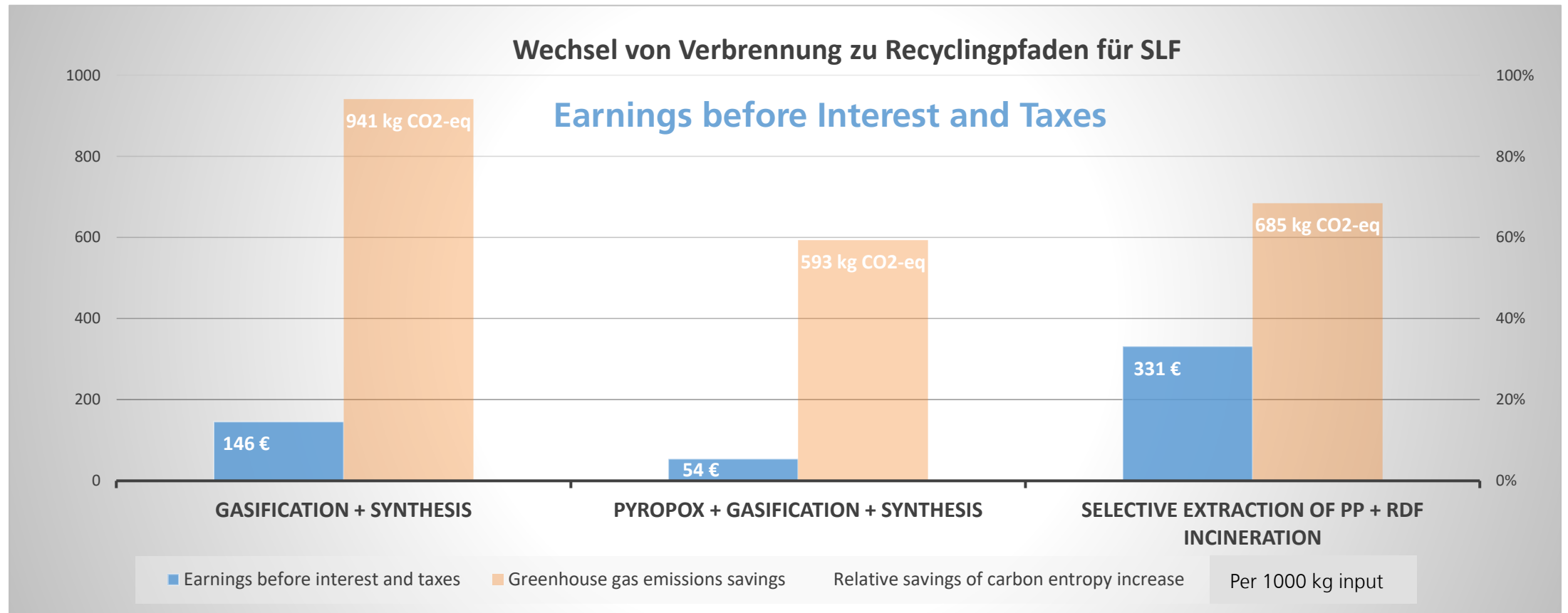
Wechsel von Status Quo der Verbrennung zu Recycling für SLF

Ökonomische, Ökologische und Entropische Bewertung je Tonne Input – **Vorläufige Ergebnisse**



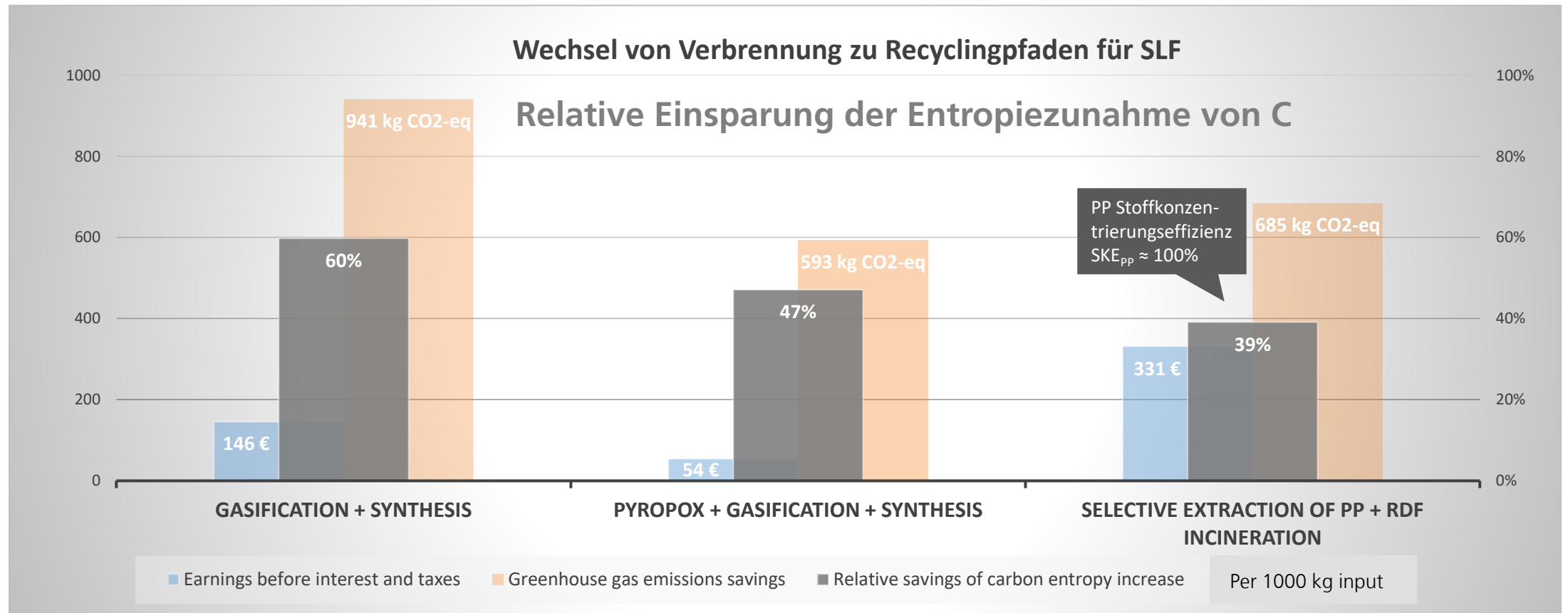
Wechsel von Status Quo der Verbrennung zu Recycling für SLF

Ökonomische, Ökologische und Entropische Bewertung je Tonne Input – **Vorläufige Ergebnisse**



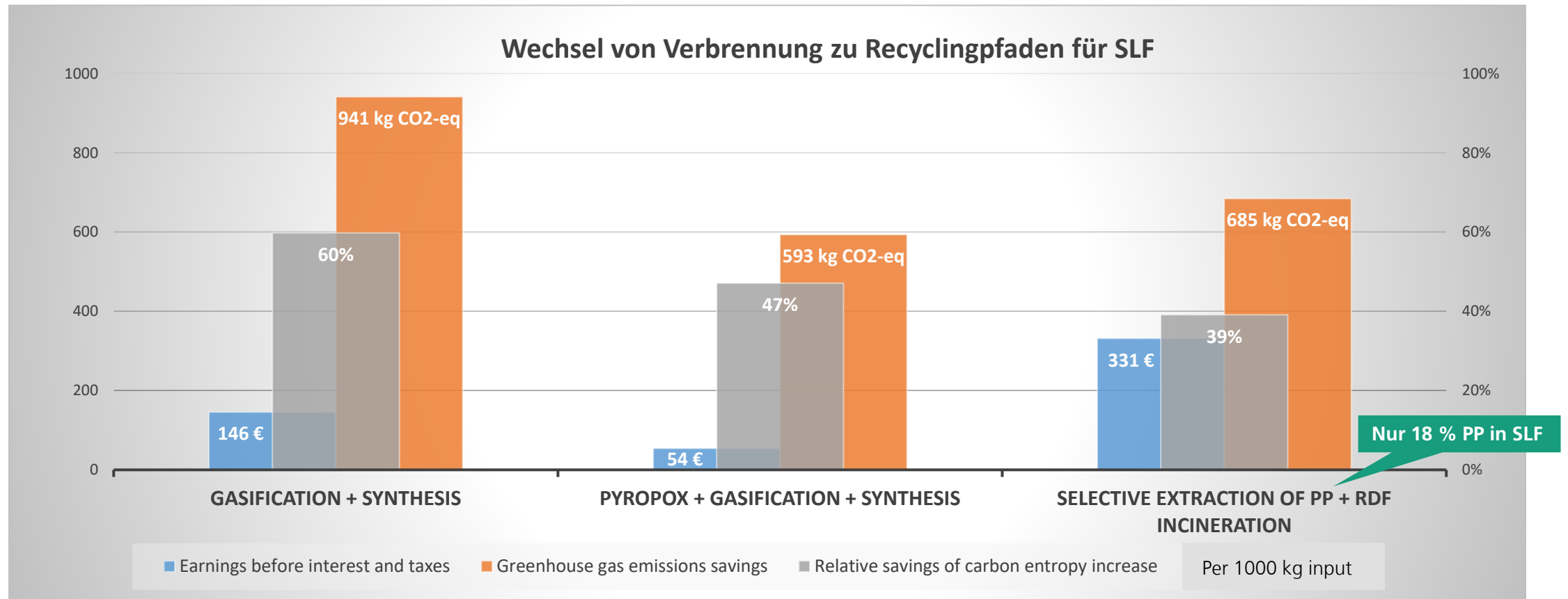
Wechsel von Status Quo der Verbrennung zu Recycling für SLF

Ökonomische, Ökologische und Entropische Bewertung je Tonne Input – **Vorläufige Ergebnisse**



Wechsel von Status Quo der Verbrennung zu Recycling für SLF

Ökonomische, Ökologische und Entropische Bewertung je Tonne Input – **Vorläufige Ergebnisse**



Sinkgut Gelber Sack (DSD)

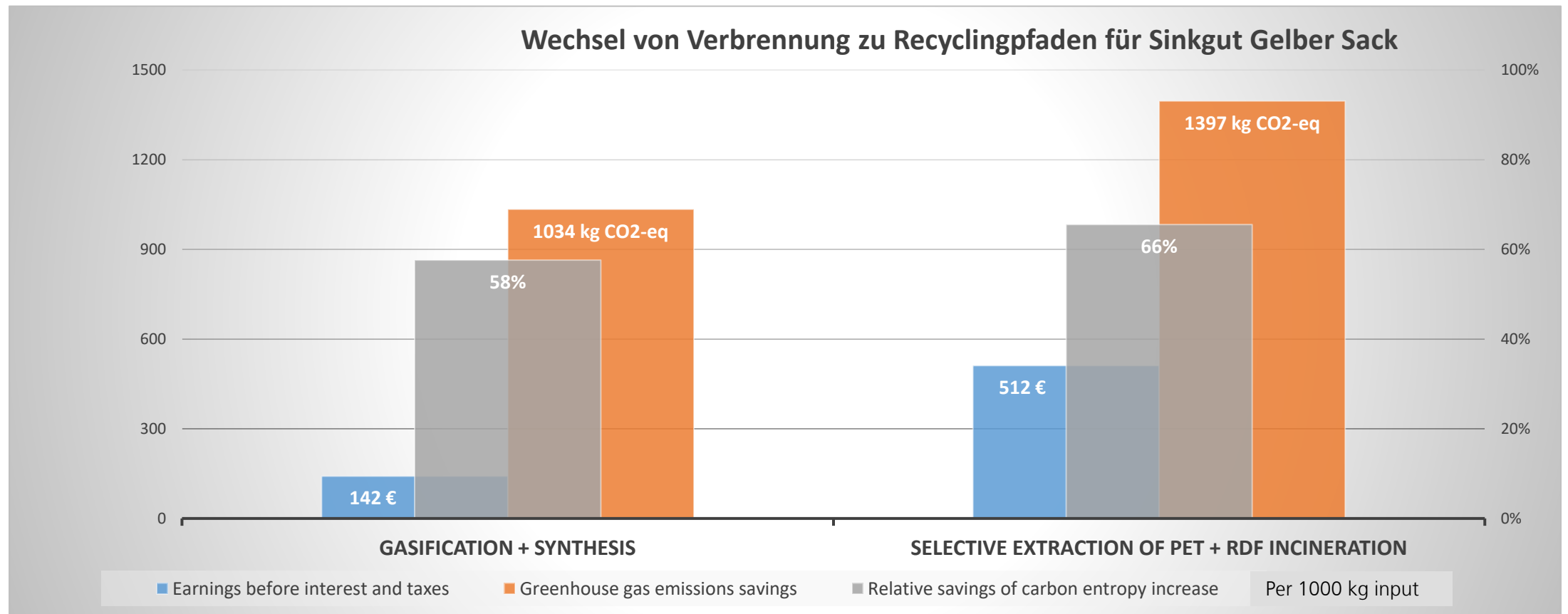
Betrachteter Abfallstrom 2

- **Filzartiges Gemisch** mit hohem Faseranteil
- Herkunft aus **Sinkfraktion** nach Sortierung des „Gelben Sacks“ aus Zerkleinerung von **Leichtverpackungen**
- Hoher Anteil **Polyesterfasern**
- Sortierung konventionell kaum möglich



Wechsel von Status Quo der Verbrennung zu Recycling für Sinkgut Gelb. Sack

Ökonomische, Ökologische und Entropische Bewertung je Tonne Input – **Vorläufige Ergebnisse**



K³I-Cycling

Optimierung der **K**reislaufführung von **K**unststoffverpackungen durch **K**ünstliche Intelligenz

GEFÖRDERT VOM

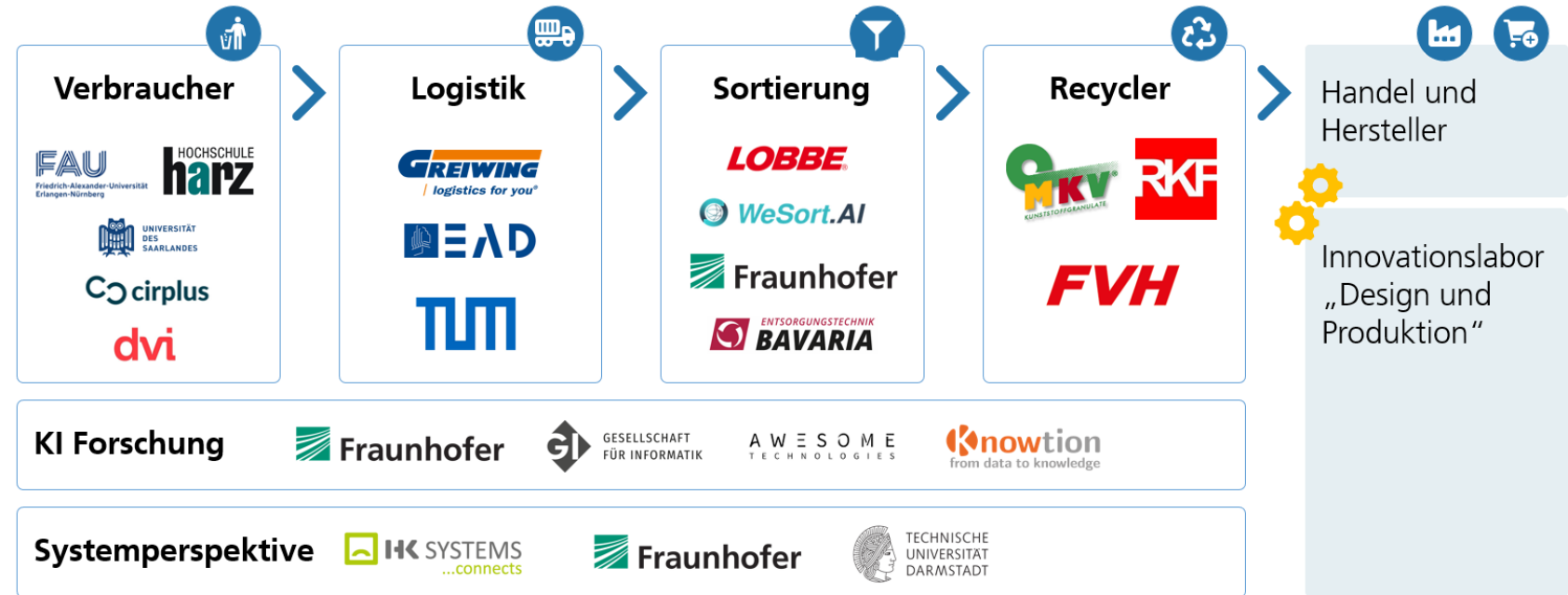


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

- Themenbereich:
Kreislaufwirtschaft für
Kunststoffverpackungen
- Förderrahmen:
ca. 15,9 Mio. €
- Voraussichtliche Projektlaufzeit:
01.09.2022 – 31.08.2025

Projektpartner:



K³I-Cycling

Optimierung der **Kreislaufführung** von **Kunststoffverpackungen** durch **Künstliche Intelligenz**

Stoffstrom:

Siedlungsabfälle bzw. Kunststoffverpackungen

Schwerpunkte:

Kreislaufschließung & Prozessoptimierung der ganzen Kette durch KI

Hauptziel des Forschungsvorhabens:

Erhöhung der Menge & Qualität an Rezyklat durch KI

Unsere Aufgabe im Projekt:

- Optimierung der Sammlung
- Entwicklung eines Abfallpasses für vordefinierte Kundentypen

Methodik / Durchführung:

- Durchführung von Sortieranalyse
- Befragungen nach Abfallverhalten
- Konzeptionierung Unterflurcontainer
- Bereitstellung der Daten für digitalen Zwilling



Zusammenfassung

Vernetzung kann als Enabler für die Kreislaufwirtschaft dienen

1

Was?

- Verborgene Potentiale von Netzwerken nutzen



2

Wie?

- Vernetzung von Akteuren
- Schaffung einer Datengrundlage
- Treffen der richtigen Entscheidungen



3

Warum?

- Effektive Kommunikation
- Effiziente Abläufe
- Nachhaltige Wertschöpfung



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

Abteilung Digitalisierung der Ressourcen
Fraunhofer IWKS

➔ **Werden Sie Teil dieser Vernetzung.**



Kontakt

Wissenschaftliche Mitarbeiter:innen
Digitalisierung der Ressourcen

Fraunhofer IWKS
Brentanostr. 2a, 63755 Alzenau



Malte Vogelgesang, M.Sc.
malte.vogelgesang@iwks.fraunhofer.de



Leonie Wenzel, M.Eng.
leonie.wenzel@iwks.fraunhofer.de



Thilo Brämer, M.Sc.
thilo.braemer@iwks.fraunhofer.de

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit
