FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

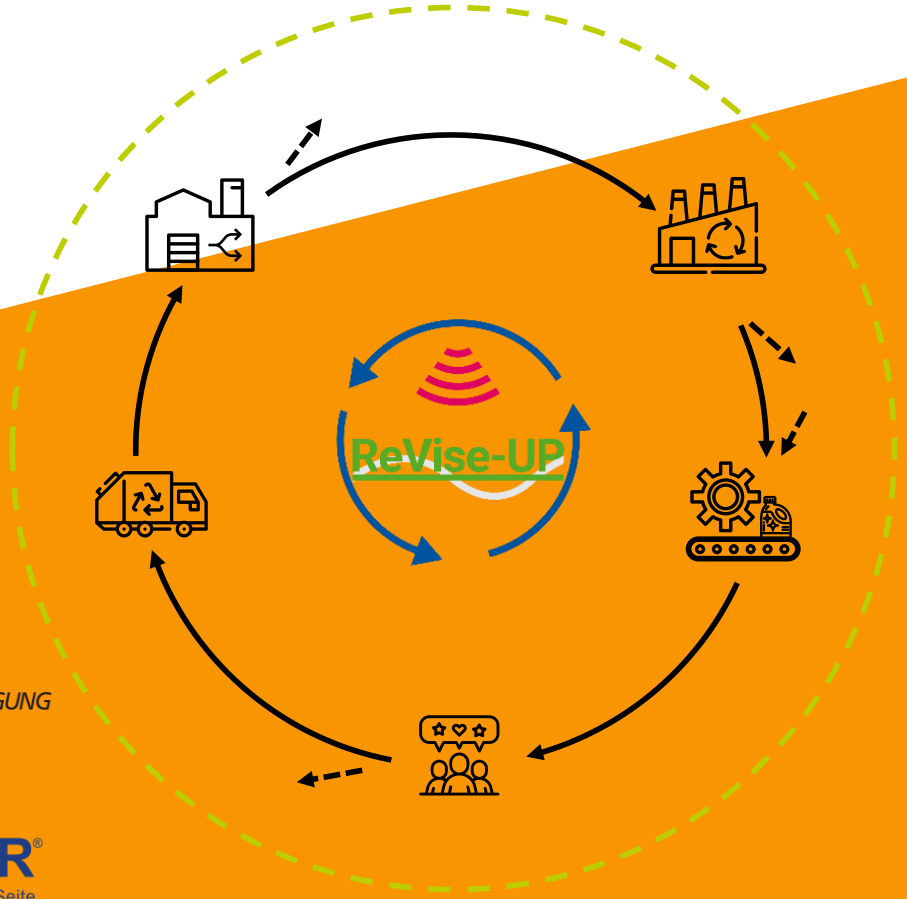
Gefördert durch:
Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft –
Kunststoffrecyclingtechnologien

Verbesserung der Prozesseffizienz des werkstofflichen Recyclings von Post-Consumer Kunststoff-Verpackungsabfällen durch intelligentes Stoffstrommanagement

Prof. Dr. Kathrin Greiff (RWTH Aachen, Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe)
ReVise-UP

30.09.2026 I KuRT Transferkonferenz



ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY | dfki ai Augmented Vision | humtec | RWTH AACHEN UNIVERSITY | HÜNDGEN ENTSORGUNG

KRONES RECYCLING | prezero | DIN | SKZ Das Kunststoff-Zentrum | STADLER Technik von ihrer besten Seite

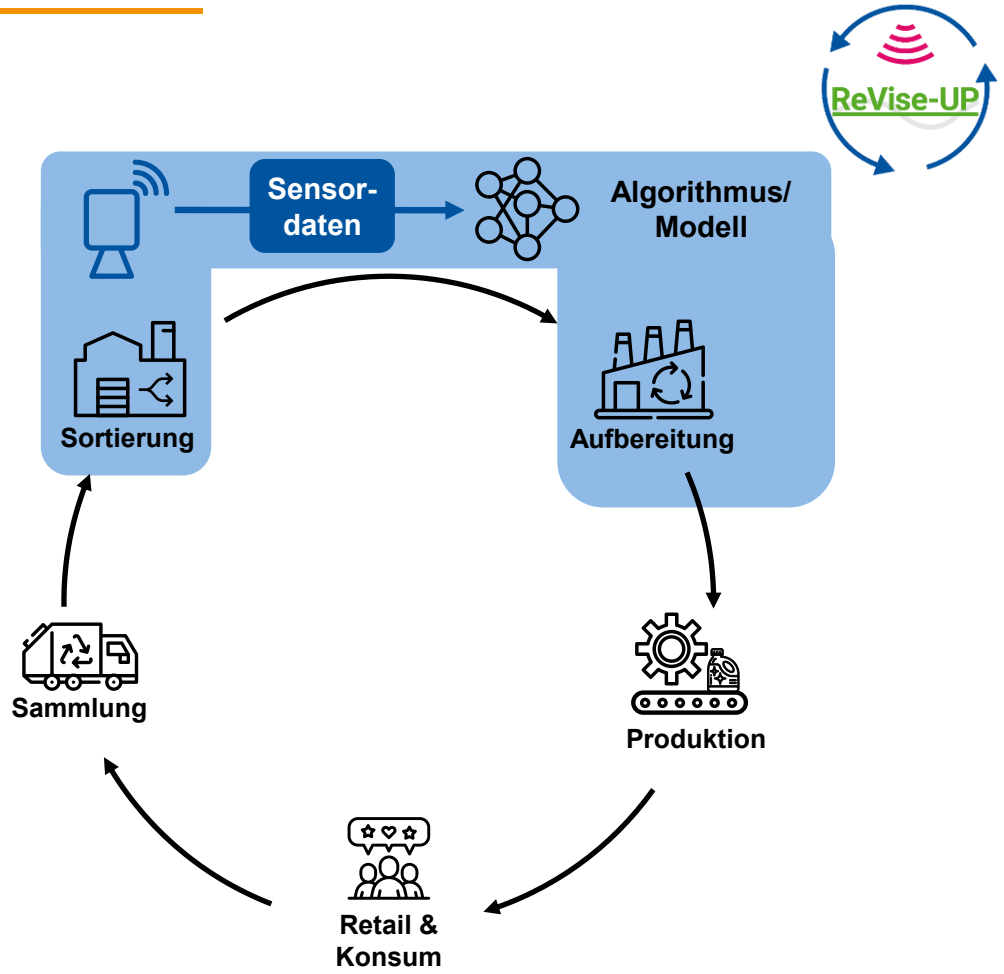
bvse | Wuppertal Institut | geTon | Mach mit! müll trennung wirkt.de Eine Initiative der dualen Systeme. | TOMRA

Kunststoffkreislauf: Fokus Verpackungen

- Große Variabilität an Funktionalitäten und Materialien
- Hohe Heterogenität der Abfallströme
- Rezyklatqualität ≠ Primärmaterialien

Mehr Transparenz notwendig:

- Materialcharakterisierung - Monitoring
- Quantifizierung von Verunreinigungen
- Identifikation von Störstoffen

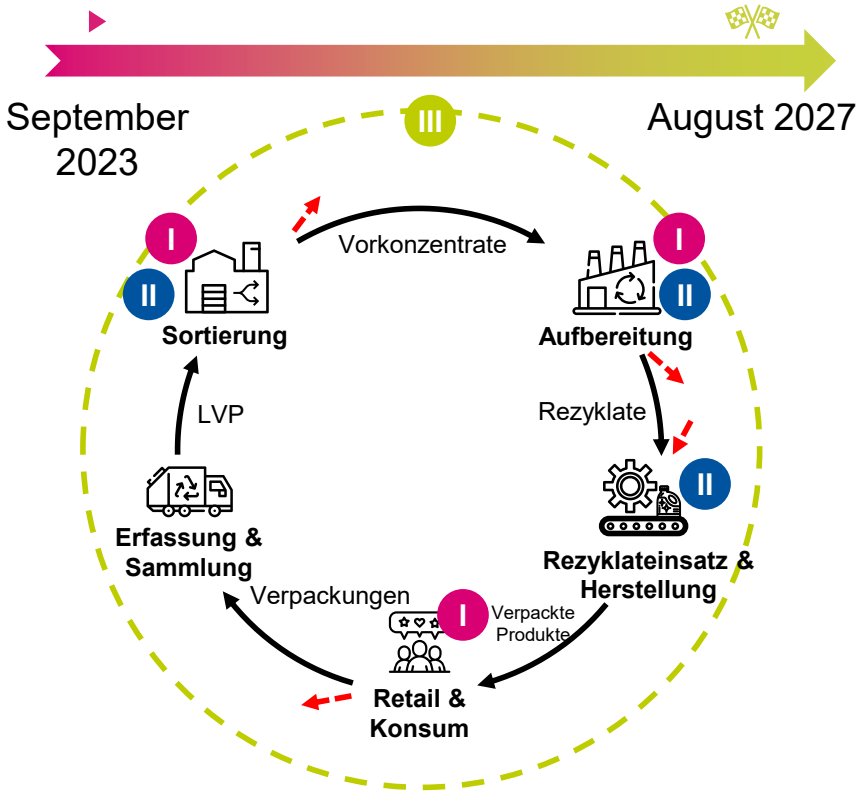


ReVise-UP – Übergeordnete Projektziele

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Transparenz durch Sensortechnik



I Sensorbasiertes Input- & Qualitätsmonitoring

- Verlust- & störstoffminimierte LVP-Sammlung
- Verbesserte Vorkonzentratqualitäten

II Adaptive Prozessparametrierung

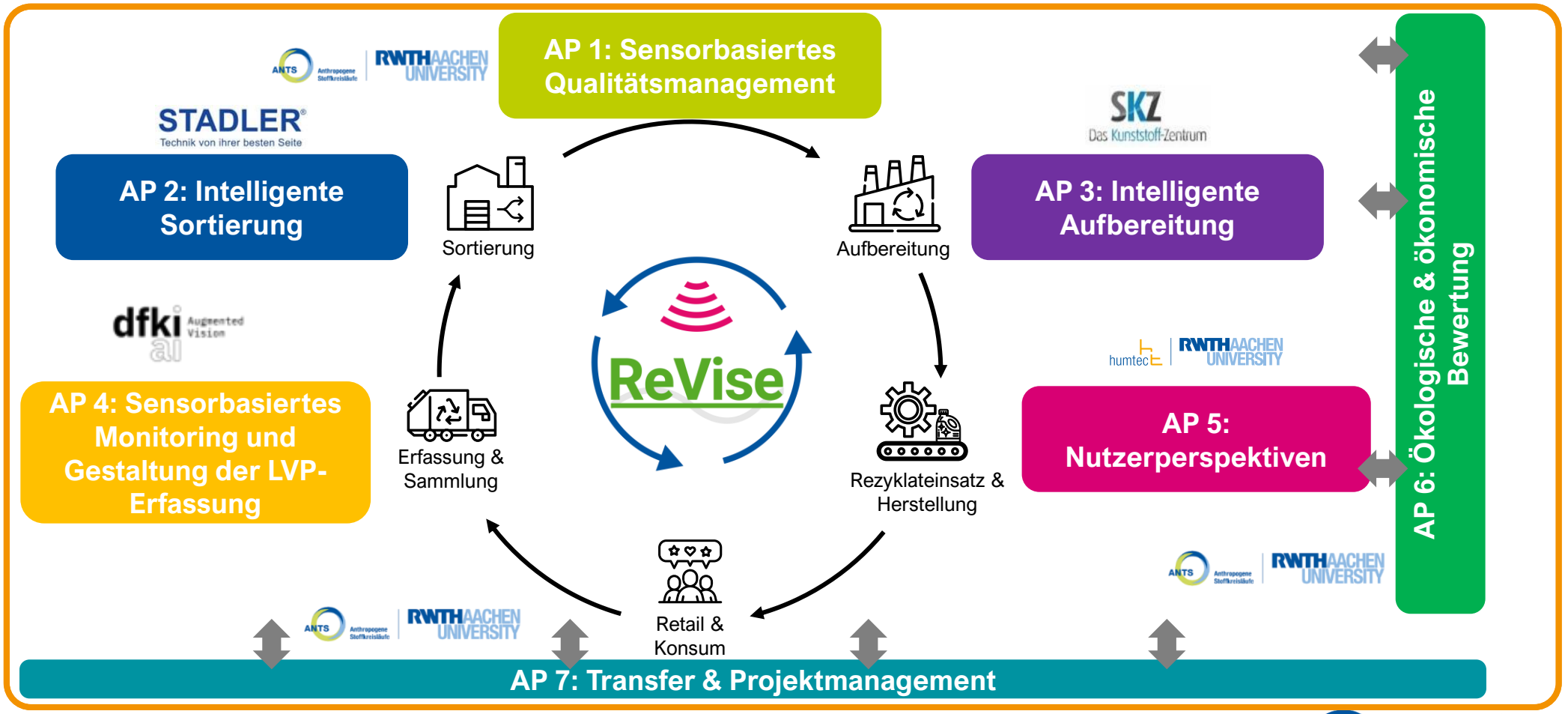
- Adaptierung von Sortier-, Aufbereitungs- und Kunststoffverarbeitungsprozessen auf schwankende Stoffstromeigenschaften

III Ökologische & ökonomische Optimierung

- Wertschöpfungskettenübergreifende Bewertung, wo Mehreinsatz von Technik die größten ökologischen und ökonomischen Mehrwerte schafft

ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Projektübersicht



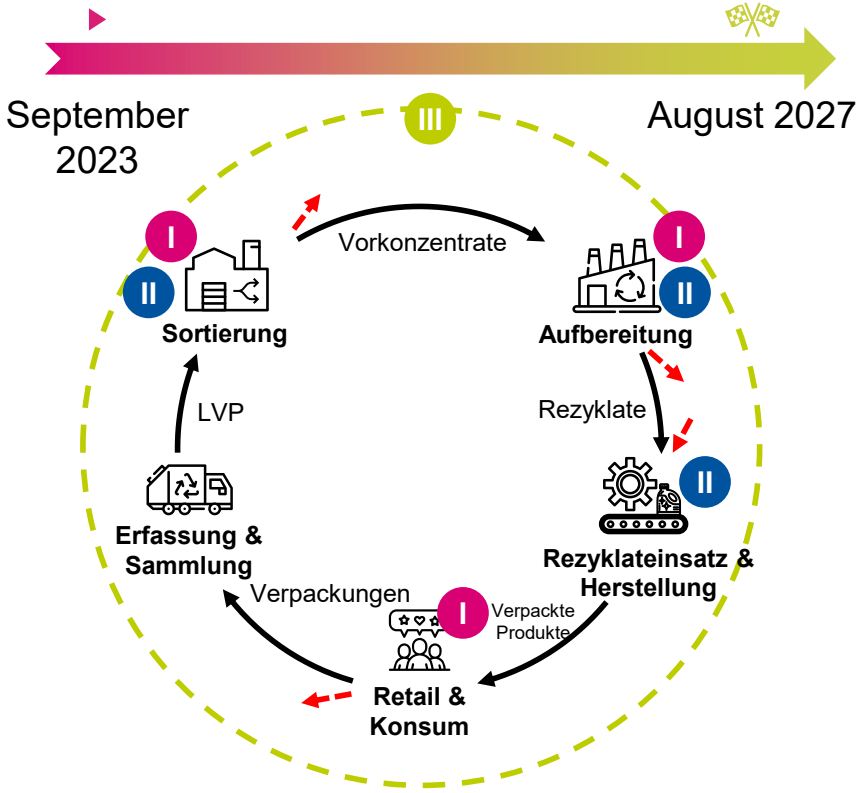
AP: Arbeitspaket

ReVise-UP – Übergeordnete Projektziele

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Transparenz durch Sensortechnik



I Sensorbasiertes Input- & Qualitätsmonitoring

- Verlust- & störstoffminimierte LVP-Sammlung
- Verbesserte Vorkonzentratqualitäten

II Adaptive Prozessparametrierung

- Adaptierung von Sortier-, Aufbereitungs- und Kunststoffverarbeitungsprozessen auf schwankende Stoffstromeigenschaften

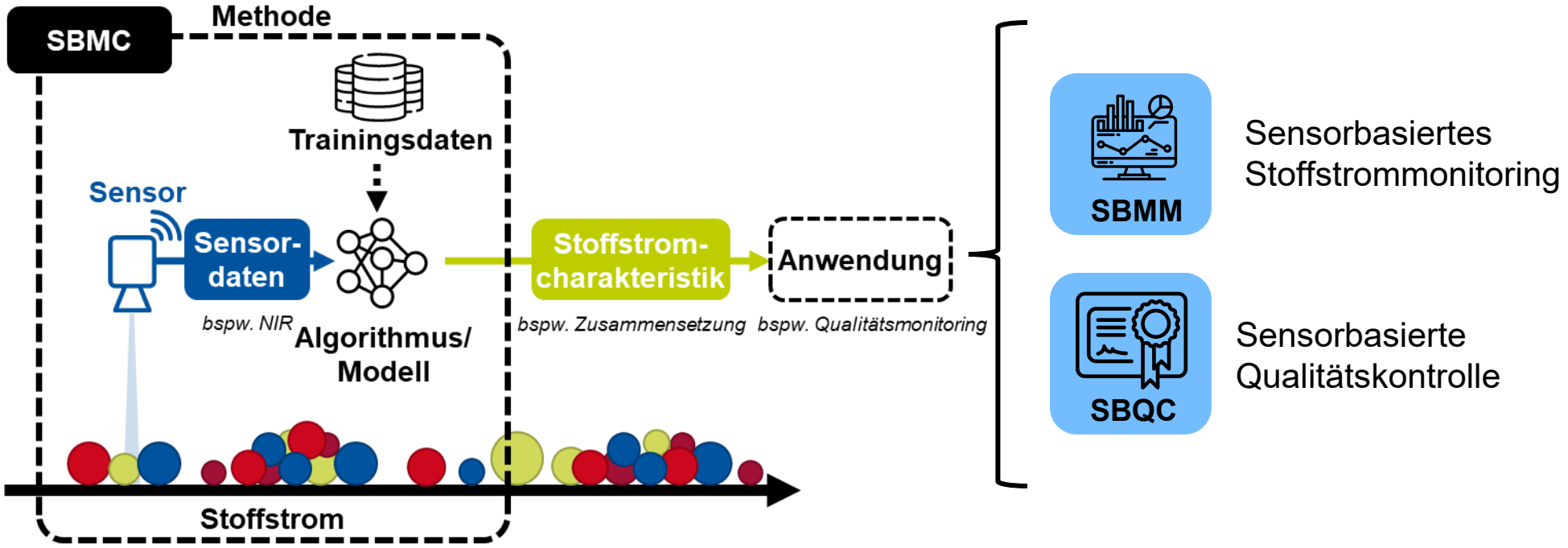
III Ökologische & ökonomische Optimierung

- Wertschöpfungskettenübergreifende Bewertung, wo Mehreinsatz von Technik die größten ökologischen und ökonomischen Mehrwerte schafft

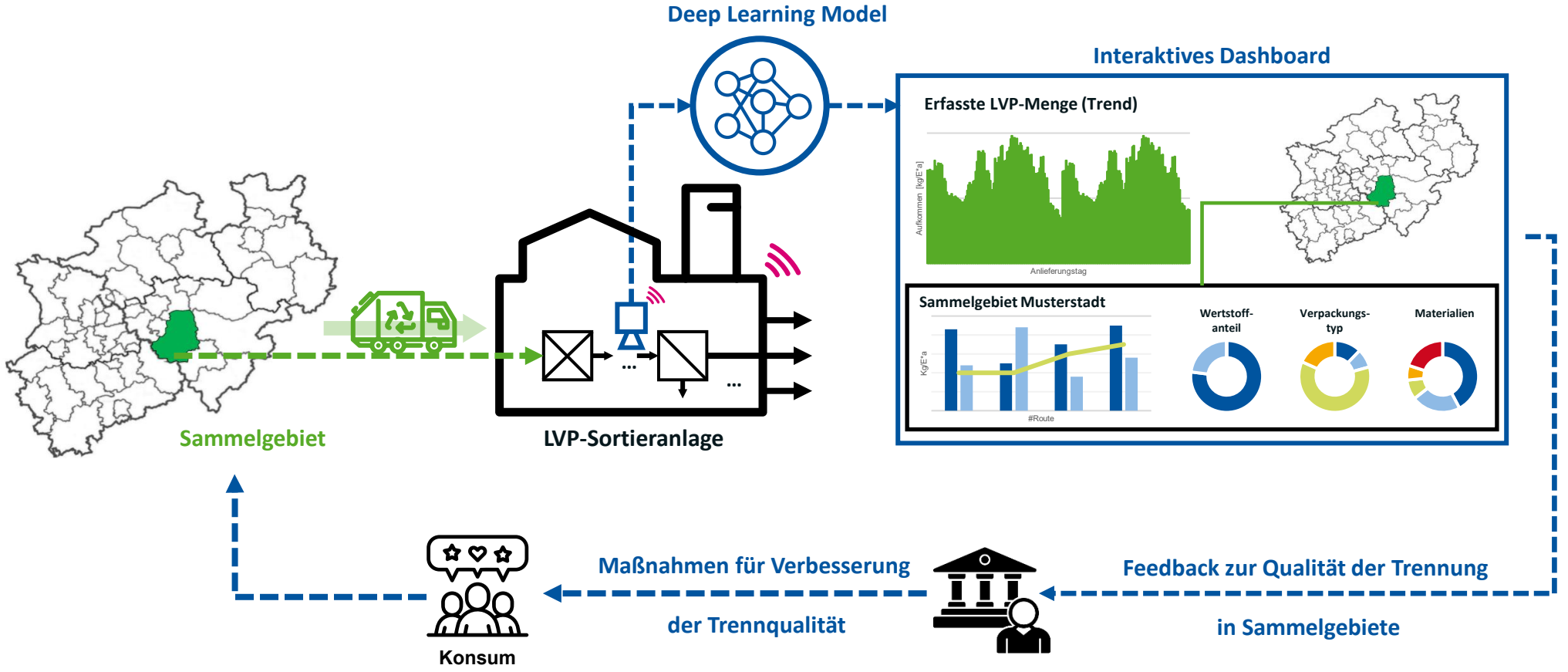
ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Sensorbasierte Stoffstromcharakterisierung

Methode – SBMC (sensor-based material characterization)



Sensorbasiertes Inputmonitoring und Gestaltung der LVP-Erfassung

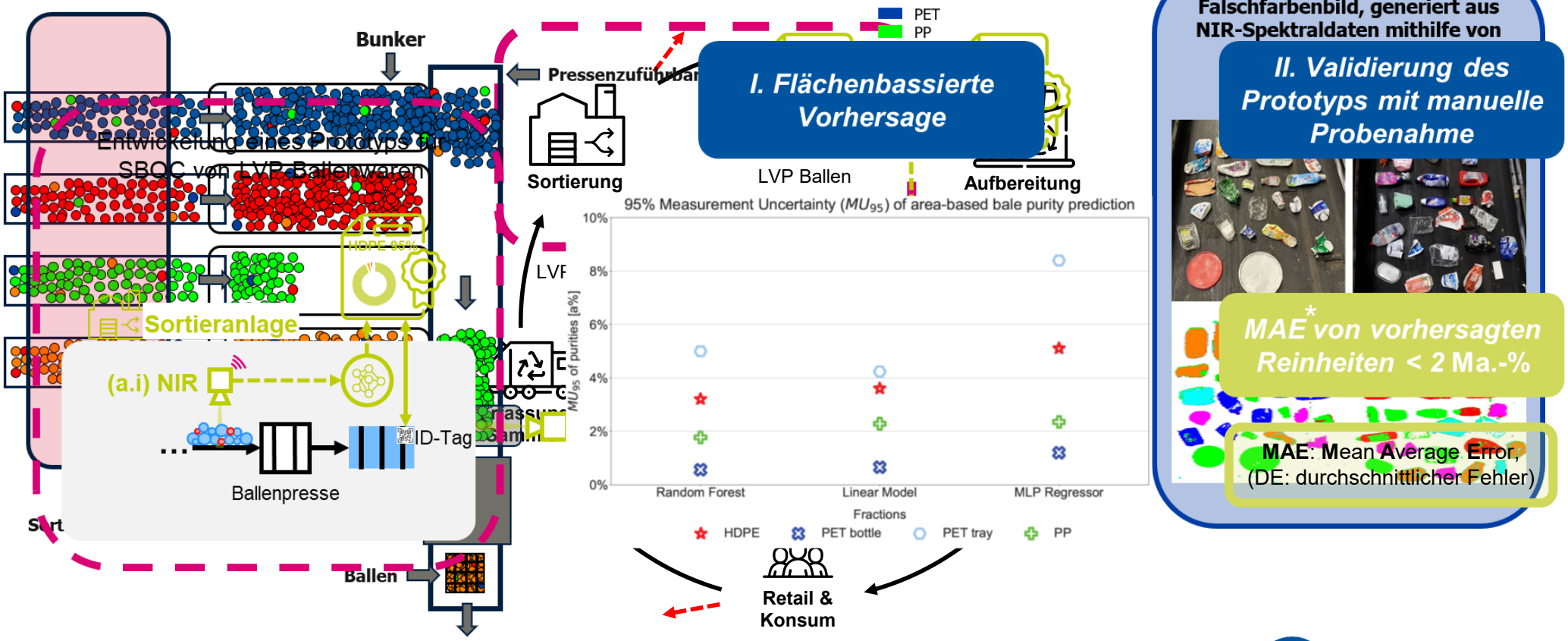


Zukunftsszenario

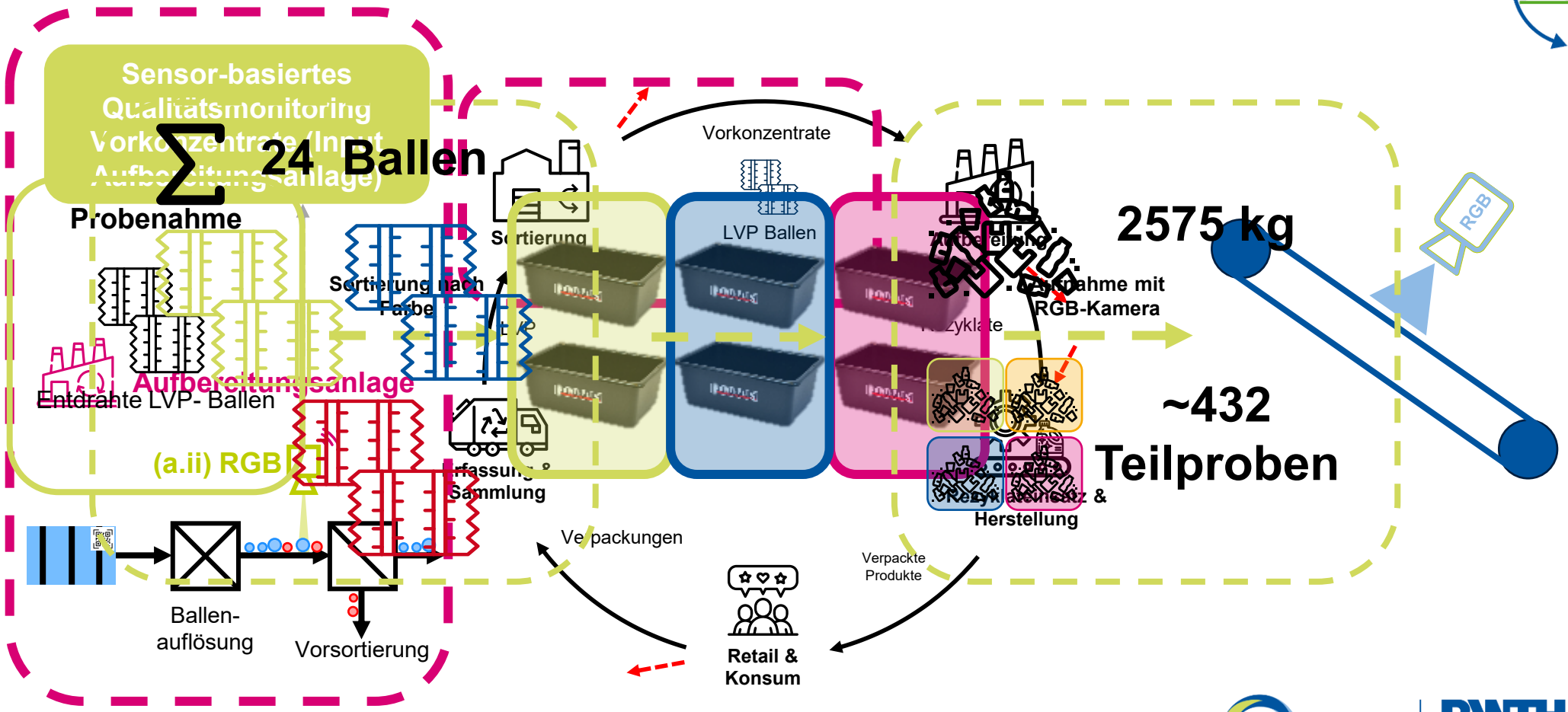
Es benötigt:

- Anreizstrukturen
- Klare Kommunikation
- Transparente Datenbasis

Sensorbasierte Qualitätskontrolle im Output der Sortieranlage



Sensorbasierte Qualitätskontrolle im Input der Aufbereitungsanlage



Sensorbasierte Qualitätskontrolle im Input der Aufbereitungsanlage

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Abgeschlossen

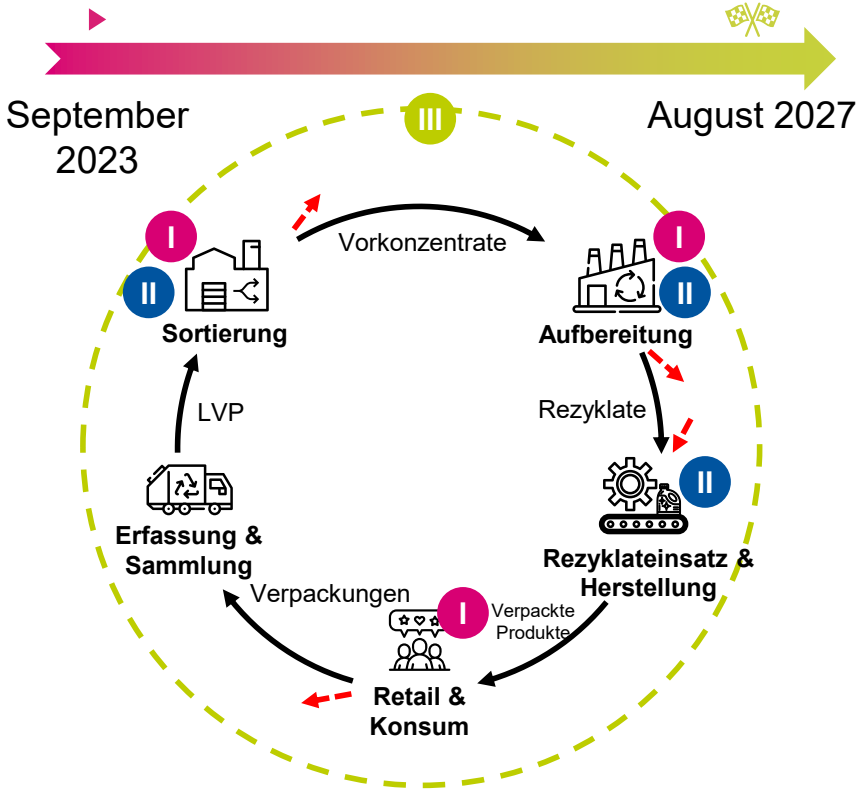
- ✓ Planung und Durchführung der Kampagne
- ✓ Beschaffung eines validen und belastbaren Datensatzes für weitere Analysen

Offene Punkte

- ○ Auswertung der Ergebnisse aus manueller Sortierung
- ○ Validierung der Sensordaten mit manueller Sortierungsdaten

ReVise-UP – Übergeordnete Projektziele

Transparenz durch Sensortechnik



I Sensorbasiertes Input- & Qualitätsmonitoring

- Verlust- & störstoffminimierte LVP-Sammlung
- Verbesserte Vorkonzentratqualitäten

II Adaptive Prozessparametrierung

- Adaptierung von Sortier-, Aufbereitungs- und Kunststoffverarbeitungsprozessen auf schwankende Stoffstromeigenschaften

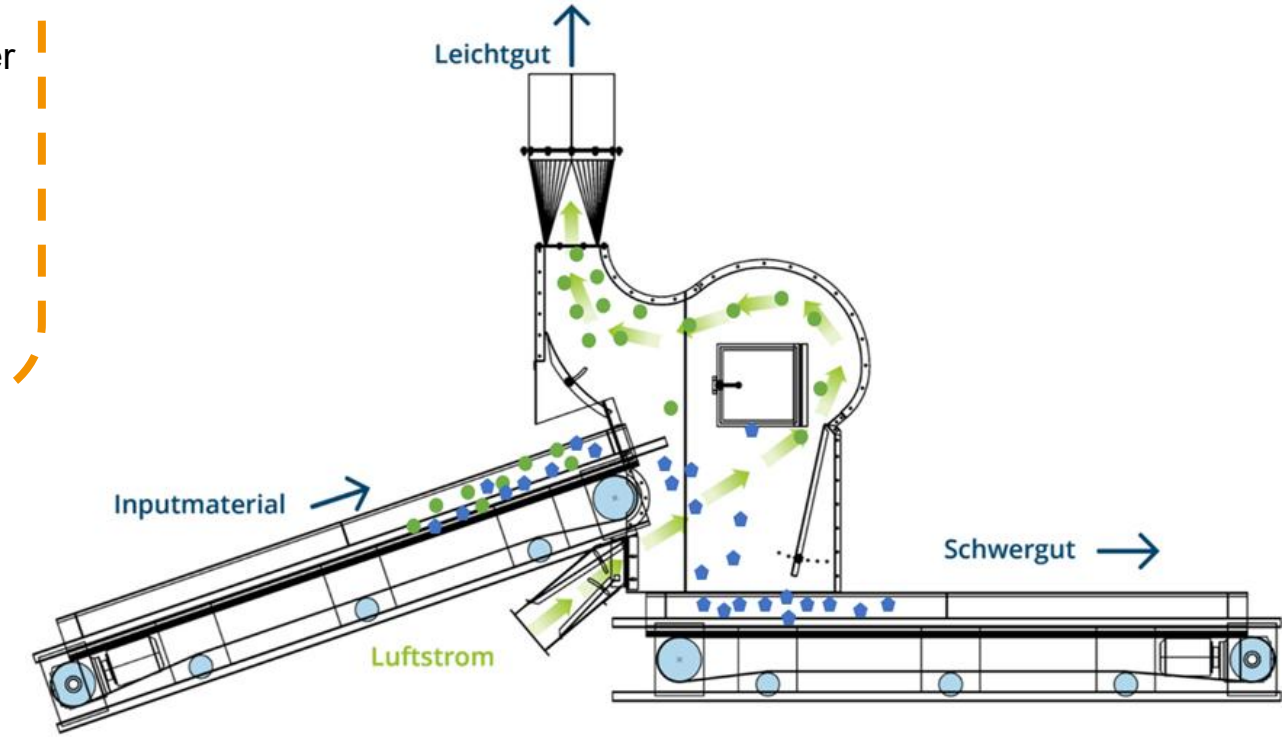
III Ökologische & ökonomische Optimierung

- Wertschöpfungskettenübergreifende Bewertung, wo Mehreinsatz von Technik die größten ökologischen und ökonomischen Mehrwerte schafft

Adaptive Prozessparametrierung der Leichtgutabtrennung

I. Analyse der Auswirkungen verschiedener Windsichtereinstellungen auf das Trennverhalten

II. Gewinnung erster Erkenntnisse zur Automatisierung eines Windsichters



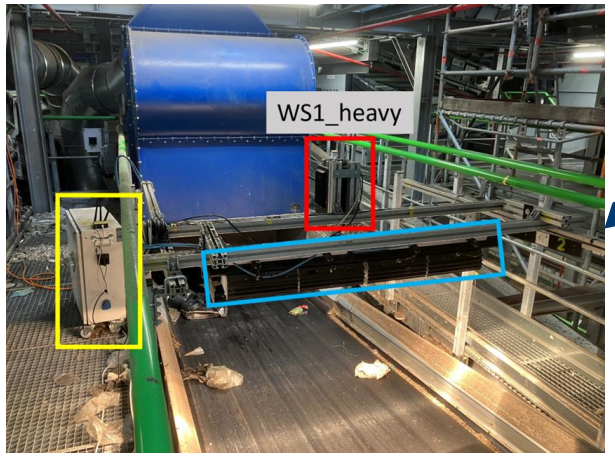
Bildquelle: Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH.
Online unter: https://www.schulz-berger.com/nierensichter.php
(abgerufen am 28.09.2026)

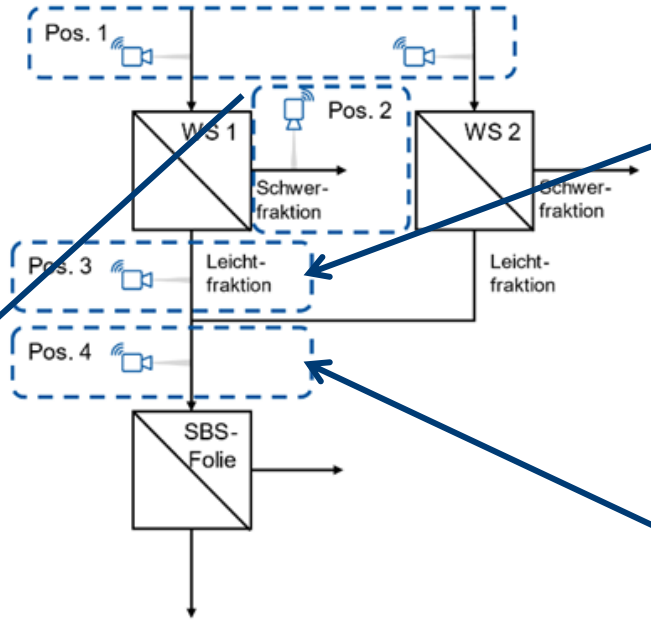
Adaptive Prozessparametrierung der Leichtgutabtrennung

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Versuchsaufbau:





ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Adaptive Prozessparametrierung der Leichtgutabtrennung

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Versuche

r^2 = 0,69–0,87 zwischen **Parametereinstellung** und **Materialanteil**

↓

Robuste Grundlage für eine **automatisierte Regelung**

Prozessparameter

Niedrigere Ventilatorfrequenz: tendenziell **höhere Reinheit**; das Ausbringen mit der **Klappenöffnung beeinflusst** werden. **Systematiken nachweißlich** nutzbar für Regelungen.

Ergebnis

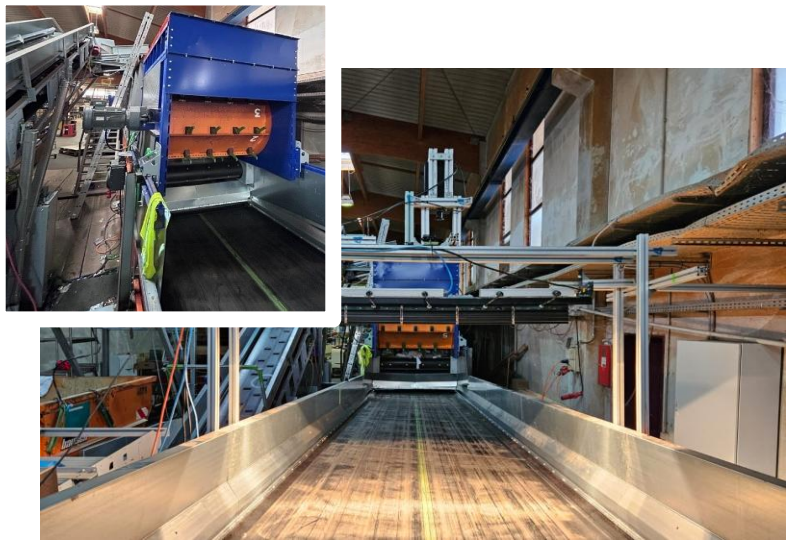
±10 % Einstellungsänderung bewirkte messbare Änderungen des Leichtgutanteils **(ca. 0,5–1,3 Prozentpunkte)**. Die Änderung ist abhängig von der **Korngröße** des Inputmaterials, sodass unterschiedlich starke Änderungen bei zwei Materialströmen festgestellt werden konnten

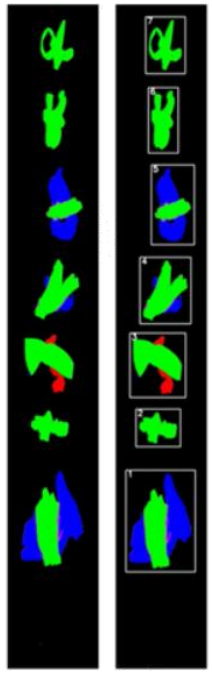
ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Stoffstromvergleichmäßigung

Optimierung der Gleichmäßigkeit:

Dosierbunker & -trommel statt Vergleichmäßiger





Versuchsbefund

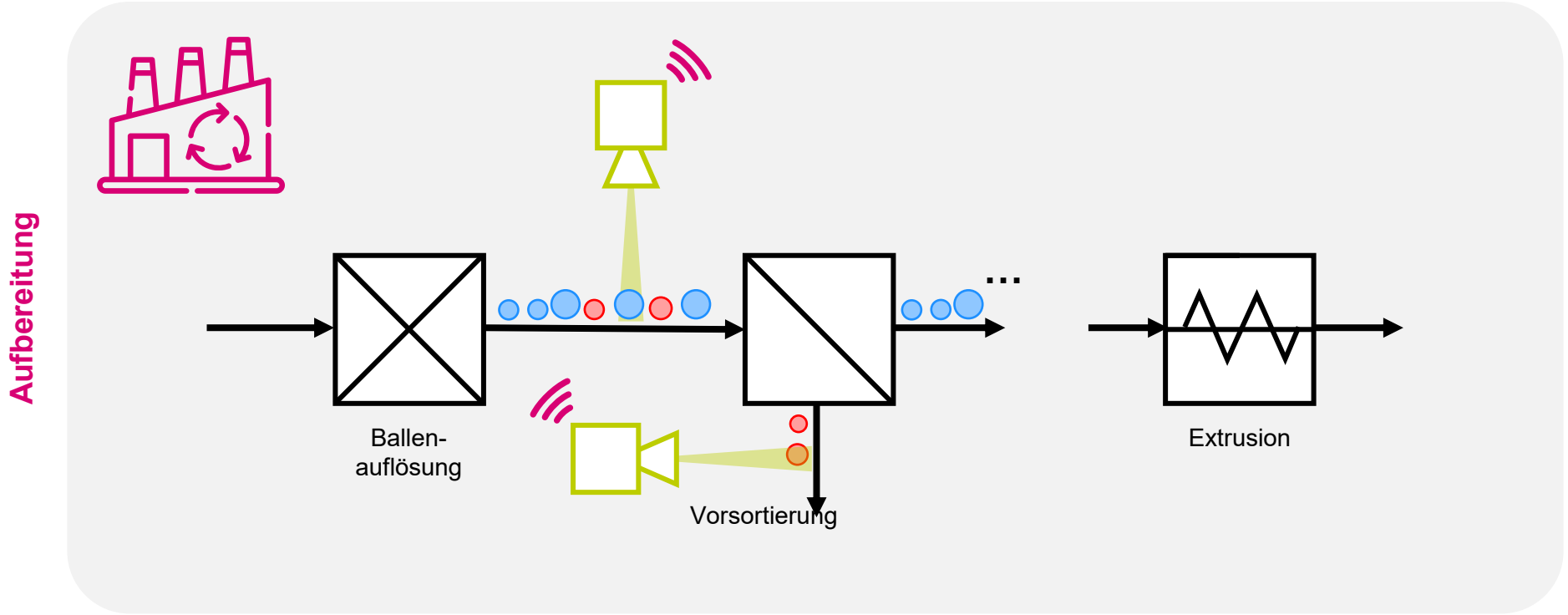
Sensordaten zu Analyse der Materialstrom-Gleichmäßigkeit

Messbarkeit der Materialstrom-Gleichmäßigkeit wurde nachgewiesen

Ergebnis

Die **Trommelsiebe puffern** kurzfristige Schwankungen. Im nachgelagerten Volumenstrom werden Auswirkungen vor allem bei **Leerlaufzeiten von etwa 30–60 s** deutlich. Daher könnte die Entwicklung eines **Ampelsystems** für den Input zur **Vergleichmäßigung** des Stoffstroms beitragen.

Sensorbasiertes Prozessmonitoring in Aufbereitungsanlagen

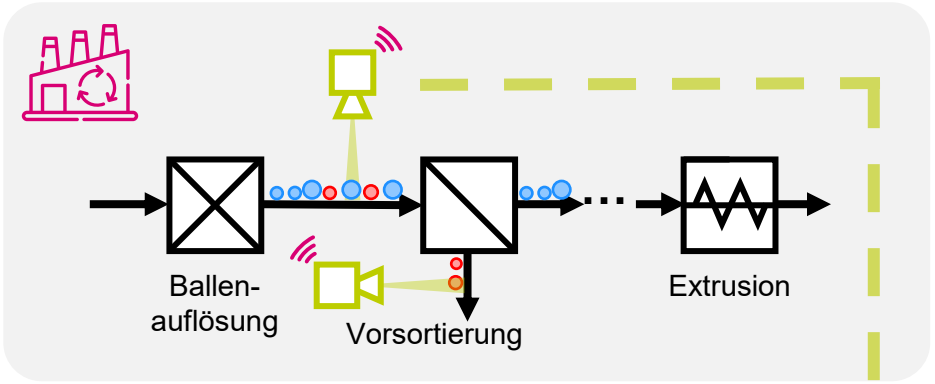


Sensorbasiertes Prozessmonitoring in Aufbereitungsanlagen

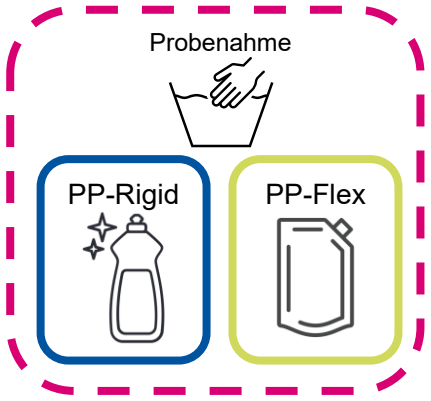
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

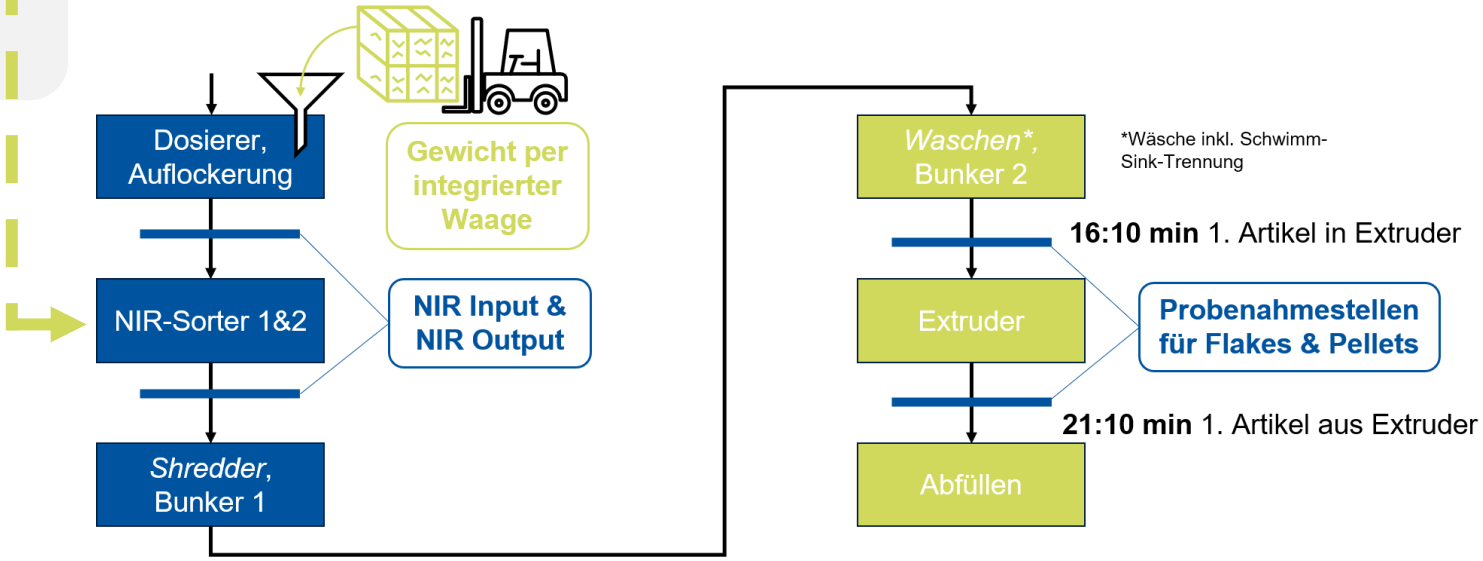
ReVise-UP

Aufbereitung



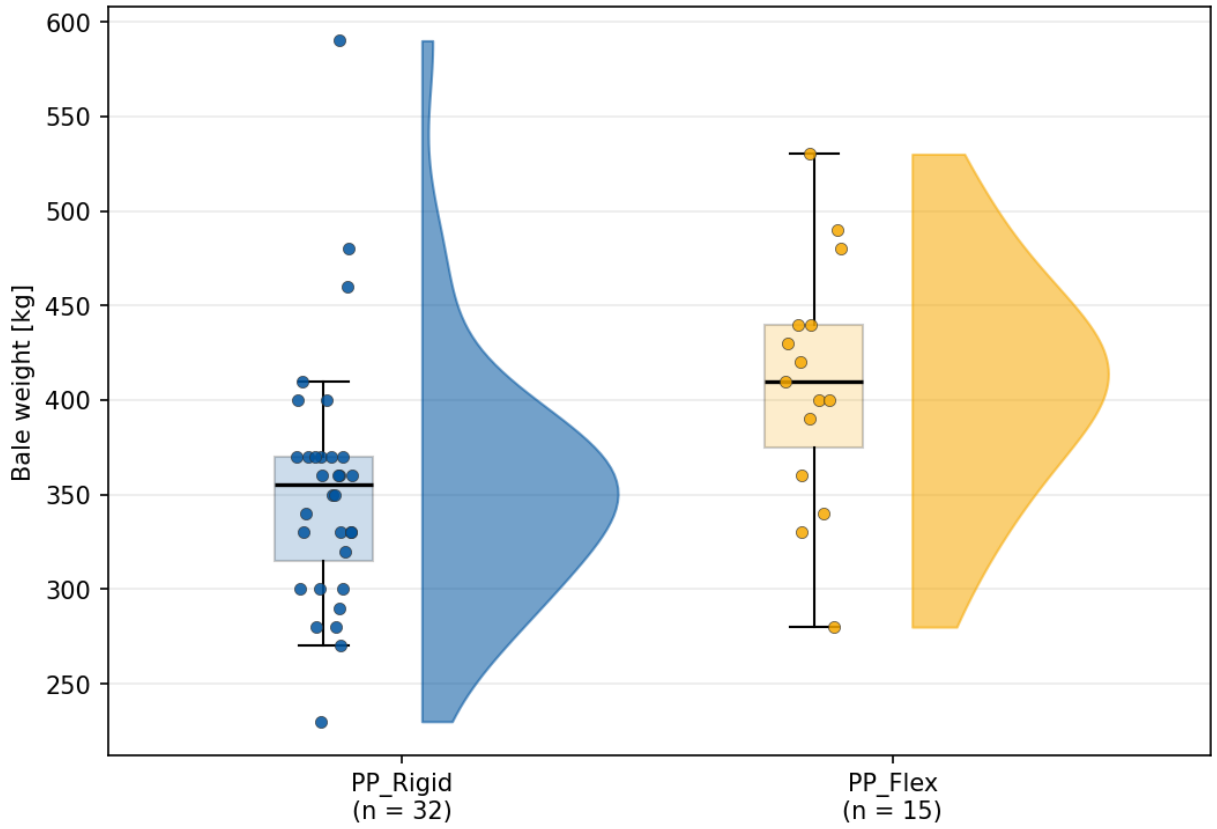
I. **Wertstoffverlusten** im Aufbereitungsprozess besser erkennen
II. **Einfluss von schwankende Inputzusammensetzung** auf Aufbereitungsprozesse





ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Sensorbasiertes Prozessmonitoring in Aufbereitungsanlagen



Gesamt:

- Rigid: 11,3 t
- Flex: 6,4 t

Durchschnittliches Ballengewicht schwankt stark

- Besonders zwischen Flex und Rigid

Mittelwerte:

- Rigid: 354 kg
- Flex: 400 kg

<u>Aktuell wird an Vorverarbeitung der Daten gearbeitet.</u>

Sensorbasiertes Prozessmonitoring in Aufbereitungsanlagen

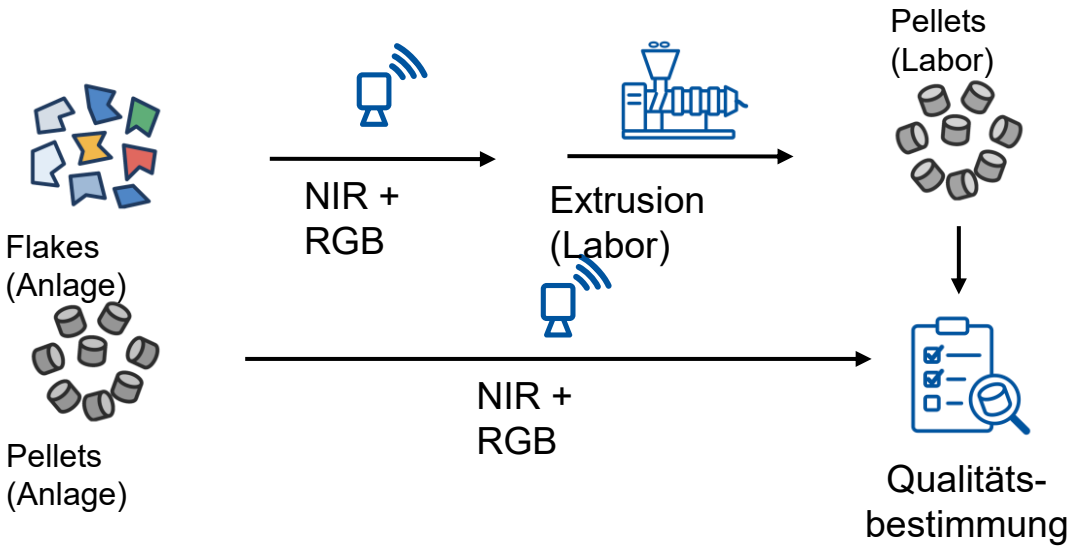
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Offene Punkte

Multi-Sensor-Setup (2 NIR+RGB) für Analyse von Flake & Pellets Samples

- Status: Datenauswertung



Re-Extrusion der getrockneten Flake-Proben

- Status: Probenbereitstellung

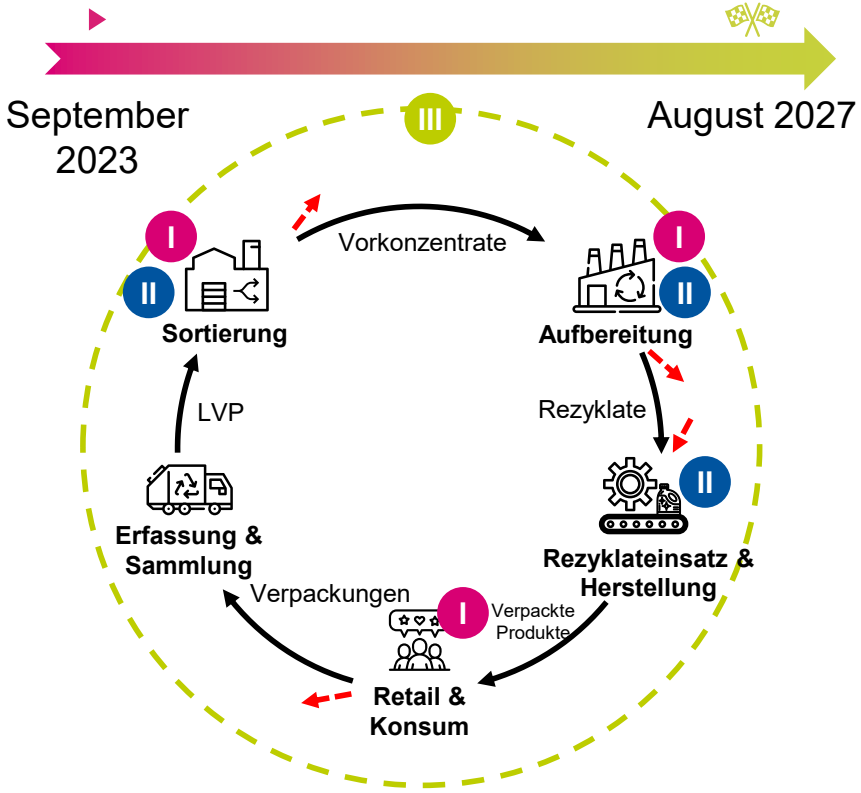
Bestimmung von **MFR** und mechanischen Kennzahlen

Status: Probenbereitstellung

ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

ReVise-UP – Übergeordnete Projektziele

Transparenz durch Sensortechnik



I Sensorbasiertes Input- & Qualitätsmonitoring

- Verlust- & störstoffminimierte LVP-Sammlung
- Verbesserte Vorkonzentratqualitäten

II Adaptive Prozessparametrierung

- Adaptierung von Sortier-, Aufbereitungs- und Kunststoffverarbeitungsprozessen auf schwankende Stoffstromeigenschaften

III Ökologische & ökonomische Optimierung

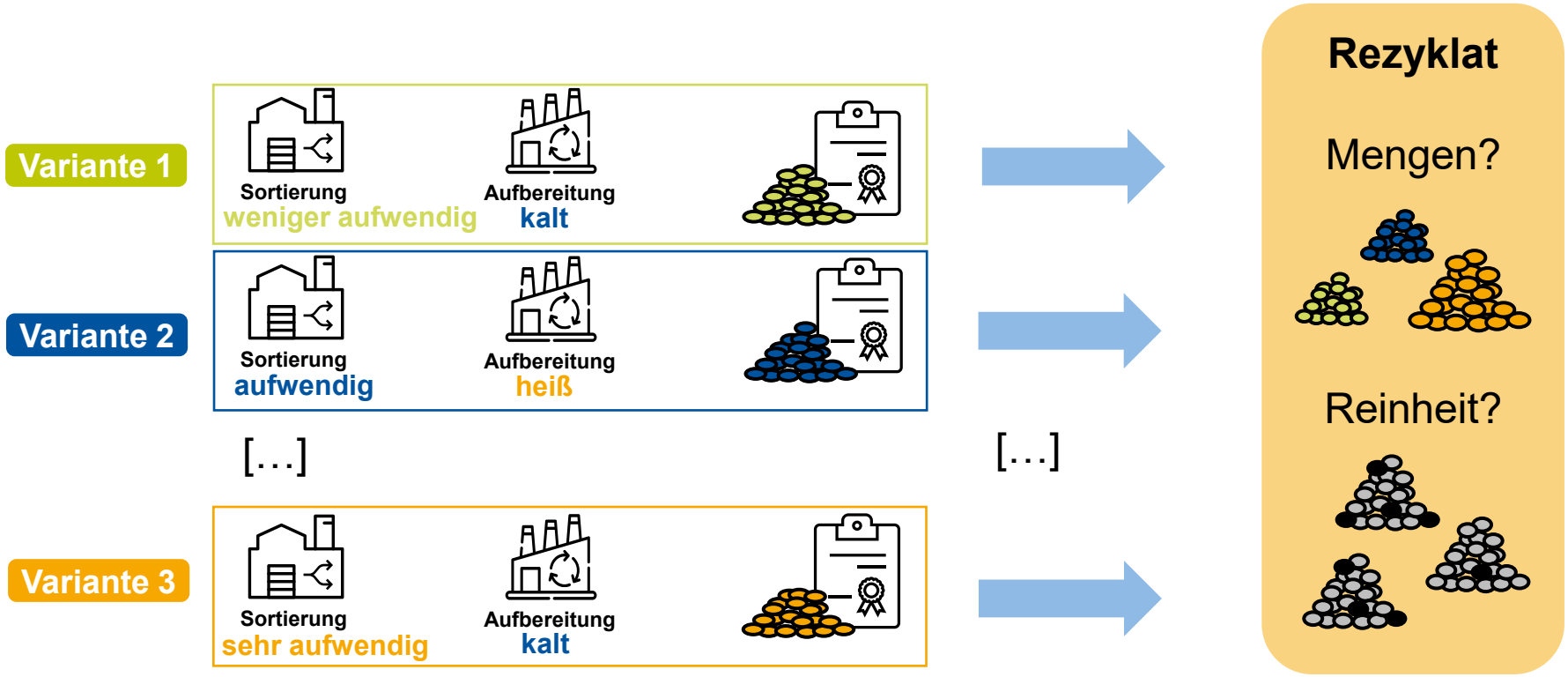
- Wertschöpfungskettenübergreifende Bewertung, wo Mehreinsatz von Technik die größten ökologischen und ökonomischen Mehrwerte schafft

Umweltbewertung von Sortier- und Aufbereitungsrouten

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Empirische Analyse: Aufbereitung von 1 Tonne gemischtem LVP



→ Empirische Datenermittlung für Bewertung

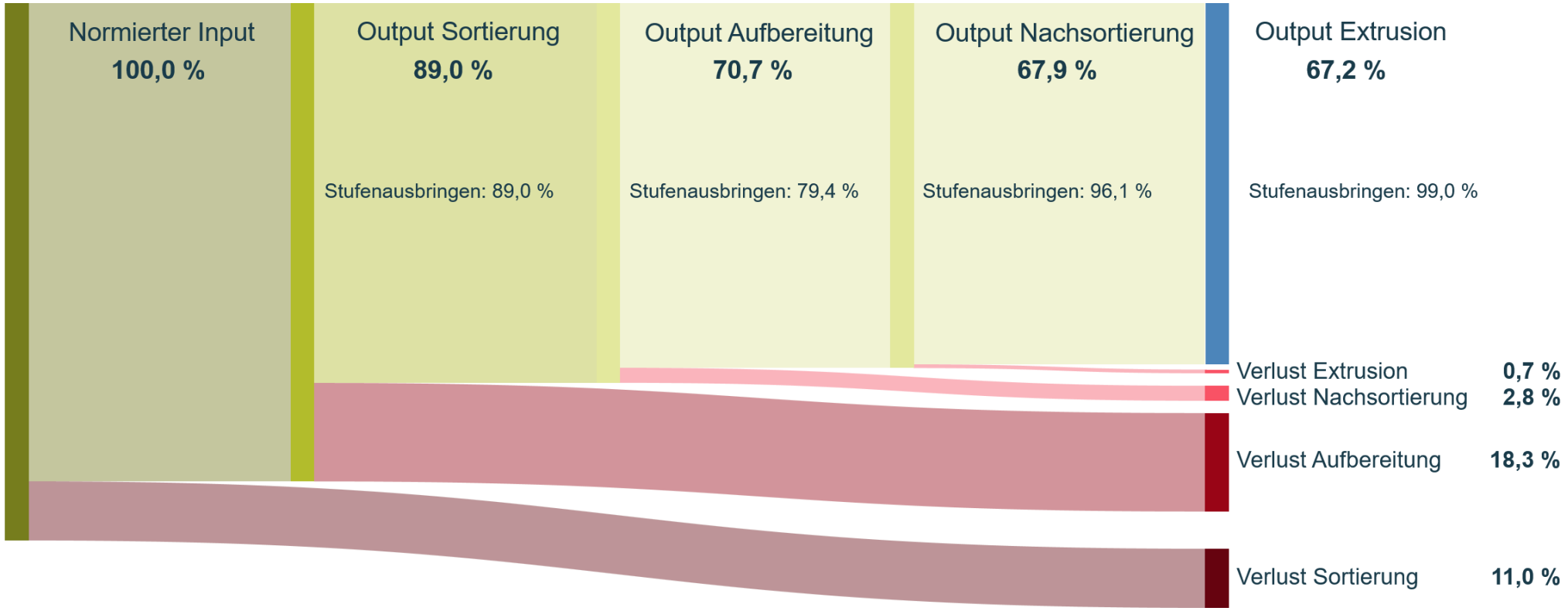
ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Umweltbewertung von Sortier- und Aufbereitungsrouten

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Variante 3 (Mittelwert aus s+_w= und s+_w+)

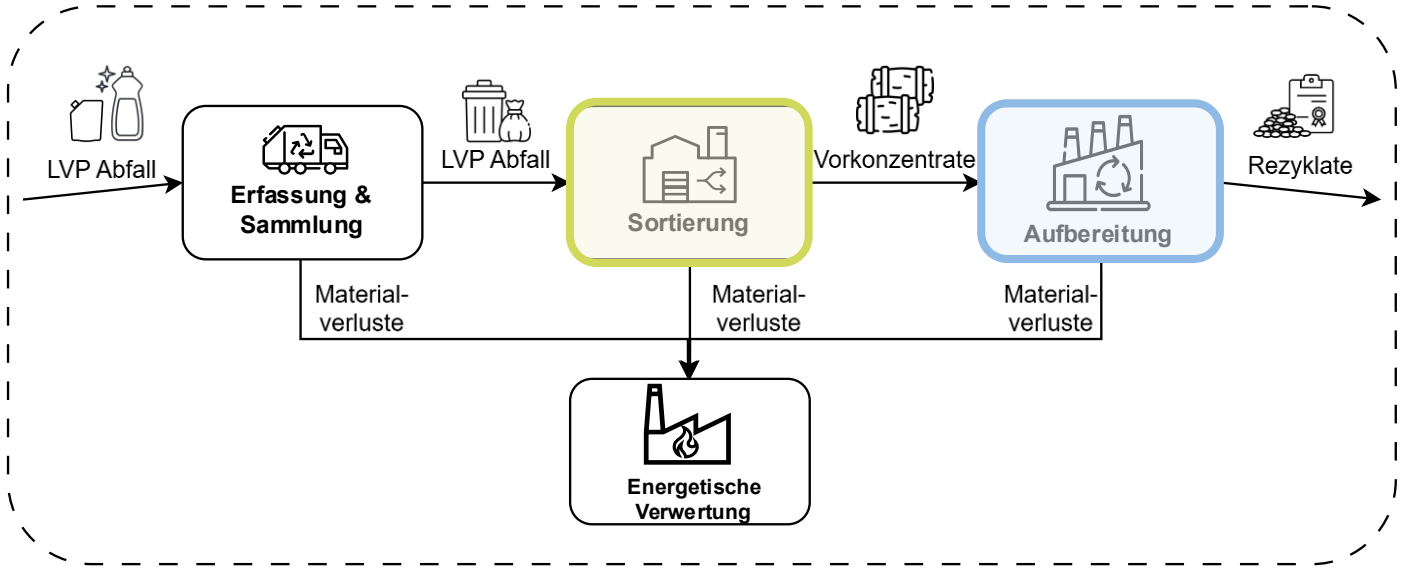


ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Umweltbewertung von Sortier- und Aufbereitungsrouten

Funktionelle Einheit:
"Sammlung, Sortierung und Recycling von Kunststoffen aus einer Tonne gemischter Leichtverpackungsabfälle aus dem Post-Consumer-Bereich zur Verwendung als Sekundärrohstoff in neuen Produktionsprozessen"

Systemgrenzen:



Szenarioanalyse:

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Sortierung	S- weniger aufwendig	S= aufwendig	S+ sehr aufwendig
Aufbereitung	W= kalt		W+ heiß

(Nolte et al. (under Review))

Umweltbewertung von Sortier- und Aufbereitungsrouten

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

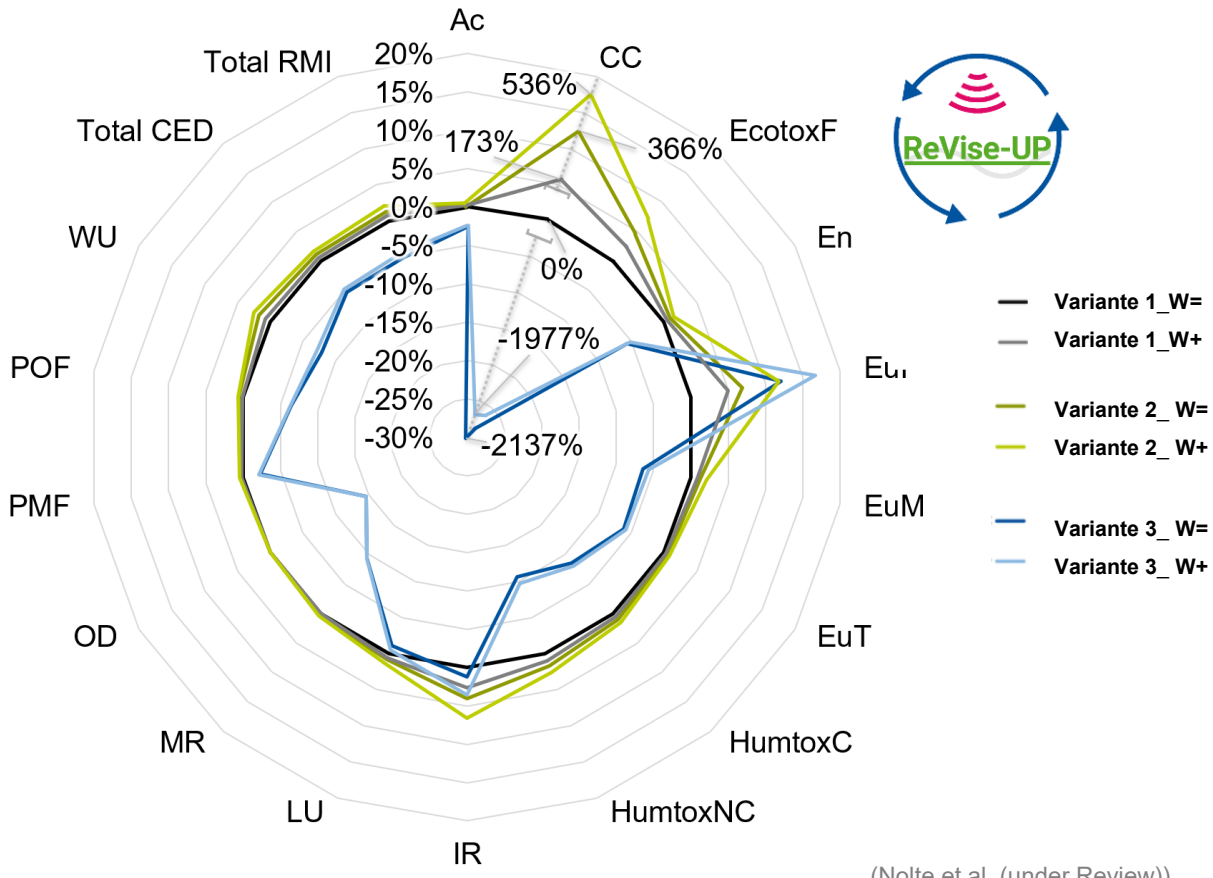
Schlussfolgerungen der ökologischen Bewertung

- **Aufwendige S= (Variante 2)** Sortierung (2x Negativsortierung) & Aufbereitung (**Heiß**wäsche) **W+**: wirken sich negativ aus

- **Sehr aufwendige S+ (Variante 3)** Sortierung (Delabeler & Ballistikseparator):
  - Höhere Verluste bei Sortierung
  - Aber deutliche Steigerung des Massenausbringens bei Aufbereitung
  - Insgesamt ca.: 10 % höheres Wertstoffausbringen
    50 kg CO_2-Einsparungen/FU
    aber z. B. **erhöhte Eutrophierung** (Süßwasser)

- Keine signifikanten Qualitätsunterschiede
  → **Wertstoffausbringen** als entscheidender Parameter

- **Substitutionskoeffizient** & **energetische Verwertung:**
  großer Einfluss auf ökologisches Potenzial
  Limitation: Literaturbasiert

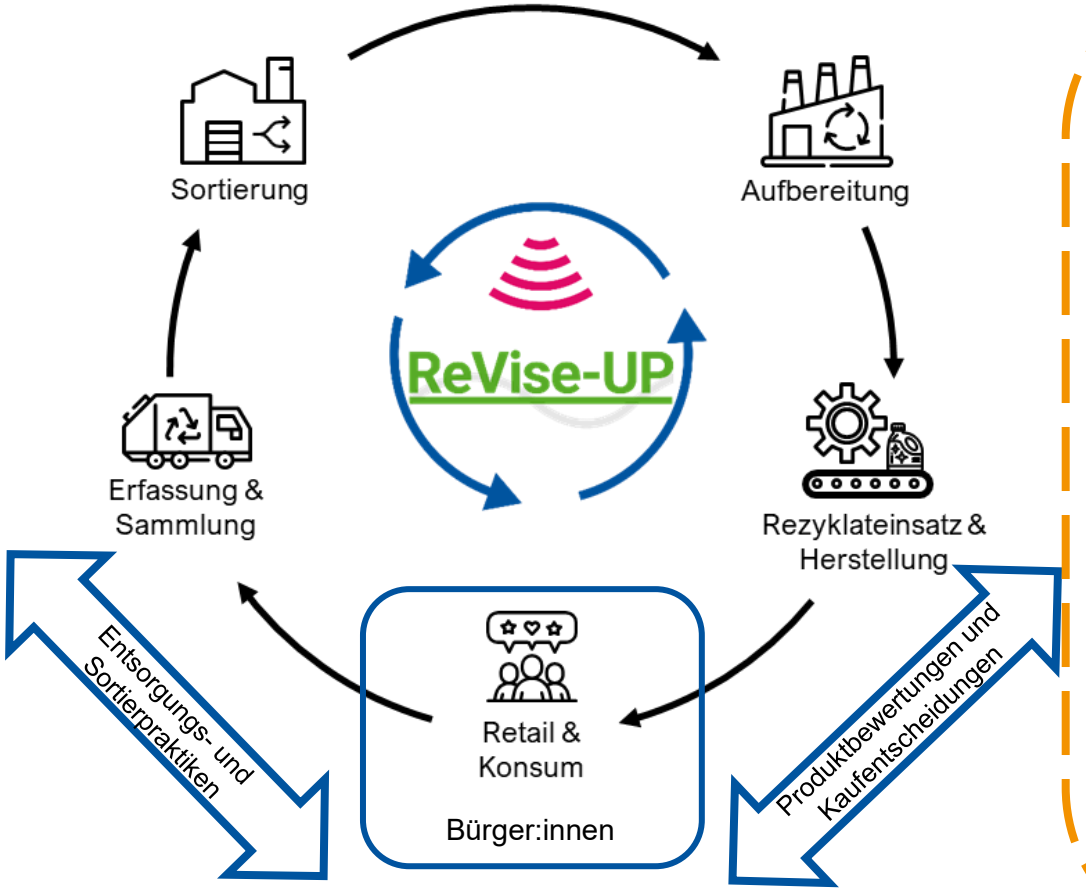


(Nolte et al. (under Review))

Acidification	Ac	Human toxicity: carcinogenic	HumtoxC	Photochemical oxidant formation: human health	POF
Climate change	CC	Human toxicity: non-carcinogenic	HumtoxNC	Water use	WU
Ecotoxicity: freshwater	EcotoxF	Ionising radiation: human health	IR	Total	Total CED
Energy resources: non-renewable	En	Land use	LU	Total RMI	Total RMI
Eutrophication: freshwater	EuF	Material resources: metals/minerals	MR		
Eutrophication: marine	EuM	Ozone depletion	OD		
Eutrophication: terrestrial	EuT	Particulate matter formation	PMF		

ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Nutzerperspektiven



Verpackungshersteller und Inverkehrbringer

- **Konsument:innen** als limitierender Faktor für Verpackungsinnovationen
- **Alternative Verpackungsmodelle** scheitern (Materialumstellung, Refill…)
- Zugleich: **Nachhaltigkeit** auf Konsumebene **als Top-Thema**
- Sich ändernde **Regulierungen (PPWR)** → Unternehmen zwischen Kooperation und Konkurrenz

Bürger:innen-Dialog: Rezeption von Kunststoffen und Verpackungen

- ‘Plastik‘ ist **negativ besetzt** → Nachhaltigkeit = **Kunststoffvermeidung**
- **kaum Differenzierung innerhalb von Kunststoff** (z. B. Rezyklatanteil)
- **Implizite Skripte/Narrative** statt Wissen zur Umweltbilanz
- **Individuelle Kontexte entscheiden** beim Einkauf (Mobilität, Haushaltsgröße,…)

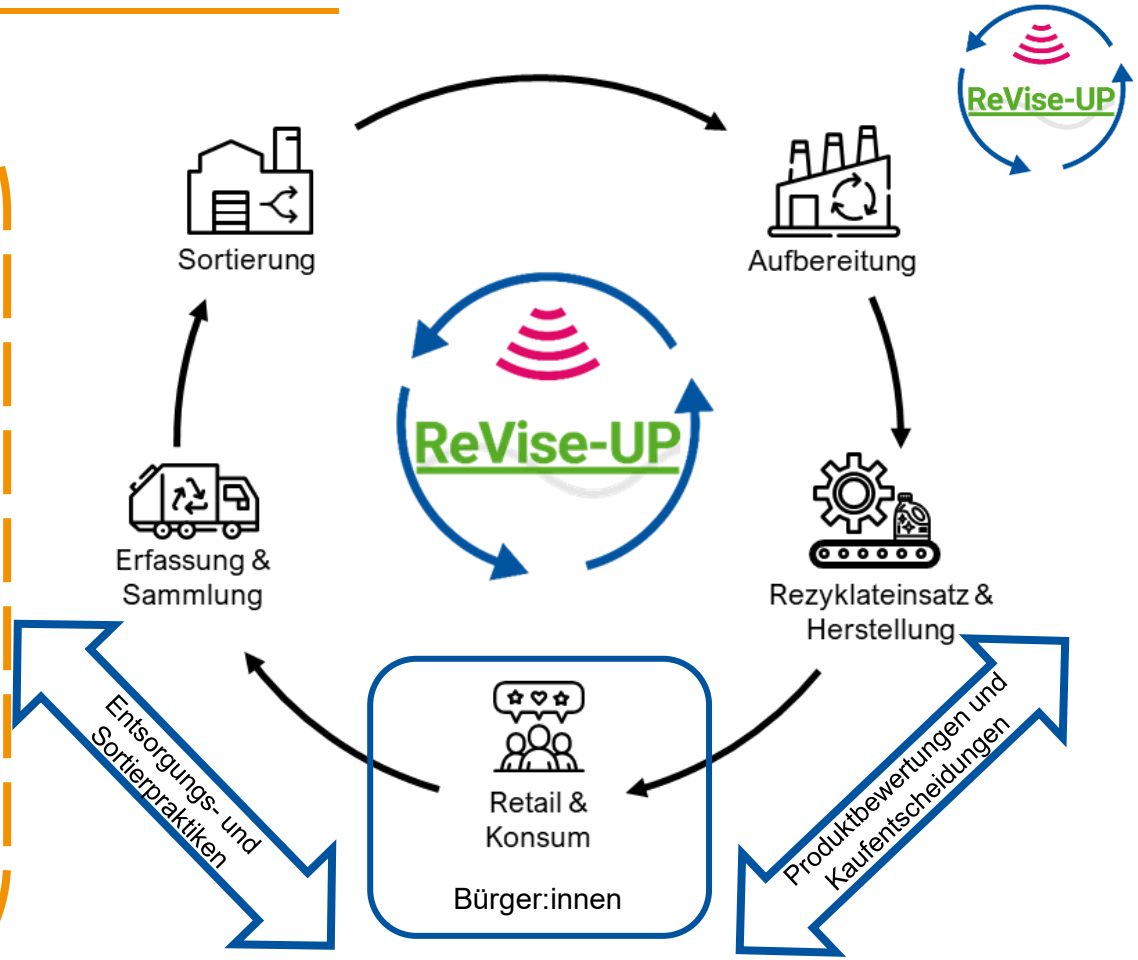
Nutzerperspektiven

Literaturrecherche

- **Einflussfaktoren:** Motivation, Wissen, Gelegenheit und Kontext, Soziodemografie
- **Hürden und Barrieren:** Komplexe Sortieranforderungen, wahrgenommener Aufwand, Sammelsystem, unklare Kennzeichnung

Interviews

- **Trennung nach Material statt nach Funktion** → Gelbe Tonne als Kunststofftonne, nicht als Verpackungstonne
- **Mehrkomponentenverpackungen verunsichern** (z. B. Joghurtbecher)
- **Zweifel am Verbleib des Abfalls** („wird eh zusammengekippt und verbrannt“) → geringe Selbstwirksamkeit

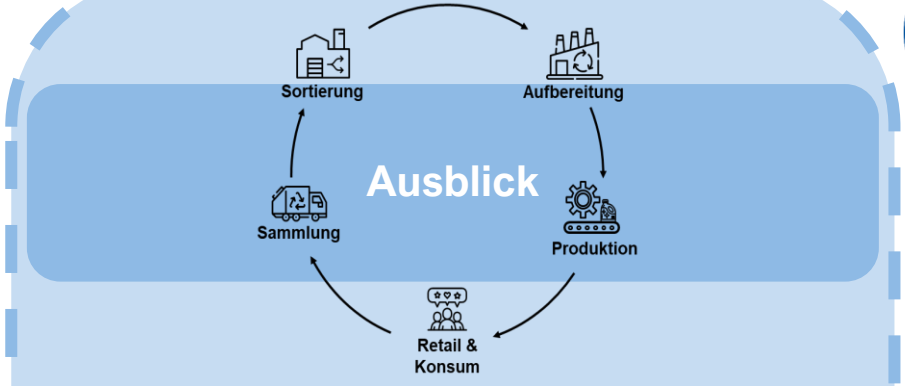


Fazit

- ✓ **Entwicklung eines Dashboards für LVP-Sammlung**
- ✓ **Untersuchung des sensorbasierten Qualitätsmonitorings in Aufbereitungsanlage**

- ✓ **Einsatz von mehr Technik bring > 10 % prozessübergreifendes Wertstoffausbringen**
- ✓ **Prozesseparameter Steuerung mittels Sensordaten für Windsichter und Vergleichmäßiger**

- ✓ **LCA Analyse von Recyclingrouten zeigt, dass bei der aufwendigsten Route 50 kg CO_2-Einsparungen/FU eingespart werden könnten.**



- ▶ **Weiterumsetzung der SBQC-Systems auf Granulaten**
- ▶ **Durchführung einer Umfrage für Nutzerperspektive**
- ▶ **Weiterentwicklung des Dashboards für LVP-Sammlung**
- ▶ **Untersuchung der Rezyklateinsatzmöglichkeiten für die ökonomische und ökologische Bewertung**

©ReVise-UP-Konsortialtreffen, März 2026, Swisttal

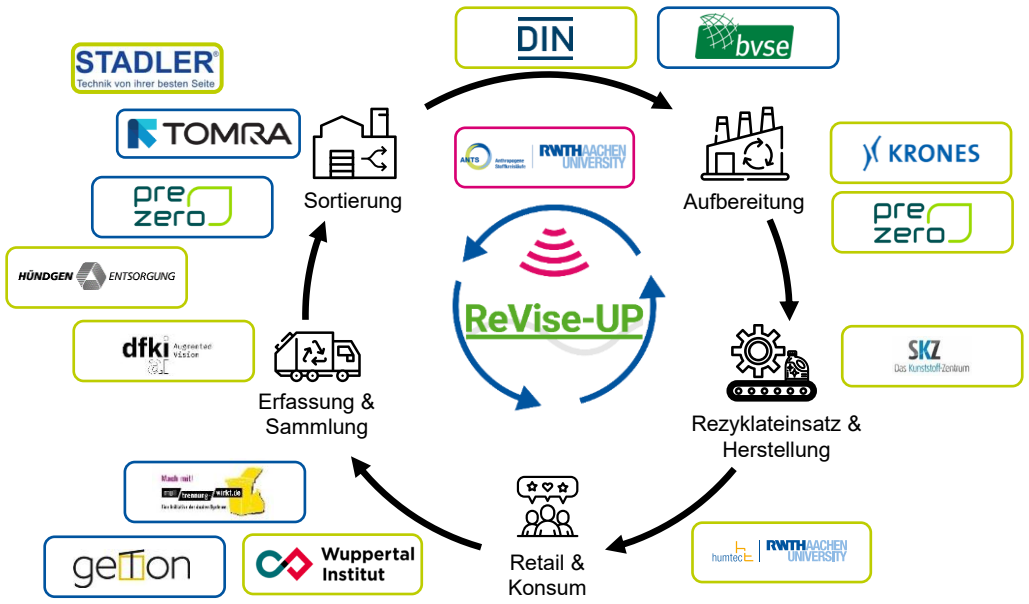
FONA Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert durch: Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

KuRT Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

ReVise-UP

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Prof. Dr. Kathrin Greiff
Institutsleiterin
Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe (ANTS)
RWTH Aachen University

Wüllnerstr. 2
52062 Aachen
Tel: +49 241 80-95700
Fax: +49 241 - 80 92232
Kathrin.Greiff@ants.rwth-aachen.de
www.ants.rwth-aachen.de

ANTS Anthropogene Stoffkreisläufe | RWTH AACHEN UNIVERSITY