

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Herzlich Willkommen am Fraunhofer IWKS

Wladislaw Benner
Malte Vogelgesang
25.11.2024

Ablauf

09:00 – 09:30 Uhr Ankunft, Anmeldung

09:30 – 10:15 Uhr Vorstellung IWKS / Einführung in die Thematik „Innovative Recyclingverfahren“

10:15 – 11:30 Uhr Rundgang durch beide Technika am IWKS-Standort Alzenau

11:30 – 12:00 Uhr Austausch und Diskussion (je nach Bedarf)

Was haben Mitarbeitende bei uns
studiert?

Fraunhofer-Gesellschaft weltweit



Übersicht

- Hauptsitz in München, Deutschland
- 76 Institute und Forschungseinrichtungen
- 30 000 Mitarbeitende

Fraunhofer-Gesellschaft deutschlandweit



Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit **76** Institute und Forschungseinrichtungen.



Standorte des Fraunhofer IWKS

Alzenau, Bayern – Hanau, Hessen



Bioökonomie

Aus biogenen Rohstoffen nachhaltige sowie leistungsstarke Produkte und Prozesse entwickeln



Digitalisierung der Ressourcen

Stoffstrommanagement zur Steigerung der Ressourceneffizienz, intelligente Trenn- und Sortiertechnologien



Energiematerialien

Recyclingprozesse und Konzepte für Kreislaufwirtschaft für Batterien, Brennstoffzellen, PV-Module sowie E-Motoren



Magnetwerkstoffe

Synthese und Recycling von Hochleistungspermanentmagneten im Technikumsmaßstab

Energiematerialien

Schwerpunkte

- Innovative Separationsverfahren für komplexe Verbunde
- Hydrometallurgische Aufschluss- und Separationsverfahren
- Verfahren zur Anreicherung von kritischen Metallen (Mechanochemie, Leaching)
- Aufbereitung von Funktionsmaterialien
- Entwicklung von Funktionsmaterialien mit geringer Kritikalität
- Materialanalytik und prozessbegleitende Analytik zur Entwicklung hocheffizienter Recyclingverfahren



Energiematerialien durch innovative Prozesse im Wertstoffkreislauf erhalten

Erneuerbare Energie und moderne Energieerzeugung, -wandlung und -speicherung nachhaltig gestalten.

Magnetwerkstoffe

Schwerpunkte

- Entwicklung von Technologien zum Recycling von Altmagneten und zur effizienten Demontage von Elektromotoren
- Herstellung von Magneten mit reduziertem Gehalt kritischer Elemente
- Herstellung von Pulvern für die additive Fertigung von Funktionsmaterialien
- Umfassende Analysemethoden u.a. zur Messung magnetischer Eigenschaften, zur Strukturanalyse, chemische Analytik sowie Mikroskopie und Nanoanalytik



Klassische Verfahren von Grund auf optimieren

Zur Sicherung einer nachhaltigen Versorgung der Industrie mit Magnetwerkstoffen und den dafür erforderlichen Rohstoffen

Bioökonomie

Schwerpunkte

- Extraktion von Biopolymeren und Fasern aus Reststoffen / Prozessabfällen der Lebensmittelindustrie
- Chemische Modifikation der gewonnenen Biopolymere zur Anpassung der Funktionalität
- Plasmabasierte Zersetzung von (Abfall)Kohlenwasserstoffen
- Umfassende Analysemethoden zur organischen- und anorganischen Materialcharakterisierung



Gewinnung von biobasierten Fasern aus Nebenprodukten und Prozessabfällen der Lebensmittelindustrie

Erarbeitung neuer Nutzungswege für biogene Polymere in Verbundwerkstoffen, Lacken und medizinischen Produkten.

Digitalisierung der Ressourcen

Schwerpunkte

- Materialelektive Trennung und Zerkleinerung
- Sensorgestützte Sortierung von komplexen Stoffströmen unter Nutzung von Machine-Learning Algorithmen
- Verfahren zur Anreicherung und Extraktion von kritischen Metallen (Mechanochemie, Leaching, Bioleaching)
- Materialsynthesen mithilfe von Gasphasentransportreaktionen
- Prozessmodellierung, -bewertung und -optimierung anhand multipler Kriterien (ökologisch, ökonomisch, technisch) zur Steigerung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von Produktsystemen entlang ihres Lebenszyklus



Steigerung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz

Anhand ökologischer, ökonomischer und technischer Kriterien

Elektrohydraulische Zerkleinerung (EHZ)

Intelligente Zerkleinerung

Anwendungsbeispiele

- Fragmentierung von Elektroaltgeräten
- Öffnung und Zerkleinerung von Altbatterien
- Freisetzung von metallischen Einschlüssen aus mineralischen Schlacken
- Aufschluss von Faser- und Schichtverbundwerkstoffen (z.B. Carbonfaser-verstärkte Kunststoffe (CFK), Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), Glas-Folie-Lamine)
- Aufschluss von teil-elastischen Verbundwerkstoffen und kontaminationsfreie Zerkleinerung von hochreinen Materialien



Zerkleinerung an Phasengrenzen und Fehlstellen

Ohne Verlust der einzelnen Komponenten

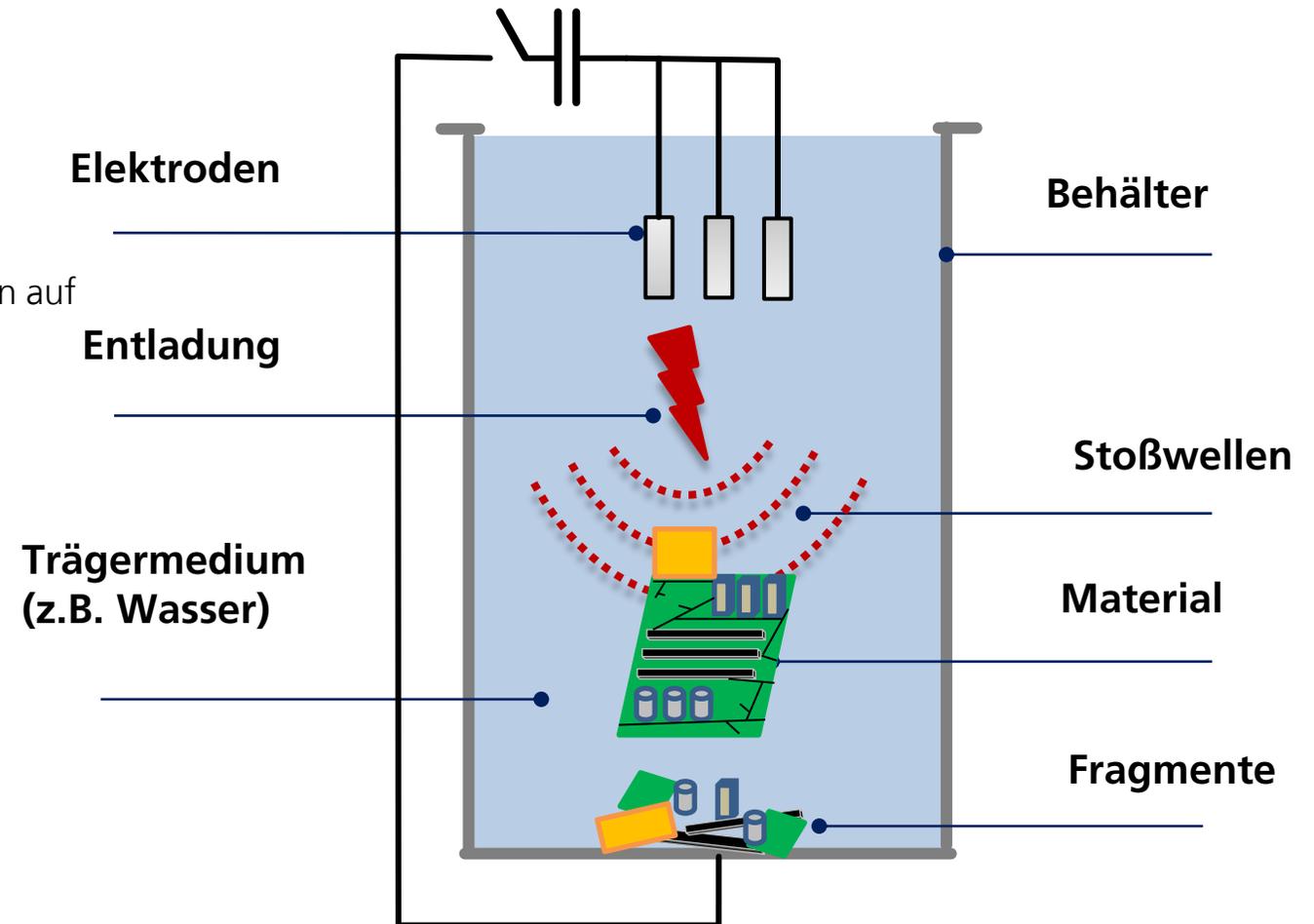
Elektrohydraulische Zerkleinerung

Funktionsprinzip

Verfahrensablauf

- Hochspannungs-Funkenentladung erzeugt Schockwellen
- Schockwellen breiten sich in flüssigem Medium aus und treffen auf Zielmaterial
- Material bricht an mechanischen Schwachstellen, wie Verbindungsstellen, Materialgrenzen, Phasengrenzen

→ Spezifische Trennung nach Komponenten und Material möglich



Elektrohydraulische Zerkleinerung

Anwendungen

Separation von Komponenten

- Öffnen von Elektro(nik)-Altgeräten
- Separation von gefügten Komponenten
- Entstückung von Leiterplatten

Delamination

- Batterie-Recycling
- CFK-Recycling
- Photovoltaik-Recycling



Elektrohydraulische Zerkleinerung

Anwendungsbeispiel: Festplatten

Schreddern

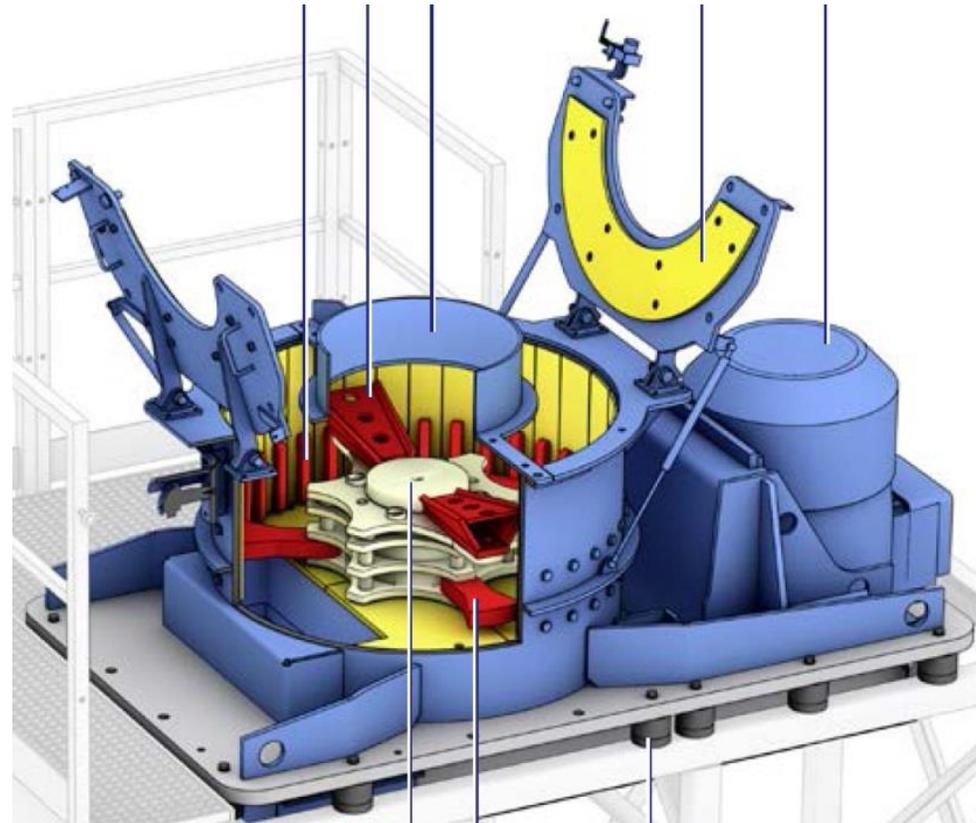
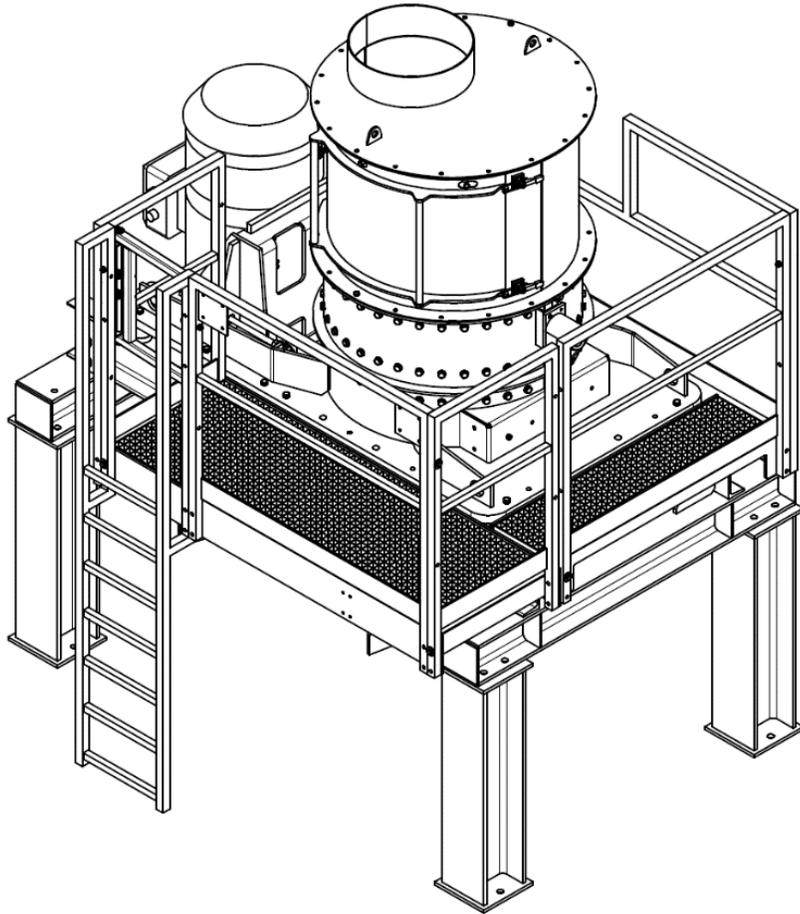


Elektrohydraulische
Zerkleinerung



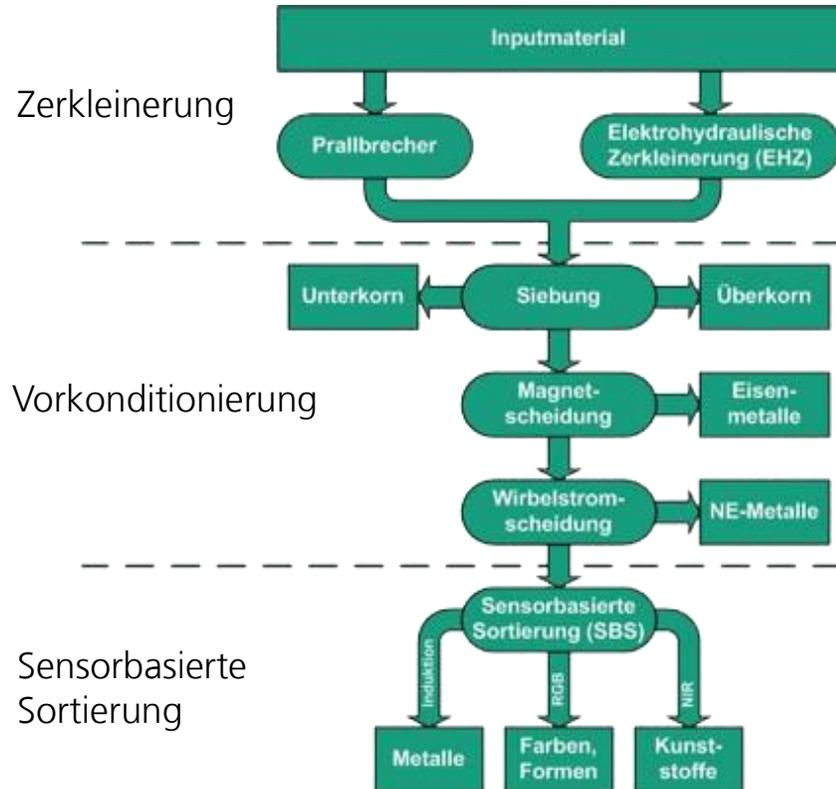
Konventionelle Zerkleinerung

Beispiel: Prallbrecher



Modulare Sortieranlage

Sensorgestützte Sortierung



Flexible Prozessführung durch Verkettung einzelner Sortierschritte

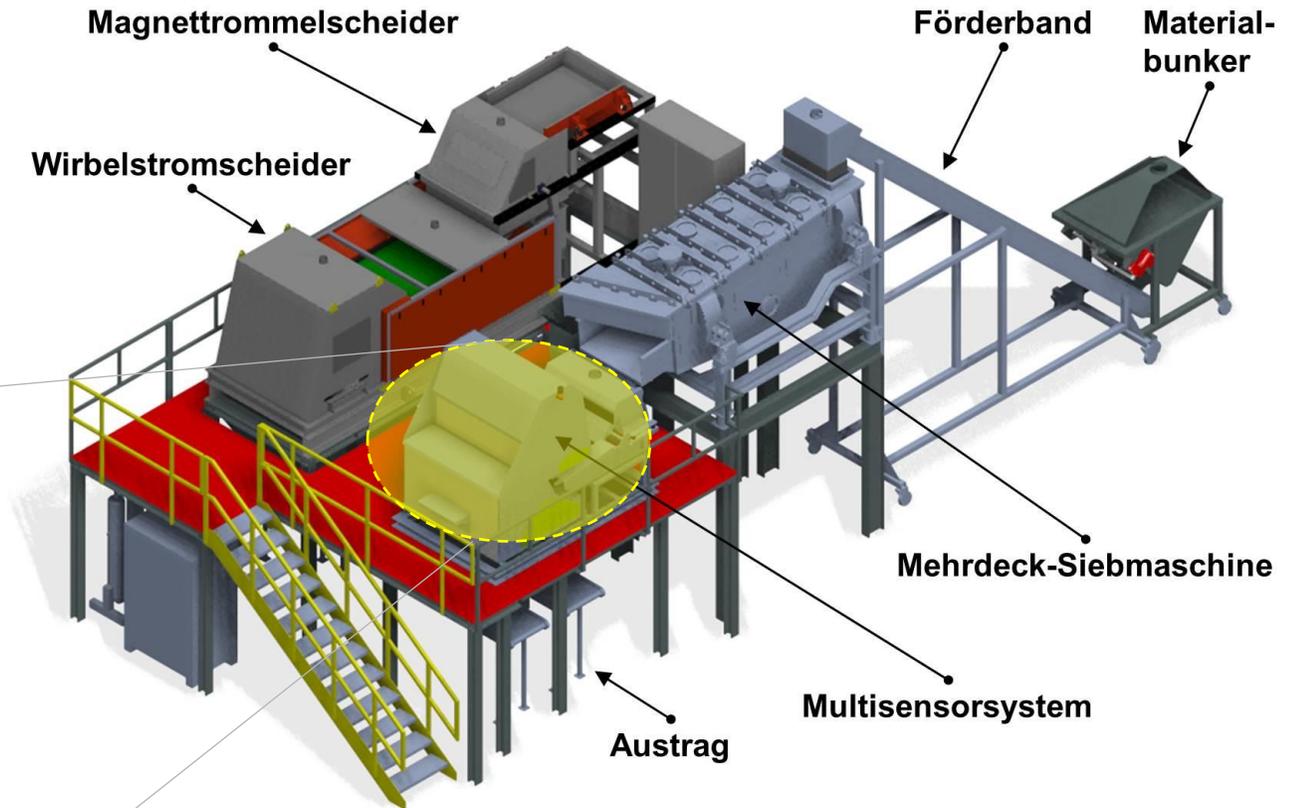
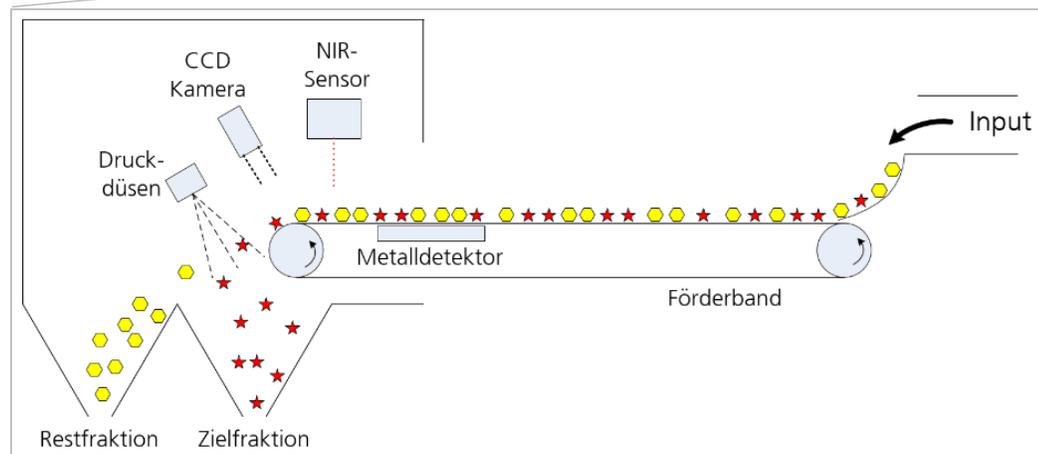
- Reihenfolge von Sortierschritten
- Wiederholen von Sortierschritten
- Auswertung von Sensordaten mit Machine Learning Algorithmen

Modulare Sortieranlage

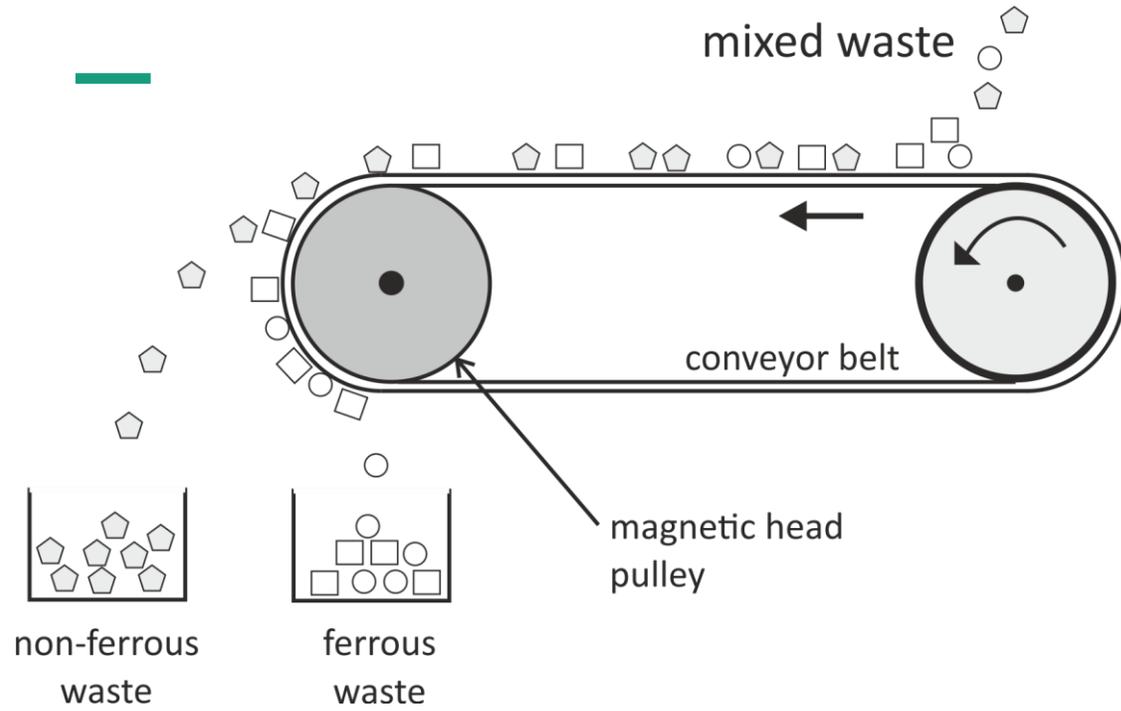
Sensorbasierte Sortierung

- **Eingesetzte Sensoren**

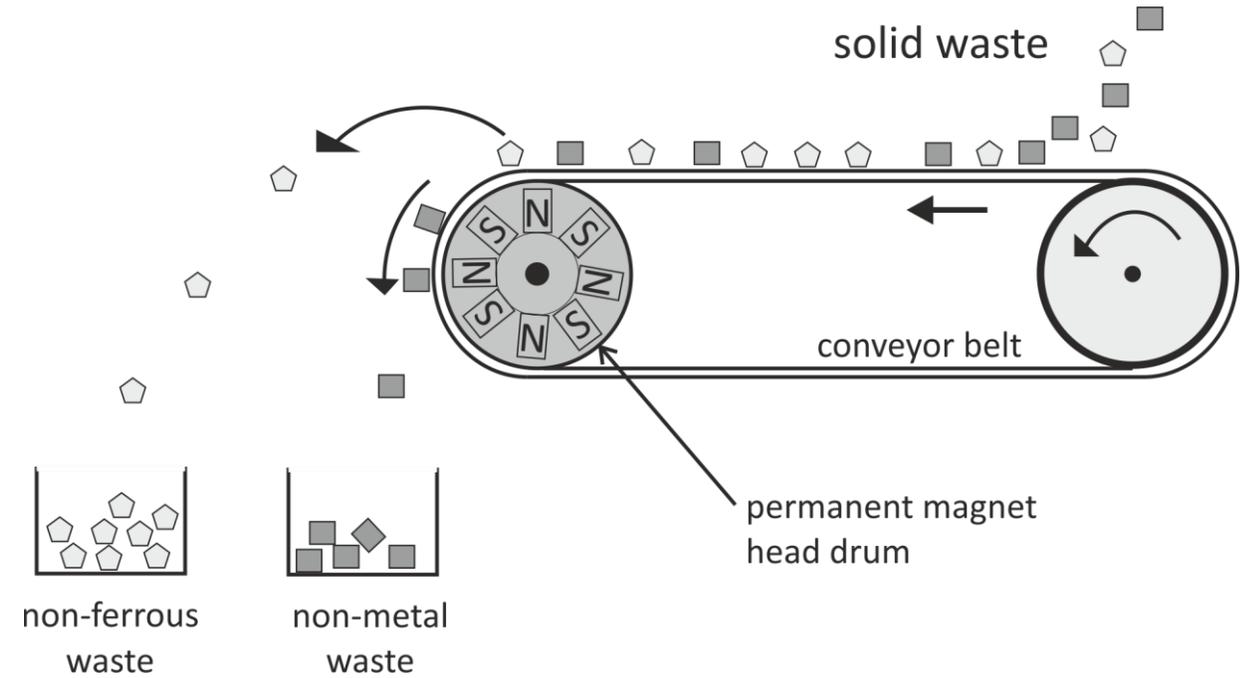
- Hyperspektrale NIR-Kamera
- Metalldetektion
- Farb- und Formerkennung



Magnettrommelscheider



Wirbelstromscheider



WEEE – Waste Electric and Electronic Equipment



Quelle: Spiegel



Quelle: Umweltbundesamt



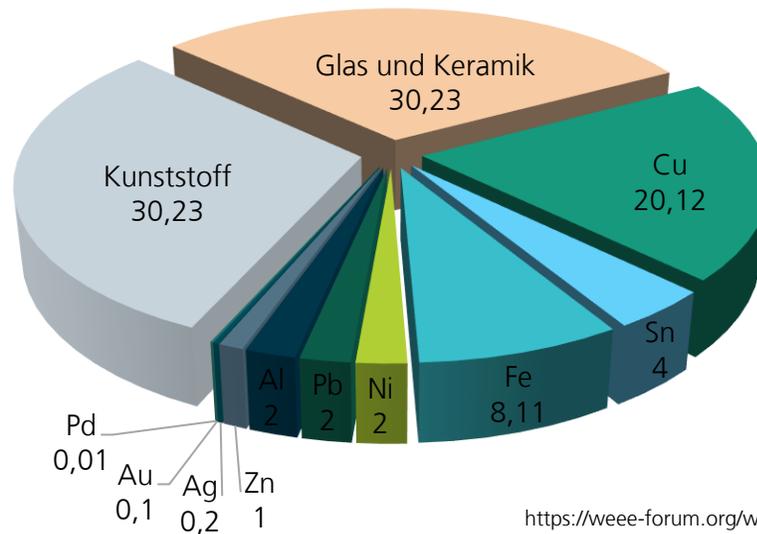
Quelle: Computerwoche



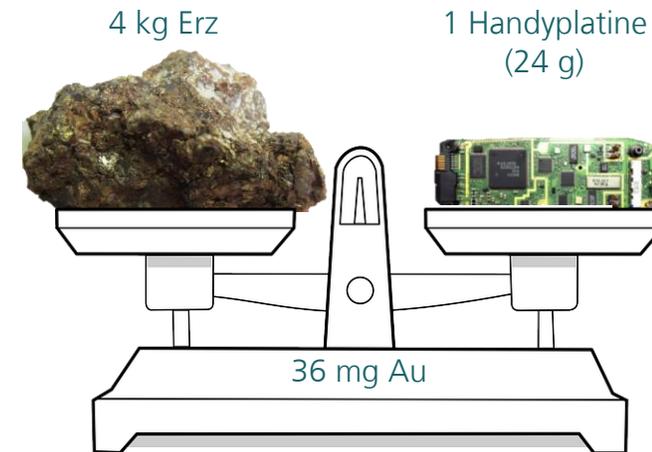
Quelle: Landesamt Roth

Warum ist WEEE ein wertvoller Rohstoff?

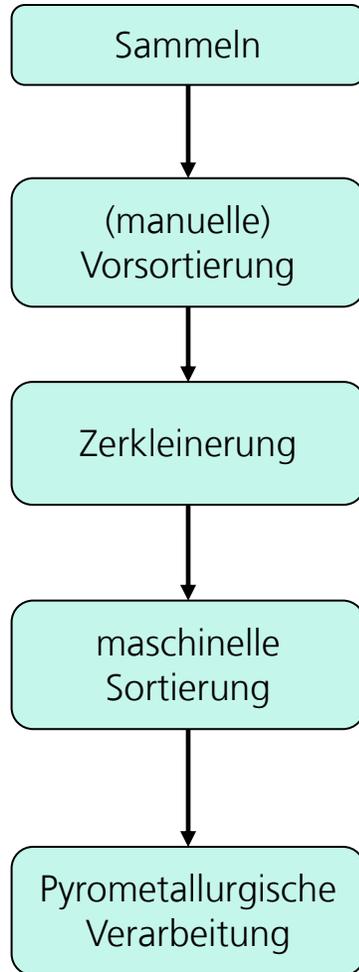
- 2021 fielen weltweit ca. 57,4 Mio Tonnen WEEE an (Tendenz steigend)
- WEEE enthält viele Wertvolle Metalle (z.B. Kupfer, Zinn und Edelmetalle)
- Recyclinghöfe sind das „Bergwerk vor der Haustür“ -> „urban mining“
- Aber: Komplexe Zusammensetzung erschwert die Metallrückgewinnung



https://weee-forum.org/ws_news/international-e-waste-day-2021/



Wie wird WEEE in Europa verarbeitet?



Pyrometallurgische Verarbeitung

Der Schrott wird "mit Haut und Haar" eingeschmolzen

Produkte:

- Metallphase
- Schlackenphase (nimmt Verunreinigungen auf)
- Abgas + Flugstaub

Nutzung der Kunststoffe als Brennstoff

Herausforderungen:

- Schadstoffe im Abgas -> aufwändige Abgasreinigung
- Nicht alle Metalle können wiedergewonnen werden

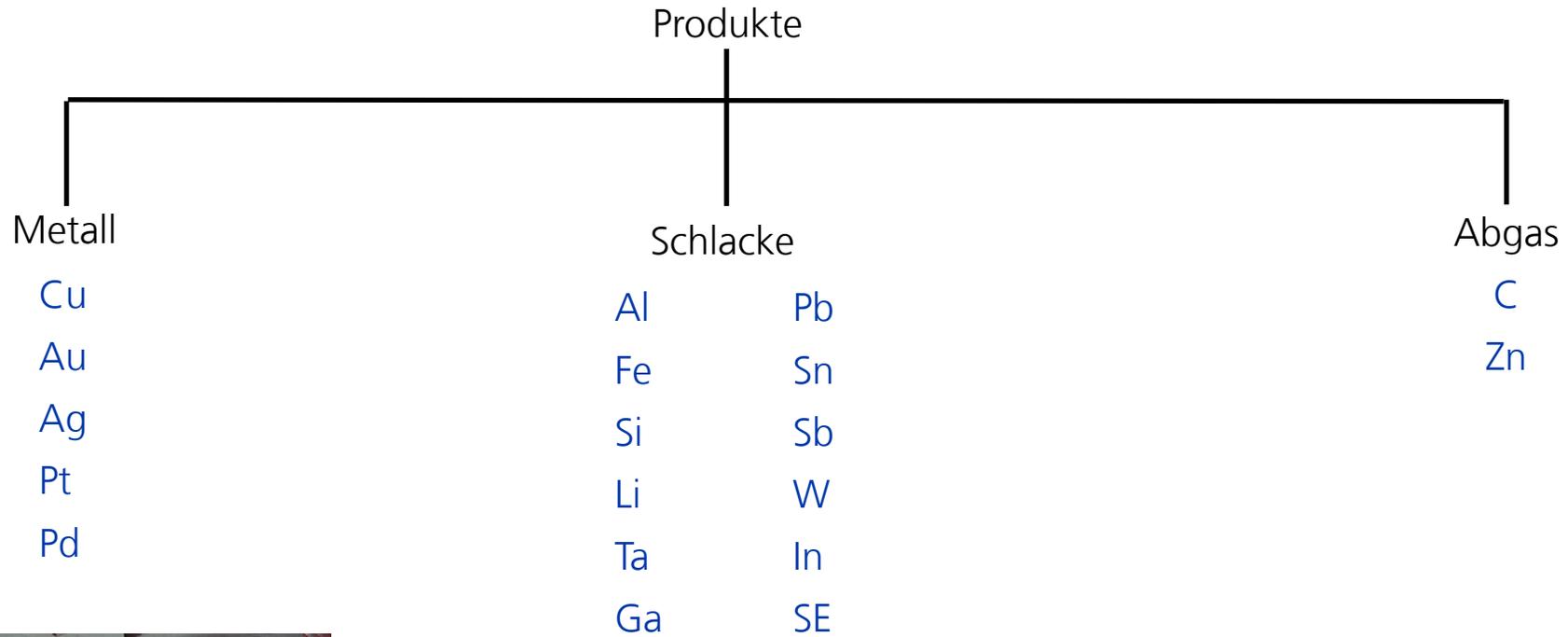


Quelle: IME



Quelle: Outotec

Wo bleiben die Metalle am Ende?



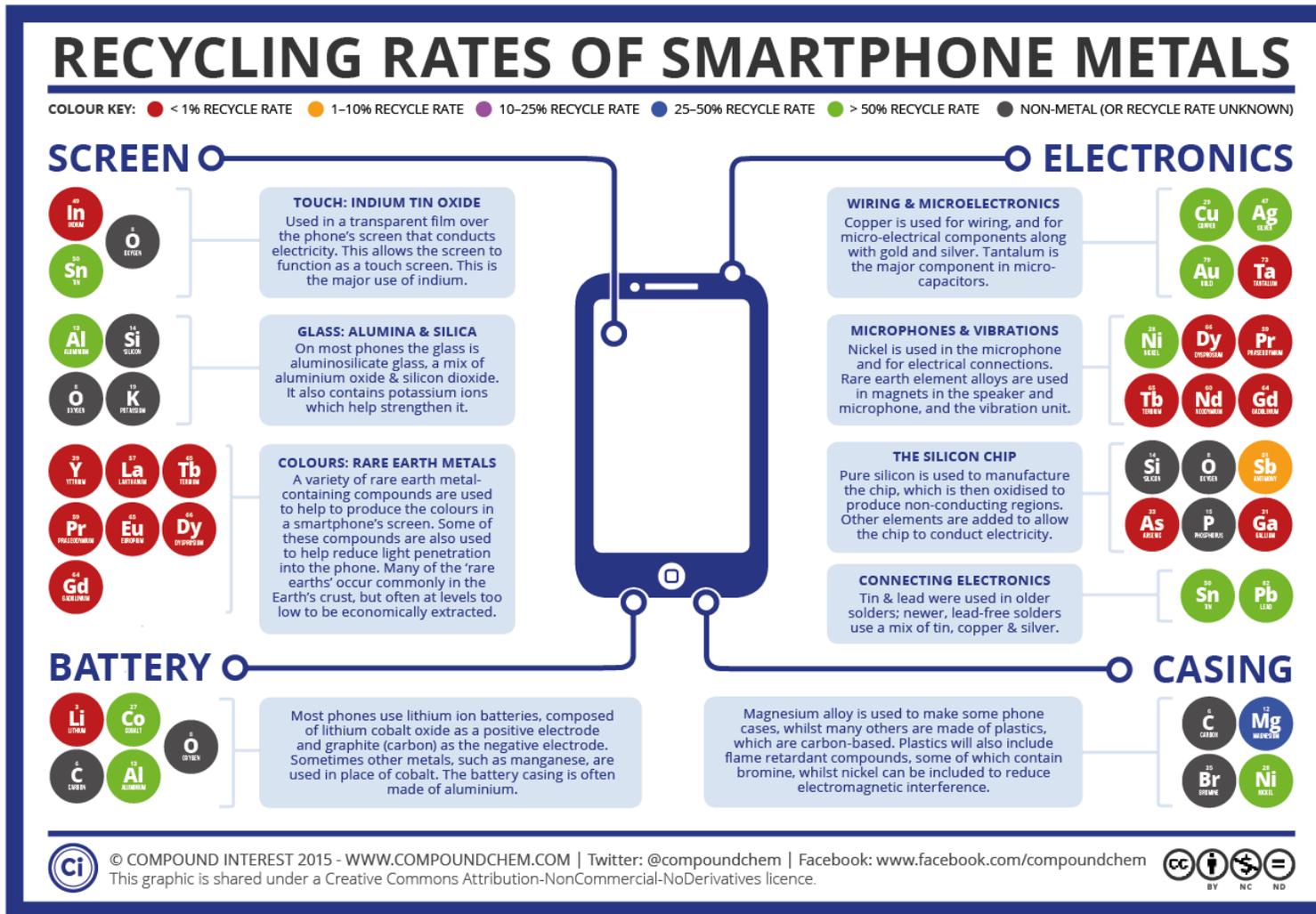
Praxisbeispiel: Batterierecycling



Smartphone-Recycling am IWKS

➔ Warum überhaupt Smartphones recyceln?

Welche Wertstoffe stecken in einem Smartphone?



- Aluminium
- Blei
- Cobalt
- Gallium
- Gold
- Kupfer
- Neodym
- Silber
- Tantaloxid
- Zinn

Beispiele für Metalle in Smartphones

- Indium

Display → In_2O_3 bzw. ITO

- Gallium

Integrierte Schaltkreise auf Platine → GaAs

- Tantal

Tantal-Kondensatoren auf Platine → Ta_2O_5

- Gold, Silber, Kupfer

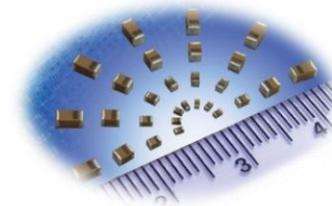
El. Leiter auf Platine → Au, Ag, Cu



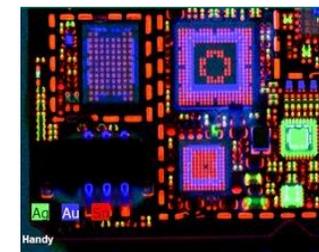
Quelle: huaweiblog



Quelle: Wikipedia

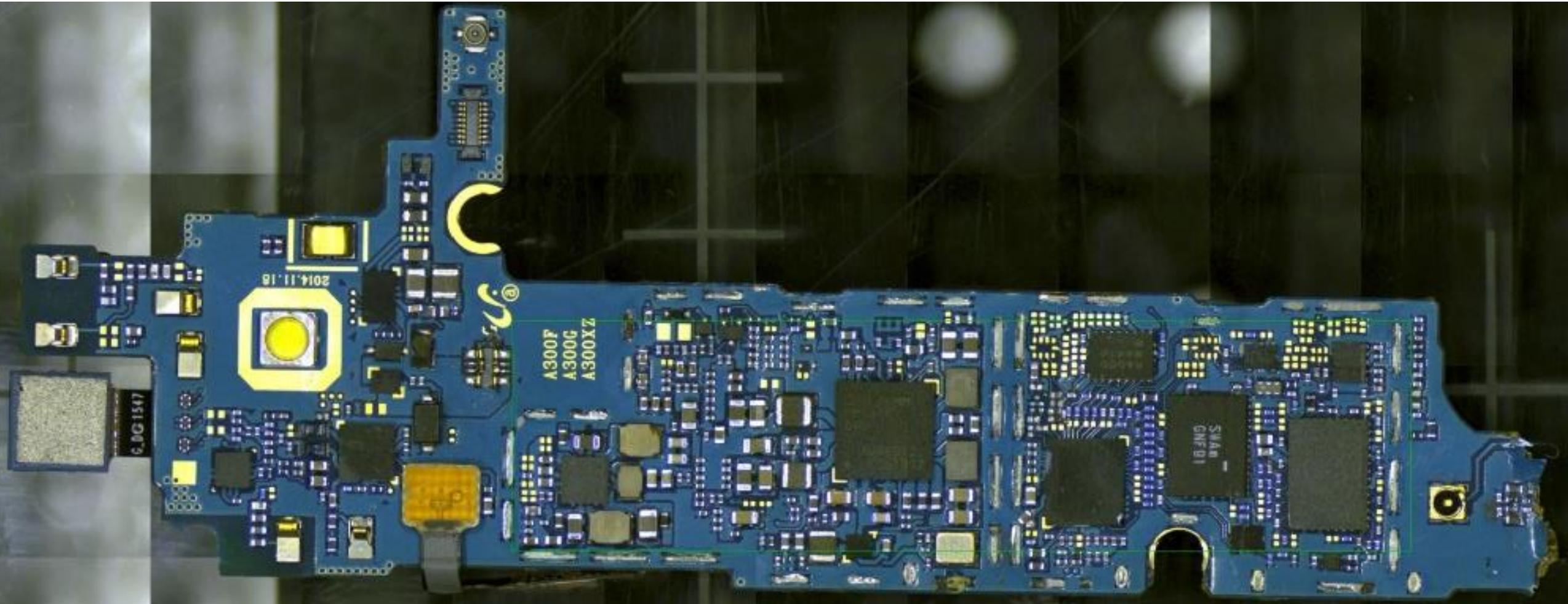


Quelle: Re-In Retail International GmbH



Quelle: Fraunhofer

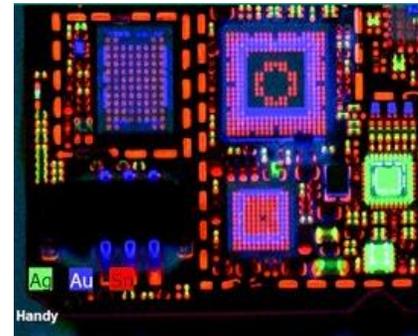
Was steckt in einer Smartphone-Platine?



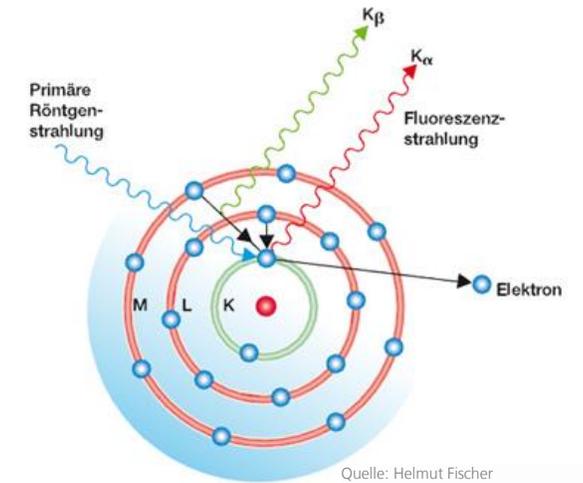
Wie lassen sich Elemente im Smartphone nachweisen?

RFA = Röntgenfluoreszenzanalyse

- Probenmaterial wird Röntgenstrahlung ausgesetzt
- Kernnahe Elektronen werden aus der Hülle herausgeschlagen
- Elektronen höherer Niveaus fallen zurück
→ Emission elementspezifischer Fluoreszenzstrahlung



Quelle: Fraunhofer

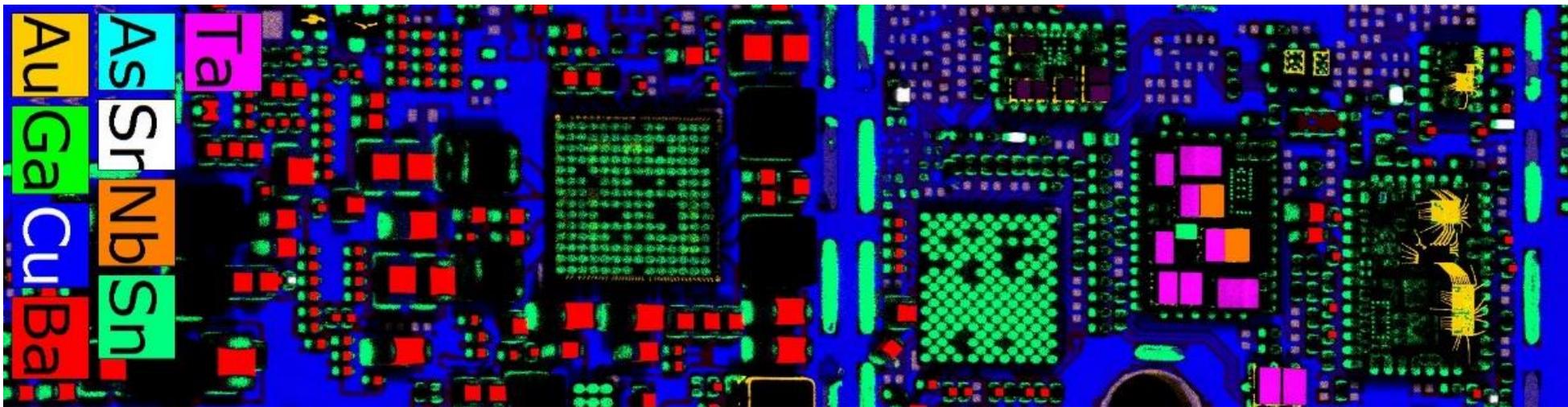
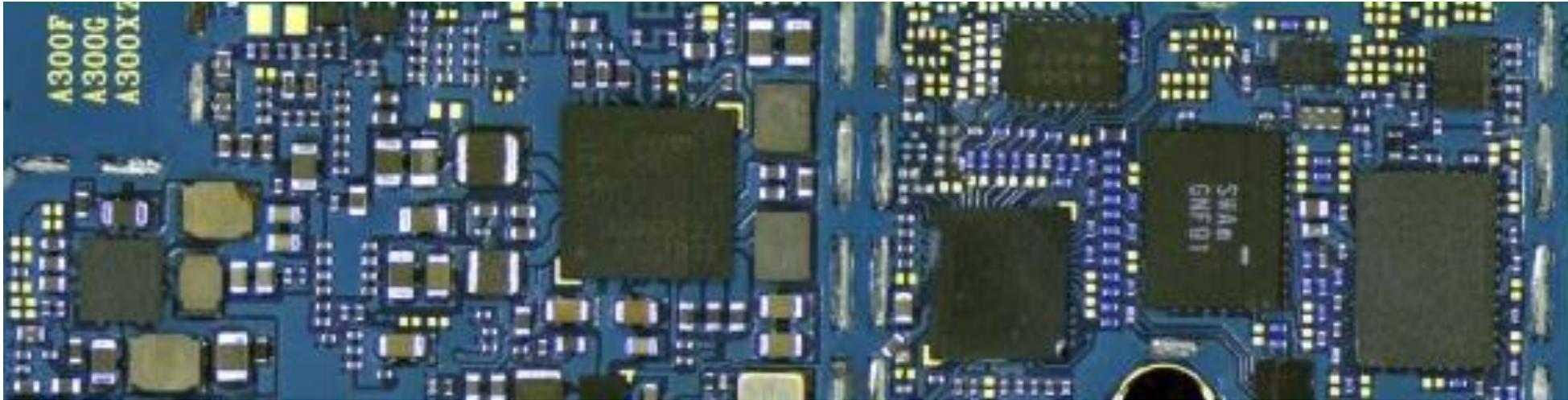


Quelle: Helmut Fischer

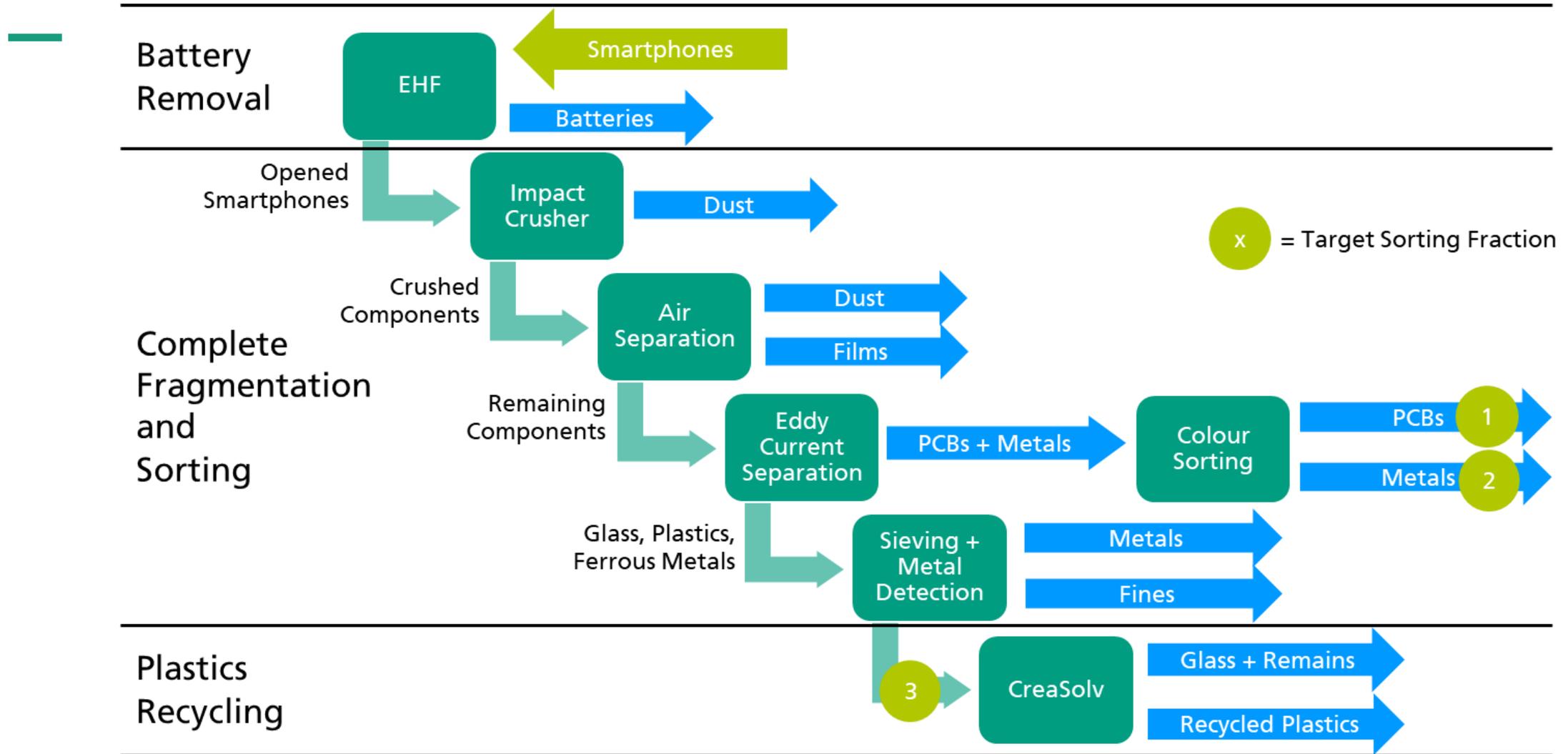


Quelle: PANalytical

Was steckt in einer Smartphone-Platine?

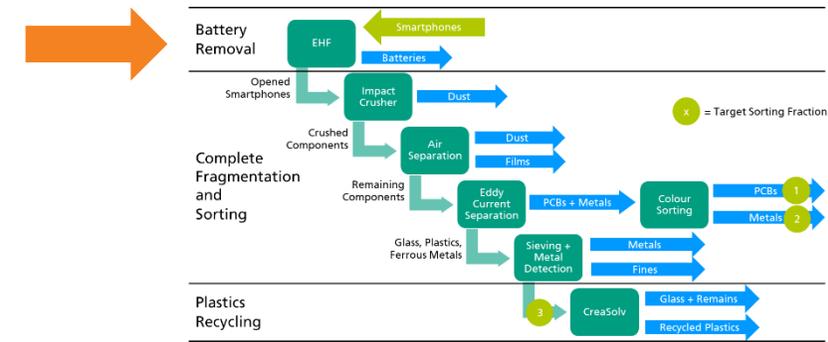
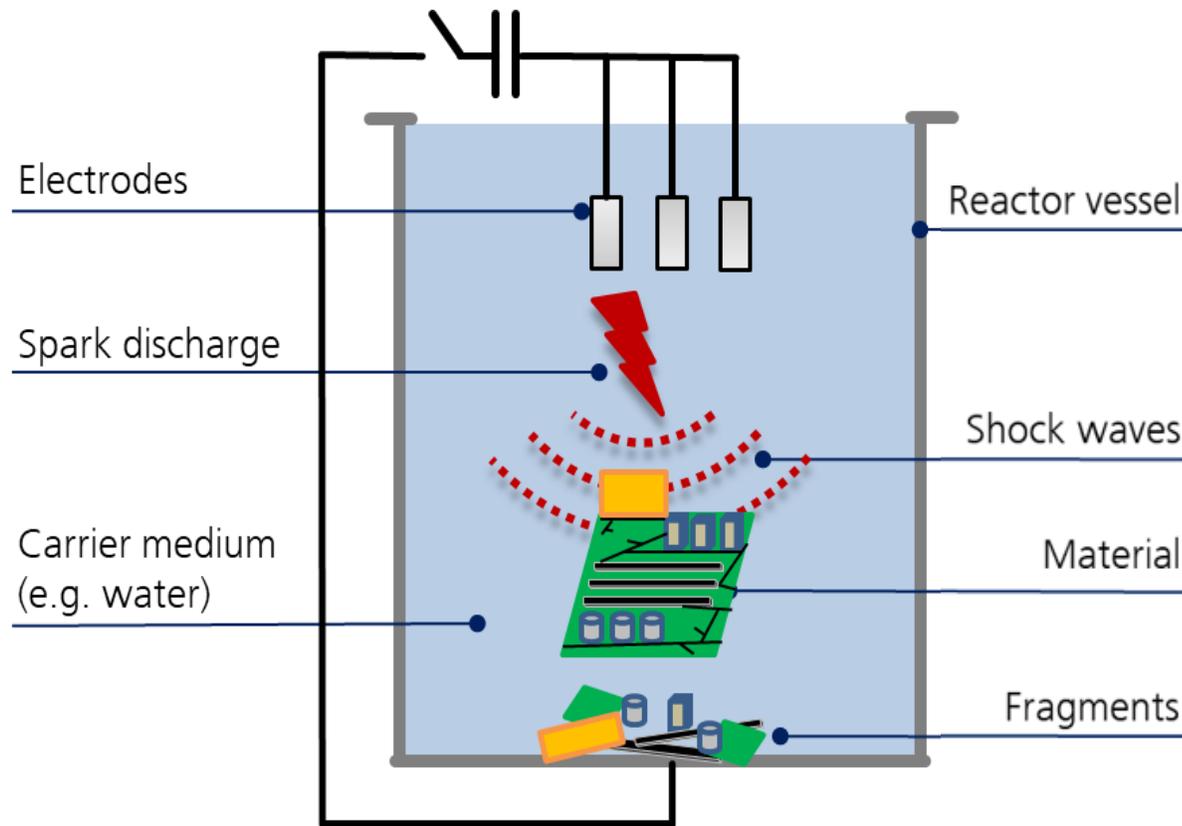


Display Project – Process chart



Separation of the battery by Electrohydraulic Fragmentation (EHF)

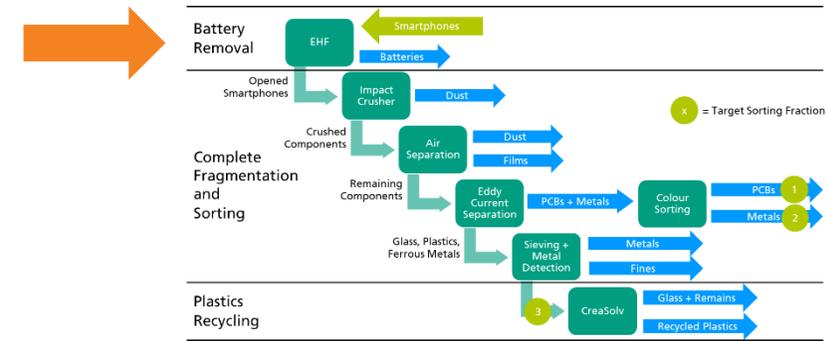
Principle



Outline

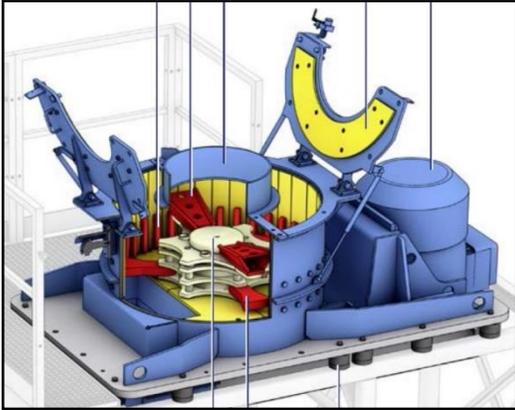
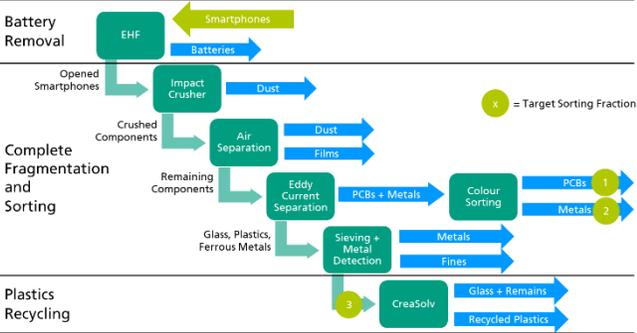
- High voltage spark discharge creates shock waves
- Shock waves propagate through the carrier medium and hit the material
- Material will break up at mechanical weak points, e.g. phase boundaries

Separation of the battery by Electrohydraulic Fragmentation (EHF)



Battery removal nearly without damage (weighted average damage appr. 1,5%)

Crushing – complete fragmentation by impact crusher



> 31.5 mm



5.0 mm – 31.5 mm



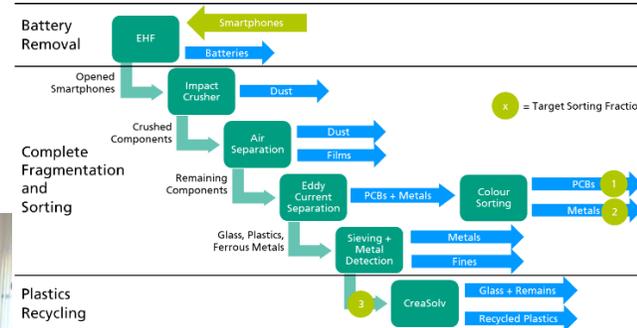
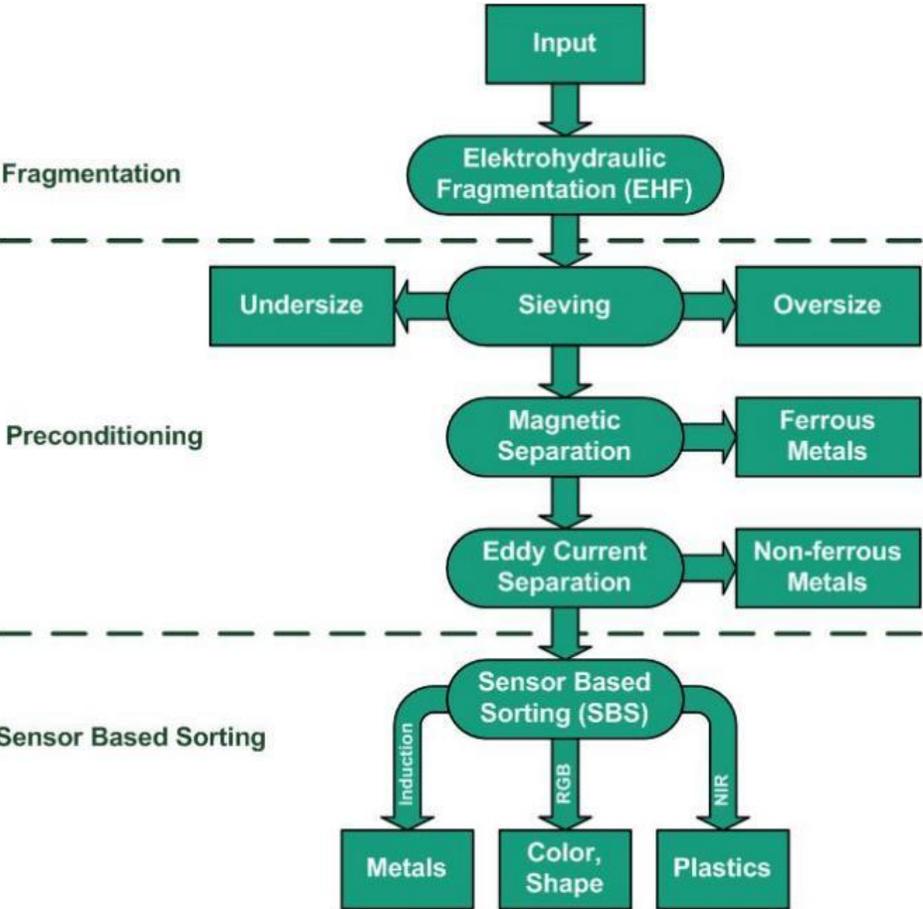
630 µm – 5.0 mm



< 630 µm

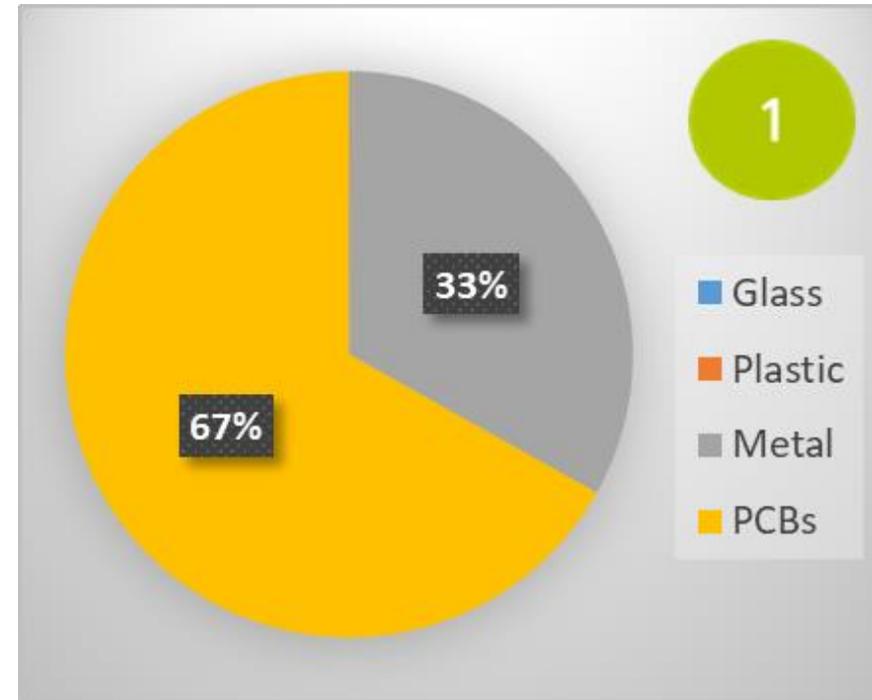
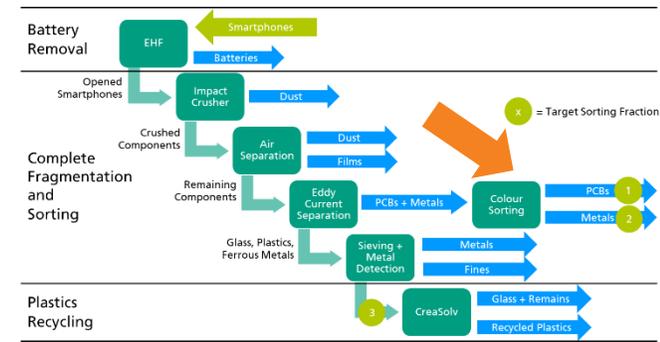


The modular sorting plant



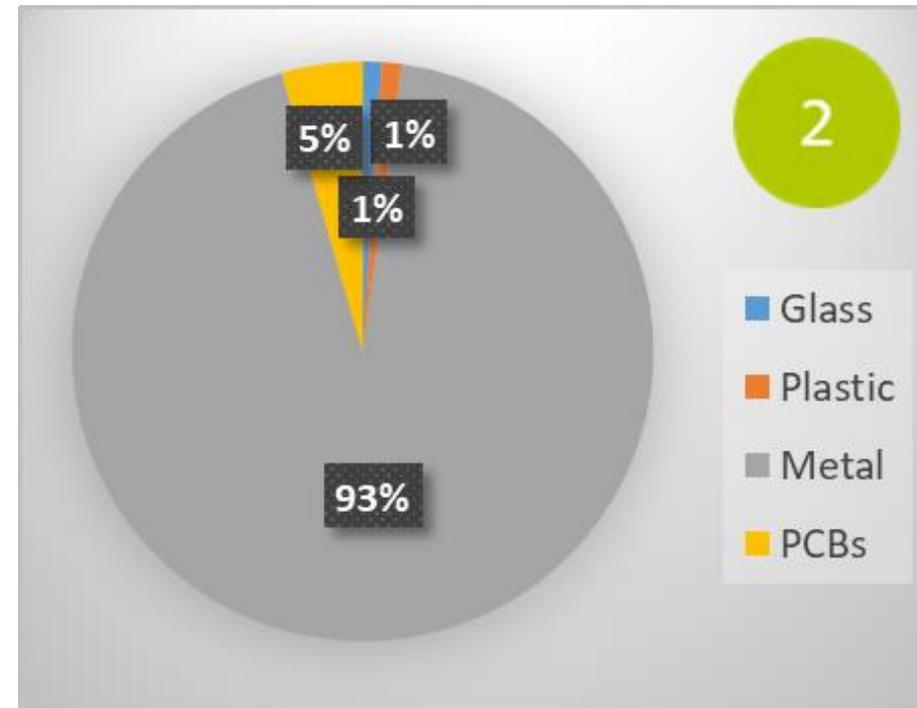
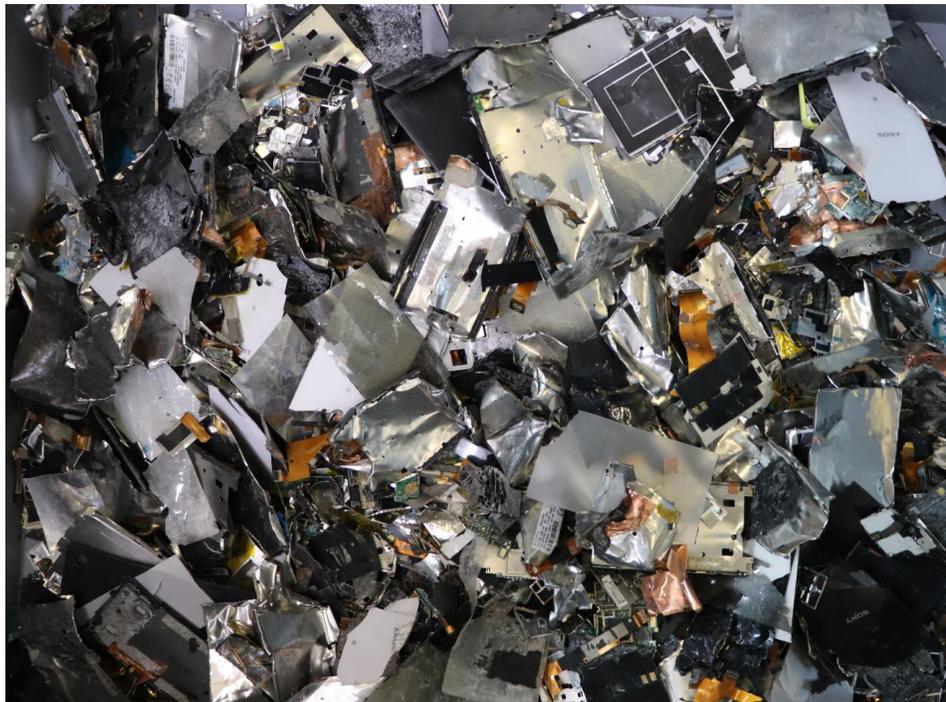
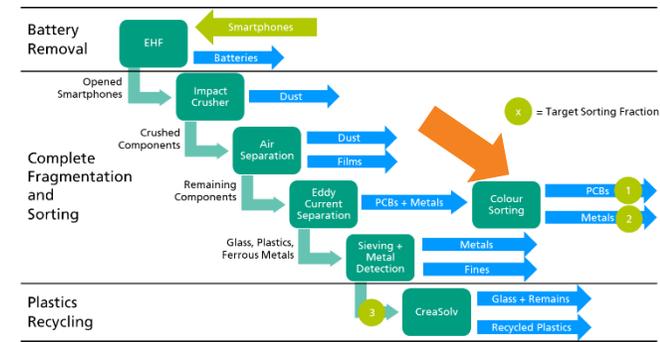
Sorting results

Pass fraction of Sony smartphones and its material share after colour sorting



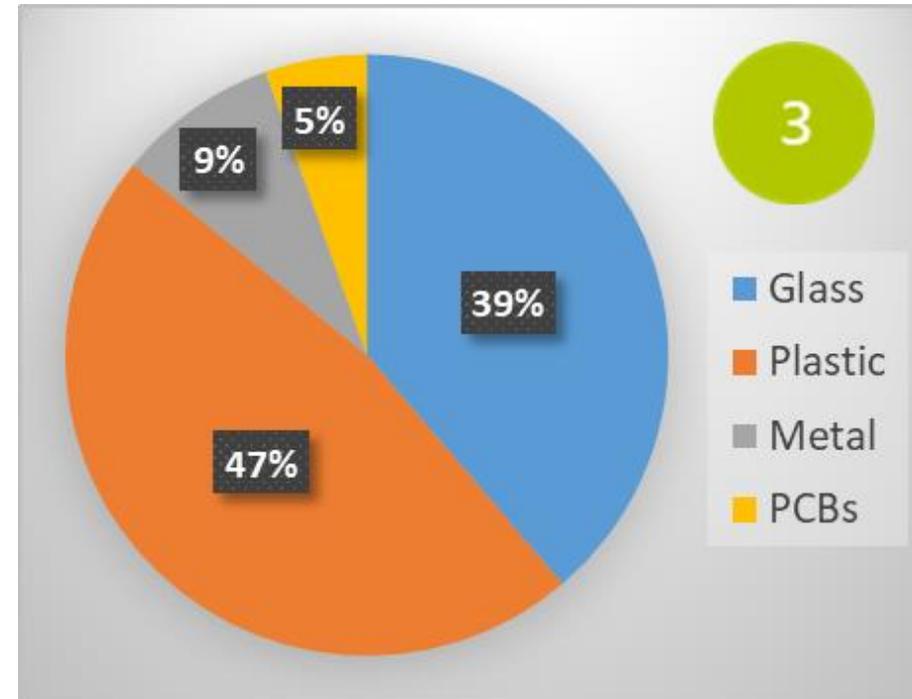
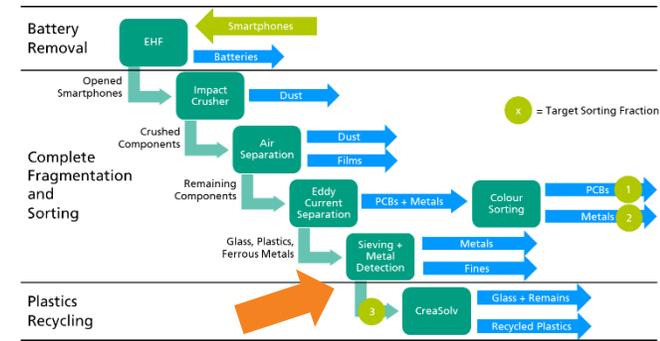
Sorting results

Eject fraction of Sony smartphones and its material share after colour sorting

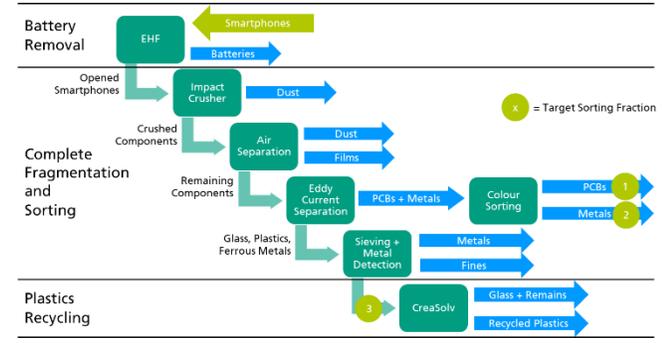
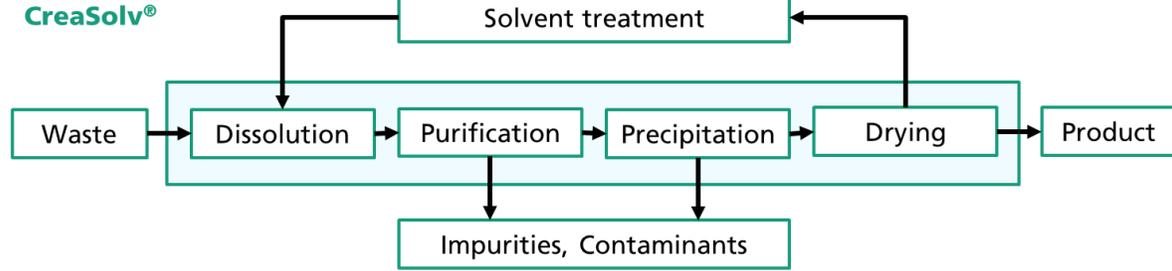


Sorting results

Pass fraction of Sony smartphones and its material share after metal detection sorting



Plastics recycling by CreaSolv®



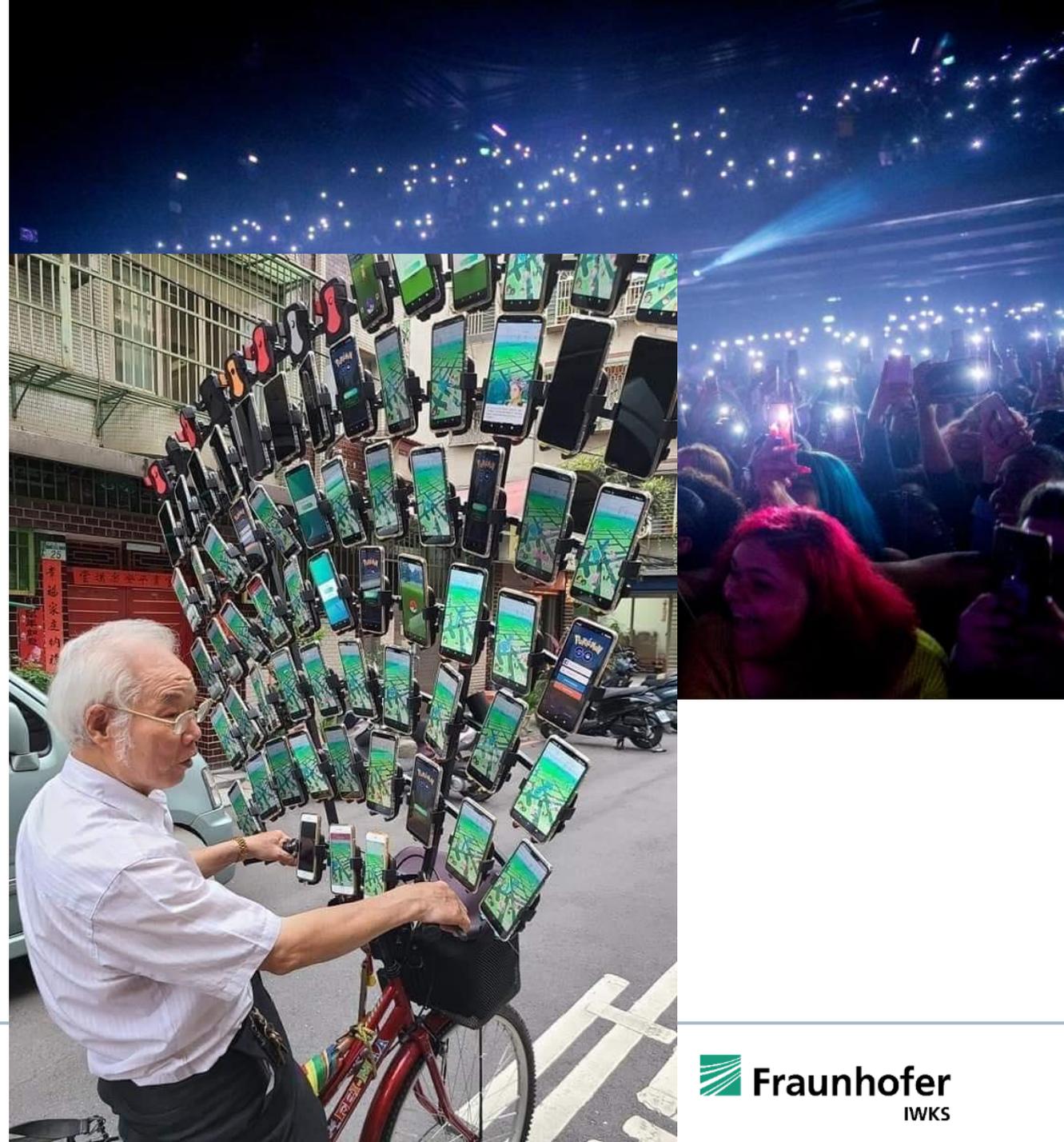
Was kann jeder einzelne tun?

—
24 Mio.

*neue Smartphones pro Jahr
allein in Deutschland*

134 Mio.

*Handys lagern ungenutzt in
deutschen Schubladen*



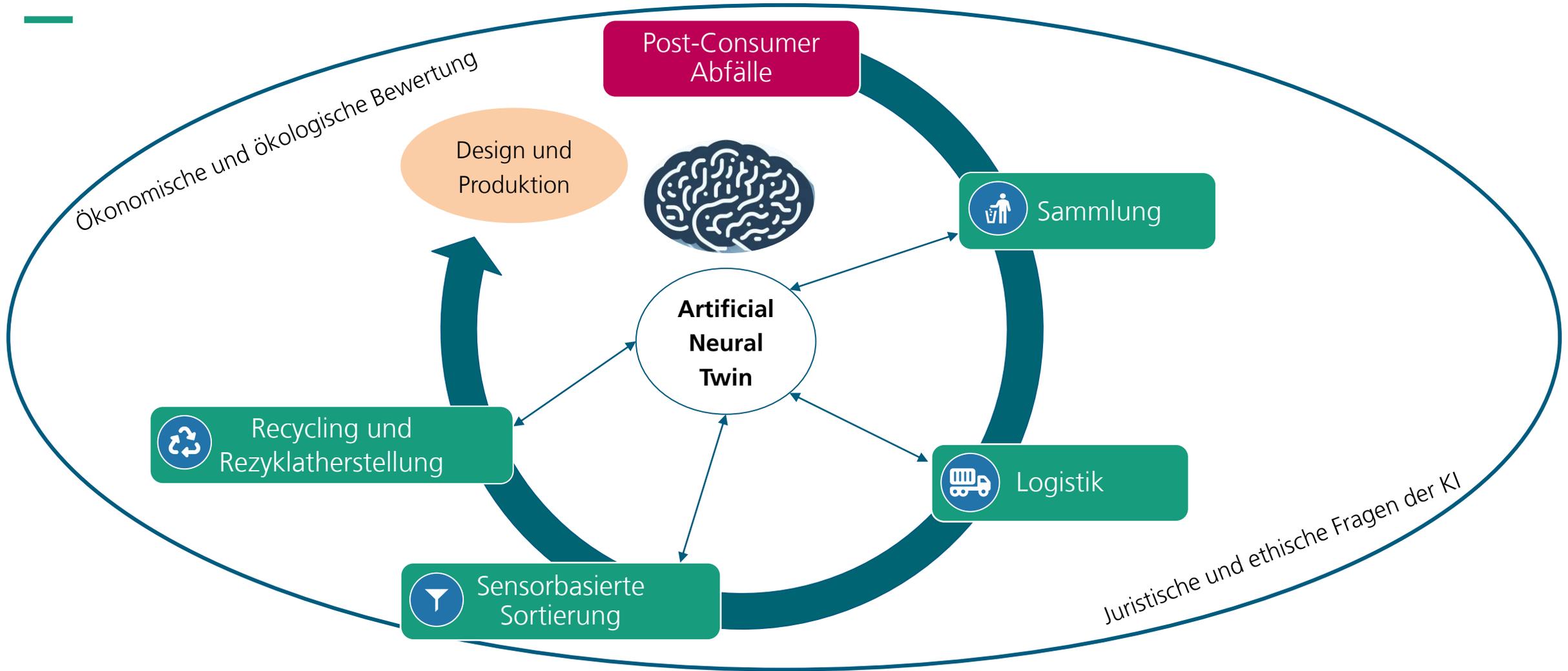
Was kann jeder einzelne tun?

- **Wertstoffhof** in Deiner Nähe: sorgt für ein fachgerechtes Recycling
- Ausgewählte **Elektronik-Fachgeschäften** bieten die Entsorgung Deines Alt-Handys an
- **Naturschutzverbände oder Hilfsorganisationen**: nehmen gerne Deine Alt-Handy-Spende entgegen
- **Verkaufe** oder **verschenke** Dein Alt-Handy
- **Tausche** Dein Alt-Handy beim Kauf eines neuen Gerätes **ein**



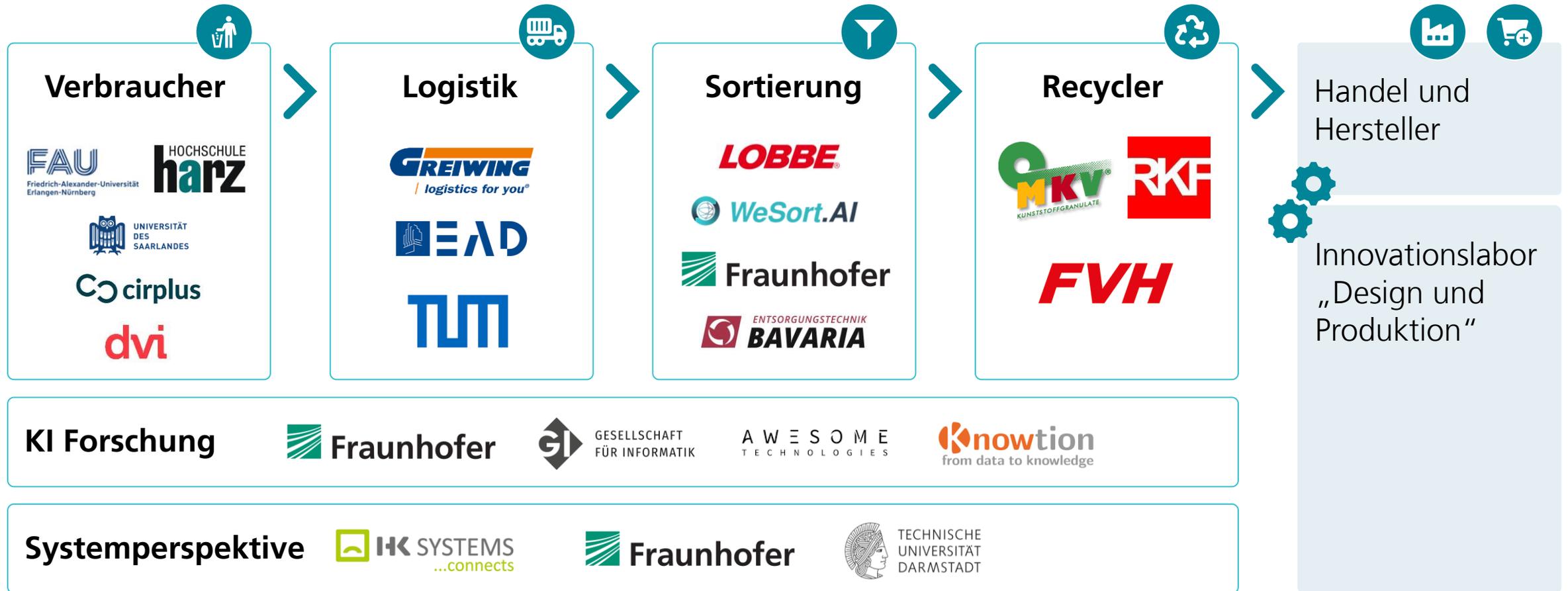
KI zur umfassender Prozessoptimierung

K³I-Cycling (2022 – 2025)



Die Vision für „Innovationslabor Kreislaufschließung“

Optimierung der **K**reislaufführung von **K**unststoffverpackungen durch **K**ünstliche **I**ntelligenz



K³I-Cycling

Optimierung der **Kreislauf**führung von **Kunststoff**verpackungen durch **Künstliche** Intelligenz

Stoffstrom:

Siedlungsabfälle bzw. Kunststoffverpackungen

Schwerpunkte:

Kreislaufschließung & Prozessoptimierung der ganzen Kette durch KI

Hauptziel des Forschungsvorhabens:

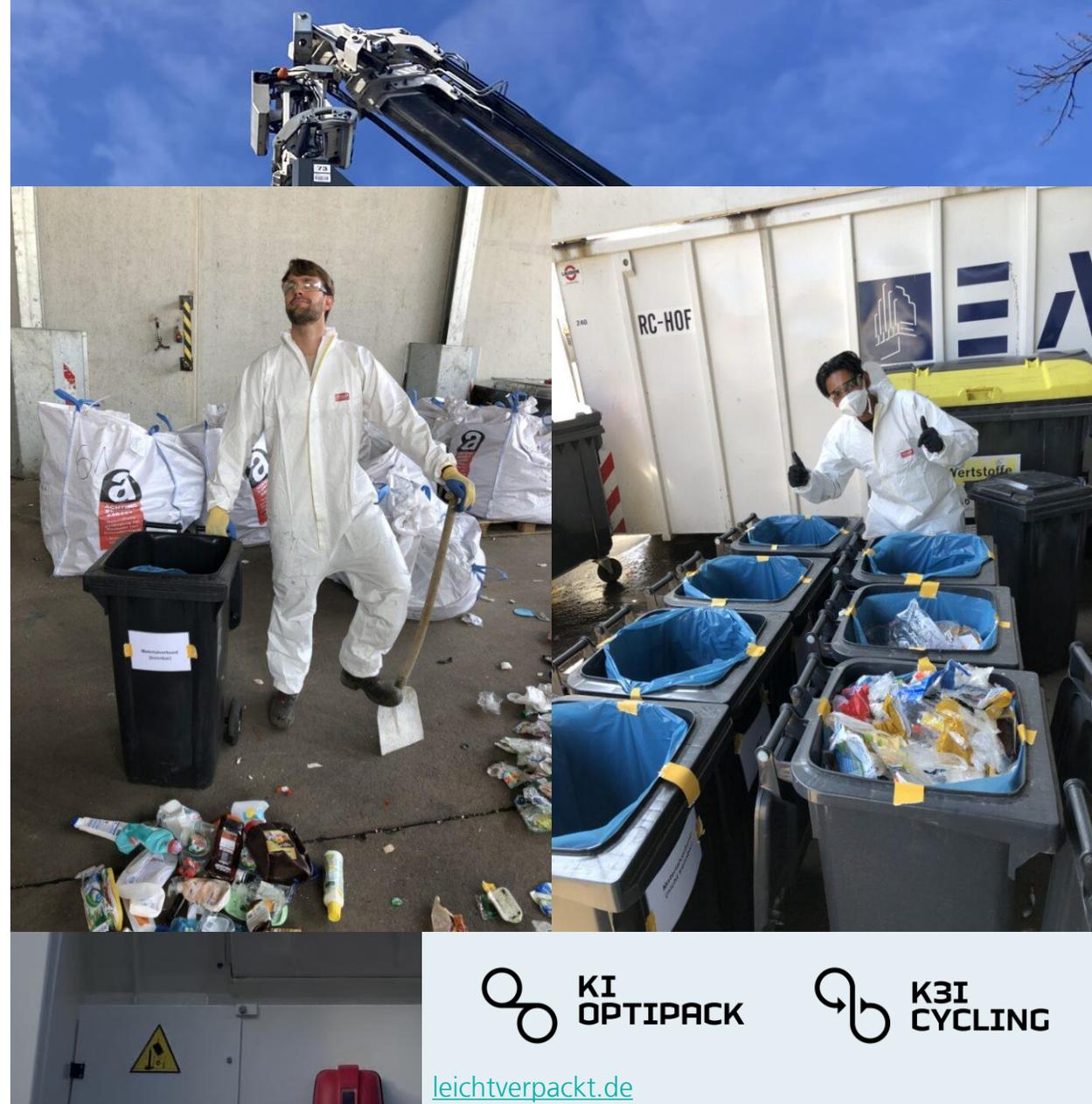
Erhöhung der Menge & Qualität an Rezyklat durch KI

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



Vielen Dank für eure
Aufmerksamkeit

Wir freuen uns über Feedback

