



Biotechnical Metal Recovery Process

Ferdinand Breit, Simon Eberweiser, Alexander Reihle, Johannes Stüber, Christian Weibel

Technische Universität Kaiserslautern



Einleitung

Der entwickelte Biotechnical Metal Recovery Process (BMR-Prozess) zum Recyceln von Smartphones stellt ein innovatives, nachhaltiges und soziales Konzept zur Umsetzung eines geschlossenen Rohstoffkreislaufes dar. Das Verfahren ermöglicht es, über 91 Gew.-% des Smartphones zu recyceln. Der zentralen Prozessschritt des Konzeptes ist das biotechnologische Metallrecycling „Bioleaching“ [1, 2]. In diesem werden die Edelmetalle Gold,

Silber und Kupfer von Mikroorganismen (MO) gelöst. Die Vorbereitung der Stoffströme findet in einer mechanischen Trennung und Sortierung, wie auch in Förderwerkstätten statt. Bei der Nachbereitung der ungelösten Metalle bzw. der Reinstoffgewinnung liegt eine Kombination von hydro- und pyrometallurgischen Prozessen vor. Die Aufkonzentrierungen aller Metalle erfolgt jeweils in Elektrolysen.

Prozessablauf

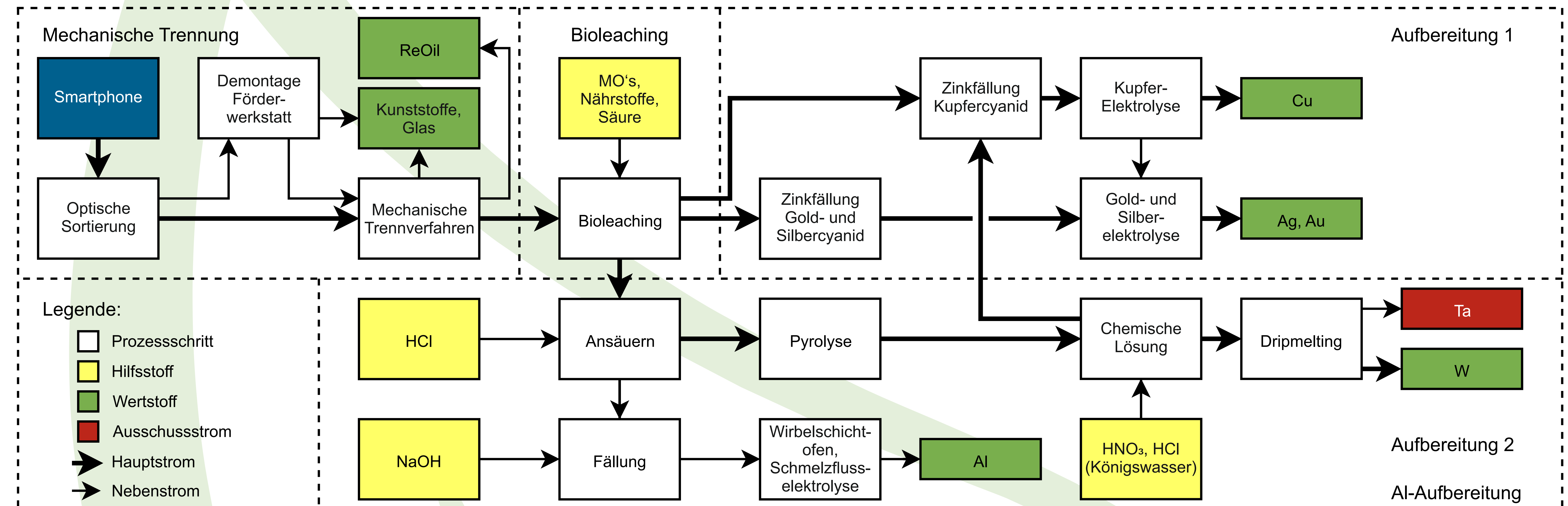


Abb. 1: Grundfließbild des BMR-Prozess. Verfahren zum Recycling von Smartphones.

Mechanische Trennung (MT)

- Durch Machine Vision & Big Data unterstützte Sortierung.
- Zerlegung der Smartphones durch sozialfreundliche Förderwerkstätten.
- Abtrennung der Glas- und Polymerfraktion durch optische Trennverfahren.
- Rohölgewinnung durch Depolymerisation von Kunststoffen (Reoil)

Aluminium Aufbereitung (AI-AB)

- Lösen des Aluminiumoxids (γ -Form) in einer salzsauren Lösung ($pH = 3$).
- Gewinnung von hochreinem Aluminium nach standardisiertem Verfahren (Schmelzfluss-elektrolyse).

Bioleaching (BL)

- Lösen der Edelmetalle durch mikrobielle Produktion von Cyanidionen (CN^-) durch Bakterien (*Pseudomonas chlororaphis*).
 - Bildung von wasserlöslichen Cyanidkomplexen ($[Me(CN)_2]^-_{(aq)}$) mit den Edelmetallen (Me).
 - Ausnutzung der zeitlich versetzten Komplexbildung zur Metalltrennung (konzentrations-abhängige Regelung).
 - 7 Tage Batch-Fermentation unter milden Prozessbedingungen: $T = 298\text{ K}$, $pH = 7$.
- Die Bakterien lösen 76,6 Gew.-% Gold, 88,1 Gew.-% Kupfer und 33,8 Gew.-% Silber.

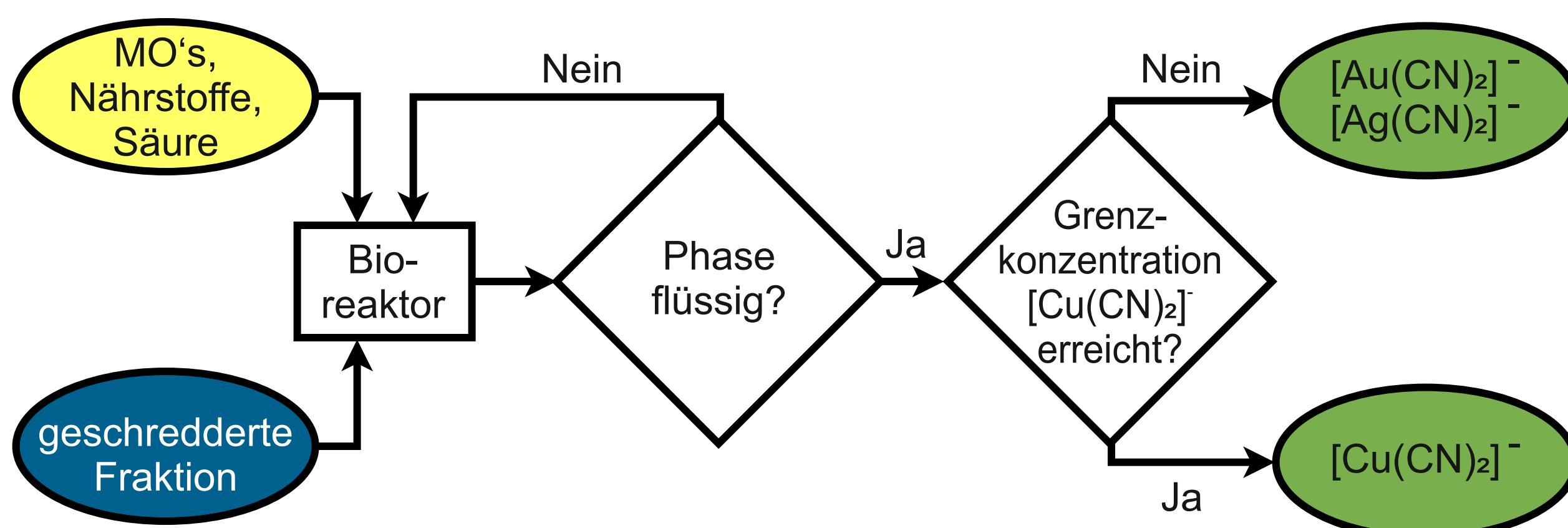
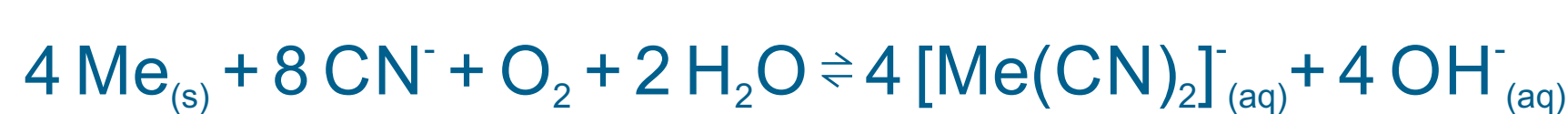


Abb. 2: Regelkonzept Bioleaching.

Zusammenfassung

Der BMR-Prozess ermöglicht es die gebrauchten Smartphones wiederzuverwerten. Sie bilden eine neue Rohstoffquelle, da 91 Gew.-% der Inhaltsstoffe mit einer Reinheit von 99,9 Gew.-% wiedergewonnen werden. Die jährlich umgesetzten 25 Mio. Smartphones entsprechen der Anzahl, die pro Jahr in Deutschland verkauft wird. Somit entsteht ein geschlossener Wirtschaftskreislauf. Ein sozialer Benefit wird durch eine Zusammenarbeit mit Förderstätten erzielt. Nach dem Upscaling des Bioleachings entsteht ein wirtschaftlich Prozess.

Fazit

Der BMR-Prozess bildet einen sozialen, nachhaltigen und wirtschaftlichen Prozess nach dem Green-Chemistry-Prinzipien. Deshalb ist eine Umsetzung zur Erzielung der Nachhaltigkeitsziele Deutschlands sinnvoll.

Aufbereitung 1 (AB1)

- Fällung der gelösten Edelmetalle (Me) Kupfer, Gold und Silber durch Zugabe von Zinkpulver (Zn).
- $2 [Me(CN)_2]^-_{(aq)} + Zn \rightarrow [Zn(CN)_4]^{2-}_{(aq)} + 2 Me \downarrow$
- Aufkonzentrierung der Metalle durch standardisierte Elektrolysen.

Aufbereitung 2 (AB2)

- Pyrolyse zur Verbrennung von Nichtmetall-Resten.
- Hydrometallurgische Stofftrennung basierend auf unterschiedlichen Löslichkeiten.
- Gewinnung von Wolfram durch Abtrennung von Tantal mittels Dripmelting.

Kosten, Mengen und Erlöse

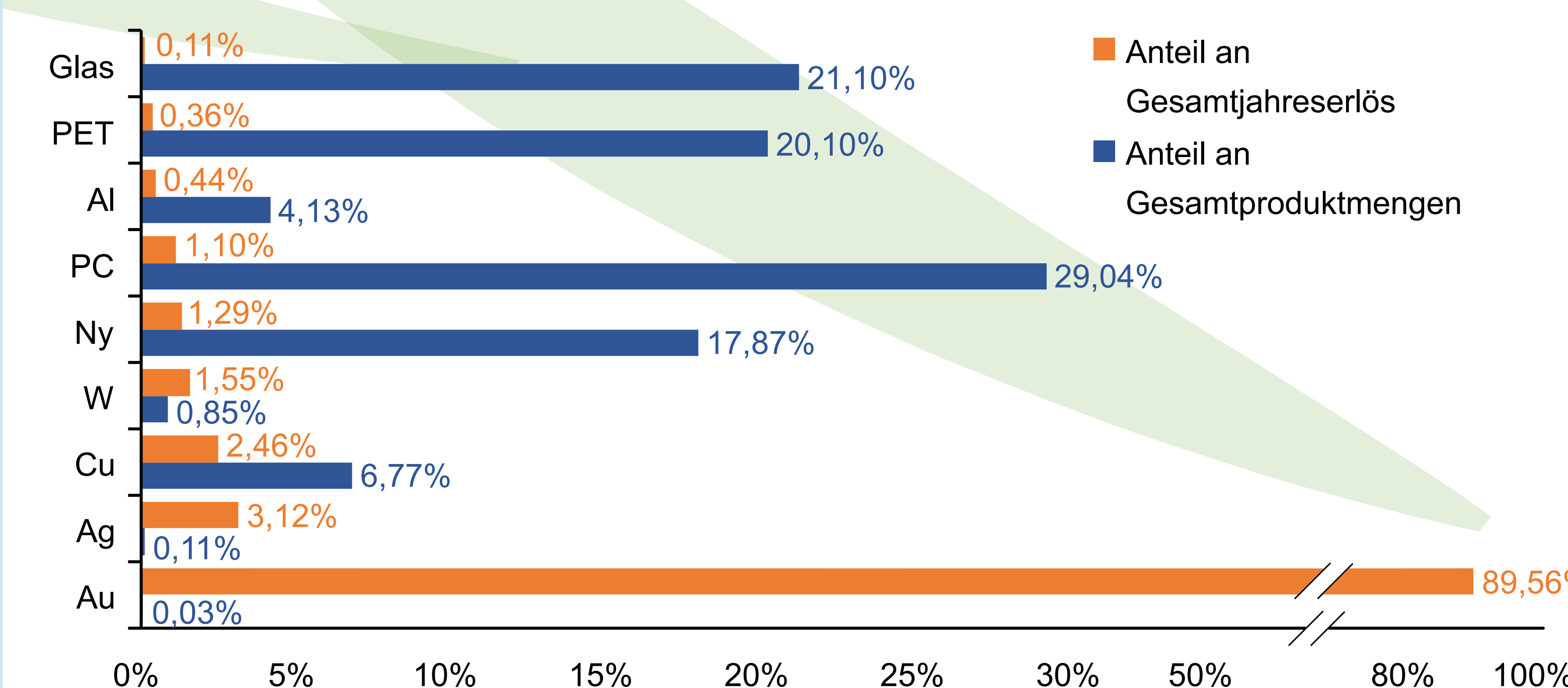
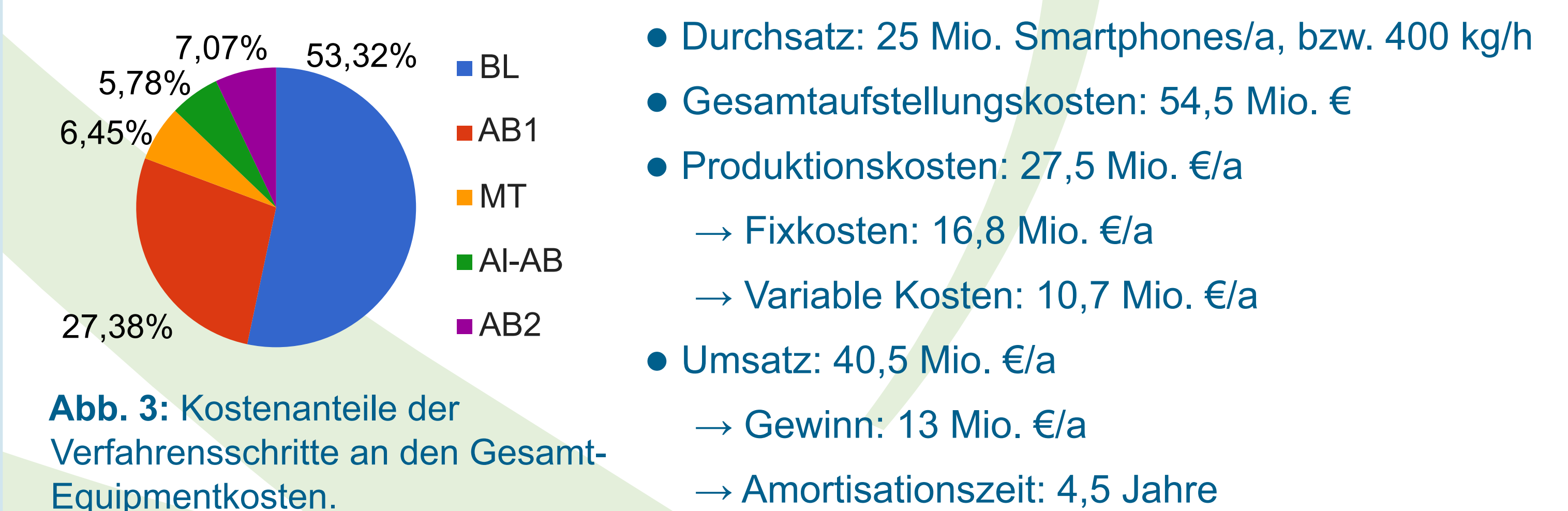


Abb. 4: Erlös- und Gewichtsanteile der einzelnen Smartphone-Bestandteile vom Gesamterlös bzw. Gesamtproduktstrom.

Literatur

- [1] Jujun, R.; Jie, Z.; Jian, H. et al.: A Novel Designed Bioreactor for Recovering Precious Metals from Waste Printed Circuit Boards. Scientific reports 5 (2015).
 [2] Kumar, A.; Saini, H. S.; Kumar, S.: Bioleaching of Gold and Silver from Waste Printed Circuit Boards by Pseudomonas balearica SAE1 Isolated from an e-Waste Recycling Facility. Current microbiology 75 (2018), Heft 2, S. 194–201.