Whitepaper

Potenzial ungenutzter Smartphones in europäischen Haushalten

Auftraggeber:

Refurbed Marketplace GmbH

Verfasst von:

Paul Rudorf (paul.rudorf@fraunhofer.at)

Stephan Martineau

Sascha Thöny

Fraunhofer Austria Research GmbH

Theresianumgasse 7

1040 Wien, Österreich

Wien, 28.02.2025

Inhalt

1 Einleitung und Motivation 3
2 Ausgangssituation und Problemstellung 3
2.1 Herausforderungen 4
2.1.1 E-Waste 4
2.1.2 Ressourcen 6
2.2 Lösungsansatz: Kreislaufwirtschaft 7
2.2.1 10 R-Strategien 8
2.2.2 Repair und Refurbishment 9
2.2.3 Recycling 9
3 Smartphonebestand in europäischen Haushalten 9
4 Zusammensetzung eines Smartphones 13
5 Potenzial ungenutzter Smartphones 16
5.1 Ökologisch 16
5.2 Sozial 17
5.3 Ökonomisch 17
6 Refurbishment 17
6.1 Smartphone 18
6.2 Weitere elektronische Endgeräte 18
7 Spare Part Harvesting 19
8 Recycling als letzte Möglichkeit 19
9 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen 20
10 Literaturverzeichnis 22

1 Einleitung und Motivation

Die rasante technologische Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat zu einem beispiellosen Anstieg des Konsums elektronischer Geräte geführt. Dies hat gravierende Folgen für unsere Umwelt und Gesellschaft. Allein in der Europäischen Union (EU) befinden sich derzeit Hunderte Millionen ungenutzte elektronische Altgeräte in den Haushalten. Diese enthalten wertvolle und oft kritische Rohstoffe, deren Gewinnung mit erheblichen ökologischen und sozialen Folgen verbunden ist.

Die Problematik wird durch kurze Produktlebenszyklen und niedrige Recyclingquoten verschärft. Dies führt nicht nur zu einem massiven Verlust strategischer Ressourcen, sondern auch zu gravierenden Umweltbelastungen und sozialen Missständen in Ländern, in die ein Großteil des Elektroschrotts illegal exportiert wird.

Angesichts dieser globalen Herausforderungen ist es erforderlich, die Nutzungsdauer elektronischer Produkte zu verlängern und eine Verbesserung der Recyclingpraktiken zu erzielen. Die Kreislaufwirtschaft bietet hierfür vielversprechende Konzepte, insbesondere durch Strategien wie Refurbishment und effizientes Recycling.

Diese Studie untersucht das Potenzial ungenutzter elektronischer Geräte in europäischen Haushalten und analysiert, wie durch gezielte Maßnahmen sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Vorteile erzielt werden können. Ziel ist es, Transparenz zu schaffen sowie Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigeren Umgang mit Elektronikprodukten zu entwickeln und damit einen Beitrag zur Ressourcenschonung und Reduzierung von Elektroschrott zu leisten.

2 Ausgangssituation und Problemstellung

Das Recycling von Smartphones ist durch eine paradoxe Dynamik geprägt: Während die Verkaufszahlen neuer Geräte global auf Rekordniveau liegen (1,24 Milliarden Stück im Jahr 2024), häufen sich ungenutzte Altgeräte in beispiellosem Ausmaß [1]. Allein in Deutschland lagern aktuell rund 119 Millionen ausrangierte Smartphones in Haushalten – eine Verdopplung innerhalb von sechs Jahren. Dieser Trend spiegelt sich EU-weit wider, wo sich derzeit rund 642 Millionen Altgeräte ungenutzt in Haushalten wiederfinden. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones liegt bei lediglich 2,8 Jahren (Stand 2022), was zu kontinuierlich wachsenden Elektroschrottmengen führt.

Moderne Smartphones enthalten über 70 verschiedene Elemente, darunter kritische Rohstoffe wie Palladium, Kobalt und Magnesium sowie Gold, welches zusätzlich als Konfliktmaterial gilt [2] [3]. Trotz des hohen Anteils an wertvollen Rohstoffen liegt die globale Recyclingquote für Smartphones bei nur 7,5 % [2]. Auch in Europa werden lediglich rund 10 % der Altgeräte fachgerecht recycelt, während der Großteil illegal exportiert oder in Haushalten gelagert wird [4]. Dies führt zu einem massiven Verlust strategischer Ressourcen: Die rund 642 Millionen

ungenutzten Geräte in der EU enthalten über 41.000 Tonnen Metalle im Wert von über 1,57 Mrd. Euro. Darunter befinden sich knapp 8.000 Tonnen Kobalt, was dem 1,4-fachen der EU-Importmenge im Jahr 2023 entspricht [5].

In Ländern wie Ghana oder Indien werden 80 % der exportierten Altgeräte unter prekären Bedingungen manuell zerlegt [4]. Dabei gelangen toxische Substanzen wie bromierte Flammschutzmittel und Schwermetalle unkontrolliert in die Umwelt. Arbeiter:innen, darunter viele Kinder, sind dabei Bleikonzentrationen ausgesetzt, welche das Zehnfache des WHO-Grenzwerts betragen [2] [6] [7]. Gleichzeitig gehen bis zu 90 % der Seltenerdmetalle aus Displays und Magneten verloren, da die Rückgewinnung mit den dort verfügbaren Technologien wirtschaftlich nicht rentabel ist [3].

Während ein gebrauchtes Smartphone nach 2 Jahren Nutzung einen durchschnittlichen Verkaufspreis von 200 € erzielt, liegt der rein metallische Wert bei nur 2,40 € pro Gerät [8]. Insbesondere die integrierten Batterien moderner Geräte erschweren die Demontage und führen zum Verlust von Ressourcen [3]. Hinzu kommt, dass 65 % der Geräte ab 2015 durch verklebte Komponenten nicht manuell demontierbar sind, was mechanische Zerkleinerung erfordert und die sortenreine Materialtrennung erschwert [3].

Die folgenschweren Auswirkungen unseres Verhaltens bzgl. des Umgangs mit Altgeräten verdeutlicht, dass die Notwendigkeit besteht, globale Sammelsysteme zu optimieren und recyclinggerechte Designs voranzutreiben, um die Kreislaufwirtschaft strategisch zu stärken.

2.1 Herausforderungen

Zwei zentrale Herausforderungen prägen die gesellschaftlichen Bemühungen im Umgang mit elektronischen Endgeräten wie Smartphones. Erstens ist es essenziell, die negativen Auswirkungen einer unsachgemäßen Entsorgung von Elektroschrott auf ein Minimum zu reduzieren. Aktuelle Praktiken führen nicht nur zu erheblichen Umweltbelastungen und einer Ressourcenverschwendung, sondern auch zu gesundheitlichen Risiken, insbesondere in Ländern mit unzureichender Recyclinginfrastruktur, wo Menschen während des Recyclings ungeschützt toxische Substanzen wie Quecksilber oder bromierte Flammschutzmittel ausgesetzt sind [6]. Zweitens muss der Bedarf an neu gewonnenen Rohstoffen deutlich gesenkt werden. Die hohe Nachfrage an kritischen Rohstoffen sowie Konfliktmaterialen schafft Abhängigkeiten gegenüber geopolitisch instabilen Regionen und ist häufig mit prekären Arbeitsbedingungen in den Abbauregionen verbunden [6].

Im Folgenden werden diese Herausforderungen detailliert analysiert, um eine quantifizierte Aussage über die Ausmaße treffen zu können sowie Lösungsansätze für eine nachhaltigere Kreislaufwirtschaft aufzuzeigen.

2.1.1 E-Waste

Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE), auch als E-Waste oder elektronischer Abfall bezeichnet, umfasst alle ausrangierten elektrischen und elektronischen Geräte, die vom

Besitzer als Abfall deklariert oder nicht weiter benötigt werden. Dazu zählen sämtliche Geräte, die Strom oder Batterien benötigen, um zu funktionieren. Gemäß der EU-WEEE-Richtlinie wird E-Waste in sechs Hauptkategorien unterteilt [9]:

1. Temperaturwechselgeräte (z. B. Kühlschränke, Klimaanlagen)
2. Bildschirme und Monitore (z. B. Fernseher, Laptops)
3. Lampen (z. B. LED- und Leuchtstofflampen)
4. Großgeräte (z. B. Waschmaschinen, Solarpanels)
5. Kleingeräte (z. B. Toaster, elektrische Zahnbürsten)
6. Kleine IT- und Telekommunikationsgeräte (z. B. Mobiltelefone, Router)

Die Menge an E-Waste nimmt weltweit rasant zu und stellt einen der am schnellsten wachsenden Abfallströme dar. Im Jahr 2022 wurden global 62 Millionen Tonnen elektronischer Abfall erzeugt – das entspricht 7,8 Kilogramm pro Kopf – mit einer prognostizierten Steigerung auf 82 Millionen Tonnen bis 2030. Europa als Kontinent weist mit rund 13 Millionen Tonnen die höchste Pro-Kopf-Menge weltweit auf (17,6 kg), wobei Deutschland mit etwa 1,8 Millionen Tonnen E-Waste jährlich und einem Pro-Kopf-Aufkommen von 21,2 Kilogramm einen überdurchschnittlich hohen Wert verzeichnet. Österreich ist in Summe für nur 0,2 Millionen Tonnen verantwortlich, der Pro-Kopf-Verbrauch ist mit 19,6 kg jedoch ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt in Europa. [6] [10]

Ein erheblicher Teil des E-Waste wird grenzüberschreitend transportiert. Jährlich werden weltweit etwa 5,1 Millionen Tonnen elektronischer Abfälle über Ländergrenzen hinweg bewegt, wobei nur 1,8 Millionen Tonnen unter kontrollierten Bedingungen gemäß der Basler Konvention exportiert werden. Der Großteil – etwa 3,3 Millionen Tonnen – wird jedoch illegal oder als gebrauchte Geräte deklariert exportiert und dies oft in Länder mit unzureichender Recyclinginfrastruktur wie Westafrika oder Südostasien. Während Europa eine durchschnittliche Recyclingquote von 42 % erreicht, liegt die formale Recyclingquote in Afrika bei lediglich 1 %. [11]

In Ländern mit schwacher Infrastruktur wie Ghana und Nigeria führt die unsachgemäße Verarbeitung von E-Waste zu erheblichen Umwelt- und Gesundheitsproblemen. So gelangen giftige Stoffe wie Quecksilber und Blei durch offene Verbrennung oder unsachgemäße Lagerung in Böden und Grundwasser, während Dioxine durch das Verbrennen von Kabeln freigesetzt werden. Arbeiter:innen sind hochgiftigen Substanzen ausgesetzt, was zu Atemwegserkrankungen, Hautproblemen und langfristigen Schäden an Nerven und Organen führt. Darüber hinaus führt die nicht regulierte Verarbeitung zu prekären Arbeitsbedingungen sowie Kinderarbeit, auch wenn sie gleichzeitig Einkommensmöglichkeiten für viele Menschen bietet. [12]

E-Waste stellt somit eine immense Herausforderung dar, die dringend globale Kooperationen erfordert. Eine Verbesserung der Sammel-, Recycling- und Exportpraktiken ist essenziell, um die negativen Auswirkungen auf Menschen und Umwelt zu minimieren. Die Förderung einer

Kreislaufwirtschaft sowie die striktere Durchsetzung internationaler Abkommen wie der Basler Konvention könnten entscheidende Schritte in Richtung einer nachhaltigeren Zukunft sein.

2.1.2 Ressourcen

Während jährlich Millionen Tonnen E-Waste ungenutzt bleiben, erfordert die Herstellung neuer Elektronikgeräte eine immense Menge an Rohstoffen, darunter Critical Raw Materials (CRMs) und Conflict Materials (CM).

CRMs umfassen eine breite Palette von Rohstoffen, die aufgrund ihrer hohen wirtschaftlichen Bedeutung und ihres hohen Versorgungsrisikos als kritisch eingestuft werden. Eine Untergruppe der CRMs sind Seltene Erden. Diese Elemente zeichnen sich durch ihre einzigartigen magnetischen, katalytischen und optischen Eigenschaften aus und sind unverzichtbar für Anwendungen wie Permanentmagnete in Windturbinen, Elektromotoren sowie LED-Technologien. Trotz ihres Namens sind Seltene Erden nicht selten, jedoch ist ihre Gewinnung oft auf wenige Länder konzentriert. Laut der EU-Studie zu kritischen Rohstoffen von 2023 umfasst die aktuelle Liste 34 Materialien, darunter auch Seltene Erden [5].

CMs wie Zinn, Tantal, Wolfram und Gold stellen zusätzlich zu CRMs ein großes Problem dar. Diese Metalle werden häufig unter prekären Bedingungen in Konfliktregionen abgebaut und finanzieren dort bewaffnete Gruppen, was zu Instabilität und Leid führt. Der Abbau dieser Materialien verursacht zudem erhebliche ökologische Schäden, darunter die Zerstörung von Lebensräumen und die Freisetzung toxischer Substanzen in Böden und Gewässer. [13]

CRMs und CMs sind essenziell für die Produktion moderner Technologien, jedoch ist ihre Verfügbarkeit aufgrund geopolitischer Abhängigkeiten und begrenzter Vorkommen stark eingeschränkt, was die EU in eine strategische Abhängigkeit bringt. Tabelle 1 führt vier Elemente und deren Lieferanten auf, welche in der Elektronikindustrie eine zentrale Rolle spielen [5] [14]:

TABELLE 1: ROHSTOFFABHÄNGIGKEITEN

Material	Globale Produktion	Anteil EU an Gesamt	EU-Lieferanten
Kobalt	DR. Kongo: 63 % Russland: 7 % Kanada: 4 % Weitere: 26 %	8 %	Russland: 25 % USA: 16 % Finnland: 16 % DR. Kongo: 9 % Madagaskar: 5 % Kanada: 5 % Norwegen: 4 %
Gold	China: 12 % Australien: 9 % Russland: 9 % USA: 7 % Kanada: 6 % Ghana: 4 %	1 %	Finnland: 27 % Bulgarien: 27 % Schweden: 24 % Griechenland: 6 % Spanien: 5 % Rumänien: 2 %

	Mexico: 4 % Peru: 4 % Südafrika: 4 %		Polen: 2 % Slowakei 1 % Weitere: 5 %
Magnesium	China: 91 % USA: 3 % Israel: 2 % Brasilien: 2 % Russland: 1 %	12 %	China 97 % Israel: 1 % UK: 1 %
Palladium	Russland: 40 % Südafrika: 36 % Kanada: 9,9 %	9 %	USA: 29,7 % Russland: 28,9 % UK: 21,8 % Südafrika: 10,6 % Schweiz: 5,9 %

Tabelle 1 zeigt anschaulich, dass 63 % des globalen Kobalts aus der Demokratischen Republik Kongo (DRK) stammen, einem Land, das für unsichere Arbeitsbedingungen und Menschenrechtsverletzungen im Bergbau bekannt ist [5]. 97 % des Magnesiums, welches die EU importiert stammt aus China und knapp 29 % des benötigten Palladiums aus Russland.

Auch wenn wir global nicht den Großteil der Rohstoffe importieren und verarbeiten (Anteil EU rund 10 %), ist unser Konsum maßgeblich für deren Abbau verantwortlich [5]. Die EU repräsentierte im Jahr 2023 rund 18 % der globalen Wirtschaftsleistung [15]. Auch wenn diese Zahl nicht direkt den Konsum widerspiegelt, gibt sie einen Hinweis auf die wirtschaftliche Bedeutung der EU im globalen Kontext. Es ist anzunehmen, dass der Anteil der EU am globalen Konsum in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie ihr Anteil an der globalen Wirtschaftsleistung. Dies verschärft die Abhängigkeit gegenüber anderen Ländern. Mitunter aus diesem Grund hat die EU sich für 2030 das Ziel gesetzt, mindestens 10 % ihres jährlichen Verbrauchs an strategischen Rohstoffen selbst abzubauen, 40 % in der EU zu verarbeiten und 25 % zu recyceln [16].

Die Kombination aus hohen Umweltkosten, sozialen Missständen und geopolitischen Risiken macht deutlich, dass eine verstärkte Nutzung von Recyclingmaterialien aus E-Waste notwendig ist. Laut dem Global E-Waste Monitor 2024 enthält eine Tonne Elektroschrott bis zu 53 kg Kupfer, 141 g Gold und 3,3 kg Seltene Erden, oft in Konzentrationen, die höher sind als in natürlichen Erzen [6]. Dennoch wird nur ein Bruchteil dieser Ressourcen zurückgewonnen, was die Abhängigkeit von Primärrohstoffen weiter verstärkt. Die Förderung einer Kreislaufwirtschaft könnte diese Problematik entschärfen und gleichzeitig den ökologischen Fußabdruck der Elektronikindustrie reduzieren.

2.2 Lösungsansatz: Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft ist ein wirtschaftliches Modell, das darauf abzielt, Ressourcen effizienter zu nutzen, Abfälle zu minimieren und Materialien durch Wiederverwendung, Reparatur und

Recycling im Wirtschaftskreislauf zu halten. Im Gegensatz zur linearen Wirtschaft, die auf „Nehmen, Herstellen und Wegwerfen" basiert, verfolgt die Kreislaufwirtschaft das Ziel, Produkte und Materialien so lange wie möglich zu nutzen und deren Wert zu erhalten. Durch die Entwicklung langlebigerer Produkte und effizienterer Designs entsteht weniger Abfall und Ressourcen werden geschont. Das Prinzip Kreislaufwirtschaft bietet einen systemischen Ansatz unter anderem zur Lösung der Herausforderungen durch E-Waste und Ressourcenknappheit. Seit Mai 2024 besteht die ISO 59000 Normungsreihe, welche einen konkreten Leitfaden für Unternehmen zur Verfügung stellt, wie diese kreislauffähiger wirtschaften können [17].

2.2.1 10 R-Strategien

Die 10 R der Kreislaufwirtschaft sind ein zentrales Konzept, das darauf abzielt, den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft zu unterstützen. Die ISO 59004:2024 definiert die 10 R als:

0. Refuse (Ablehnen)
1. Rethink (Überdenken)
2. Reduce (Reduzieren)
3. Reuse (Wiederverwenden)
4. Repair (Reparieren)
5. Refurbish (Aufarbeiten)
6. Remanufacture (Wiederherstellen)
7. Repurpose (Umfunktionieren)
8. Recycle (Recyceln)
9. Recover (Rückgewinnen)

Diese Strategien decken den gesamten Lebenszyklus von Ressourcen ab und fördern eine nachhaltige Ressourcennutzung, indem sie Abfälle minimieren und den Wert von Materialien erhalten oder steigern.

Die oberen Stufen wie Refuse, Rethink und Reduce zielen darauf ab, unnötigen Ressourcenverbrauch bereits in der Design- und Produktionsphase zu vermeiden oder zu reduzieren, indem Produkte langlebiger gestaltet oder alternative Materialien verwendet werden. Maßnahmen wie Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture und Repurpose tragen dazu bei, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern oder diese in anderer Form wiederzuverwenden, was insbesondere bei Elektronikgeräten das E-Waste-Aufkommen erheblich reduzieren kann. Die unteren Stufen wie Recycle und Recover konzentrieren sich auf die Rückgewinnung von Materialien aus Abfällen. Dies ermöglicht es, wertvolle Rohstoffe wie Metalle oder Kunststoffe erneut in den Produktionskreislauf einzubringen. Im Allgemeinen nimmt die Wertigkeit einer R-Strategie mit steigender Nummer ab. Das nicht verwenden von Rohstoffen (R0: Refuse) stellt folglich die beste Strategie dar und Recover (R 9), was in der Regel in einer thermischen Verwertung endet, die niedrigste.

2.2.2 Repair und Refurbishment

Im Bereich elektronischer Endgeräte ist besonders die R-Strategie Repair und Refurbishment von zentraler Bedeutung. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones liegt aktuell bei 2,8 Jahren, wobei die Geräte eine weitaus längere Zeit genutzt werden könnten. Softwareseitig ist die Unterstützung eines Geräts durch den Hersteller oft mehr als 6 Jahre gegeben [18]. Und auch hardwareseitige Defekte wie ein gesprungenes Display oder eine defekte Batterie können durch einen Fachhändler ausgetauscht werden. Durch ein Refurbishment lassen sich durchschnittlich 69 % der benötigten CRMs einsparen und sogar 97 % der CM.

2.2.3 Recycling

Defekte Geräte, bei welchen sich aus wirtschaftlicher Sicht ein Refurbishment oder eine Reparatur nicht mehr lohnt, können und sollten dem Recycling zugeführt werden. Aktuell finden in der EU nur 10 % der Informations- und Kommunikationsgeräte, welche nicht länger genutzt werden, den Weg zum fachgerechten Recycling [19]. Insbesondere die Konzentration von Gold ist durchschnittlich in einer Tonne Smartphone-Altgeräte 94 Mal höher als in der Natur, bei einer Tonne Leiterplatten beträgt dieser sogar 452 [13]. Bedenkt man, dass global nur 22 % der entsorgten Geräte nachweislich gesammelt und recycelt werden, ist nicht nur der ökologische und soziale Schaden zu bedenken, auch der ökonomische Verlust ist beachtlich [6].

3 Smartphonebestand in europäischen Haushalten

Während zu Beginn des Smartphonezeitalters (2011) noch rund 18 % der EU-Bevölkerung ein Gerät besaßen, sind es heute (2023) 82 % [20] [21] [22]. Die durchschnittliche Nutzungsdauer in diesem Zeitraum beträgt 2,8 Jahre, womit ein Großteil der Geräte bereits mehrfach ersetzt wurden [23]. Dies hat zur Folge, dass im Jahr 2023 allein in der EU 113 Millionen neue Geräte verkauft wurden. Der aktuelle Bestand an Geräten, welche sich in Verwendung befinden, kann auf 320 Millionen beziffert werden. Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, liegt die Recycling-Quote auf einem äußerst niedrigen Niveau, womit sich die Frage stellt, was mit all den ausrangierten Geräten passiert ist. Eine Umfrage der EU ergab die nachfolgende Aufteilung, was Endkonsument:innen mit ihren Geräten (Mobiltelefon und Smartphone) machen, wenn sie diese nicht mehr benötigen [19].

- Ich benutze mein Gerät noch immer: 7,2 %
- Ich habe es verkauft oder verschenkt: 16,7 %
- Ich habe es recycelt: **10,4 %**
- Es befindet sich noch in meinem Haushalt: **49,1 %**
- Ich habe es nicht fachgerecht entsorgt: 2,1 %
- Keine der Antwortmöglichkeiten passt: 3,6 %
- Keine Antwort: 11,0 %

Daraus geht hervor, dass sich noch 49 % der Geräte in den Haushalten befinden und sich potenziell für ein Recycling oder sogar ein Refurbishment eignen. In Summe handelt es sich dabei um 642 Millionen Smartphones, welche sich im Zeitraum zwischen 2011 und 2023 angesammelt haben. Geht man davon aus, dass sich im Durchschnitt Geräte mit einem Alter von 4 Jahren für ein Refurbishment eignen, sind dies rund 211 Millionen Stück in der EU, welche für ein zweites Leben geeignet sind (Baujahr 2020-2023). Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Altbestand und die Anzahl der für ein Refurbishment geeigneten Geräte in ausgewählten europäischen Ländern.

TABELLE 2: MENGE ALTBESTAND UND FÜR REFURBISHMENT GEEIGNETE GERÄTE

Land	Altbestand [Mio.]	für Refurbishment geeignet [Mio.]
Deutschland	119,3	38,8
Österreich	13,7	4,4
Italien	82,0	26,3
Irland	7,6	2,5
Schweden	15,6	5,1
Dänemark	9,0	2,9
Niederlande	26,8	8,6
Portugal	16,2	5,1
Finnland	8,6	2,7
Tschechien	16,5	5,2
Belgien	17,7	5,7
Schweiz	13,1	4,3
Frankreich	96,7	31,3
Spanien	73,1	23,3
Vereinigtes Königreich	102,7	33,0

Auch die übrigen 431 Millionen nicht für ein Refurbishment geeigneten Smartphones sind nicht wertlos, sondern eignen sich bei korrektem Recycling als Rohstoff für z. B. die Herstellung neuer Smartphones. Abbildung 1 zeigt anschaulich die Menge an Geräten (in Millionen) und wo sie sich stand heute wiederfinden. Angefangen auf der linken Seite wird der **Altbestand (2011-2022)** sowie jene Geräte, welche **in Gebrauch (Anfang 2023)** sind, durch **Neugeräte (2023)** ergänzt (blau). Aufgrund der aktuellen Situation, dass der Großteil der Erstbesitzer:innen ihre Altgeräte im Haushalt behalten, wächst der **Altbestand (2023)** kontinuierlich an (lila). Werden die neueren Geräte dieses Altbestands in Zukunft einem **Refurbishment** zugeführt, so können diese durch eine/einen **Zweitbesitzer:in** genutzt werden (grün). Dem gegenüber steht die geringe Menge an Geräten, welche endgültig als **E-Waste** dem Recycling zugeführt werden (grau). Sind die Geräte zu alt für ein Refurbishment oder unwiederbringlich defekt, liegt es an dem/der Endverbraucher:in und dem Recyclingsystem, was mit dem zukünftigen E-Waste passiert (grau).

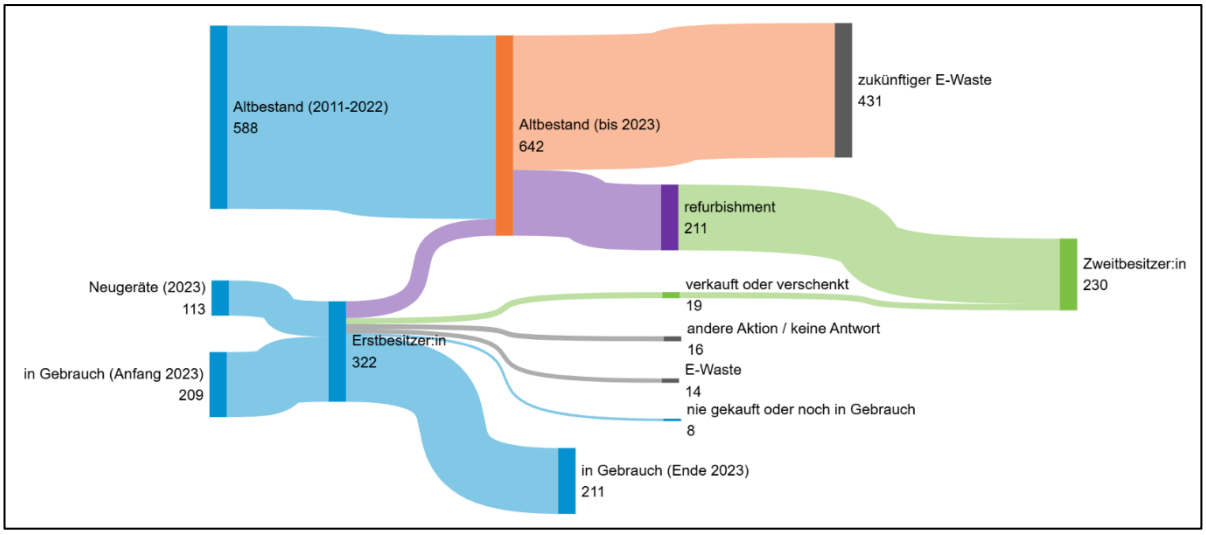

ABBILDUNG 1: SMARTPHONE EU - MENGENFLUSS IN MILLIONEN STÜCK

Dieser hohe Bestand mit einem veränderten Verhalten der Endverbraucher:innen birgt ein großes Potenzial bezogen auf die aktuellen Abhängigkeiten gegenüber Rohstoff liefernden Ländern. Um dies zu verdeutlichen, wurden vier unterschiedliche Szenarien entwickelt, welche dies veranschaulichen.

- **S1 - Business As Usual:** Keine Veränderung gegenüber der aktuellen Situation. Nutzungsdauer von Smartphones beträgt 2,8 Jahre und das Gerät wird zum Großteil (49 %) im Haushalt aufbewahrt, wenn es nicht mehr benötigt wird.
- **S2 – längere Nutzungsdauer:** Die Geräte werden doppelt so lange wie heute verwendet und erst ausgetauscht, wenn eine Reparatur nicht mehr möglich ist.
- **S3 – Refurbishment Altbestand:** Sämtliche ungenutzten und für ein Refurbishment geeigneten Geräte, welche sich in den Haushalten befinden, werden dem Bedarf entsprechend aufbereitet und ersetzen ein neu produziertes Gerät.
- **S4 – längere Nutzungsdauer und Refurbishment Altbestand:** Endverbraucher:innen führen ihre nicht mehr benötigten Geräte dem Refurbishment zu und der Altbestand wird dem Bedarf entsprechen aufbereitet und ersetzen ein neu produziertes Gerät.

Abbildung 2 zeigt, wie sich der Rohstoffbedarf (gestrichelte Linien) sowie die sich anhäufende Menge E-Waste (durchgezogene Linien) in den kommenden Jahren abhängig vom jeweiligen Szenario (S1 - S4) entwickelt.

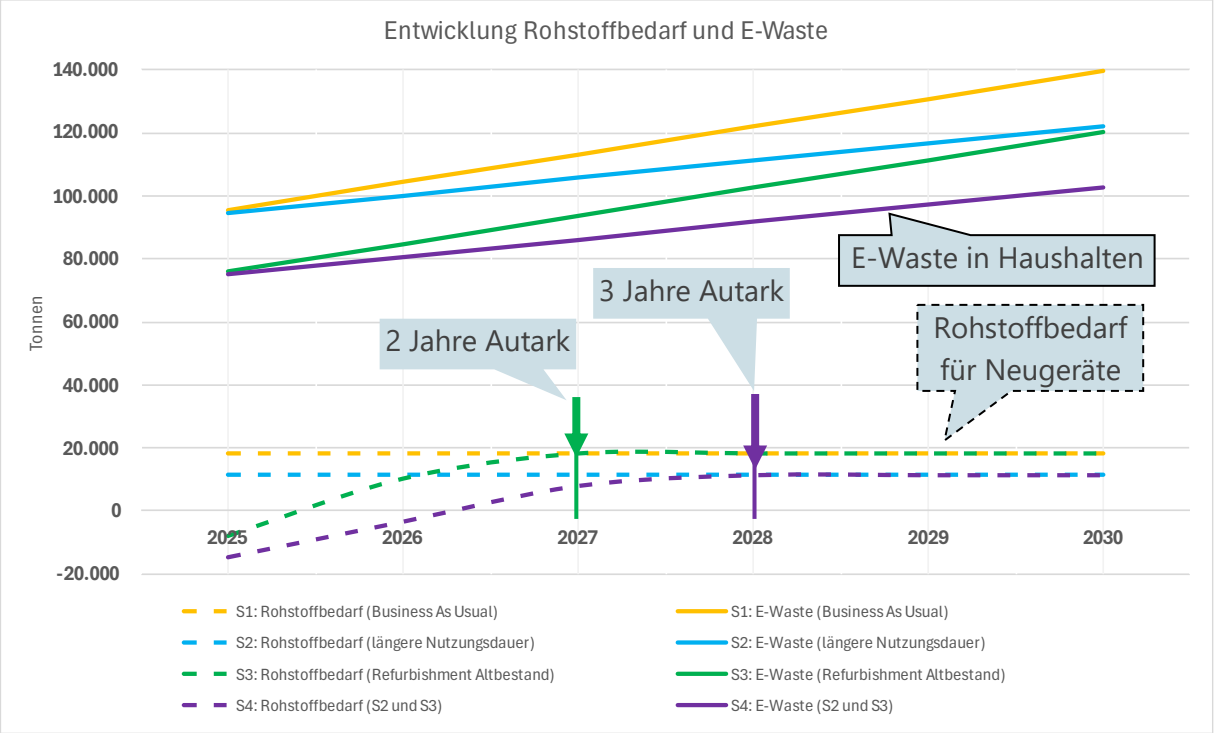

ABBILDUNG 2: ENTWICKLUNG ROHSTOFFBEDARF UND E-WASTE (SZENARIEN S1-S4)

Nachfolgend sind die Auswirkungen beschreiben:

- S1 (gelb): Referenzszenario
- S2 (blau): Der Bedarf an Neugeräten sinkt um 38 %. Es wurde berücksichtigt, dass eine verlängerte Nutzungsphase Reparaturen mit sich bringt, weswegen eine Halbierung der Anzahl an Neugeräten unrealistisch ist. Der Zuwachs an E-Waste steigt gegenüber dem Referenzszenario langsamer an, da weniger Neugeräte produziert werden müssen.
- S3 (grün): Das Refurbishment des Altbestandes führt dazu, dass für 2 Jahre keine neuen Smartphones produziert werden müssen, da ausreichend Altbestand in den Haushalten verfügbar ist. Die Menge an Geräten in den Haushalten kann so um rund 25 % reduziert werden, wächst aber in der gleichen Geschwindigkeit wie im Referenzszenario.
- S4 (lila): Das veränderte Nutzungsverhalten (doppelte Nutzungsdauer) und das Refurbishment des Altbestands führt zu einer Autarkie der EU gegenüber Rohstofflieferanten von 3 Jahren.

Insbesondere S4 verdeutlicht, welches Potenzial in den für Endkonsument:innen „wertlosen" Altgeräten steckt. Dabei ist zu beachten, dass diese Szenarien lediglich jene Altgeräte berücksichtigen, welche sich für ein Refurbishment eigenen.

Findet zusätzlich ein Recycling jener Altgeräte statt, welche sich nicht mehr für ein Refurbishment eignen, kann der Autarkiegrad aufbauend auf S4 weiter gesteigert werden.

Abhängig von der Recyclingquote von Elektroschrott (40 - 90 %) zwischen 2,2 und 5 Jahren (Abbildung 2).

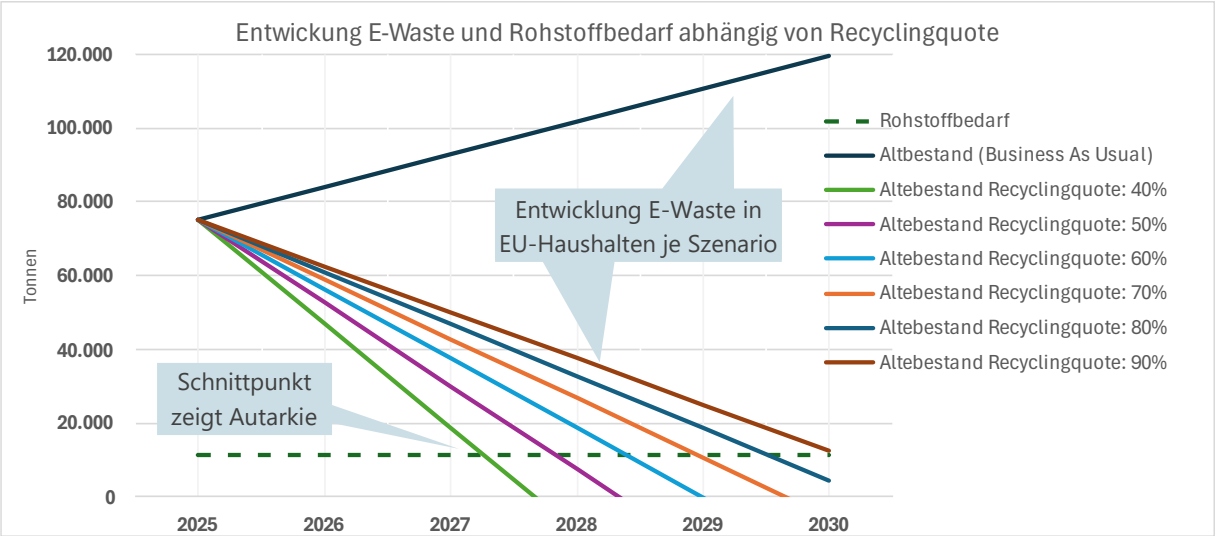

ABBILDUNG 3: ENTWICKLUNG ROHSTOFFBEDARF UND E-WASTE DURCH RECYCLING ALTBESTAND

In Summe ergibt sich durch Kombination der Best-Case-Szenarien eine Autarkie von bis zu 8 Jahren. Hierfür muss sich sowohl das Nutzungsverhalten der Endverbraucher:innen drastisch ändern als auch die Technologie für das Recycling von E-Waste maßgeblich weiterentwickeln. Es ist darauf hingewiesen, dass diese Szenarien das maximale Potenzial aufzeigen, jedoch die sozialen und technisch notwendigen Änderungen realistisch berücksichtigt wurden.

4 Zusammensetzung eines Smartphones

Smartphones bestehen aus unterschiedlichen Komponenten, welche jeweils eine Vielzahl an Materialien enthalten. Im Wesentlichen handelt es sich um 5 Kategorien: Gehäuse, Bildschirm, Batterie, Leiterplatte und Sensoren wie z. B. Lautsprecher und Kamera. Diese Komponenten enthalten eine komplexe Mischung aus Materialien, darunter Metalle, Kunststoffe und Keramiken. Dabei machen Metalle etwa 40 %, Kunststoffe 35 % und Keramiken 25 % der Gesamtmasse eines Smartphones aus. [3] [13]

Die metallischen Bestandteile umfassen sowohl Basismetalle wie Kupfer und Aluminium als auch Edelmetalle wie Gold und Palladium. Besonders kritisch sind dabei strategische Metalle wie Kobalt, Magnesium und Seltene Erden, die in Batterien und Lautsprechern verbaut sind. Mit dem Fokus dieser Ausarbeitung auf kritische Metalle schlüsselt Tabelle 3 die Menge an Metallen sowie den Anteil an CRMs und CMs jeweils für die wesentlichen Komponenten auf [3] [13]. Als Referenzprodukt dient ein Smartphone mit einem Gesamtgewicht von 162 g [24].

TABELLE 3: METALLE IN SMARTPHONE KOMPONENTEN

Komponente	Metalle [g/Komp.]	CRMs [g/Komp.]	CMs [g/Komp.]	CRMs & CMs [g/Komp.]	Anteil CRMs & CMs
Bildschirm	1,7	1,6	0,01	1,6	97 %
Batterie	26,8	26,6	0,13	26,6	99 %
Leiterplatte	13,5	11,6	0,93	12,5	92 %
Lautsprecher	0,7	0,4	0,02	0,4	62 %
Kamera	0,5	0,4	0,02	0,4	76 %
Summe	43,2	40,5	1,11	41,5	96 %

Tabelle 3 verdeutlicht den hohen Anteil von CRM und CM in einem Smartphone. Allein die aufgeführten Komponenten, welche in Summe einen Massenanteil von 26 % am Gesamtprodukt haben, bestehen zu 96 % aus solchen kritischen und konfliktfördernden Rohstoffen. Folglich besteht ein Smartphone zu einem Viertel aus Rohstoffen, welche offiziell von der EU als ökologisch, ökonomisch und sozial kritisch eingestuft wurden [5].

In Tabelle 1 wurde bereits die wirtschaftliche Abhängigkeit von vier besonders kritischen Rohstoffen aufgezeigt. Nachfolgend wird die ökologische und soziale Bedeutung dieser im Detail beschrieben [25] [26].

- **Kobalt:** Der Abbau von Kobalt führt zu erheblichen Umweltproblemen wie Bodendegradation, Wasserverschmutzung und der Freisetzung toxischer Chemikalien. Diese Umweltschäden beeinträchtigen lokale Ökosysteme und die landwirtschaftliche Nutzbarkeit der Böden erheblich. Zusätzlich ist der Abbau oft mit prekären Arbeitsbedingungen verbunden, einschließlich Kinderarbeit und mangelnder Sicherheitsvorkehrungen. Arbeiter:innen sind häufig gesundheitlichen Risiken durch den Kontakt mit toxischen Substanzen ausgesetzt, während die lokale Bevölkerung kaum von den Einnahmen profitiert.
- **Gold:** Der Goldabbau, insbesondere durch großflächigen Tagebau oder illegalen Kleinbergbau, verursacht massive Eingriffe in die Landschaft, Abholzung und Quecksilberverschmutzung von Gewässern. Diese Praktiken gefährden die Biodiversität und verschlechtern die Wasserqualität in betroffenen Regionen. In vielen Abbauregionen arbeiten Menschen unter extrem schlechten Bedingungen, oft ohne angemessene Entlohnung oder Schutzmaßnahmen. Illegale Minen werden häufig von kriminellen Netzwerken kontrolliert, was lokale Gemeinschaften destabilisiert.
- **Magnesium:** Die Produktion von Magnesium ist energieintensiv und führt zu hohen CO_2-Emissionen sowie zur Freisetzung von Schwefeldioxid, das zur Luftverschmutzung beiträgt. Zudem kann der Abbau von Dolomitgestein, einer Hauptquelle für Magnesium, Landschaftsschäden verursachen. In Ländern wie China, die einen Großteil des weltweiten Magnesiums produzieren, sind schlechte Arbeitsbedingungen und

geringe Umweltstandards weit verbreitet. Dies führt zu gesundheitlichen Risiken für Arbeiter:innen und belastet umliegende Gemeinden.

- **Palladium:** Der Abbau von Palladium erfolgt häufig im Rahmen großflächiger Platinminen, die erhebliche Eingriffe in natürliche Lebensräume verursachen. Die Verarbeitung erfordert den Einsatz giftiger Chemikalien wie Cyanid, die Boden und Wasser belasten können. In Ländern wie Südafrika sind Minenarbeiter:innen oft schlechten Arbeitsbedingungen ausgesetzt, einschließlich niedriger Löhne und mangelnder Arbeitssicherheit. Darüber hinaus profitieren lokale Gemeinschaften nur selten von den Einnahmen aus dem Export dieses wertvollen Metalls.

Um ein besseres Gefühl für die Rohstoffmengen zu bekommen, welche sich aktuell im Bereich Smartphone im Umlauf befinden, wurde ein Flussdiagramm (Abbildung 4) erstellt, welches die aktuelle Situation in Tonnen darstellt. Analog zu Abbildung 1 startet der Fluss auf der linken Seite und schlüsselt die benötigten **Primärrohstoffe** anteilig in Metalle, Kunststoffe und Keramiken auf (blau). Das Flussdiagramm endet auf der rechten Seite mit der Menge an **Sekundärrohstoffen** (grün), welcher sich als Bestand in den europäischen Haushalten befindet. Aufgrund ihrer Relevanz wurden die vier zuvor beschriebenen Rohstoffe explizit aufgeführt (orange). Die Darstellung berücksichtigt die aktuelle Recyclingquote von korrekt gesammeltem E-Waste in der EU, welche 2022 rund 79 % betrug [27].

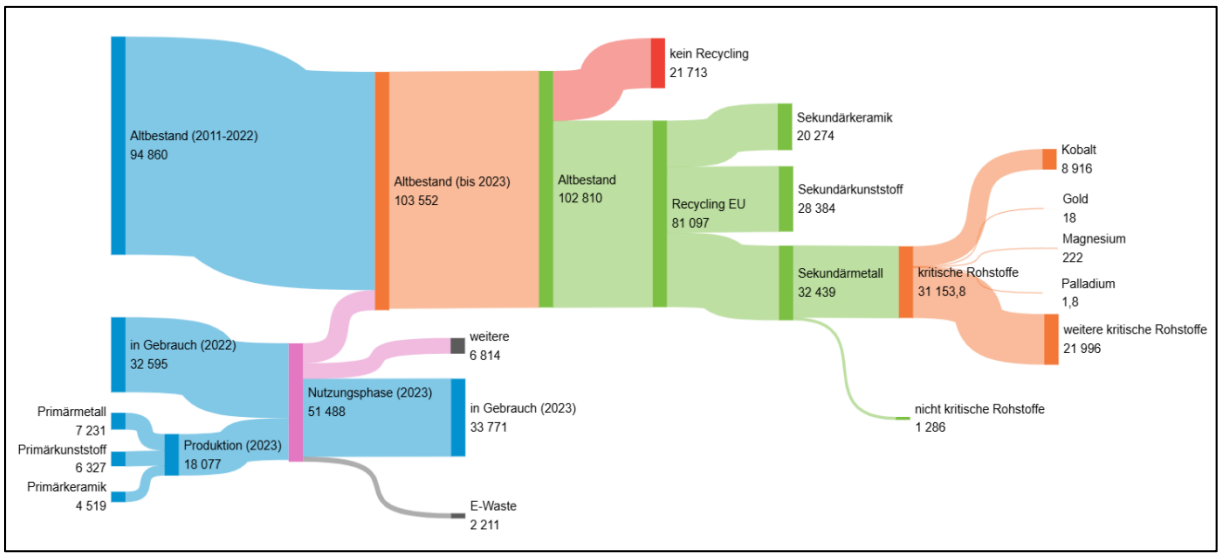

ABBILDUNG 4: SMARTPHONE EU - MENGENFLUSS IN TONNEN

Tabelle 4 verdeutlicht die absolute Menge der vier besonders kritischen Rohstoffe in Tonnen und liefert Vergleichswerte für ein besseres Verständnis.

TABELLE 4: ABSOLUTE MENGE UND VERGLEICHSWERTE

Rohstoff	Absolute Menge	Vergleichswert
Kobalt	8916 t	Kobalt für ca. 1 Million Elektroautobatterien [28]
Gold	18 t	Gold in 4,5 Millionen Eheringe
Magnesium	222 t	Magnesiumanteil von 1,48 Milliarden Getränkedosen
Palladium	1,8 t	Palladium in 900.000 Autokatalysatoren

Auch wenn in einem einzelnen Smartphone nur wenige Gramm der kritischen, aber wertvollen Rohstoffe stecken, sorgt die gigantische Anzahl von 642 Millionen Altgeräten in Summe für beachtliche Mengen. Daraus resultiert ein beachtliches Potenzial in allen drei Bereichen der Nachhaltigkeit - ökologisch, sozial und ökonomisch.

5 Potenzial ungenutzter Smartphones

Die negativen Auswirkungen des enormen Rohstoffbedarfs für elektronische Geräte und deren unsachgemäße Entsorgung stellen eine erhebliche Herausforderung dar. Gleichzeitig birgt der Altbestand ungenutzter Geräte ein großes Potenzial, das es zu erschließen gilt. Betrachtet man die aktuelle Situation, wird deutlich, dass diese „urbanen Minen" eine wertvolle Ressource darstellen, die genutzt werden kann, um die ökologischen und sozialen Folgen der Primärrohstoffgewinnung zu minimieren. Darüber hinaus ist der monetäre Wert dieser ungenutzten Geräte eine zusätzliche Motivation, um das Potenzial aktiv zu nutzen. Nachfolgend wird das Potenzial ungenutzter Geräte jeweils für die drei Säulen der Nachhaltigkeit beschrieben.

5.1 Ökologisch

Neben den benötigten kritischen Metallen für Smartphones und dem damit einhergehenden E-Waste hat insbesondere die Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe zum Endprodukt einen negativen Einfluss auf die Umwelt. So stecken in einem Smartphone durchschnittlich 70 kg CO_2 Äquivalent (kg CO_2-Äqu.) und die Herstellung hat in Summe einen virtuellen Wasserverbrauch[1] von rund 25.000 Liter zu verantworten [29].

Die Anzahl an Neugeräten, welche im Jahr 2023 in der EU verkauft wurden, beläuft sich auf 113 Millionen Stück [23]. Dies entspricht einer Menge von rund 8 Millionen Tonnen CO_2-Äqu. und einem virtuellen Wasserverbrauch von 2,8 Milliarden Kubikmeter.

[1]Der virtuelle Wasserverbrauch ist eine von 16 offiziell von der EU empfohlenen Wirkungskategorien für eine Lebenszyklusanalyse [30]. Es handelt sich dabei um eine Bewertung mittels des „Available WAter REmaining"-Model (AWARE-Model), welches den Wasserverbrauch gewichtet nach Mangel bewertet [31].

Ein konsequentes Refurbishment des Altbestandes und einer daraus resultierenden Verdopplung der Nutzungsdauer dieser Geräte (siehe Kapitel 3 Szenario S4) kann in den nächsten 3 Jahren allein in der EU rund 24 Millionen Tonnen CO_2 Äquivalent einsparen und den virtuellen Wasserverbrauch um 8,5 Milliarden Kubikmeter reduzieren.

5.2 Sozial

Die Kreislaufwirtschaft bietet großes Potenzial, um den negativen Auswirkungen des Rohstoffabbaus und der unsachgemäßen Entsorgung von Smartphones entgegenzuwirken. Der Altbestand ungenutzter Geräte stellt eine wertvolle Ressource dar, die durch gezielte Rückgewinnung von Materialien wie Gold, Kupfer, Kobalt und Seltenen Erden genutzt werden kann. Dies verringert nicht nur die Abhängigkeit von Primärrohstoffen, sondern stärkt auch die Versorgungssicherheit in der EU. Darüber hinaus schafft die Kreislaufwirtschaft lokal Arbeitsplätze im Bereich Reparatur und Recycling und trägt zur Reduzierung von Elektroschrott bei, wodurch soziale Missstände im Zuge der unsachgemäßen Entsorgung von Elektronikgeräten reduziert werden kann. Auch wenn wir nur schwer Einfluss auf die Arbeitsbedingungen in Ländern außerhalb der EU nehmen können, ist unser Handeln der Treibstoff für die dort vorherrschenden Bedingungen. Aktuell werden 15 % des E-Waste, welcher in Europa anfällt, exportiert [11].

5.3 Ökonomisch

Während ein gebrauchtes Smartphone nach 2 Jahren Nutzung einen durchschnittlichen Verkaufspreis von 200 € erzielt, liegt der rein metallische Wert bei nur 2,40 € pro Gerät [8]. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 2,8 Jahren ist der Wiederverkaufswert so gering, dass rund 50 % ihr Smartphone nicht weggeben, sondern bevorzugen, dieses im Haushalt aufzubewahren [19] [23]. Dies führt dazu, dass sich durchschnittlich pro Haushalt ca. 8,00 € in Form von alten Smartphones befinden. Nicht viel und daher verständlich, dass dies kein nennenswerter Anreiz ist, sein Gerät einem Recycling zuzuführen. Die gigantische Menge von 642 Millionen Altgeräten führt jedoch dazu, dass es sich in Summe um einen Materialwert von 1,57 Milliarden € handelt, welcher sich ungenutzt in der EU befindet [3] [13]. Berücksichtigt man, dass für Geräte mit einem Alter von 2,8-4 Jahren im Zuge von Rückkaufprogrammen im Durchschnitt 100 € gezahlt werden, handelt es sich in Summe um einen Marktwert von rund 6,42 Milliarden € [32].

6 Refurbishment

Das Refurbishment von Smartphones, also die professionelle Aufarbeitung und Wiederinstandsetzung gebrauchter Geräte, bietet enormes Potenzial im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Smartphones, welche als Elektroschrott enden würden, werden wieder in den Nutzungskreislauf zurückgeführt. Dies reduziert nicht nur das Aufkommen von E-Waste, sondern verlängert auch die Lebensdauer der Geräte und verringert den Bedarf von teils kritischen Primärrohstoffen. Darüber hinaus trägt Refurbishment dazu bei, die

Umweltbelastung durch Rohstoffabbau und Produktion zu minimieren und gleichzeitig erschwingliche Alternativen für Endverbraucher zu schaffen. In einer Kreislaufwirtschaft spielt Refurbishment somit eine Schlüsselrolle, um Ressourcen zu schonen und die Nachhaltigkeit in der Elektronikindustrie zu fördern.

6.1 Smartphone

In einer umfangreichen Untersuchung bezüglich der positiven Auswirkungen des Kaufs von Refurbished-Produkten gegenüber Neugeräten konnte gezeigt werden, dass die Einsparungen durch den Kauf von aufbereiteten Smartphones zwischen 69 % und 97 % liegen. Konkret wurden im Rahmen einer Ökobilanzierung für den Online-Marktplatz „refurbed" sechs Wirkungskategorien für ein Smartphone aus dem Jahr 2020 untersucht. Tabelle 5 führt diese auf und quantifiziert die ökologische Wirkung der zwei Kaufoptionen sowie die Einsparung.

TABELLE 5: SMARTPHONE: EINSPARUNGEN REFURBED-PRODUKT GGÜ. NEUGERÄT

Wirkungskategorie	Neugerät	Refurbed-Produkt	Einsparung
CO_2-Emissionen	70 kg CO_2-Äqu.	13 kg CO_2-Äqu.	81 %
virtueller Wasserverbrauch	25097 Liter	3620 Liter	86 %
E-Waste	182 g	45 g	75 %
Material Ressources[2]	1,4 g Sb-Äqu.	0,2 g Sb-Äqu.	86 %
CRM	52,7 g	16,2 g	69 %
CM	1,2 g	0,04 g	97 %

Es wird deutlich, dass das Refurbishment und folglich die erweiterte Nutzung von elektronischen Geräten eine äußerst positive Wirkung auf unsere Umwelt haben.

6.2 Weitere elektronische Endgeräte

Die positiven Auswirkungen eines Refurbishments gelten nicht nur für Smartphones, auch weitere Produkte wie Tablets und Laptops haben ein hohes Einsparungspotenzial bezogen auf CO_2-Emissionen, den virtuellen Wasserverbrauch und E-Waste (Tabelle 6 Tabelle 7).

TABELLE 6: TABLET: EINSPARUNGEN REFURBED-PRODUKT GGÜ. NEUGERÄT

Wirkungskategorie	Neugerät	Refurbed-Produkt	Einsparung
CO_2-Emissionen	98 kg CO_2-Äqu.	80,2 kg CO_2-Äqu.	82 %
virtueller Wasserverbrauch	36391 Liter	3467 Liter	91 %
E-Waste	489 g	22 g	96 %

[2]Material Ressources ist eine von 16 offiziell von der EU empfohlenen Wirkungskategorien für eine Lebenszyklusanalyse [30]. Es handelt sich dabei um eine Bewertung mittels des „Abiotic Depletion Potential (ADP)"-Modells, welches die Entnahme nicht erneuerbarer Ressourcen gewichtet nach deren relativer Knappheit und wirtschaftlicher Bedeutung bewertet [33].

TABELLE 7: LAPTOP: EINSPARUNGEN REFURBED-PRODUKT GGÜ. NEUGERÄT

Wirkungskategorie	Neugerät	Refurbed-Produkt	Einsparung
CO_2-Emissionen	339 CO_2-Äqu.	58,5 CO_2-Äqu.	83 %
virtueller Wasserverbrauch	84716 Liter	13300 Liter	84 %
E-Waste	1619 g	186 g	89 %

Wie die Tabellen zeigen, können stets über 80 % gegenüber einem Neukauf eingespart und so die negativen Auswirkungen auf unsere Umwelt mittels Refurbishment signifikant reduziert werden.

7 Spare Part Harvesting

Was aber, wenn die Kosten für das Refurbishment jene einer Neuanschaffung übersteigen? Bevor das Gerät trotz seines geringen Alters im Elektroschrott landet, können noch funktionsfähige Komponenten entnommen werden. Dieser Prozess wird als "Spare Part Harvesting" bezeichnet. Dabei werden funktionsfähige Ersatzteile aus defekten Geräten entnommen und für die Reparatur oder Aufbereitung anderer Geräte wiederverwendet. Relevant wird diese Methode insbesondere bei einem wirtschaftlichen Totalschaden eines Smartphones, bei dem das Gerät als Ganzes nicht mehr sinnvoll repariert werden kann, einzelne Komponenten wie Displays, Akkus oder Kameras aber noch funktionsfähig sind. Die entnommenen Teile können in baugleichen Geräten wiederverwendet werden, was ein Refurbishment der Geräte mit einem reduzierten Anteil an neu produzierten Ersatzteilen ermöglicht und zur Ressourcenschonung und Reduzierung von Elektronikschrott beiträgt.

8 Recycling als letzte Möglichkeit

Für drei Viertel (Anteil wächst stetig) der Altgeräte in den EU-Haushalten ist ein Refurbishment aufgrund des Alters keine Option mehr. Ein fachgerechtes Recycling ist nun die letzte und beste Möglichkeit, die wertvollen Ressourcen zu extrahieren und als Sekundärrohstoffe in den Kreislauf rückzuführen. Dieser Prozess ist jedoch mit Herausforderungen verbunden [2].

- **Komplexe Materialzusammensetzung:** Smartphones enthalten über 50 verschiedene Metalle, die oft in komplexen Verbindungen vorliegen. Diese Vielfalt erschwert die effiziente Trennung und Rückgewinnung einzelner Materialien [34].
- **Geringe Menge an Rohstoffen:** Viele wertvolle Metalle wie Gold oder Palladium sind in Smartphones nur in sehr kleinen Mengen enthalten. Beispielsweise enthält ein Smartphone im Durchschnitt nur 0,025 g Gold, was eine aufwendige Verarbeitung erfordert [13].
- **Technologisch komplexer Prozess:** Die Rückgewinnung zahlreicher Metalle erfordert spezialisierte Recyclingtechnologien, da diese oft dissipativ verteilt sind. Zudem

erschweren verklebte oder fest verbaute Komponenten wie Batterien die Demontage und Verarbeitung.

- **Wirtschaftlich nicht rentabel:** Der Wert der zurückgewonnenen Metalle deckt häufig nicht die Kosten für Sammlung, Transport und Recycling. Besonders bei geringwertigen Materialien wie Aluminium oder Eisen ist das Recycling oft nicht wirtschaftlich tragfähig.

Es bestehen erhebliche Herausforderungen bei der Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen wie jene der Kategorie CRM und CM. Sie sind oft in sehr geringen Mengen enthalten, komplex verbaut und dissipativ verteilt, was ihre Trennung und Wiederverwertung technisch anspruchsvoll und wirtschaftlich unrentabel macht. Oft ist das Recycling nicht großtechnisch umsetzbar, was dazu führt, dass ein Großteil dieser strategisch wichtigen Materialien verloren geht [2]. Für einige wenige Metalle existieren jedoch etablierte Recyclingverfahren, wie z. B. die Elektrolyse in Kupferschmelzen. Diese ermöglichen es, bis zu 98 % der wertvollsten Metalle aus Smartphones zurückzugewinnen, darunter auch Gold, Silber, Kupfer, Palladium und Platin. Diese fünf Metalle machen etwa 85 % des reinen Metallwerts eines Smartphones aus, was ihre Rückgewinnung sowohl ökologisch als auch ökonomisch attraktiv macht [35]. Ein Blick auf die Konzentration dieser 5 Metalle in einer Tonne Smartphones oder Leiterplatten im Vergleich zu ihrem ursprünglichen Erz zeigt, dass eben bei diesen Rohstoffen die Konzentration um ein Vielfaches höher ist als in ihren jeweiligen Erzen, womit das Recycling sehr attraktiv ist und folglich wirtschaftlichen Technologien in der Vergangenheit entwickelt wurden (Tabelle 8).

TABELLE 8: FAKTOR, UM WIE VIEL HÖHER DIE KONZENTRATION GEGENÜBER DEN JEWEILIGEN ERZEN IST

Metall	Faktor Konzentration Erz vs. E-Waste Smartphone	Konzentration Erz vs. E-Waste Leiterplatte
Kupfer	6	32
Gold	94	452
Silber	16	79
Palladium	5	26
Platin	3	10

9 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Die vorliegende Studie hat das enorme Potenzial aufgezeigt, das in den ungenutzten Smartphones in europäischen Haushalten schlummert. Mit rund 642 Millionen Altgeräten, von denen etwa 211 Millionen für ein Refurbishment geeignet sind, besteht eine bedeutende Chance, den Ressourcenbedarf zu reduzieren und die Kreislaufwirtschaft zu stärken.

Zentrale Erkenntnisse:

1. Ressourcenpotenzial: Die Altgeräte enthalten beträchtliche Mengen kritischer Rohstoffe, darunter 8.916 Tonnen Kobalt und 18 Tonnen Gold, deren Rückgewinnung die Abhängigkeit von Primärrohstoffen erheblich reduzieren könnte.

2. Ökologische Vorteile: Durch konsequentes Refurbishment und Verlängerung der Nutzungsdauer könnten in den nächsten 3 Jahren allein in der EU rund 24 Millionen Tonnen CO_2-Äqu. eingespart und der virtuelle Wasserverbrauch um 8,5 Milliarden Kubikmeter reduziert werden.
3. Ökonomisches Potenzial: Der metallische Wert der ungenutzten Geräte beläuft sich auf rund 1,57 Milliarden Euro, was einen starken wirtschaftlichen Anreiz für verbesserte Recyclingverfahren darstellt.
4. Soziale Aspekte: Die Förderung der Kreislaufwirtschaft kann zur Schaffung lokaler Arbeitsplätze im Reparatur- und Recyclingsektor beitragen und gleichzeitig die negativen sozialen Auswirkungen des Rohstoffabbaus und der unsachgemäßen Entsorgung reduzieren.

Handlungsempfehlungen:

1. Förderung von Refurbishment: Unterstützung von Initiativen und Unternehmen, die sich auf die Aufarbeitung von Smartphones spezialisieren, durch gezielte Anreize und regulatorische Rahmenbedingungen.
2. Bewusstseinsbildung: Durchführung von Informationskampagnen, um Verbraucher:innen über die Bedeutung der Rückgabe alter Geräte und die Vorteile refurbishter Produkte aufzuklären.
3. Regulatorische Maßnahmen: Einführung von Vorschriften zur Förderung der Reparierbarkeit und Langlebigkeit von Smartphones sowie zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit.
4. Verbesserung der Sammelinfrastruktur: Implementierung effektiver Rücknahmesysteme für Altgeräte, um die Recyclingquote deutlich zu erhöhen.
5. Investitionen in Recyclingtechnologien: Förderung der Forschung und Entwicklung fortschrittlicher Recyclingtechnologien zur effizienteren Rückgewinnung kritischer Rohstoffe.
6. Internationale Zusammenarbeit: Stärkung der globalen Kooperation zur Bekämpfung des illegalen Exports von Elektroschrott und zur Verbesserung der Recyclingpraktiken in Entwicklungsländern.

Die Umsetzung dieser Empfehlungen kann einen signifikanten Beitrag zur Ressourcenschonung, Reduzierung von Umweltbelastungen und Förderung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bereich der Mobilfunktechnologie leisten. Es liegt nun an politischen Entscheidungsträgern, der Industrie und den Verbraucher:innen, gemeinsam an der Realisierung dieses Potenzials zu arbeiten und damit einen wichtigen Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Zukunft zu gehen.

10 Literaturverzeichnis

[1] statista, „Absatz von Smartphones weltweit in den Jahren 2009 bis 2024," Januar 2025. [Online]. Available: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173049/umfrage/weltweiter-absatz-von-smartphones-seit-2009/. [Zugriff am 18 Februar 2025].

[2] B. Bookhagen und D. Bastian, „Metalle in Smartphones," Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2020.

[3] M. Pilotto Cenci, E. Moschetta Eidelwein, T. Scarazzato und H. M. Veit, „Assessment of smartphones' components and materials for a recycling perspective: tendencies of composition and target elements," *Journal of Material Cycles and Waste Management (2024),* Bd. 26, Nr. 3, pp. 1379-1393, 2024.

[4] Rizos, Vasileios, J. Bryhn, M. Alessi, A. Campmas und A. Zarra, „Identifying the impact of the circular economy on the Fast-Moving Consumer Goods Industry: opportunities and challenges for businesses, workers and consumers – mobile phones as an example," The European Economic and Social Committee (EESC), 2019.

[5] M. Grohol und C. Veeh, „European Commission, Study on the Critical Raw Materials für the EU 2023 - Final Report," European Commission, Brüssel, 2023.

[6] C. P. Baldé, G. Bel, V. L. d. Cortemiglia, E. D'Angelo, O. Deubzer, E. Fernandez-Cubillo, V. Forti, V. Gray, S. Herat, S. Honda, G. Iattoni, D. S. Khetriwal, R. Kuehr und Y. Lobuntsova, „The Global E-Waste Monitor 2024," Geneva/Bonn, 2024.

[7] Secretariat of the Basel Convention, „Where are WEee in Africa?," Secretariat of the Basel Convention, Basel, 2011.

[8] M. Haas, „Smartphone-Markt: Konjunktur & Trends," Bitkom, Berlin, 2023.

[9] Europäische Union, „Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte," 4 Juli 2012. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj/deu. [Zugriff am Februar 2025].

[10] eurostat, „Waste statistics - electrical and electronic equipment," October 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment. [Zugriff am 25 Februar 2025].

[11] C. Baldé, E. D'Angelo, V. Luda, O. Deubzer und R. Kuehr, „Global Transboundary E-waste Flows Monitor - 2022," United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Bonn, Germany, 2022.

[12] O. Ogungbuyi, I. Chidi Nnorom, O. Osibanjo und M. Schluep, „e-Waste Country Assessment Nigeria," EMPA, Basel, Swiss, 2012.

[13] M. Gómez, S. Grimes, Y. Qian, Y. Feng und G. Fowler, „Critical and strategic metals in mobile phones: A detailed characterisation of multigenerational waste mobile phones and the economic drivers for recovery of metal value," *Journal of Cleaner Production,* Bd. 419, 2023.

[14] SCRREEN, „SCRREEN," 2023. [Online]. Available: https://scrreen.eu/crms-2023/. [Zugriff am Februar 2025].

[15] Trading Economics, „Welt - BIP," 2025. [Online]. Available: https://de.tradingeconomics.com/world/gdp. [Zugriff am Februar 2025].

[16] Rat der Europäischen Union, „Ein EU-Gesetz zu kritischen Rohstoffen für die Zukunft der EU-Lieferketten," 28 Januar 2025. [Online]. Available: https://www.consilium.europa.eu/de/infographics/critical-raw-materials/. [Zugriff am Februar 2025].

[17] International Standard, „ ISO 59004:2024 Circular economy - Vocabulary, principles and guidance for implementation," 2024. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/80648.html. [Zugriff am Februar 2025].

[18] Apple Sicherheitsupdates, „support.apple.com," Februar 2025. [Online]. Available: https://support.apple.com/de-at/HT201222. [Zugriff am Februar 2025].

[19] eurostat, „Disposal of ICT devices no longer in use," 17 Dezember 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_eco_dd__custom_13556290/default/table?lang=en. [Zugriff am Februar 2025].

[20] GSMA, „The Mobile Economy Europe 2023," GSMA Intelligence, 2023.

[21] eurostat, „Population and population change statistics," eurostat, 2025.

[22] eurostat, „Demography of Europe – 2023 edition," European Union, 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/demography-2023#population-structure. [Zugriff am Februar 2025].

[23] eurostat, „Sold production, exports and imports," 2 Februar 2025. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ds-056120__custom_13559227/default/table?lang=en. [Zugriff am Februar 2025].

[24] Apple iPhone 12, „Environmental Report," 13 10 2020. [Online]. Available: https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_12_PER_Oct2020.pdf.

[25] eurostat, „SDG 12 - Responsible consumption and production," April 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_12_-_Responsible_consumption_and_production. [Zugriff am Februar 2025].

[26] eurostat, „SDG 15 - Life on land," April 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_15_-_Life_on_land. [Zugriff am Februar 2025].

[27] eurostat, „Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations - open scope, 6 product categories (from 2018 onwards)," 29 Oktober 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waseleeos__custom_14303978/default/table?lang=en&page=time:2022. [Zugriff am Februar 2025].

[28] E. Emilsson, L. Dahllöf und IVL Swedish Environmental Research Institute, „Lithium-Ion Vehicle Battery Production Status 2019 on Energy Use, CO 2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling," Research Gate, Schweden, 2019.

[29] P. Rudorf, M. Nowak, S. Schlund und M. Frank, „Quantitative Ecological Key Figures at Model Level for Electronic End Devices," Electronic Goes Green, 2024.

[30] Die Europäische Kommission, „EMPFEHLUNG (EU) 2021/2279 DER KOMMISSION vom 15. Dezember 2021 zur Anwendung der Methoden für die Berechnung des Umweltfußabdrucks zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen entlang ihres Lebenswegs," Die Europäische Kommission, 2021.

[31] A.-M. Boulay, J. Bare, L. Benini, M. Berger, M. J. Lathuillière, A. Manzardo, M. Margni, M. Motoshita, M. Núñez, A. V. Pastor, B. Ridoutt, T. Oki, S. Worbe und S. Pfister, „The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)," *The International Journal of Life Cycle Assessment,* pp. 369-378, 2017.

[32] HandyVerkauf, „handyverkauf.net," [Online]. Available: https://www.handyverkauf.net/knowledgebase/handywert-ermitteln. [Zugriff am 02 2025].

[33] v. Oers, d. Koning, Guinée und Huppes, „Abiotic resource depletion in LCA," Road and Hydraulic Engineering Institute, 2002.

[34] N. Gupta, A. Trivedi und S. Hait, „Material composition and associated toxicological impact assessment of mobile phones," *Journal of Environmental Chemical Engineering,* Bd. 9, Nr. 1, 2021.

[35] M. A. Reuter, C. Hudson, A. van Schaik, K. Heiskanen, C. Meskers und C. Hagelüken, „Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure - A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel," United Nations Environment Programme, 2013.

Auftraggeber:

Refurbed Marketplace GmbH

Verfasst von:

Paul Rudorf (paul.rudorf@fraunhofer.at)

Stephan Martineau

Sascha Thöny

Fraunhofer Austria Research GmbH

Theresianumgasse 7

1040 Wien, Österreich

Zitiervorschlag:

P. Rudorf, S. Martineau und S. Thöny, „Whitepaper - Potenzial ungenutzter Smartphones in europäischen Haushalten“, Fraunhofer Austria Research GmbH, 2025.