



# Urban Mining für eine zirkuläre Wirtschaft

Wie hoch sind die Rohstoffpotenziale durch Urban Mining?

Sarah Fluchs / Adriana Neligan

Köln, 16.01.2023

**IW-Report 2/2023**

Wirtschaftliche Untersuchungen,  
Berichte und Sachverhalte



## Herausgeber

**Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V.**

Postfach 10 19 42

50459 Köln

Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) ist ein privates Wirtschaftsforschungsinstitut, das sich für eine freiheitliche Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung einsetzt. Unsere Aufgabe ist es, das Verständnis wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Zusammenhänge zu verbessern.

## Das IW in den sozialen Medien

Twitter

[@iw\\_koeln](https://twitter.com/iw_koeln)

LinkedIn

[@Institut der deutschen Wirtschaft](https://www.linkedin.com/company/institut-der-deutschen-wirtschaft)

Instagram

[@IW\\_Koeln](https://www.instagram.com/iw_koeln)

## Autoren

### **Sarah Fluchs**

Economist

[fluchs@iwkoeln.de](mailto:fluchs@iwkoeln.de)

0221 – 4981-838

### **Adriana Neligan**

Senior Economist

[neligan@iwkoeln.de](mailto:neligan@iwkoeln.de)

030 – 27877-128

## Alle Studien finden Sie unter

[www.iwkoeln.de](http://www.iwkoeln.de)

In dieser Publikation wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit regelmäßig das grammatische Geschlecht (Genus) verwendet. Damit sind hier ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten gemeint.

## Stand:

Januar 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Aktuelle Herausforderungen .....</b>	<b>7</b>
2.1 Trend 1: Erhöhter Rohstoffbedarf und Rohstoffsicherheit .....	8
2.2 Trend 2: Wachsender Konsum von Elektrogeräten und Aufbewahrung ungenutzter Geräte.....	9
2.3 Trend 3: Steigendes Abfallaufkommen .....	10
<b>3 Urbane Minen für eine zirkuläre Wirtschaft .....</b>	<b>11</b>
3.1 Was bedeutet „Urban Mining“? .....	11
3.2 Relevanz von Urban Mining in einer zirkulären Wirtschaft .....	14
<b>4 Rohstoffpotenzial von Elektrogeräten .....</b>	<b>17</b>
4.1 Urbane Mine: Smartphones .....	17
4.2 Urbane Mine: andere Elektrogeräte .....	21
<b>5 Zirkuläre Strategien mit Urban Mining.....</b>	<b>22</b>
5.1 Überblick über verschiedene zirkuläre Strategien .....	22
5.2 Anwendung zirkulärer Strategien aus Konsumentenperspektive.....	23
5.3 Urban Mining in einer Kreislaufwirtschaft .....	26
<b>6 Abstract.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>29</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>29</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>30</b>

## JEL-Klassifikation

D10 - Haushaltsverhalten und Familienökonomik: Allgemeines

O33 - Technischer Wandel: Entscheidungen und Tragweite; Diffusionsprozesse

Q01 - Nachhaltige Entwicklung

Q02 - Rohstoffmärkte

Q30 - Erschöpfbare Ressourcen und ihre Erhaltung: Allgemeines

Q53 - Luftverschmutzung; Wasserverschmutzung; Lärm; Sondermüll; Wiederverwertung von Hausmüll

## Zusammenfassung

Natürliche Ressourcen werden zunehmend knapper, unter anderem da weltweit derzeit deutlich mehr natürliche Rohstoffe abgebaut und verarbeitet werden, als die Erde in diesem Zeitraum zur Verfügung stellen kann. Als Nettoimporteur von Rohstoffen ist die deutsche Wirtschaft insbesondere bei Materialien für zukünftige Technologien auf den internationalen Handel angewiesen. Auch aus diesem Grund wird das Denken in Kreisläufen für die Verbesserung der Ressourceneffizienz und -schonung von zentraler Bedeutung sein. Der gesamte Lebenszyklus einer Ressource – von der Bereitstellung über ihre Nutzung bis hin zur wiedergewinnenden Nachsorge – muss entsprechend mitgedacht und optimiert werden.

In diesem Zusammenhang kann Urban Mining als Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft betrachtet werden. Durch die Nutzung Urbaner Minen kann zwar nicht das gesamte Konzept einer Kreislaufwirtschaft abgedeckt werden, jedoch kann Urban Mining als zusätzliche Rohstoffquelle eine wesentliche Rolle spielen. Insbesondere vor dem Hintergrund der angespannten Rohstoffsituation muss diese Möglichkeit gesamtwirtschaftlich genutzt werden, um zum einen Ressourcen zu schonen und wiederzuverwenden und um zum anderen die Abhängigkeit auf internationalen Rohstoffmärkten zu reduzieren. Das Materiallager, welches Deutschland aufgebaut hat, bietet ein wichtiges Potenzial, Rohstoffe, die bereits abgebaut wurden, wiederzuverwerten und im Kreislauf zu halten.

In diesem Bericht wird das Potenzial von Urban Mining für einen effizienteren Umgang mit natürlichen Ressourcen und somit für eine Kreislaufwirtschaft aufgezeigt. Am Beispiel der sogenannten „Schubladenhandys“ wird verdeutlicht, welche Möglichkeiten Deutschland hat, Materialien, die bereits im Kreislauf sind und nicht mehr genutzt werden, wiederzuverwenden. Rechnerisch zeigt sich, dass der Gesamtwert der ungenutzten Handys in Deutschland bei rund 240 Millionen Euro liegt. Gleichzeitig entspricht der Materialwert der im Jahr 2021 verkauften Smartphones in Deutschland 23,5 Millionen Euro. In einer theoretischen Rechnung kann die Urbane Mine der Schubladenhandys den Materialbedarf für neue Smartphones für über 10 Jahre decken. Allerdings sieht die Realität anders aus, da nicht alle Schubladenhandys dem Recycling zugeführt werden und außerdem komplett recycelbar sind. Dieses Verhältnis zeigt das gesamtwirtschaftlich enorme Potenzial des verfügbaren Materiallagers, welches für eine effiziente Kreislaufwirtschaft genutzt werden muss. Aus Konsumentenperspektive werden konkrete Handlungsmöglichkeiten erläutert, eine Kreislaufwirtschaft in den vier Strategien (Kreisläufe ermöglichen, schließen, schaffen und verlängern) zu unterstützen. Wichtig bleibt jedoch, dass das Recycling weiterhin optimiert werden muss, um ökonomisch sinnvoll zu sein und dass es nur eine unter vielen zirkulären Strategien darstellt. Gemäß der Abfallhierarchie sind diejenigen Strategien, die Abfälle vermeiden, also beim Produktdesign ansetzen, oder diejenigen, die Güter oder Komponenten wiederverwenden, denen des Recyclings vorzuziehen. Dies gilt ebenso für das urbane Materiallager.

# 1 Einführung

Natürliche Ressourcen werden von Jahr zu Jahr knapper. Begründet ist dies durch einen Verbrauch, der sich in den letzten 40 Jahren verdreifacht hat (UNEP, 2021). Das Vorkommen natürlicher Ressourcen und die Fähigkeit der Erde neue Ressourcen zu Verfügung zu stellen, bleiben jedoch begrenzt. Einerseits geht die zunehmende Rohstoffentnahme und -verwendung und der damit einhergehende Anstieg von Abfallmengen und Emissionen mit gravierenden Konsequenzen für das Wohlergehen von Menschen und Umwelt einher. So ist die Verarbeitung von Rohstoffen schätzungsweise für 30 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich (SRU, 2020). Andererseits wirkt sich die Ausbeutung natürlicher Rohstoffreserven auch auf die Versorgungssituation für die Wirtschaft aus. Insbesondere durch die zunehmende Nachfrage nach seltenen Rohstoffen.

Mit ihrer starken Exportorientierung befindet sich die deutsche Industrie in einem harten globalen Wettbewerb – kosteneffiziente Produktionsstrukturen sind somit zwingend notwendig und ein wesentlicher unternehmerischer Erfolgsfaktor. Materialkosten sind ein wesentlicher Kostenblock für Unternehmen. Rohstoffe werden auch für die deutsche Industrie zum einen knapper und zum anderen unsicherer bezogen auf die globale Bereitstellung. Dies ist darin begründet, dass Deutschland als Nettoimporteur von Rohstoffen auf internationalen Handel und Wirtschaftsverflechtungen angewiesen ist – insbesondere bei Materialien für die sogenannten technische Produkte. Im Jahr 2019 wurden beispielsweise 121 Millionen Tonnen Eisenerz importiert und gleichzeitig lediglich 588.200 Tonnen, also ein Bruchteil der Importe, inländisch entnommen (Destatis, 2021). Nicht-Eisenerze werden in Deutschland nicht abgebaut und entsprechend ausschließlich importiert. Folglich wird auch auf politischer Ebene die Notwendigkeit der Senkung der Rohstoffabhängigkeit Deutschlands und Europas von anderen Ländern diskutiert und durch politische Rahmenbedingungen flankiert. Analog zur Energieversorgung muss auch die Versorgung insbesondere mit kritischen Rohstoffen sichergestellt, diversifiziert und nachhaltig ausgelegt sein.

Da es mit der Sicherstellung der Verfügbarkeiten, Kostenmanagement, und Planungssicherheit verbunden ist, ist die Auseinandersetzung mit dem Thema Rohstoffeffizienz und Kreislaufführung insbesondere vor den aktuellen wirtschaftspolitischen Herausforderungen und Entwicklungen bezüglich Energie- und Rohstoffpreise durch internationale Lieferketten für Unternehmen sehr wichtig. Die deutsche Wirtschaft steht zur Sicherung der künftigen Rohstoffversorgung vor der Herausforderung, mit den verfügbaren Ressourcen schonend umzugehen. Begrenzte natürliche Ressourcen bei einer steigenden globalen Rohstoffnachfrage sowie die aktuelle wirtschaftspolitische Anspannung auf dem Weltmarkt sorgen dafür, dass viele deutsche Unternehmen bereits Maßnahmen ergreifen, um den Ressourcenverbrauch so weit wie möglich zu minimieren.

Entscheidend wird künftig das Denken in Kreisläufen sein, indem der gesamte Lebenszyklus einer Ressource – von der Bereitstellung (Extraktion/Aufbereitung) über ihre Nutzung (Produktion/Konsum) bis hin zur wiedergewinnenden Nachsorge (Kreislaufwirtschaft) – betrachtet wird (Neligan/Schmitz, 2017). Urban Mining kann in diesem Zusammenhang als Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft betrachtet werden, indem es zusätzliche Rohstoffquellen aufzeigt. Das Materiallager, welches die Menschheit in den letzten Dekaden aufgebaut hat, bietet ein enormes Potenzial, Rohstoffe, die bereits abgebaut wurden, weiterzuverwenden und im Kreislauf zu halten. Kombiniert mit den vier zirkulären Strategien – Kreisläufe ermöglichen, schaffen, verlängern und schließen – kann das urbane Materiallager auch nach den Zyklen von Wiederverwendung, Reparatur und Wiederaufbereitung als potenzielle Rohstoffquelle betrachtet werden. Rohstoffpotenziale wichtiger Materialien, wie Metalle, existieren in nicht mehr genutzten Elektrogeräten und müssen wiederverwendet werden,

um die Übernutzung natürlicher Ressourcen zu reduzieren. Urban Mining kann hier die Rolle spielen, diese Geräte als „last loop“ zu erfassen und als Sekundärrohstoffe in den Kreislauf zurückzubringen (Fraunhofer ISI, 2020).

Mit der europäischen grünen Wachstumsstrategie EU Green Deal strebt die Europäische Union (EU) an bis 2050 klimaneutral zu werden. Die Transformation zur klimaneutralen Wirtschaft geht mit einem hohen Rohstoffbedarf einher, was wiederum die Notwendigkeit einer Kreislaufwirtschaft unterstreicht. Der EU Green Deal benennt die Kreislaufwirtschaft explizit als eine Maßnahme, mit der die Treibhausgasemissionen in der EU reduziert werden können und unterstreicht, dass dazu die Mobilisierung der gesamten Industrie notwendig ist (Europäische Kommission, 2019). Zu den wichtigen Strategien und Regularien für eine effiziente Rohstoffnutzung auf europäischer Ebene zählen beispielsweise das Circular Economy Paket, damit verbunden das Thema Ökodesign sowie die Strategie zur Schonung natürlicher Ressourcen. Das Circular Economy Paket der EU hat den Zweck einen einheitlichen und kohärenten Rahmen für die Produktpolitik zu schaffen und die Vermeidung von Abfall zu fördern (Europäische Kommission, 2020). Der im September 2022 angekündigte EU Critical Raw Materials Act soll eine Sicherstellung kritischer Ressourcen in Europa unterstützen. Motiviert ist das Gesetz explizit durch die Tatsache, dass ohne einen sicheren und nachhaltigen Zugang zu den notwendigen Rohstoffen das europäische Ziel, der erste klimaneutrale Kontinent zu werden, gefährdet ist.

Auf nationaler Ebene existierten beispielsweise das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) sowie das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die Rohstoffstrategie. Das Ressourceneffizienzprogramm in seiner dritten Fortschreibung ist die nationale Strategie für die Entnahme und Nutzung von natürlichen Rohstoffen. Deren definiertes Ziel ist die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourceneinsatz, die Reduktion der damit verbundenen Umweltbelastung und die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Die Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist seit Herbst 2020 in Kraft und bezweckt die Förderung der Kreislaufwirtschaft und die Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Die Rohstoffstrategie, deren aktuelle Fassung aus Januar 2020 ist, setzt an der grundlegenden Problematik an, dass Rohstoffe am Anfang der industriellen Wertschöpfungskette stehen und eine sichere Verfügbarkeit sowie ihre nachhaltige Nutzung existenziell für nachgelagerte Wirtschaftsbereiche sind.

Auch im Bereich der Elektrogeräte existieren konkrete politische Ziele zur Ressourcenschonung durch eine Verlängerung der Produktlebensdauer. Der Aktionsplan für eine Circular Economy der EU beinhaltet eine "Initiative für zirkuläre Elektronik", die bestehende und neue Instrumente mobilisiert. Im Einklang mit dem politischen Rahmen für nachhaltige Produkte soll die Initiative verschiedene Maßnahmen umfassen. Leitgedanke ist hierbei, den Wertverlust zu vermeiden, der entsteht, wenn vollständig oder teilweise funktionsfähige Produkte ausrangiert werden, weil sie nicht repariert werden können, der Akku nicht ersetzt werden kann, die Software nicht mehr unterstützt wird oder die in den Geräten enthaltenen Materialien nicht wiederverwertet werden (Europäische Kommission, 2020). Zudem sollen ab Herbst 2024 EU-weit einheitliche Ladekabel für Smartphones und andere Elektrogeräte wie Tablets, E-Reader, Digitalkameras, Kopfhörer, tragbare Lautsprecher und Tastaturen verwendet werden mit dem Ziel Elektroschrott zu vermeiden.

Mit dem im Frühjahr novellierten Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) sollen unter anderem die Sammelquoten von Altgeräten in Deutschland erhöht werden, indem die Rücknahme erleichtert wird. Auch die Rücknahmeverpflichtungen für Altgeräte wurden in Deutschland verschärft, sodass unter anderem Lebensmittelgeschäfte und Discounter (ab 800 Quadratmeter) seit Juli 2022 zur Rücknahme verpflichtet sind. In diesem Zusammenhang hat die EU-Kommission neue Ökodesign-Maßnahmen für Smartphones, Tablets

und Laptops beschlossen, die im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie umgesetzt werden sollen. Zudem hat die EU-Kommission eine Überprüfung der Vorschriften zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, das heißt der RoHS-Richtlinie, eingeleitet. Ziel ist die Überprüfung der Wirksamkeit und Effizienz der darin genannten Ziele. Bezogen auf die Materiallager von Elektrogeräten wird auf EU-Ebene aktuell geprüft, inwiefern Anreize für die Rücknahme beziehungsweise Rückgabe von Kleinelektronik gesetzt werden können, die nicht mehr genutzt wird (Europäische Kommission, 2022). Eine weitere Maßnahme im Rahmen der Initiative ist die Einführung von Regulierungsmaßnahmen für Elektronik und IKT im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie, um sicherzustellen, dass die Geräte auf Energieeffizienz und Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Aufrüstbarkeit, Wartung, Wiederverwendung und Recycling ausgelegt sind (Europäische Kommission, 2020). Der kommende Ökodesign-Arbeitsplan soll weitere Einzelheiten dazu enthalten.

Ziel dieses Berichts ist es, das Potenzial des Urban Minings für einen effizienteren Umgang mit natürlichen Ressourcen und somit für eine Kreislaufwirtschaft aufzuzeigen. In diesem Papier wird das Konzept des Urban Minings im Zusammenhang mit der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft erläutert und mit aktuellen Zahlen hinterlegt. Am Beispiel der sogenannten „Schubladenhandys“ wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten ein Nettoimporteur von Rohstoffen wie Deutschland hat, Materialien, die bereits im Kreislauf sind und nicht mehr genutzt werden, wiederzuverwenden. Im Kern werden anhand dieses Beispiels aus Konsumentenperspektive konkrete Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt, eine Kreislaufwirtschaft in den vier Strategien (Kreisläufe ermöglichen, schließen, schaffen und verlängern) zu unterstützen. Basierend darauf wird der Beitrag der zirkulären Strategien zu einer Verbesserung des Rohstoffpotenzials von elektronischen Konsumgütern diskutiert.

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 beschreibt den Status Quo und aktuelle Herausforderungen im Bereich der Ressourcennutzung sowie des Abfallaufkommens und des Konsums von Elektrogeräten.
- Kapitel 3 stellt die Grundsätze des Urban Minings vor und stellt die Relevanz im Rahmen einer effizienten Kreislaufwirtschaft her, bevor in Kapitel 4 das Rohstoffpotenzial ungenutzter Elektrogeräte näher beleuchtet und beziffert wird, um ein konkretes Beispiel für die Nutzung der urbanen Minen zu geben.
- In Kapitel 5 werden zirkuläre Strategien für das Beispiel der Elektrogeräte vorgestellt, die aus Konsumentenperspektive verfolgt werden können, um ein zirkuläres Wirtschaften zu fördern.

## 2 Aktuelle Herausforderungen

Eine wachsende Bevölkerung in zunehmend industrialisierten Volkswirtschaften mit steigendem Lebensstandard erfordert mehr Wohnungen, Infrastruktur und Produkte (Fraunhofer ISI, 2020). Das sorgt für einen erhöhten Rohstoffbedarf einerseits und für steigende Abfallmengen andererseits.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die wesentlichen Trends dargestellt:

- Trend 1: Erhöhter Rohstoffbedarf und Rohstoffsicherheit
- Trend 2: Wachsender Konsum von Elektrogeräten und Aufbewahrung ungenutzter Geräte
- Trend 3: Steigendes Abfallaufkommen



## 2.1 Trend 1: Erhöhter Rohstoffbedarf und Rohstoffsicherheit

Der weltweite Rohstoffbedarf steigt zusammen mit der zunehmenden Weltbevölkerung an. Diese Entwicklung wird unter anderem durch das Wirtschaftswachstum der aufstrebenden Schwellenländer getrieben. Zwar findet in den westlichen Industrieländern eine relative Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch im Einklang mit den politisch gesetzten Zielen, zum Beispiel im EU Green Deal, statt, jedoch wird eine weiterhin wachsende Weltbevölkerung einen insgesamt steigenden Rohstoffbedarf zur Folge haben, da die Entkopplung nicht in allen Ländern stattfindet. Seit Mitte November 2022 leben mehr als 8 Milliarden Menschen auf der Erde. Prognosen der Vereinten Nationen sagen 9,4 bis 10 Milliarden Menschen im Jahr 2050 voraus (UN, 2022).

Auch durch die Entwicklung und Verbreitung klimafreundlicher Technologien, die zur Erreichung der Klimaziele notwendig sind, wird ein steigender Ressourcenbedarf prognostiziert. Die Internationale Energieagentur (IEA, 2022) beziffert in einer aktuellen Studie, dass in einem Szenario, welches mit dem Pariser Abkommen im Einklang ist, der Anteil der sauberen Energietechnologien an der Gesamtnachfrage in den nächsten zwei Jahrzehnten auf über 40 Prozent für Kupfer und Seltene Erden, 60-70 Prozent für Nickel und Kobalt und fast 90 Prozent für Lithium ansteigen wird. Schon heute haben Elektrofahrzeuge und Batteriespeicher die Unterhaltungselektronik als größten Lithiumverbraucher abgelöst. Es zeichnet sich eine Diskrepanz zwischen den benötigten und verfügbaren Mengen dieser Rohstoffe ab.

Deutschland muss einen hohen Anteil der Rohstoffe, die zur Herstellung von Produkten benötigt werden, importieren. Im Jahr 2019 hat Deutschland etwa 678,8 Millionen Tonnen aller insgesamt eingesetzten Materialien (Rohstoffe, Halbwaren und Fertigwaren) importiert, während insgesamt 945,1 Millionen Tonnen inländisch gewonnen wurden. Diese Zahlen zeigen, dass die mengenbasierten Importe insgesamt etwa 40 Prozent der eingesetzten Materialien ausmachen – bei technischen Produkten ist die Quote deutlich höher (Destatis, 2021). Insbesondere von den Erzen, zu denen neben Eisenerzen auch Nicht-Eisenerze, wie beispielsweise Aluminium- und Kupfererze, gehören, werden in Deutschland nur Eisenerze inländisch entnommen. Hierbei ist das Verhältnis der inländischen Entnahme und den Importen noch deutlich unausgewogener. Während im Jahr 2019 0,6 Millionen Tonnen Eisenerz inländisch entnommen wurden, betrug die gesamte Importmenge, das heißt die Summe aus importierten Rohstoffen, Halbwaren und Fertigwaren, über 121 Millionen Tonnen, also ein Vielfaches (Destatis, 2021).

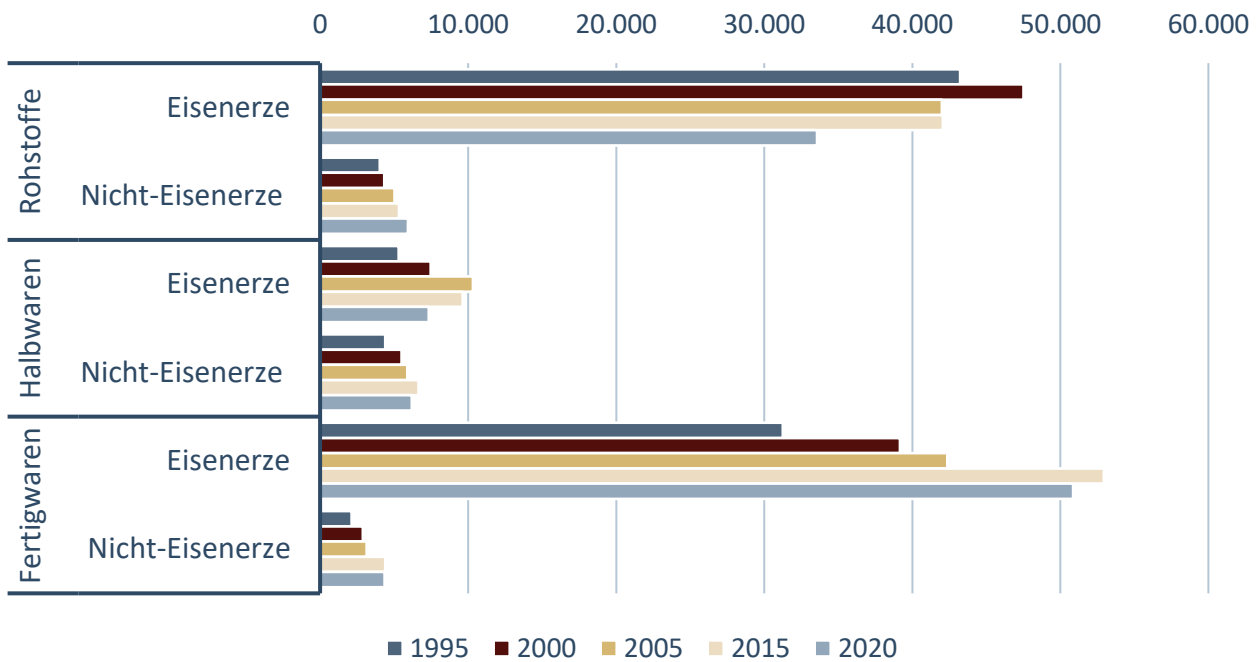
Aufgrund der geographischen Konzentration einiger Rohstoffvorkommen entsteht so eine hohe Rohstoffabhängigkeit von wenigen Ländern, welche verschiedene negative Auswirkungen haben kann. Beispielsweise können Ressourcenkonflikte entstehen. Gemessen an internen und externen Konflikten, Rechtsstaatlichkeit, Korruption und politischer und wirtschaftlicher Stabilität müssen insbesondere einige ressourcenreiche außereuropäische Länder als Risikoländer eingestuft werden. Die Möglichkeit, dass Konflikte eskalieren und zu Kriegen werden, gefährdet die Sicherstellung der Rohstoffgewinnung und -exporte (Bähr, 2020).

Je nach Abbaubedingungen und lokaler Gegebenheiten kann zusätzlich eine Verlagerung von Umweltwirkungen in die jeweiligen Abbauländer geschehen. Besonders relevant ist dieser Punkt für die als versorgungskritisch eingestuften Edel- und Sondermetalle, die wiederum in vielen technischen Produkten vorkommen. Das Ausmaß der Umweltwirkungen ist neben den entnommenen Rohstoffen unter anderem vom Fertigungsgrad abhängig. So müssen für importierte Fertigwaren deutlich mehr Rohstoffe im Ursprungsland abgebaut werden, abhängig von der jeweiligen Konzentration und den lokalen Abbaugegebenheiten. Ein Beispiel: In einem

Mittelklasse-PKW steckt ein Rohstoffeinsatz von insgesamt circa 15 Tonnen, ein Vielfaches des tatsächlich verbauten Materials (UBA, 2017). Abbildung 2-1 zeigt, dass Deutschland hauptsächlich Eisenerze importiert und dies im Wesentlichen in Form von Rohstoffen und Fertigwaren. Gleichzeitig ist folgender Trend zu beobachten: der Import von Fertigwaren steigt, während der Import von Eisenerz in Form von Rohstoffen abnimmt.

**Abbildung 2-1: Deutschlands Importe von Erzen nach Fertigungsgrad**

Angaben in 1.000 Tonnen



Quelle: Destatis, 2021

## 2.2 Trend 2: Wachsender Konsum von Elektrogeräten und Aufbewahrung ungenutzter Geräte

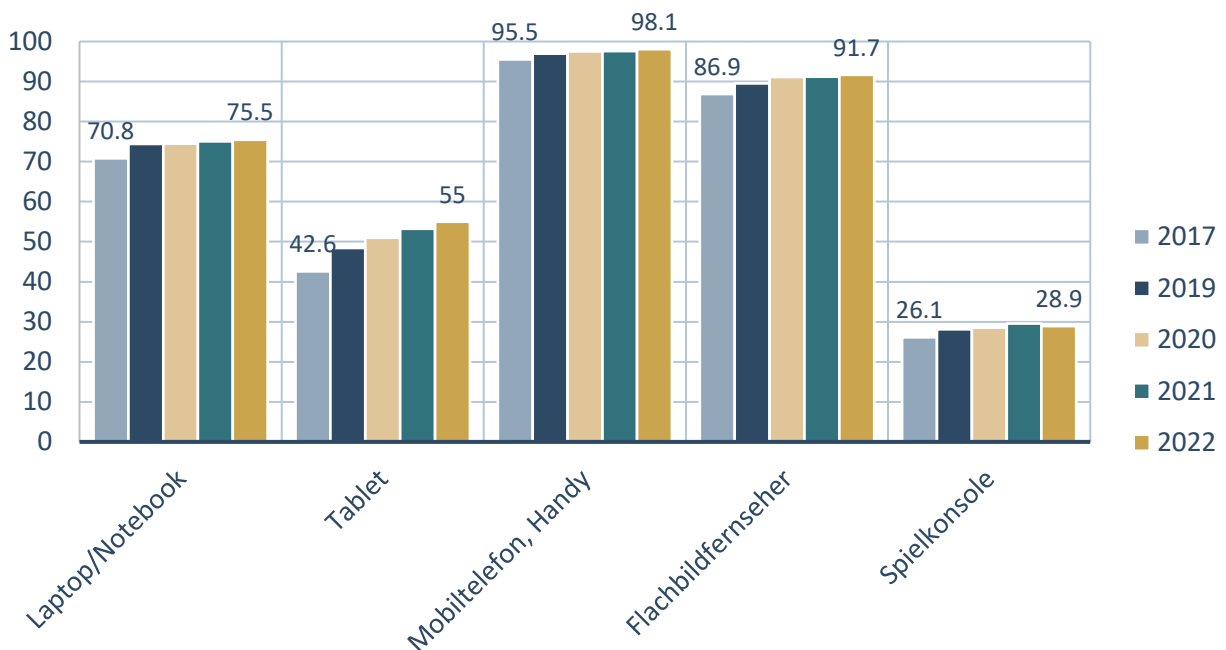
Haushalte besitzen immer mehr Unterhaltungselektronik sowie Informations- und Kommunikationstechnik – die Nachfrage nach Elektro- und Elektronikgeräten steigt. Auch in Deutschland, wo der Ausstattungsgrad der meisten Haushalte mit Geräten schon seit einigen Jahren sehr hoch ist, verzeichnen die letzten Jahre weitere Zuwächse für viele Gerätegruppen (Abbildung 2-2). Fast jeder Haushalt besitzt heutzutage ein Handy, neun von zehn Haushalten einen Flachbildfernseher und drei Viertel der Haushalte ein Laptop/Notebook. Tablets, bei denen der Ausstattungsgrad geringer ist, verzeichnen zwischen 2017 und 2022 den höchsten Zuwachs und sind heutzutage in mehr als jedem zweiten Haushalt zu finden. Diese Entwicklung bedeutet eine steigende Nachfrage nach den entsprechenden Rohstoffen und letztlich einen wachsenden Materialbestand.

Um diese steigende Nachfrage zu bedienen und gleichzeitig primäre Ressourcen zu schonen, muss die Nutzungsdauer maximiert werden und insbesondere die ungenutzten Geräte in den Haushalten als Rohstoffquelle begriffen werden. Ungenutzt binden sie wertvolle Ressourcen, ohne einen Nutzen zu stiften.

Betrachtet man beispielhaft die Produktgruppe der Smartphones, welche viele wichtige und wertvolle Metalle enthalten, lassen sich die hohen Verkaufszahlen – 20,4 Millionen Stück in Deutschland im Jahr 2021 – den geringen Recyclingquoten gegenüberstellen (Haas, 2022). Innerhalb von zwei Jahren hat sich die Anzahl der Schubladenhandys in Deutschland um etwa 11 Millionen Stück auf 210 Millionen Geräte im Jahr 2022 erhöht (Bitkom, 2022b). Dieser starke Zuwachs ungenutzter Geräte in den Haushalten zeigt, dass der steigende Besitz von Smartphones nach der Nutzung zu einer größeren Menge an nicht mehr eingesetzten Geräten führt und bislang überwiegend noch nicht den Weg zurück in die entsprechenden Kreisläufe zur Wiedernutzung/-aufbereitung oder -verwertung findet. Die Kreislaufwirtschaft steht hier noch am Anfang.

### Abbildung 2-2: Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Produkten in Deutschland

Ausstattungsgrad in Prozent im Zeitvergleich



Quelle: Destatis, 2022a

### 2.3 Trend 3: Steigendes Abfallaufkommen

Der steigende Konsum und der damit verbundene Verbrauch an Rohstoffen führt nicht nur zu einer höheren Entnahme sowie zu höheren Materialbeständen, sondern auch zu einem steigenden Abfallaufkommen, wenn die Produkte am Ende des Lebenszyklus entsorgt werden. Je kürzer die Lebenszyklen beispielsweise durch fehlende Reparaturmöglichkeiten oder Anreize der Wiederverwendung sind, desto schneller werden Produkte zu Abfall. Um das Abfallaufkommen und die damit verbundenen negativen Konsequenzen für Mensch und Umwelt zu reduzieren, müssen Ressourcen besser genutzt und sparsamer eingesetzt werden. Die erste Stufe der Abfallhierarchie – die Vermeidung von Abfällen – muss in diesem Sinne oberste Priorität haben (Fluchs/Schleicher, 2021).

Insbesondere die Mengen an Elektroschrott nehmen sowohl weltweit als auch in Deutschland zu. Weltweit ist der Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall der am schnellsten wachsende Haushaltsabfallstrom. Der globale E-Abfallmonitor der UN prognostiziert, dass der weltweite Elektroschrott, das heißt die Summe aller

ausgerangierten Produkte mit Batterie oder Stecker, bis 2030 insgesamt 74 Millionen Tonnen erreichen wird, was fast einer Verdoppelung des Elektroschrotts in nur 16 Jahren entspricht (Forti et al., 2020). Der Elektroschrott in Deutschland betrug im Jahr 2019 rund 947.000 Tonnen (Eurostat, 2022), was 11,4 Kilogramm pro Kopf entspricht.

Es besteht entsprechend national sowie global die Herausforderung, diesen Abfall zu nutzen und die enthaltenen Rohstoffe wiederzugewinnen. Aggregiert auf den gesamten Elektroschrott wurden im Jahr 2019 weltweit nur 17,4 Prozent gesammelt und recycelt. Der restliche Teil der globalen Elektroschrottströme ist nicht dokumentiert (siehe Abbildung 2-3). Das bedeutet, dass Gold, Silber, Kupfer, Platin und andere hochwertige Materialien, deren Wert konservativ auf 57 Milliarden US-Dollar geschätzt wird, größtenteils deponiert oder verbrannt wurden, anstatt zur Behandlung und Wiederverwendung gesammelt zu werden. Dies entspricht einem Wert, der das Bruttoinlandsprodukt der meisten Länder übersteigt (Forti et al., 2020). Für die EU, dem für Deutschland relevantesten Binnenmarkt, liegt dieser Wert bei 40 Prozent (Eurostat, 2021).

**Abbildung 2-3: Globale Elektroschrottströme im Überblick**



Die Daten basieren auf der Annahme, dass der gesammelte Elektroschrott auch recycelt wird. Ein Großteil der Angaben wurde aufgrund der schlechten Datenlage in einigen Ländern basierend auf Umfragen und Literatur geschätzt.

Quelle: Forti et al., 2020

## 3 Urbane Minen für eine zirkuläre Wirtschaft

### 3.1 Was bedeutet „Urban Mining“?

#### Definition

Urban Mining betrachtet das anthropogene Lager, also den vom Menschen erschaffenen Bestand an Materialien. Der Kerngedanke hinter Urban Mining ist die Nutzung dieses anthropogenen Lagers als Rohstoffquelle. Da in den letzten Dekaden große Bestände an Material beispielsweise in Form von Infrastrukturen und Gebäuden sowie langlebigen Konsumgütern aufgebaut wurden, bietet dieses Lager ein großes Potenzial einer Sekundärrohstoffquelle. Urban Mining bezeichnet die Bewirtschaftung dieses anthropogenen Lagers, welches in seiner Definition einerseits sowohl genutzte als auch ungenutzte und andererseits sowohl mobile als auch stationäre Güter miteinschließt. An dieser Stelle wird deutlich, dass Urban Mining im Vergleich zur Recyclingwirtschaft eine andere Perspektive einnimmt und als Ergänzung der ursprünglichen Abfallwirtschaft

betrachtet werden kann. Nicht das gesamte anthropogene Lager ist für eine Sekundärrohstoffwirtschaft relevant, unter anderem aus gesundheits- oder umweltschutzrelevanten Gründen beziehungsweise aufgrund möglicher Schadstoffe, die eine Weiternutzung der Ressourcen unmöglich machen (BMUV, 2020).

Das anthropogene Lager wird in verschiedenen Quellen unterschiedlich stark differenziert betrachtet. So unterscheidet das Umweltbundesamt beispielsweise fünf (langlebige) Gütergruppen: Gebäude, leitungsgebundene Infrastrukturen, Haustechnik und langlebige Kapital- und Konsumgüter (UBA, 2017). In der Kartierung des anthropogenen Lagers wird eine feinere Unterteilung in neun Sektoren vorgenommen:

- Technische Güter im Hochbau
- Mobile Güter in Gebäuden (ohne Elektrogeräte)
- Mobile Güter in Gebäuden (Elektrogeräte)
- Stromerzeugungsanlagen
- Stromnetze
- Fahrzeuge
- Verkehrsinfrastruktur
- Industrieanlagen
- Maschinen

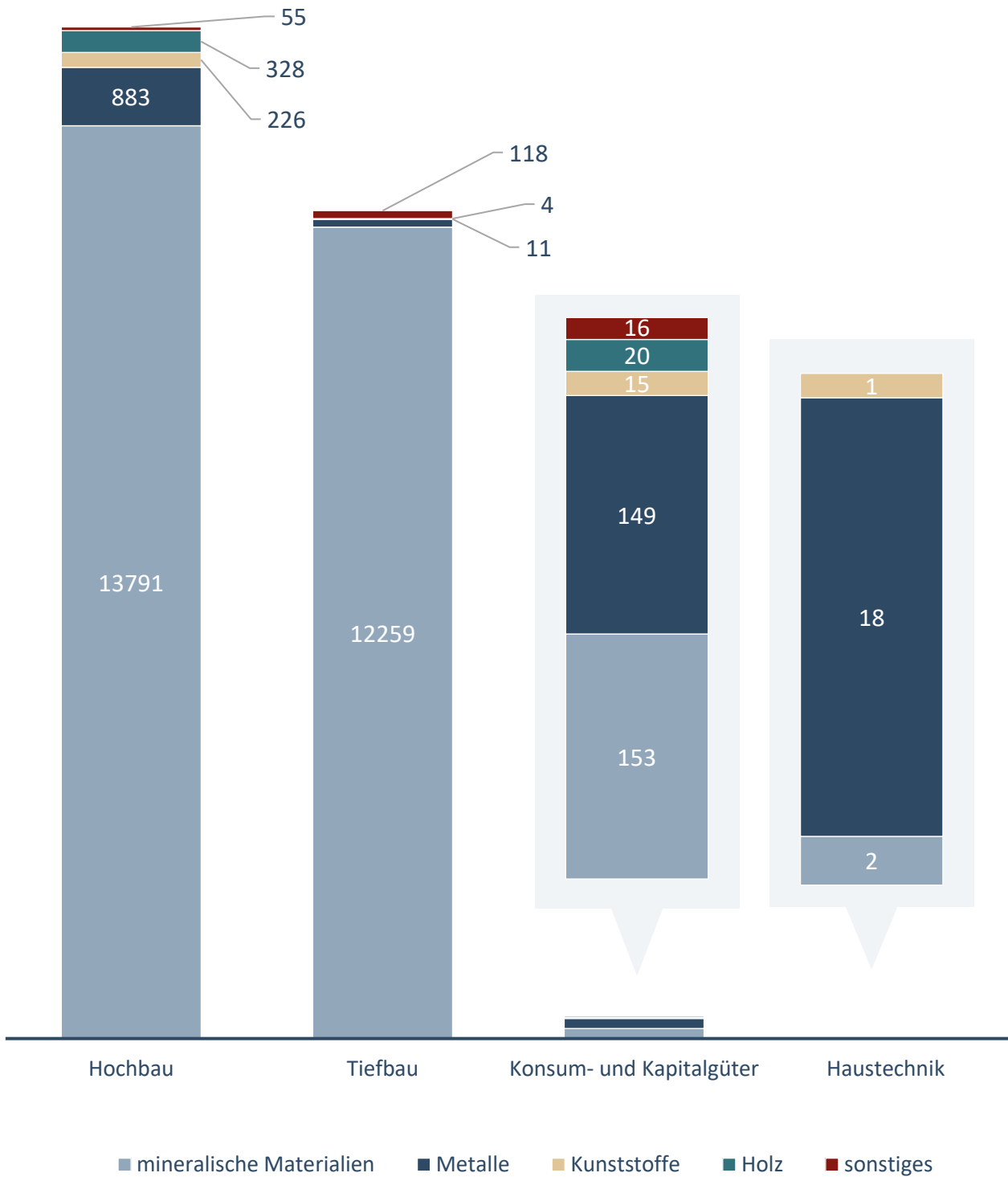
Der Fokus dieses Berichts soll in der einen Dimension auf ungenutzten Gütern liegen und in der anderen auf mobilen Gütern in Gebäuden (Elektrogeräte). Hintergrund ist der, dass Güter, die bereits das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben und mobil sind, ein sehr leicht zu hebendes Rohstoffpotenzial bergen und außerdem relevante und wertvolle Rohstoffe beinhalten, für die sich eine Sekundärwirtschaft aus wirtschaftlichen und politischen Gründen besonders lohnt. Während der Kerngedanke, nicht mehr gebrauchte Güter zu nutzen, nicht neu ist, ist es die Erkenntnis über das Ausmaß und die Tragweite des Materialbestands einerseits und des Materialhungers andererseits, die die zukünftige Bedeutung von Urban Mining untermauern.

### Ausmaß des Urban Minings

Das anthropogene Lager in Deutschland umfasst große Materialmengen und wächst weiterhin an. Bereits vor fünf Jahren umfasste es 342 Tonnen Material pro Kopf und es ist davon auszugehen, dass die Menge in den letzten Jahren weiter zugenommen hat (UBA, 2017). Zusammengesetzt sind sie zu einem Großteil aus mineralischen Materialien (317 Millionen Tonnen) gefolgt von Metallen mit einer deutlich geringeren Menge von 14 Tonnen (UBA, 2017). Das anthropogene Lager in Deutschland entsprach im Jahr 2010 in etwa der Summe aller Rohstoffe, die weltweit im Jahr 2000 abgebaut wurde und über 80 Prozent davon sind auf den Zuwachs des Lagers seit 1960 zurückzuführen (BMUV, 2020). Abbildung 3-1 zeigt eine Aufteilung des anthropogenen Lagers nach Gütergruppen in Deutschland für den Zeitpunkt der letzten Kartierung im Jahr 2010. Aktuellere Daten sind nicht verfügbar. Auf den ersten Blick wird deutlich, dass das Lager der langlebigen Konsumgüter massebezogen einen sehr kleinen Anteil am Gesamtlager ausmacht. Seine Relevanz ergibt sich jedoch aus den eingesetzten Materialien, das heißt den hohen Anteilen an verbauten Metallen, die für eine erneute Verwendung besonders relevant sind. Deutlich wird dies durch den Wert der eingesetzten Rohmaterialien, der zum Zeitpunkt der letzten Kartierung für das gesamte Lager auf 1.300 Milliarden Euro geschätzt wurde, wobei Metalle 50 Prozent dieses Werts ausmachen (UBA, 2017). Abbildung 3-2 zeigt den möglichen Wert der im globalen Elektroschrott enthaltenen Rohstoffe für das Jahr 2019, wobei deutlich wird, dass Eisen, Kupfer und Gold die höchsten Werte aufweisen. Die entsprechenden Werte für die anderen Materialien sind trotz ihres deutlich höheren Volumens aufgrund der niedrigeren Rohstoffpreise geringer.

**Abbildung 3-1: Aufteilung des anthropogenen Lagers nach Gütergruppen in Deutschland**

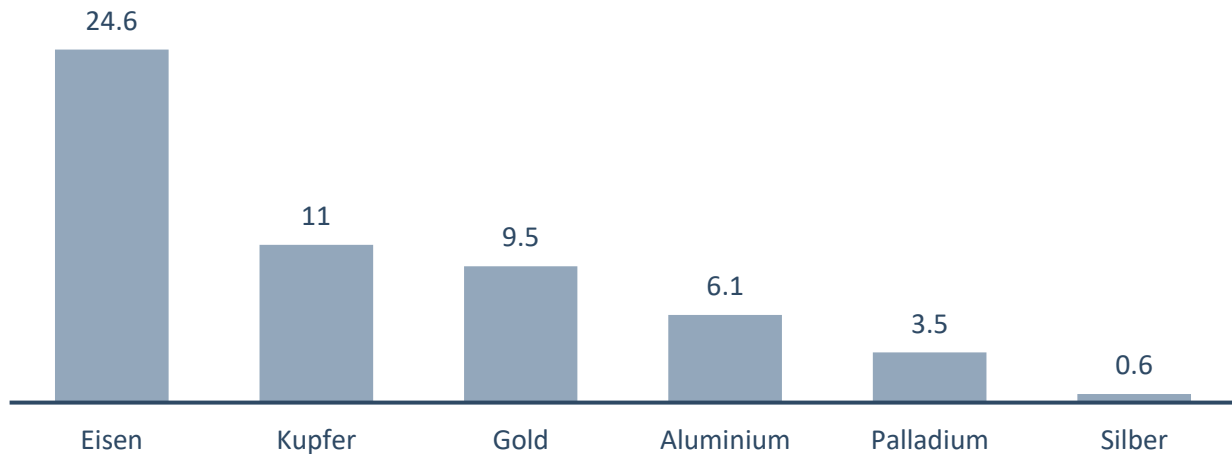
Daten für den Zeitpunkt der letzten Kartierung im Jahr 2010



Quelle: UBA, 2017

**Abbildung 3-2: Potenzieller Wert der im globalen Elektroschrott enthaltenen Rohstoffe für das Jahr 2019**

Angaben in Milliarden US-Dollar



Quelle: Forti et al., 2020

Für einige Rohstoffe sind die anthropogenen Lager inzwischen auf eine signifikante Größenordnung gegenüber den geologischen Ressourcen angewachsen. So wurden die weltweiten anthropogenen Ressourcen von Kupfer bei der letzten Kartierung im Jahr 2010 beispielsweise auf bis zu 400 Millionen Tonnen geschätzt, was knapp 60 Prozent der geologischen Reserven für Kupfer und knapp 20 Prozent der Kupferressourcen entspricht (UBA, 2017). Schreibt man die Entwicklung der letzten Jahre fort, so ist davon auszugehen, dass die geologischen Vorräte durch Extraktion weiter abgenommen haben und das anthropogene Lager währenddessen weitergewachsen ist.

### 3.2 Relevanz von Urban Mining in einer zirkulären Wirtschaft

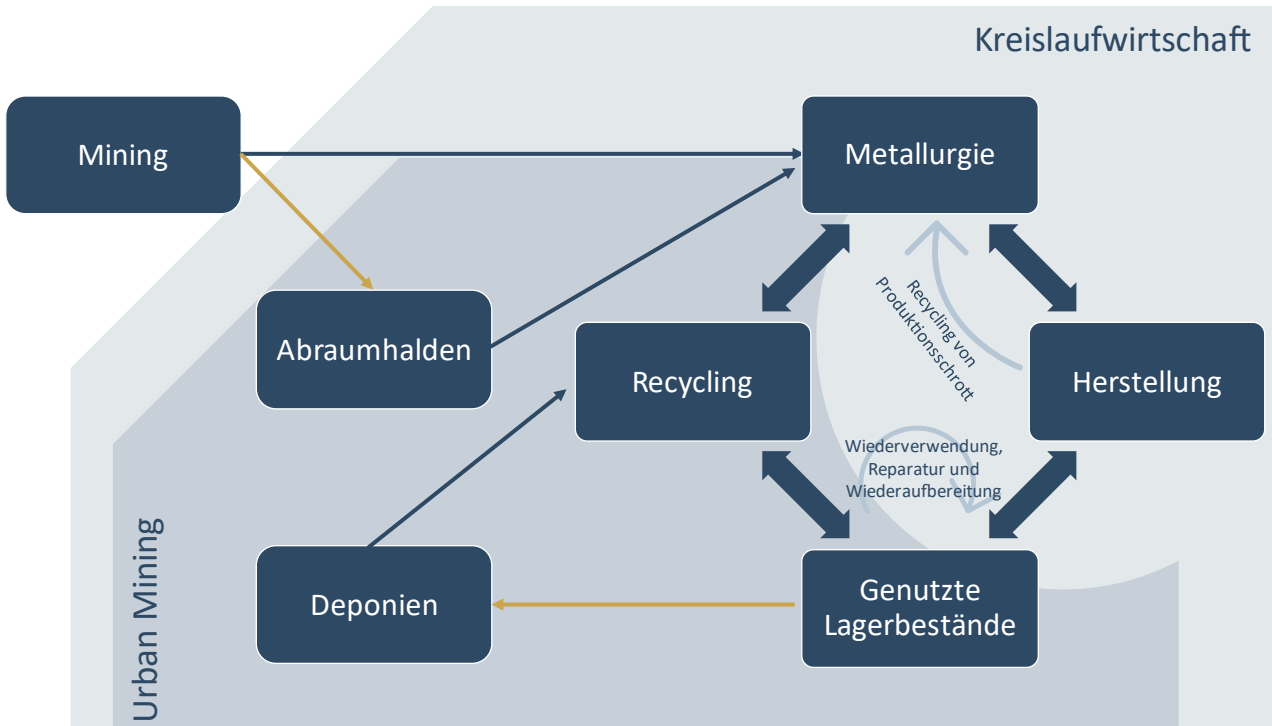
Das übergeordnete Ziel einer Kreislaufwirtschaft macht das Denken in Stoffströmen mit der Perspektive auf den gesamten Produktlebenszyklus notwendig. Urban Mining kann hier als strategischer Ansatz im Rahmen des Stoffstrommanagements unterstützen, die Potenziale der Kreislaufwirtschaft zu heben. Konkret umfasst dies unter anderem: eine bessere Nutzung von Sekundärrohstoffquellen zur Reduzierung der Rohstoffabhängigkeiten von anderen Ländern, eine bessere Ausnutzung knapper Ressourcen, eine gesteigerte Abfallbewältigung sowie eine ökologische Entlastung insgesamt (UBA, 2017).

Urban Mining versucht nicht nur den Abfall von heute zu managen, sondern auch den Wert, der in den Abfällen von morgen enthalten ist, indem das Materiallager als Rohstoffpotenzial betrachtet wird (Fraunhofer ISI, 2020). Es kann als letzter Kreislauf im Produktlebenszyklus agieren und somit ein wichtiger Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft sein, sie jedoch nicht vollumfänglich umfassen (Abbildung 3-3). Damit Urban Mining eine Kreislaufwirtschaft entsprechend unterstützen kann, müssen die Materialien in Deutschland verbleiben, um wiedergenutzt und recycelt zu werden. Ein wesentliches Problem in diesem Zusammenhang ist jedoch, dass die Exportquote der gebrauchten Materialien sehr hoch ist und die Abflüsse aus dem anthropogenen Lager somit keine Kreislaufwirtschaft in Deutschland unterstützen, sondern in andere EU-Staaten beziehungsweise ins außereuropäische Ausland exportiert werden. Beispielsweise wurden im Jahr 2020 insgesamt

1,6 Millionen Tonnen Abfälle und Schrott aus NE-Metallen sowie 8,6 Millionen Tonnen Abfälle und Schrott aus Eisen und Stahl ins Ausland exportiert (UBA, 2021).

### Abbildung 3-3: Die Rolle des Urban Mining in einer Kreislaufwirtschaft

Urban Mining kann die Kreislaufwirtschaft unterstützen, indem ausrangierte Produkte als Rohstoffquelle betrachtet und genutzt werden.



Quelle: Fraunhofer ISI, 2020

Die Kreislaufwirtschaft und das Urban Mining haben nicht immer die gleichen Zielsetzungen. Maßnahmen zur Ressourceneffizienz im Rahmen der Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft sind ein Beispiel. Sie erfordern, Produkte mit weniger, umweltschonenderen oder leichter verfügbaren Rohstoffen herzustellen, wodurch Geräte kleiner geworden sind und teure Metalle durch andere Materialien ersetzt wurden. Diese Entwicklung verringert die potenziellen Einnahmen aus dem Recycling, während der Aufwand für die Materialtrennung aufgrund der geringen Größe der Geräte steigt (Fraunhofer ISI, 2020).

Die Nutzung urbaner Minen kann Materialkosten im Produzierenden Gewerbe senken und die inländische Wertschöpfung steigern, weshalb auch ökonomische Gründe für Urban Mining sprechen können. Eine Auswahl der Vor- und Nachteile von Urban Mining wird in folgender Tabelle 3-1 kurz vorgestellt:



**Tabelle 3-1: Vor- und Nachteile von Urban Mining**

Eine Übersicht

Vorteile (gegenüber der Primärrohstoffextraktion)	Nachteile
<b>Produktionsaufwand:</b> Das anthropogene Lager kann räumlich flexibel durch Datenauswertung aufgefunden und genutzt werden, während das Auffinden von geologischen Vorräten in Form von Ressourcen und Reserven zeit- und kostenintensiv ist.	<b>Angebotsflexibilität:</b> Die nutzbaren Mengen können nicht komplett flexibel adaptiert und auf die Nachfrage abgestimmt werden.
<b>Wertstoffkonzentration:</b> Der Wertstoffgehalt von Metallen ist im anthropogenen Lager deutlich höher, da er dort oft in Reinform oder hochlegiert verarbeitet ist. Ein Beispiel sind Kupferleitungen, von denen ein Meter aus dem Informations- und Kommunikationsbereich genauso viel Metall beinhalten, wie 2,5 Tonnen Erz, aus dem der Rohstoff Kupfer gewonnen wird (acatech, 2021).	<b>Wertstoffaufbereitung:</b> Die Aufbereitung der sich ändernden Materialverbände in den Produkten kann zeit- und kostenintensive Prozesse erfordern. Zudem kann die Garantie einer gewissen Rohstoffqualität gegebenenfalls nicht für jeden Fall und jedes Material umfassend gewährleistet und nachgewiesen werden.
<b>Transport:</b> Durch eine deutlich geringere Entfernung sind die Transportkosten beim Urban Mining deutlich geringer und die Infrastruktur ist entsprechend gut ausgebaut.	<b>Sammelquoten:</b> Durch die dezentrale Verteilung der Urbanen Minen kann die Sammlung mit hohem Aufwand und Entfernungen verbunden sein.
<b>Umwelt:</b> Die Auswirkungen auf die Umwelt sind bei der Primärrohstoffextraktion teilweise durch Eingriffe in Ökosysteme, die Freisetzung giftiger Substanzen oder einen hohen Energie- und Wassereinsatz deutlich höher.	<b>Stückzahlen:</b> Es besteht ein geringer Technisierungsgrad in der Aufbereitung der Materialien aus den entsprechenden Gütergruppen.
<b>Akzeptanz:</b> Rivalitäten bezüglich der Nutzungsrechte bedingen oft Auseinandersetzungen in den Regionen, in denen vermehrt Primärrohstoffe abgebaut werden. Die Akzeptanz für die Nutzung von Urban Mining kann im Vergleich deutlich höher sein.	<b>Lagerstätten:</b> Die Erschließung der Lagerstätten und deren Transparenz ist bisher relativ niedrig.

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis von UBA (2017)

Unternehmen müssen Anpassungen an Produkt- und Dienstleistungssystemen entlang der gesamten Wertschöpfung, das heißt im Design, der Produktion sowie der Nutzung und Wiederverwendung von Produkten, vornehmen, um eine Kreislaufwirtschaft gesamtwirtschaftlich aufzubauen. Die vorliegende Studie nutzt Elektrogeräte beziehungsweise das Smartphone im Speziellen als Beispiel, um aus Konsumentenperspektive aufzuzeigen, welche Möglichkeiten durch Urban Mining bestehen, Rohstoffe einzusparen. Der Fokus liegt dabei auf dem ungenutzten Teil der Rohstoffe, also den sogenannten „Schubladenhandys“, die in deutschen Haushalten lagern.

## 4 Rohstoffpotenzial von Elektrogeräten

### 4.1 Urbane Mine: Smartphones

In Smartphones befinden sich wertvolle Rohstoffe, insbesondere Metalle, die durch ihren hohen Materialwert und ihre guten Recyclingeigenschaften eine gute Basis als urbane Minen bieten. Für das Urban Mining ist der Zeitpunkt relevant, an dem ein Produkt für die Rückgewinnung von Rohstoffen zur Verfügung steht, was nicht immer mit der technischen Verfügbarkeit übereinstimmen muss, da insbesondere im Elektrogerätebereich oft funktionsfähige Produkte ausrangiert werden. Smartphones sind ein gängiges Beispiel für diese Tatsache. Sie verbleiben als Ersatzgeräte in der Schublade.

Die in Kapitel 3 genannten möglichen Zielkonflikte von Kreislaufwirtschaft und Urban Mining lassen sich am Beispiel des Smartphones beziehungsweise den Edelmetallen in deren Leiterplatten verdeutlichen. Der Edelmetallgehalt der Leiterplatten ist im Zeitraum zwischen 2012 und 2017 erheblich gesunken (40 Prozent bei Gold, 30 Prozent bei Palladium und 70 Prozent bei Silber) bei gleichzeitiger Steigerung der Leistung (Bookhagen et al., 2020). Die Folge ist ein sinkender Materialwert pro Einheit und damit eine Reduzierung der Rentabilität eines späteren Recyclings (Fraunhofer ISI, 2020). Dieser Zusammenhang betont die Wichtigkeit, zirkuläre Strategien ganzheitlich zu begreifen und Urban Mining als ein Teilaspekt einer Kreislaufwirtschaft zu betrachten, in der es wesentliche Strategien zur Verlängerung, Ermöglichung und Schaffung von Kreisläufen gibt. Diese Strategien müssen vorrangig zu einem Recycling umgesetzt werden, um gesamtwirtschaftlich erfolgreich zu sein.

#### Hohe Nachfrage nach Smartphones

In Deutschland wurden im Jahr 2021 insgesamt 20,4 Millionen neue Smartphones verkauft. Verglichen mit dem vorherigen Jahr ist der Absatz damit um circa 1,6 Millionen Geräte zurückgegangen, bleibt jedoch weiterhin auf hohem Niveau. Im Jahr 2022 wird mit einem Absatz von etwa 21,9 Millionen Smartphones gerechnet (Bitkom, 2022a). Diese Zahlen zeigen, dass das starke Marktwachstum der 2010er Jahre nicht fortgesetzt wird, sondern sich der Absatzmarkt auf dem aktuell hohen Nachfrageniveau einzupendeln scheint.

#### Smartphones in Schubladen

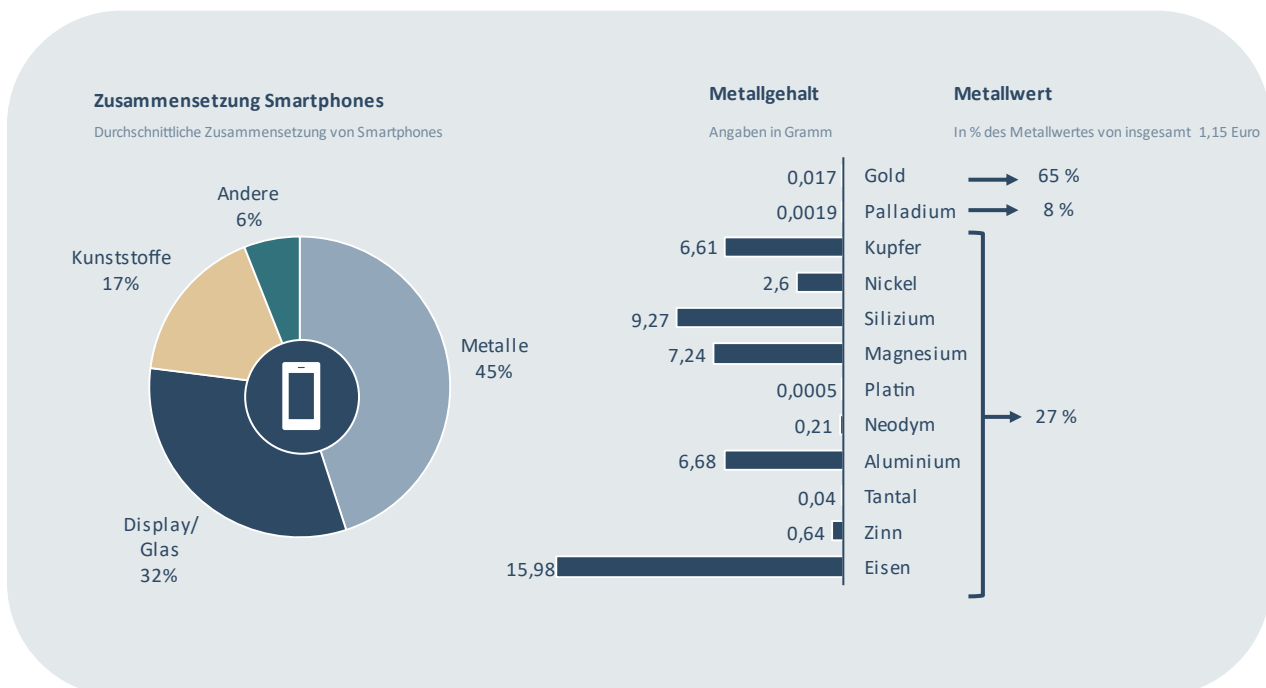
In deutschen Haushalten lagerten im Jahr 2022 circa 210 Millionen Alt-Handys – 87 Prozent der Bürger verfügen über mindestens ein ausrangiertes Handy (Bitkom, 2022b). Im Durchschnitt entspricht dies mehr als zwei Handys pro Bürger. Seit 2015 hat sich diese Zahl mehr als verdoppelt. Die Gründe für die Aufbewahrung alter Handys und Smartphones sind vielfältig. So geben 45 Prozent der Befragten einer von Bitkom durchgeführten Umfrage an, dass der Grund für die Aufbewahrung ungenutzter Handys zu Hause die Sorge vor dem Schutz der privaten Daten sei. Die Gründe, die am zweit- beziehungsweise dritthäufigsten genannt werden, sind das Vorhandensein eines Ersatzgeräts und der zu hohe Entsorgungsaufwand des Alt-Handys (Bitkom, 2021).

Diese Smartphones bieten eine wichtige Rohstoffquelle, denn sie bestehen zu 45 Gewichtsprozent aus Metallen, gefolgt von Glas, Kunststoffen und Materialverbunden und wiegen durchschnittlich 110 Gramm. Dies geht aus einer Analyse der deutschen Rohstoffagentur (DERA) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hervor, die drei repräsentative Smartphone-Modelle des Zeitraums 2012 bis 2017 untersucht haben (Bookhagen/Bastian, 2020). Neben dieser Studie, die Primärdaten zugrunde legt, gibt es

weitere Studien, die die Metallgehalte von Smartphones bestimmen. Viel zitierte Arbeiten sind in diesem Zusammenhang Sander et al. (2018), Holgersson et al. (2017) und Singh et al. (2018). Die ermittelten Metallgehalte unterscheiden sich in den Studien zum Teil wesentlich voneinander, was auf unterschiedliche Gründe zurückzuführen ist. Zum einen werden unterschiedliche Handys beziehungsweise Smartphones untersucht, die sich zum Teil in ihrer Materialzusammensetzung unterscheiden. Zum anderen liegt der Fokus teilweise nicht auf dem gesamten Handy, sondern beispielsweise auf dessen Leiterplatte, die die meisten, jedoch nicht alle im Handy verbauten Metalle enthält. Außerdem geben die Studien die Materialgehalte für jeweils eine unterschiedliche Auswahl an Metallen an, anhängig vom jeweiligen Fokus. Diese Faktoren erschweren eine direkte Vergleichbarkeit der Werte. Aufgrund der Aktualität, des Umfangs und der Belastbarkeit der Daten, nutzt diese Studie die DERA/BGR-Analyse von Bookhagen/Bastian (2020) als Basis für die weiteren Berechnungen.

Die häufigsten Metalle sind Eisen, Silizium, Magnesium, Aluminium, Kupfer, Nickel, und Chrom. Zusammen mit Zinn, Zink und Strontium summiert sich ihre Masse auf 93 Gewichtsprozent der gesamten Metalle im Smartphone (Bookhagen/Bastian, 2020). Obwohl der Goldanteil eines Smartphones beispielsweise nur durchschnittlich 0,017 g entspricht, macht es etwa 65 Prozent des gesamten Metallwerts aus. Eine Übersicht über die Metallgehalte und -werte gibt Abbildung 4-1. Gold eignet sich ebenfalls als Beispiel, um die Wertstoffkonzentration in Urbanen Minen mit den geologischen Rohstoffvorkommen zu vergleichen. So entspricht die geringe Goldmenge in einem Smartphone etwa der Goldmenge, die in 16 Kilogramm Gold-Gestein (Golderz) enthalten ist (UBA, 2017).

**Abbildung 4-1: Übersicht über Zusammensetzung, Metallgehalte und -werte in Smartphones**



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Bookhagen/Bastian, 2020)

Hochgerechnet auf die 210 Millionen sogenannten Schubladenhandys in Deutschland, liegen entsprechend etwa 3.356 Tonnen Eisen, 1.520 Tonnen Magnesium, 1.388 Tonnen Kupfer, 1.403 Tonnen Aluminium, 3,57

Tonnen Gold und 1.947 Tonnen Silizium ungenutzt in Haushalten. Die folgende Tabelle (Tabelle 4-1) zeigt den Metallgehalt in den 210 Millionen Schubladenhandys und deren Wert, wobei für die Rohstoffpreise der Durchschnitt der monatlichen Preise von Januar – Juni 2022 angenommen wurde.

**Tabelle 4-1: Metallgehalt und -wert deutscher Schubladenhandys**

Metallinhalt in den 210 Millionen Schubladenhandys und deren Wert, wobei für die Rohstoffpreise der Durchschnitt der monatlichen Preise von Januar – Juni 2022 angenommen wurden.

Metall	Metallgehalt pro Smartphone in g	Metallgehalt in 210 Mio. Smartphones in t	Wert in 210 Mio. Smartphones in Mio. USD
Gold (Au)	0,017	3,57	165,43
Palladium (Pd)	0,0019	0,399	20,07
Kupfer (Cu)	6,61	1388,1	13,55
Nickel (Ni)	2,6	546,0	15,60
Silizium (Si)	9,27	1946,7	8,09
Magnesium (Mg)	7,24	1520,4	8,98
Platin (Pt)	0,0005	0,105	3,09
Neodym (Nd)	0,21	44,1	6,97
Aluminium (Al)	6,68	1402,8	4,30
Tantal (Ta)	0,04	8,4	2,39
Zinn (Sn)	0,64	134,4	5,37
Eisen (Fe)	15,98	3355,8	0,48
<b>Summe</b>			<b>254,29</b>

Quellen: Bähr et al., 2022; Bookhagen/Bastian, 2020; Bitkom, 2022b; DERA, 2022

Der Gesamtwert der Schubladenhandys in Deutschland entspricht demnach knapp 240 Millionen Euro (254,29 Millionen US Dollar), was einem Wert von etwa 1,15 Euro pro Handy entspricht. Im Jahr 2021 wurden insgesamt 20,4 Millionen Smartphones in Deutschland verkauft, was einem Materialwert von 23,5 Millionen Euro entspricht. Würde die Urbane Mine der Schubladenhandys ausgeschöpft und lediglich dem Recycling zugeführt, würde dies ohne Berücksichtigung von Recyclingquoten und -verlusten den Materialbedarf für neue Smartphones für über 10 Jahre decken können. Da insbesondere eine Verbesserung der Recyclingeffizienzen und die Ausschöpfung von Skaleneffekten im Bereich elektronischer Kleingeräte notwendige Voraussetzungen für eine ökonomische Umsetzung spielen, die bislang nicht erfüllt sind, ist dieses errechnete Potenzial lediglich ein theoretisches. Die Nutzung des urbanen Lagers muss entsprechend auf die anderen zirkulären Strategien ausgeweitet werden, sodass Kreisläufe bereits beim Design, während der Herstellung und in der Nutzungsphase optimiert und mitgedacht werden – Kapitel 5 erläutert diese Strategien im Detail.

### Kreislaufführung von Smartphones

Eine Kreislaufführung für nicht mehr genutzte Smartphones und die Nutzung dieser inländischen Urbanen Mine zur Rückgewinnung von Metallen macht insbesondere vor dem Hintergrund Sinn, dass einige der

Metalle, die in Smartphones verbaut sind, als kritisch einzustufen sind und aus wenigen Importländern stammen. Zusätzlich dazu, führt die Ausnutzung dieser urbanen Mine vor allem in Kombination mit der Nutzung anderer Elektro- und Elektronikgeräte zu deutlich höheren Mengen potenzieller Sekundärrohstoffe. Diese Skaleneffekte wiederum erhöhen Anreize, Recyclingtechnologien zu optimieren. Das Potenzial von Metallrecycling ist gut, da viele Metalle theoretisch beliebig oft wiederverwendbar sind und das Metallrecycling grundsätzlich gut etablierte Verfahren beinhaltet (Bookhagen/Bastian, 2020).

Aktuell werden die Recycling- und Wiedereinsatzquoten von Smartphones nicht gesondert erfasst, sondern als Teil der Quoten für Elektroschrott angegeben. Die Recyclingrate von Elektroschrott in Deutschland entsprach im Jahr 2018 36,9 Prozent und liegt unter dem EU-Durchschnitt von 42,1 Prozent (Eurostat, 2021). Dennoch muss beachtet werden, dass große Haushaltsgeräte, darunter Waschmaschinen und Elektroherde, über die Hälfte des gesammelten Abfalls dieser Kategorie ausmachen. Erst danach folgen IT- und Telekommunikationsgeräte, zu denen neben Smartphones auch Laptops, Drucker, Videokameras und kleine Haushaltsgeräte gehören. Neben der Recyclingquote ist die Sammelquote der Geräte relevant. Im Jahr 2020 wurden in Deutschland insgesamt rund eine Million Tonnen Elektro- und Elektronikaltgeräte recycelt, verwertet oder beseitigt, was einer Steigerung der zurückgenommenen Geräte um 9,5 Prozent innerhalb eines Jahres entspricht. Dem liegt eine Sammelquote von 44,1 Prozent zugrunde, die aufgrund der höheren Menge in Verkehr gebrachter Geräte im Vergleich zum Vorjahr nicht gestiegen ist (BMUV, 2022). Die Recyclingquote stieg in diesem Zeitraum um 1,3 Prozentpunkte auf 86,7 Prozent. 28 Prozent aller zurückgenommenen Geräte fallen in die Kategorie der Kleingeräte, zu denen neben Telekommunikationsgeräten auch Staubsauger, Toaster oder Hi-Fi-Anlagen gehören (Destatis, 2022b).

Obwohl der Materialwert aller Schubladenhandys sehr hoch ist und sich die Nutzung dieser Urbanen Mine insbesondere für ein rohstoffarmes Land wie Deutschland lohnen kann, erscheint der Materialwert eines einzelnen Geräts mit 1,15 Euro eher niedrig. Daher ist die Erkenntnis wichtig, dass der Materialwert von Produkten in der Regel (deutlich) geringer ist als der Wert der Produkte selbst. Herausforderungen beim Recycling von Smartphones bestehen im Wesentlichen in den Trenn- und Sortierverfahren und den Recyclingtechnologien. Insbesondere die Wirtschaftlichkeit der Prozesse spielt aufgrund des geringen Metallwertes in den Produkten eine wichtige Rolle. Zudem muss das Recycling auch ökologisch sinnvoll sein, wozu der hohe Energieaufwand zu beachten und gegebenenfalls zu optimieren ist (Bookhagen/Bastian, 2020).

Insgesamt führt dies dazu, dass die Materialrückgewinnung im Allgemeinen ein letzter Ausweg sein sollte, um den Wert von Rohstoffen in der Wirtschaft zu erhalten und andere zirkuläre Strategien vorzuziehen sind (Fraunhofer ISI, 2020). Voraussetzung dafür bleibt jedoch, dass die Alt-Handys nicht länger ungenutzt in den Schubladen liegen, sondern einer Verwertung zugeführt werden. Eine weitere Motivation für die Rückgewinnung der Metalle aus Smartphones ist, dass deren Herstellung energie- und ressourcenintensiv ist. Dieser hohe Verbrauch kann durch Effizienzverbesserungen in neuen Produkten und durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen nicht aufgefangen werden, sodass die Nutzungsdauer der Geräte unbedingt optimiert werden muss.

Kapitel 5 bietet daher einen Überblick über die verschiedenen zirkulären Strategien und wendet diese auf das konkrete Beispiel von Smartphones an, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten Konsumenten haben, ihre Schubladenhandys im Kreislauf zu führen und zu einer höheren Zirkularität beizutragen.

## 4.2 Urbane Mine: andere Elektrogeräte

Das Ausrangieren und Horten funktionsfähiger Produkte ist nicht auf Smartphones beschränkt, sondern trifft ebenso auf viele andere Geräte im Elektronik- und Elektrobereich zu. Auch diese verbleiben häufig aus verschiedenen Gründen als Ersatzgeräte in der Schublade. Ebenso ist die Materialzusammensetzung der wichtigen Metalle in vielen dieser Produkte der von Smartphones sehr ähnlich. Gängige Beispiele sind neben Smartphones, Laptops, Digitalkameras, Drucker und Spielekonsolen.

Auch hier lohnt sich ein Blick auf das Potenzial dieser Urbanen Minen zur Kreislaufführung von Produkten dieser Kategorie. Betrachtet werden dazu die folgenden Metalle: Gold, Palladium, Neodym, Tantal und Zink. Für Laptops, Digitalkameras, Drucker und Spielkonsolen sind diese Metalle die wesentlichen Bestandteile, zu denen jedoch einige weitere hinzukommen. Addiert man nun die durchschnittlichen Metallgehalte dieser fünf Metalle in den fünf beispielhaft genannten Produkten und summiert man diese auf die Gesamtanzahl der verkauften Geräte in Deutschland zwischen 2009 und 2020, so lassen sich Metallwerte von insgesamt über 2,1 Milliarden Euro berechnen (Tabelle 4-2). Wichtig bei dieser Betrachtung ist für die Größenordnung jedoch die Erwähnung, dass es sich lediglich um einen Anteil der eingesetzten Rohstoffe in diesen Produkten handelt. Der Metallwert gibt also nur einen Ausschnitt des tatsächlichen Werts der enthaltenen Rohstoffe in diesen Produkten an. Anders als in Kapitel 4.1 wird an dieser Stelle das gesamte anthropogene Lager der Produkte betrachtet und nicht nur der ungenutzte Anteil.

Gesamtwirtschaftlich zeigt sich ein enormes Potenzial des verfügbaren Materiallagers, welches für eine effiziente Kreislaufwirtschaft genutzt werden muss. Zum Vergleich: Allein dieser geringe Anteil des Materiallagers und der ausgewählten Produkte und Metalle entspricht etwa 3 Prozent des Gesamtmetallwerts der importierten Metalle nach Deutschland im Jahr 2020. Im Jahr 2020 wurden Metalle im Wert von 71,7 Milliarden Euro importiert (BGR, 2021).

**Tabelle 4-2: Metallwerte ausgewählter Elektrogeräte**

Metallwerte der zwischen 2009 und 2020 verkauften Elektrogeräte, wobei für die Rohstoffpreise der Durchschnitt der monatlichen Preise von Januar – Juni 2022 angenommen wurde.

Gerät	Verkaufte Geräte 2009 – 2020 in Mio. (Anzahl)	Metallwert der verkauften Geräte in Mio. USD
Smartphone	240,5	478,3
Laptop	63,159	1008,95
Digitalkamera	59,13	258,94
Drucker	248,406	59,11
Spielekonsole	30,653	418,21
<b>Summe</b>		<b>2223,51</b>

Quelle: Bitkom/Deloitte, 2010-2020; gfu/GfK, 2021; GfK/PIV, 2020; Sander et al., 2018

## 5 Zirkuläre Strategien mit Urban Mining

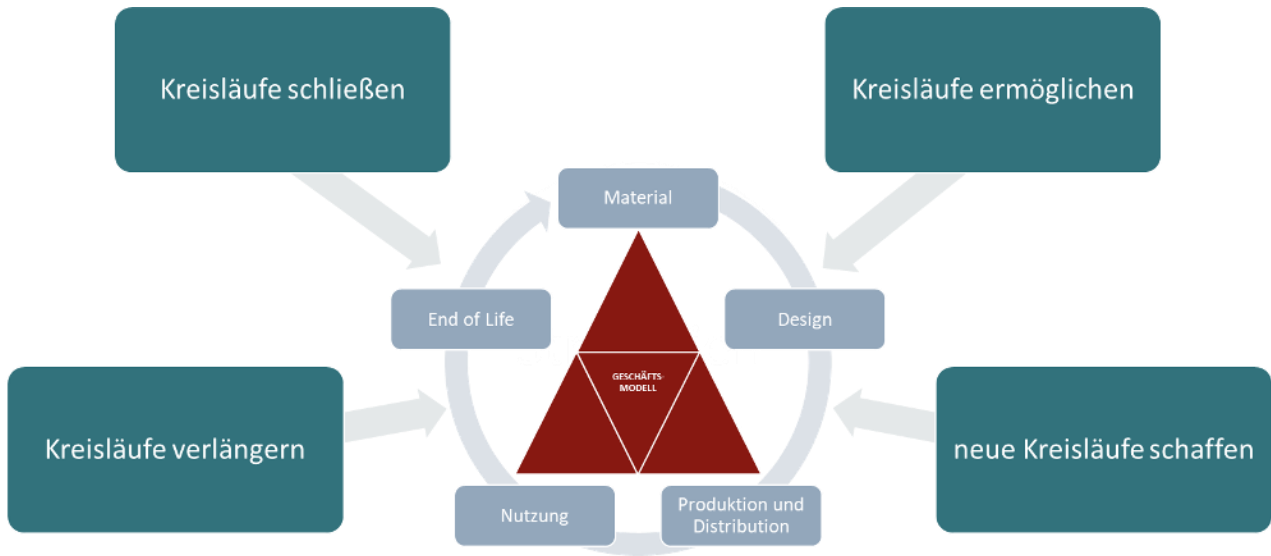
### 5.1 Überblick über verschiedene zirkuläre Strategien

Die im Kreislaufwirtschaftsgesetz verankerte Abfallhierarchie (KrWG, 2012 § 6), die zur Strukturierung unterschiedlicher Verwertungsansätze dient, priorisiert fünf Maßnahmen zum Umgang mit Abfall und ist in Fluchs/Schleicher (2021) detailliert beschrieben. Laut Abfallhierarchie sind diejenigen Maßnahmen zu priorisieren, die den höchsten Einfluss auf die Ressourcenschonung und den niedrigsten negativen Einfluss auf die Menschen und die Umwelt bei Abfallaufkommen und -bewirtschaftung haben. Die Ansätze, die in Fluchs/Schleicher (2021) ausgeführt sind, besagen, dass Verfahren, bei denen Erzeugnisse für den Zweck wiederverwendet werden, für den sie hergestellt wurden, dem Recycling im Sinne einer stofflichen Verwertung der Rohstoffe vorzuziehen ist. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung kann auf unterschiedlichen Ebenen – zum Beispiel auf Produkt- oder Komponentenebene – stattfinden. Sie umfasst daher verschiedene Strategien wie beispielsweise die Reparatur, die Wiederaufbereitung und die Wiederherstellung von Produkten und Komponenten.

Um dies zu erreichen, können unterschiedliche zirkuläre Strategien sowohl aus Unternehmens- als auch aus Kundenperspektive angewendet werden. Auch diese Strategien zielen jeweils darauf ab, den Wert der Produkte und Materialien so lange wie möglich zu erhalten und Ressourcen zu schonen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Stelle in der Wertschöpfung, in der sie angewendet werden. Abbildung 5-1 gibt einen Überblick über die vier Strategien „Kreisläufe schließen, ermöglichen, schaffen und verlängern“ und deren Verortung im Wertschöpfungskreislauf. Hierbei können Unternehmen entweder einen ganzheitlichen Ansatz wählen oder sich auf eine zirkuläre Strategie fokussieren und eine lebenszyklusweite Umsetzung innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks anbieten. Fluchs et al. (2022) ordnen diesen Strategien konkrete Maßnahmen zu und beschreibt, wie Unternehmen die Zirkularität von Produktionsprozessen und Produkten / Dienstleistungen erhöhen können, abhängig davon an welcher Position in der Wertschöpfung sie ansetzen. Diese vier zirkulären Strategien können auch auf Konsumenten übertragen und analysiert werden, inwiefern sie dazu beitragen können, Kreisläufe zu ermöglichen, zu schließen, zu schaffen und zu verlängern, wozu auch sie unterschiedliche Maßnahmen verfolgen können.



Abbildung 5-1: Aufbau zirkulärer Geschäftsmodelle



Quelle: Fluchs et al. (2022)

## 5.2 Anwendung zirkulärer Strategien aus Konsumentenperspektive

### Kreisläufe schließen

Die Strategie „Kreisläufe schließen“ hat das Ziel, die Lücke zwischen dem Lebenszyklusende eines Produkts und dem Inputfaktor Material für seine Herstellung zu schließen. Dies kann sowohl auf sehr kurzem Wege wie zum Beispiel bei der Wiederaufbereitung, als auch auf längerem Wege, wie zum Beispiel beim Recycling und der Nutzung von Sekundärmaterial als Inputfaktor, geschehen (Fluchs et al., 2022):

- **Refurbishing:** Unter dem Begriff „Refurbishing“ versteht man die Wiederaufbereitung und Reparatur von Smartphones, was in den letzten Jahren in Mode gekommen ist. So gibt es inzwischen ein breites Online-Angebot mit großen und vertrauenswürdigen Shops, die Refurbished-Geräte mit Garantie anbieten und einen noch kleinen, aber wachsenden Markt bedienen. Circa 15 Prozent der Deutschen haben in der Vergangenheit bereits gebrauchte, professionell aufbereitete Geräte gekauft. Weitere 50 Prozent können sich einen Kauf zukünftig vorstellen, während 31 Prozent dies jedoch ausschließen (Bitkom, 2022b). In diesem Zusammenhang ist der Ausbau von Rahmenbedingungen für die Inanspruchnahme dieses Angebots notwendig. Dazu zählt nicht zuletzt das Thema Datensicherheit, da ein wesentlicher Anteil der Konsumenten die Sorge vor dem Umgang mit privaten Daten als Hinderungsgrund für die Verwertung der Altgeräte angegeben hat (Bitkom, 2021). Eine entsprechende Sensibilisierung und Sicherheit sind an dieser Stelle notwendig. Es müssen Möglichkeiten zur selbstständigen und vollständigen Entfernung der Daten durch Konsumenten geschaffen werden.
- **Recycling:** Damit Handys Inputs für andere Produkte bereitstellen können, müssen sie fachgerecht entsorgt und entsprechend recycelt werden. Konsumenten können ausrangierte Elektro- und Elektronikgeräte kostenlos bei kommunalen Abfallsammelstellen abgeben, wie beispielsweise bei Wertstoffhöfen oder Schadstoffmobilen. Hier sind aber entsprechende Informationen und eine gute Kommunikation von zentraler Bedeutung, um die Konsumenten in ihren jeweiligen Regionen über die Möglichkeiten zu informieren. Hersteller sind ebenfalls verpflichtet alte Geräte zurückzunehmen. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 1. Januar 2022 hat neue Rücknahmestellen und bessere Informationen für den



Verbraucher klar adressiert, worunter beispielsweise auch einheitliche Sammelstellenlogos fallen. Seit dem 1. Juli 2022 müssen zudem auch viele größere Lebensmittelmärkte und -discounter (ab 800 Quadratmeter) Altgeräte zurücknehmen, was die Hürde der Rückführung für Konsumenten erneut senken soll. Die Effektivität dieser Maßnahmen muss in den nächsten Monaten bewertet werden. Auch hier sind die Bedenken der Konsumenten bezüglich der Datensicherheit zu beachten und aus dem Weg zu räumen, damit Strategien zur Schließung von Kreisläufen auch konsumentenseitig umgesetzt werden können.

- **Sammelstellen:** Für eine Erhöhung der Recyclingquoten ist zudem wichtig, dass Konsumenten das Handy an der richtigen Stelle abgeben und Hersteller die entsprechenden Möglichkeiten (zum Beispiel durch ausreichende Sammelstellen mit eindeutiger Kennzeichnung) und Informationen bieten, was von politischer Seite durch die erweiterte Produktverantwortung adressiert wird. Die Produktverantwortung überträgt die abfallwirtschaftliche Verantwortung für die Produkte über deren gesamten Lebenszyklus an die Hersteller und Vertrieber, sodass sie unter anderem für eine umweltverträgliche Verwertung verantwortlich sind (BMUV, o.J.).

### Kreisläufe ermöglichen

Die Strategie „Kreisläufe ermöglichen“ betrachtet die Kreislaufführung bereits in der Planungs- und Entwicklungsphase beziehungsweise in der Designphase von Produkten (Fluchs et al., 2022):

- **Ökodesign:** Sowohl die energetische Effizienz als auch die Materialzusammensetzung können mithilfe von Ökodesign so verbessert werden, dass eine Rückführung der Materialien und Komponenten überhaupt möglich wird. Ende März 2022 hat die EU-Kommission im Rahmen ihrer Sustainable Product Initiative (SPI) den Entwurf für eine neue Ökodesign-Verordnung veröffentlicht, die die bisherige Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) ersetzt. Mit den am 18.11.2022 festgelegten neuen Ökodesign-Anforderungen für Smartphones, Tablets, Mobiltelefone und schnurlose Telefone wird nun erstmalig deren Reparierbarkeit und Verfügbarkeit von Ersatzteilen geregelt. Konkret bedeutet dies, dass Hersteller künftig Reparaturinformationen und bestimmte Ersatzteile, wie Displays oder Akkus, für 7 Jahre zur Verfügung stellen müssen. Außerdem sollen Hersteller bei der Produktgestaltung darauf achten, dass Komponenten einfach ausgetauscht werden können und Software-Updates für 5 Jahre zur Verfügung stehen und nicht die Hardware beeinträchtigen. Die Ziele sind zum einen die Reparatur und die Wiederverwendung von gebrauchten Geräten zu erleichtern sowie das Recycling und die Ressourceneffizienz zu stärken und zum anderen die Rechte von Unternehmen zu stärken, die solche Geräte professionell wiederaufbereiten.
- **Verwendung unschädlicher Inputs:** Zur Begrenzung der Umweltauswirkungen werden Rohstoffe ausgetauscht oder minimiert, was auch in den aktuellen Smartphones erkennbar ist. So werden beispielsweise bei Akkus einzelne Rohstoffe, wie beispielsweise Kobalt, reduziert.
- **Maximierung der Nutzungsdauer:** In Kombination mit den anderen Strategien gehen die Maßnahmen hinsichtlich der Ermöglichung von Kreisläufen in Richtung einer maximalen Lebensdauer, die durch das Design und die Robustheit eines Produkts bereits festgelegt ist. Damit diese Eigenschaft weiter an Relevanz gewinnt, muss sie von Konsumenten konsequent nachgefragt werden.

### Kreisläufe verlängern

Die Strategie „Kreisläufe verlängern“ hat das Ziel, den Wert eines Produktes so lange wie möglich zu erhalten. Grundsätzlich geht es in der Nutzungsphase darum, die Produkte, so intensiv, das heißt so häufig und so lange wie möglich zu nutzen – dazu zählt zum Beispiel das Teilen mit oder die Weitergabe an andere Nutzer (Fluchs et al., 2022):

- **Erhöhung der Nutzungsdauer:** Da auch bei gutem Recycling nicht alle Metalle vollständig zurückgewonnen werden können, ist es wichtig, die Geräte so lange wie möglich zu nutzen. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones betrug 40 Monate im Jahr 2021 in Europa, was eine Steigerung von 24 Prozent gegenüber 2016 darstellt (Duthoit, 2022). Dies zeigt Entwicklungen im Sinne der Nachhaltigkeit, wenngleich die Nutzungsdauer noch immer kurz ist, die Nachfrage steigt und die Anzahl der Schubladenhandys deutlich gestiegen ist.
- **Reparatur:** Auf politischer Ebene wird beispielsweise durch das von der EU geplante „Recht auf Reparatur“ dafür gesorgt, dass Reparaturmöglichkeiten für Elektrogeräte intensiviert werden, denn aktuell werden beispielsweise in Deutschland nur 27 Prozent der funktionsunfähigen Smartphones repariert (Wertegarantie, 2021). Aggregiert über die gesamten Elektrogeräte in Deutschland geben 32 Prozent der Konsumenten in einer Umfrage die hohen Reparaturkosten als Grund an, sich gegen eine Reparatur zu entscheiden. Würden sich hingegen mehr Konsumenten entscheiden, Reparaturdienstleistungen häufiger in Anspruch zu nehmen, so können sie aufgrund von Skaleneffekten möglicherweise günstiger angeboten werden. Da viele Konsumenten als Grund für die Aufbewahrung von Alt-Handys die Verfügbarkeit eines Ersatzhandys angegeben haben, wäre die Zurverfügungstellung von Ersatzgeräten für den Reparaturzeitraum wünschenswert. In Gewährleistungsfällen können Konsumenten häufig zwischen der Reparatur und einem neuen Ersatzgerät wählen (UBA, 2018). Hier ist es wichtig, die Rahmenbedingungen und Anreize entsprechend zu setzen, um die Inanspruchnahme von Reparaturdienstleistungen im Sinne der Ressourcenschonung zu unterstützen.
- **Austauschbarkeit von Akkus:** Das Umweltbundesamt empfiehlt den Konsumenten beim Kauf darauf zu achten, dass der Akkutauch eigenständig und ohne Spezialwerkzeug stattfinden kann (UBA, 2022). Es gibt inzwischen Internetportale, die aktuelle Smartphones hinsichtlich ihrer Reparierbarkeit und der Austauschbarkeit von Akkus bewertet und so Konsumenten unterstützt. In Bezug auf die Ressourceninanspruchnahme ist für die Nutzungsphase ebenso vor allem der Energieverbrauch von Smartphones relevant, sowohl der direkte Verbrauch durch das Aufladen des Akkus als auch der indirekte Verbrauch durch das Mobilfunknetz. An dieser Stelle können Konsumenten mit geeigneter Informationsverfügbarkeit Vergleiche ziehen und ihre Kaufentscheidungen an diesen Werten orientieren.

Zusätzlich gibt es eine weitere Option, die Nutzungsdauer von funktionsfähigen Smartphones zu intensivieren: Sharing-Ansätze im Sinne von „Nutzen statt Besitzen“ sind im Smartphone-Bereich bisher eher unüblich, sie können aber abhängig vom Nutzungsverhalten der Konsumenten sinnvoll sein und ausgebaut werden.

### Kreisläufe schaffen

Die Strategie „Kreisläufe schaffen“ bezweckt, durch die Substitution von Material und Produkten bisher nicht-existierende Optionen zur Zirkularität zu schaffen. So muss ein Abfallprodukt, welches bei der Produktion eines Unternehmens anfällt, nicht entsorgt werden, sondern kann als Input für ein anderes Unternehmen dienen (Fluch et al., 2022). Wenngleich die Strategie „Kreisläufe schaffen“ eine sehr relevante ist, so findet sie im Wesentlichen auf Unternehmensebene statt, indem bereits bei der Produktion Materialien zwischen den Unternehmen ausgetauscht werden. Aus Konsumentenperspektive kann diese Strategie entsprechend in der Regel nicht unterstützt werden, da die entsprechenden Maßnahmen bereits an einem früheren Punkt in der Wertschöpfung ergriffen werden müssen.

### 5.3 Urban Mining in einer Kreislaufwirtschaft

Urban Mining kann ein wichtiger Baustein in einer Kreislaufwirtschaft sein, der sich insbesondere darauf fokussiert, Rohstoffe, die bereits im Materiallager der Menschen enthalten sind, möglichst lange und sinnvoll wiederzuverwerten. Somit entsteht das Potenzial, die Kreislaufwirtschaft an dieser Stelle im Produktlebenszyklus zu unterstützen und neben anderen Bausteinen der Kreislaufwirtschaft zu fungieren. Urban Mining kann dabei verschiedene Herausforderungen, vor denen wir im Kontext der Rohstoffsituation stehen, adressieren. Die Nutzung Urbaner Minen ist notwendig, um die steigenden Bedarfe an begrenzt zur Verfügung stehenden Rohstoffen zu bedienen und gleichzeitig die Abhängigkeit von einzelnen Ländern zu reduzieren, indem heimische Quellen für Sekundärmaterial genutzt werden. Dazu müssen insbesondere die ungenutzten Produkte als Rohstoffquelle begriffen und in die Materialkreisläufe zurückgeführt werden. Nicht zuletzt kann durch Urban Mining das steigende Abfallaufkommen, beispielsweise beim Elektroschrott, insofern begrenzt werden, als die Nutzungsdauer der Materialien verlängert und die ungenutzten Produkte wieder einem Kreislauf hinzugefügt werden. Wichtig ist die Erkenntnis, dass das Recycling untergenutzter Elektrogeräte – insbesondere, wenn sie noch funktionstüchtig sind – immer die letzte Option einer Kreislaufführung sein sollte. Gemäß dem Grundgedanken der Abfallhierarchie sollten zunächst durch die zirkulären Strategien „Kreisläufe schaffen und ermöglichen“, Abfälle vermieden werden, indem beispielweise bereits beim Produktdesign und den Produktionsprozessen angesetzt wird. Eine Wiederverwendung funktionierender Produkte ist zudem immer effizienter als eine stoffliche Verwertung im Sinne eines Recyclings.

Der Gesamtmetallwert der ungenutzten Handys in Deutschland entspricht rund 240 Millionen Euro. Auch wenn diese Summe sehr hoch ist, ist der reine Metallwert von 1,15 Euro pro Gerät gering genug, um zu demonstrieren, dass vor einer stofflichen Verwertung andere zirkuläre Strategien ausgeschöpft werden müssen, um das volle Rohstoffpotenzial nutzen zu können. Nichtsdestotrotz bietet die Urbane Mine auch für diese Strategie in der Abfallhierarchie ein Potenzial, welches genutzt und weiter optimiert werden kann. Würde die Urbane Mine der Schubladenhandys mit einem Gesamtmetallwert von 240 Millionen Euro ausgeschöpft, würde dies ohne Berücksichtigung von Recyclingquoten und -verlusten den Materialbedarf für neue Smartphones für über 10 Jahre decken können. Erforderlich für die Nutzung dieses Potenzials sind aber entsprechende Recyclingprozesse mit hohen Effizienzen, guten Skaleneffekten und entsprechender ökonomischer Sinnhaftigkeit. Recycling ist immer mit Effizienzverlusten verbunden und aktuell noch sehr kostenintensiv – insbesondere durch die Kleinteiligkeit der betrachteten Produkte und der geringen Metallmengen je Metall und Gerät. Nichtsdestotrotz führt aus ökologischen Gesichtspunkten nichts daran vorbei, diese Prozesse so weit zu optimieren und gegebenenfalls mit anderen Elektrogeräten zu kombinieren, dass die Materialien, die ungenutzt in den urbanen Minen liegen, weiterverwendet und wieder eingesetzt werden. Die deutsche Recyclingwirtschaft ist dank ihres Know-hows und ihrer Recyclingtechnologien in einer guten Ausgangsposition, um effiziente und innovative Lösungen weiterzuentwickeln.

Damit sich Urban Mining umfassend durchsetzen kann, muss die Sammlung der Produkte koordiniert und die Rückführung ermöglicht werden. Außerdem müssen Prozesse und Technologien so verbessert werden, dass das Potenzial der Rohstoffe in Urbanen Minen entsprechend genutzt werden kann. Neben der Nutzung von Skaleneffekten können auch die Konsumenten durch unterschiedliche Verhaltensweisen dazu beitragen, dass Primärrohstoffe eingespart und bereits vorhandene Rohstoffe wieder genutzt werden. Wichtig ist hier die Perspektive einer Kreislaufwirtschaft zu betrachten: Nicht nur die Schließung der Kreisläufe ist zu berücksichtigen, sondern ebenso deren Schaffung, Ermöglichung und Verlängerung. Dies kann sowohl aus Unternehmens- als auch aus Kundenperspektive geschehen, sodass jeder seinen Beitrag leisten kann und muss.

Damit das beschriebene Potenzial des Urban Minings auch bezüglich der gesamtwirtschaftlichen Größenordnung an Relevanz gewinnt, müssen zusätzlich politisch entsprechende Strategien weiterentwickelt und umgesetzt werden. Insbesondere müssen Konsumenten dringend angereizt und unterstützt werden, ungenutzte elektronische Geräte, die in ihren Haushalten lagern, zurückzubringen. Dies ist der erste wichtige Schritt, um über einen weiteren Umgang mit den Produkten und enthaltenen Rohstoffen entscheiden zu können. Übertragen auf das gesamte Materiallager und das dort bestehende Potenzial, ist die Notwendigkeit dessen Nutzung, insbesondere vor den derzeitigen globalen Herausforderungen in Bezug auf die Klima- und Rohstoffsituation, unausweichlich. Dieser Bericht verdeutlicht, dass Urban Mining ein wichtiger Baustein im Rahmen einer gesamtwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft ist, jedoch nicht als einzige Lösung ausreichen kann. Vielmehr müssen alle Akteure unterschiedliche Strategien anwenden und umsetzen mit dem Ziel eines effizienteren Umgangs mit begrenzten Ressourcen.

## 6 Abstract

Natural resources are becoming increasingly scarce, one reason being that significantly more natural raw materials are currently being mined and processed worldwide than Earth can provide over the same period. As a net importer of raw materials, the German economy is dependent on international trade, especially when it comes to materials for future technologies. For this reason, thinking in cycles will be key for improving resource efficiency. The entire life cycle of a resource – from its provision and use to its recovery at the end of life – must be considered and optimized accordingly.

In this context, urban mining can be considered as a component of a circular economy. Although the use of urban mines cannot cover the entire concept of a circular economy, urban mining can play an essential role as an additional source of raw materials. Particularly against the background of the tense raw material situation, this potential must be utilized in the overall economy to save and reuse resources on the one hand and to reduce dependence on international raw material markets on the other. The stock of materials that Germany has built up offers important potential for reusing raw materials that have already been mined and for keeping them circulating.

This report highlights the potential of urban mining for a more efficient use of natural resources and thus for a circular economy. Using the example of discarded cell phones in German households, it is demonstrated which possibilities there are in Germany to reuse materials that are already circulating and are no longer used. Calculations show that the total material value of discarded cell phones in Germany is around 240 million euros. At the same time, the material value of new smartphones sold in Germany in 2021 is equivalent to 23.5 million euros. This ratio shows the enormous potential of the available material stock, which must be exploited for an efficient circular economy. This report analyzes specific options for action to support a circular economy in four circular strategies (enable, close, create and extend cycles) from a consumer perspective. However, it remains important to note that recycling must continue to be optimized to be economically viable. It is only one among many circular strategies. According to the waste hierarchy, strategies that avoid waste, i.e., by addressing the product design, or that reuse goods or components are preferable to those that recycle materials. This is equally true for urban mines.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Vor- und Nachteile von Urban Mining .....	16
Tabelle 4-1: Metallgehalt und -wert deutscher Schubladenhandys .....	19
Tabelle 4-2: Metallwerte ausgewählter Elektrogeräte .....	21

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Deutschlands Importe von Erzen nach Fertigungsgrad .....	9
Abbildung 2-2: Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Produkten in Deutschland .....	10
Abbildung 2-3: Globale Elektroschrottströme im Überblick .....	11
Abbildung 3-1: Aufteilung des anthropogenen Lagers nach Gütergruppen in Deutschland .....	13
Abbildung 3-2: Potenzieller Wert der im globalen Elektroschrott enthaltenen Rohstoffe für das Jahr 2019 .....	14
Abbildung 3-3: Die Rolle des Urban Mining in einer Kreislaufwirtschaft .....	15
Abbildung 4-1: Übersicht über Zusammensetzung, Metallgehalte und -werte in Smartphones .....	18
Abbildung 5-1: Aufbau zirkulärer Geschäftsmodelle .....	23

## Literaturverzeichnis

Acatech, 2021, Horizonte: Urban Mining, <https://www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-urban-mining/> [12.12.2022]

Bähr, Cornelius, 2020, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Studie im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. vbw, München / Köln

Bähr, Cornelius / Okos, Thomas / Richter, Iris, 2022, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Gutachten im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vbw), Köln / München

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021, Deutschland – Rohstoffsituation 2020, [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/rohsit-2020.pdf?\\_\\_blob=publication-File&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2020.pdf?__blob=publication-File&v=4) [12.12.2022]

Bitkom / Deloitte, 2010-2020, Zukunft der Consumer Electronics, Berlin

Bitkom, 2021, Mehr als 200 Millionen Alt-Handys lagern in deutschen Wohnungen, <https://www.bitkom-research.de/de/pressemitteilung/mehr-als-200-millionen-alt-handys-lagern-deutschen-wohnungen> [12.12.2022]

Bitkom, 2022a, Tech-Trends 2022: Auf dem Weg ins Metaverse, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Tech-Trends-2022-Consumer-Technology> [12.12.2022]

Bitkom, 2022b, Smartphones, Tablets, Laptops: Fast 300 Mio. Alt-Geräte in deutschen Haushalten, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Smartphones-Tablets-Laptops-300-Mio-Alt-Geraete-deutschen-Haushalten> [16.12.2022]

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, o.J.: <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/abfallpolitik/produktverantwortung> [12.12.2022]

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III – 2020 bis 2023, <https://www.bmuv.de/publikation/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-iii-2020-bis-2023> [12.12.2022]

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022, Elektro- und Elektronikgeräte, <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/statistiken/elektro-und-elektronikaltgeraete> [21.12.2022]

Bookhagen, Britta/ Bastian, Dennis/ Buchholz, Peter/ Faulstich, Martin/ Opper, Christine/ Irrgeher, Johanna/ Prohaska, Thomas/ Koeberl, Christian, 2020, Metallic resources in smartphones, in: Resources Policy, 68. Jg., Nr. 101750, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101750> [12.12.2022]

Bookhagen, Britta / Bastian, Dennis, 2020, Metalle in Smartphones, Commodity TopNews, Nr. 65, Newsletter der DERA – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Deutsche Rohstoffagentur und der BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity\\_Top\\_News/Rohstoffwirtschaft/65\\_smartphones.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/65_smartphones.pdf?__blob=publicationFile&v=4) [12.12.2022]

Den Hollander, Marcel C. / Bakker, Conny A. / Hultink, Erik Jan, 2017, Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms, in: Journal of Industrial Ecology, Jg. 21, Nr. 3, S. 517–525

DERA – Deutsche Rohstoffagentur, 2022, Preismonitor, [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Produkte/Rohstoffpreise/Preismonitor/preismonitor\\_node.html](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Produkte/Rohstoffpreise/Preismonitor/preismonitor_node.html) [21.12.2022]

Destatis, 2021, Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Gesamtwirtschaftliches Materialkonto, Berichtszeitraum 1994 - 2019/2020, [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/gesamtwirtschaftliches-materialkonto-pdf-5851315.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/gesamtwirtschaftliches-materialkonto-pdf-5851315.pdf?__blob=publicationFile) [12.12.2022]

Destatis, 2022a, Ausstattung mit Gebrauchsgütern, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/inhalt.html> [16.12.2022]

Destatis, 2022b, Pressemitteilung Nr. 058 vom 11. Februar 2022, [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/02/PD22\\_058\\_321.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/02/PD22_058_321.html) [12.12.2022]

Duthoit, Aurelien, 2022, Can 5G reignite the smartphone industry?, Euler Hermes & Allianz Research, [https://www.allianz-trade.com/content/dam/onemarketing/aztrade/allianz-trade\\_com/en\\_gl/erd/publications/the-watch/2022\\_02\\_035G.pdf](https://www.allianz-trade.com/content/dam/onemarketing/aztrade/allianz-trade_com/en_gl/erd/publications/the-watch/2022_02_035G.pdf) [12.12.2022]

Europäische Kommission, 2019, Der europäische Grüne Deal, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2019) 640 final, Brüssel, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF) [12.12.2022]

Europäische Kommission, 2020, Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2020) 98 final, Brüssel, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF) [12.12.2022]

Europäische Kommission, 2022, Nachhaltige Produkte zur Norm machen, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2022) 140 final, Brüssel, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0140&from=EN> [12.12.2022]



Europäisches Parlament, 2020, Elektro- und Elektronikschrott in der EU: Zahlen und Fakten (Infografik), <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20201208STO93325/elektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik> [12.12.2022]

Eurostat, 2021, Recyclingrate von Elektroschrott, Data Browser, [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei\\_wm050/default/table?lang=de](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm050/default/table?lang=de) [12.12.2022]

Eurostat, 2022, Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall (WEEE) nach Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen - offener Anwendungsbereich, 6 Produktkategorien (ab 2018), [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_waseleeeos/default/table?lang=de](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waseleeeos/default/table?lang=de) [12.12.2022]

Fluchs, Sarah / Schleicher, Carmen, 2021, Abfallhierarchie – Die Stufen der Kreislaufwirtschaft, Teil 2 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft für das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW, Köln

Forti, Vanessa / Balde, Cornelis P. / Kuehr, Ruediger / Bel, Garam, 2020, The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential, UNU – United Nations University / UNITAR – United Nations Institute for Training and Research, ITU – International Telecommunication Union & ISWA – International Solid Waste Association, Bonn / Genf / Rotterdam, [https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM\\_2020\\_def.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf) [12.12.2022]

Fraunhofer ISI, 2020, The promise and limits of Urban Mining, [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Fraunhofer\\_ISI\\_Urban\\_Mining.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Fraunhofer_ISI_Urban_Mining.pdf) [12.12.2022]

GfK / Photoindustrie-Verband – PIV, 2020, Marktzahlen Deutscher Foto- & Imaging-Markt 2020, <https://www.piv-imaging.com/download?id=721> [20.12.2022]

gfu Consumer & Home Electronics / Growth from Knowledge - gfu/ GfK, 2021, Home Electronic Market Index. Quartal 1-4/2021, [https://gfu.de/wp-content/uploads/2022/03/HEMIX\\_Q1-4\\_2021.pdf](https://gfu.de/wp-content/uploads/2022/03/HEMIX_Q1-4_2021.pdf) [20.12.2022]

Haas, Markus, 2022, Bitkom, Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends, Bitkom-Präsidium, [https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-02/Bitkom-Presskonferenz%20Smartphone-Markt%2017%2002%202022%20Pr%C3%A4sentation\\_final.pdf](https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-02/Bitkom-Presskonferenz%20Smartphone-Markt%2017%2002%202022%20Pr%C3%A4sentation_final.pdf) [12.12.2022]

IEA, 2022, The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions \(windows.net\)](https://www.iea.org/publications/freemove/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions) [12.12.2022]

Sander, Knut / Otto, Sarah Julie / Rödig, Lisa / Wagner, Lukas, 2018, Behandlung von Elektroaltgeräten (EAG) unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten: Abschlussbericht, Projekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 31/2018, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf> [12.12.2022]

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2020, Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa, Umweltgutachten 2020, [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Entschlossene\\_Umweltpolitik.pdf;jsessionid=96369AA7A216A9707442DAC8C1B4B9E2.intranet221?blob=publicationFile&v=2](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.pdf;jsessionid=96369AA7A216A9707442DAC8C1B4B9E2.intranet221?blob=publicationFile&v=2) [12.12.2022]

UBA – Umweltbundesamt, 2017, Urban Mining, Ressourcenschonung im Anthropozän, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba\\_broschuere\\_urbanmining\\_rz\\_screen\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba_broschuere_urbanmining_rz_screen_0.pdf) [12.12.2022]

UBA – Umweltbundesamt, 2018, Produkte länger nutzen: Tipps zu Verbraucherrechten, Reparatur und Neukauf, Ratgeber, Mai 2018, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/lf\\_bros\\_ratgeber\\_02\\_18\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/lf_bros_ratgeber_02_18_barrierefrei.pdf) [12.12.2022]

UBA – Umweltbundesamt, 2021, Grenzüberschreitende Abfallstatistik, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzueberschreitende-abfallverbringung/grenzueberschreitende-abfallstatistik> [12.12.2022]

UBA – Umweltbundesamt, 2022, Smartphones und Tablets nachhaltig nutzen, [Smartphones und Tablets | Umweltbundesamt](#) [12.12.2022]

UN – United Nations, 2022, World Population Prospects 2022: Summary of Results, UN Department of Economic and Social Affairs Population Division, [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf) [12.12.2022]

UNEP – United Nations Environment Programme, 2021, The use of natural resources in the economy: A Global Manual on Economy Wide Material Flow Accounting, <https://www.resourcepanel.org/reports/global-manual-economy-wide-material-flow-accounting> [12.12.2022]

WERTGARANTIE SE, 2021, Reparieren statt Wegwerfen – Eine Studie im Auftrag der WERTGARANTIE SE zur Entstehung von Elektroschrott, [www.reparieren-statt-wegwerfen.de/rsw\\_studie\\_2020.pdf](http://www.reparieren-statt-wegwerfen.de/rsw_studie_2020.pdf) [12.12.2022]