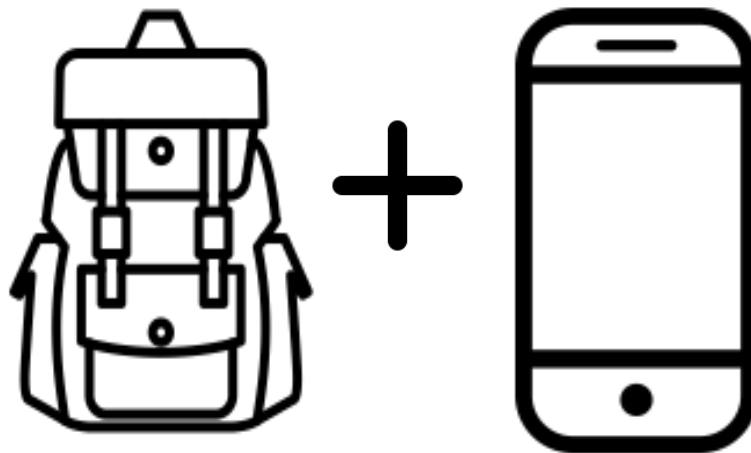


Unterrichtsreihe

„Der ökologische Rucksack eines Handys“



Handlungsfeld: Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik

Gestaltungsaspekt: Ressourceneffizienz der IKT
Produkte verbessern

Autor/-innen:

Angelika Wilhelm-Rechmann PhD a.wilhelm@izt.de,

Dr. Michael Scharp m.scharp@izt.de

Projektleitung:

Dr. Michael Scharp, IZT, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin

LehrRess - Unterstützung von Bildungsträgern im Bereich
der Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz

Stand: 23.06.17

Das BilRess-Netzwerk wird im Rahmen des Auftrags „Kompetenzzentrum Ressourceneffizienz 2015-2019“ betrieben, der bei der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE) angesiedelt ist.

Durchgeführt von:

Im Auftrag des:

Impressum:

Forschungs-konsortium	IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH
Auftraggeber	VDI Zentrum für Ressourceneffizienz
Kurzfassung	<p>Dieses Papier ist eine Unterrichtsreihe inklusive einer Sachanalyse zum Thema „Ökologischer Rucksack eines Handys“. Sie steht exemplarisch für den Gestaltungsaspekt „Ressourceneffizienz der IKT-Produkte verbessern“ aus dem Programm ProRes II der Bundesregierung</p> <p>Dieses Thema wurde für Lehrende beruflicher Bildungs-einrichtungen als Hintergrundinformation zur Unterstützung im Bereich Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung sowie zur Weiterbildung der Lehrenden aufbereitet.</p>
Kontakt	<p>Autor/-innen: Angelika Wilhelm-Rechmann PhD a.wilhelm@izt.de, Dr. Michael Scharp m.scharp@izt.de Projektleitung: Dr. Michael Scharp, IZT - Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin</p>

Inhalt

0. Einleitung	6
1. Themenbeschreibung	11
1.1. Problembeschreibung: Ressourcenbedarf	12
1.2. Zusammensetzung eines Smartphones - Bauteile	14
1.3. Zusammensetzung eines Smartphones - Stoffe (Elemente)	14
1.4. Rohstoffbedarf für Smartphones	15
1.5. Lebenszyklus von Metallen	19
1.6. Der Ökologische Rucksack - das Konzept	23
1.6.1. Kupfer-Herstellung (siehe auch oben)	25
1.6.2. Aluminium-Herstellung	25
1.6.3. Glas-Herstellung	26
1.6.4. Kunststoff-Herstellung	27
1.7. Der ökologische Rucksack des ganzen Smartphones/Handys	28
2. Handlungsoptionen	31
2.1. Was kann gemacht werden - welche Alternativen gibt es?	31
2.1.1. „Reduce“ - Den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren	31
2.1.2. „Re-use“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich	31
2.1.3. „Repair“ - Durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen	31
2.1.4. „Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht	31
2.2. Wer müsste noch aktiv werden?	32
3. Rahmung der Unterrichtsreihe	34
3.1. Lehr- und Lernvoraussetzungen	34
3.2. Didaktisch-methodische Vorschläge	34
3.3. Übersicht über die Unterrichtsreihe	35
3.4. Die Unterrichtsvorschläge	36
3.4.1. Übersicht Modul 1: Einstiegsdiskussion	36
3.4.2. Einstieg: Karikaturanalyse	36
3.4.3. Was hat mein Handy mit Ressourcen(schonung) zu tun??	37
3.4.4. Übersicht Modul 2: Aufbau eines Handys	39
3.4.5. Bauteile eines Handys	39
3.4.6. Stofflicher Aufbau eines Handys	40
3.4.7. Übersicht Modul 3: Die Relevanz der Mengen	42
3.4.8. Mengen von Metallen in Handys	42
3.4.9. Berechnung Gesamtmengen Gold und Kupfer	43
3.4.10. Übersicht Modul 4: Lebenszyklus von Metallen	45
3.4.11. Lebenszyklus von Metallen	45

3.4.12.	Der ökologische Rucksack der Metallproduktion	46
3.4.13.	Der Ökologische Rucksack - Definition	47
3.4.14.	Übersicht Modul 5: Lebenszyklus und ökologischer Rucksack	48
3.4.15.	Lebenszyklus eines Handys	48
3.4.16.	Modul 8:Die Komponenten des ökologischen Rucksacks Handy	49
3.4.17.	Die Gewichte der Komponenten	50
3.4.18.	Modul 6: Abschluss: Was kann ich tun?	51
4.	Anhang: Arbeitsmaterialien	53
	Literatur und Quellen	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ressourcensystematik von ProgRess II.	8
Abbildung 2:	Megatrend Digitalisierung im Alltag.	11
Abbildung 3:	Der Absatz von Smartphones in Deutschland, 2008-2016.	12
Abbildung 4:	Zur Geschichte des Handys: Karikatur aus dem Simplizissimus	13
Abbildung 5:	Bauteile in einem Smartphone.	14
Abbildung 6:	Stoffe bzw. Elemente in einem Smartphone.	15
Abbildung 7:	Bestandteile eines Smartphones.	16
Abbildung 8:	Metalle in einem Smartphone in Prozentanteilen.	17
Abbildung 9:	Metalle für die weltweite Smartphone-Produktion.	18
Abbildung 10:	Der Lebenszyklus von Metallen 1.	20
Abbildung 11:	Der Lebenszyklus von Metallen 2.	21
Abbildung 12:	Der Lebenszyklus von Metallen 3.	22
Abbildung 13:	Der ökologische Rucksack - Definition.	24
Abbildung 14:	Herstellungsprozesse für Kupfer und Aluminium.	26
Abbildung 15:	Herstellungsprozesse für Glas und Kunststoffe.	27
Abbildung 16:	Lebenszyklus eines Handys.	28
Abbildung 17:	Der ökologische Rucksack des Handys - alle Komponenten.	29
Abbildung 18:	Der ökologische Rucksack des Handys - alle Komponenten.	30
Abbildung 19:	Möglichkeiten zur Reduktion des ökologischen Rucksacks.	32
Abbildung 20:	Arbeitsblatt 1.1 a-b: Karikaturanalyse und Lösungsblatt	37
Abbildung 21:	Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsquiz und Lösungsblatt.	38
Abbildung 22:	Arbeitsblatt 2: Bauteile eines Smartphones und Lösungsblatt	39
Abbildung 23:	Information 1: Bestandteile eines Handys.	40
Abbildung 24:	Arbeitsblatt 3: Stoffe im Smartphone, Lösungsblatt.	41
Abbildung 25:	Information 2: Metalle in einem Smartphone.	42

Abbildung 26: Arbeitsblätter 3.1 & 3.2: Berechnung von Gold und Kupfer, Lösungsblatt.....	43
Abbildung 27: Information 3: Mengen von Metallen in Mobiltelefonen weltweit.....	44
Abbildung 28: Arbeitsblatt 4a: Lebenszyklus von Metallen und Lösung.....	45
Abbildung 29: Arbeitsblatt 4b und 4c: Lebenszyklus von Metallen und Lösung.....	46
Abbildung 30: Arbeitsblätter 5.1-5.3: Lebenszyklus von Metallen und Lösungsblatt.	47
Abbildung 31: Arbeitsblatt 6: Definition des ökologischen Rucksacks und Lösungsblatt.	48
Abbildung 32: Arbeitsblatt 7: Lebenszyklus des Handys und Lösungsblatt.	49
Abbildung 33: Information 4: Die Komponenten des ökologische Rucksacks eines Handys.	49
Abbildung 34: Information 5: Der ökologische Rucksack eines Handys: Lösungsblatt.	50
Abbildung 35: Arbeitsblätter 9.1 - 9.4 Handlungsoptionen und Lösungsblatt.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handlungsfelder von ProgRess II.	8
Tabelle 2: Gestaltungsaspekte von ProgRess II im Handlungsfeld 6.....	9
Tabelle 3: Materialintensität, Input Kategorien, Wuppertal Institut, 2013.	25
Tabelle 4: Verlauf der Unterrichtsreihe.	35
Tabelle 5: Modul 1: Einführung Mobiltelefone in Alltag und Gesellschaft.....	36
Tabelle 6: Modul 2: Bauteile und Zusammensetzung von Handys.	39
Tabelle 7: Modul 3: Mengen von verschiedenen Metallen im Handys.	42
Tabelle 8: Modul 4: Lebenszyklus und ökologischer Rucksack.	45
Tabelle 9: Modul 5: Bauteile und Zusammensetzung von Handys.	48
Tabelle 10: Modul 6: Handlungsoptionen.	51

0. Einleitung

Das Netzwerk für Bildung für Ressourcenschonung und -effizienz (BilRess) hat sich zum Ziel gesetzt die zentralen Akteure innerhalb und außerhalb des Bildungswesens, die für die Verankerung von Ressourcenbildung in den verschiedenen Bildungsbereichen, (schulische Bildung, Ausbildungsberufe, Hochschulbildung und Weiterbildung) verantwortlich sind, zu vernetzen. Sie sollen für das Thema Ressourcenschonung und -effizienz sensibilisiert werden. Dazu werden u.a. Lehr-Lern-Materialien aus dem Themenbereich Ressourcenbildung und -schonung entwickelt, die den Akteuren der beruflichen Bildung zur Verfügung gestellt werden (LehrRess). Es soll die Implementierung der Inhalte in Aus- und Weiterbildung erleichtern.

Dieses Material widmet sich dem Thema „**Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik**“ mit einem Unterrichtsvorschlag „**Der ökologische Rucksack eines Handys**“. Die Materialien für die Weiterbildung und die Unterrichtseinheiten sind wie folgt strukturiert:

- Dieses Word-Dokument ist die Übersicht über die „Unterrichtsreihe“ mit
 - Sachanalyse,
 - Rahmung des Unterrichts,
 - Unterrichtsvorschlägen, sowie
 - Materialanhang (Arbeitsblätter).
- Die dazugehörigen Folien untergliedern sich in vier Foliensätze:
 - Der erste Foliensatz ist die Einführung in das Programm ProgRess (Foliensatz I, Weiterbildung für Lehrende)
 - In Foliensatz II wird die Sachanalyse als Weiterbildung aufgearbeitet (Foliensatz II, Weiterbildung für Lehrende).
 - Foliensatz III enthält die Rahmung des Unterrichts (Übersicht über die Module der Unterrichtsreihe (Weiterbildung für Lehrende)
 - Foliensatz IV umfasst die Unterrichtsvorschläge (Folien für den Unterricht).

Hintergrundmaterial ProgRess II (BMUB 2016)

Grundlage für eine Strategie der Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz ist das ProgRess-Programm der Bundesregierung (Bundesregierung 2016). Das Thema Ressourceneffizienz ist in den letzten Jahren sowohl in Deutschland als auch auf der Ebene der Europäischen Union immer mehr in den Fokus der politischen Diskussion gerückt. Es gewinnt auch international zunehmend an Bedeutung. So haben sich 2015 unter deutschem Vorsitz auch die Mitgliedstaaten der G7 des Themas angenommen, um über Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz zu beraten. Dazu wurde unter anderem die Gründung einer G7-Allianz für Ressourceneffizienz zum freiwilligen Wissensaustausch und zur Netzwerkbildung beschlossen. Die Bundesregierung stellt sich in diesem Zusammenhang ihrer Verantwortung. Bereits 2002 hat sie in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel verankert, Deutschlands Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln. 2012 folgte das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), das dazu beitragen soll, dieses Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie zu erreichen. Dabei soll der Fokus des Programms aber nicht nur auf der Steigerung der Effizienz liegen, sondern auch darstellen, inwieweit der Einsatz von Rohstoffen, zum Beispiel in Umwelttechnologien, vielfach auch natürliche Ressourcen schützt. Die Bundesregierung hat mit ProgRess beschlossen, alle vier Jahre über die Entwicklung der Ressourceneffizienz in Deutschland zu berichten, die Fortschritte zu bewerten und das Ressourceneffizienzprogramm fortzuentwickeln. Mit ProgRess II liegt der erste dieser Fortschrittsberichte vor. ProgRess hat bislang die Steigerung der Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei der Nutzung abiotischer und

biotischer Rohstoffe betrachtet, nicht aber die damit verbundenen Aspekte der Energieeffizienz. Beide Bereiche, Materialeffizienz und Energieeffizienz, sind aber eng miteinander verflochten. Mit ProgRes II sollen deshalb, wo dies sinnvoll ist, verstärkt Energie- und Materialströme gemeinsam betrachtet werden, so dass sie sich gegenseitig unterstützen können. ProgRes II basiert weiter auf den vier Leitideen von ProgRes I:

- Ökologische Notwendigkeiten mit ökonomischen Chancen, Innovationsorientierung und sozialer Verantwortung verbinden
- Globale Verantwortung als zentrale Orientierung unserer nationalen Ressourcenpolitik sehen
- Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland schrittweise von Primärrohstoffen unabhängiger machen, die Kreislaufwirtschaft weiterentwickeln und ausbauen
- Nachhaltige Ressourcennutzung durch gesellschaftliche Orientierung auf qualitatives Wachstum langfristig sichern.

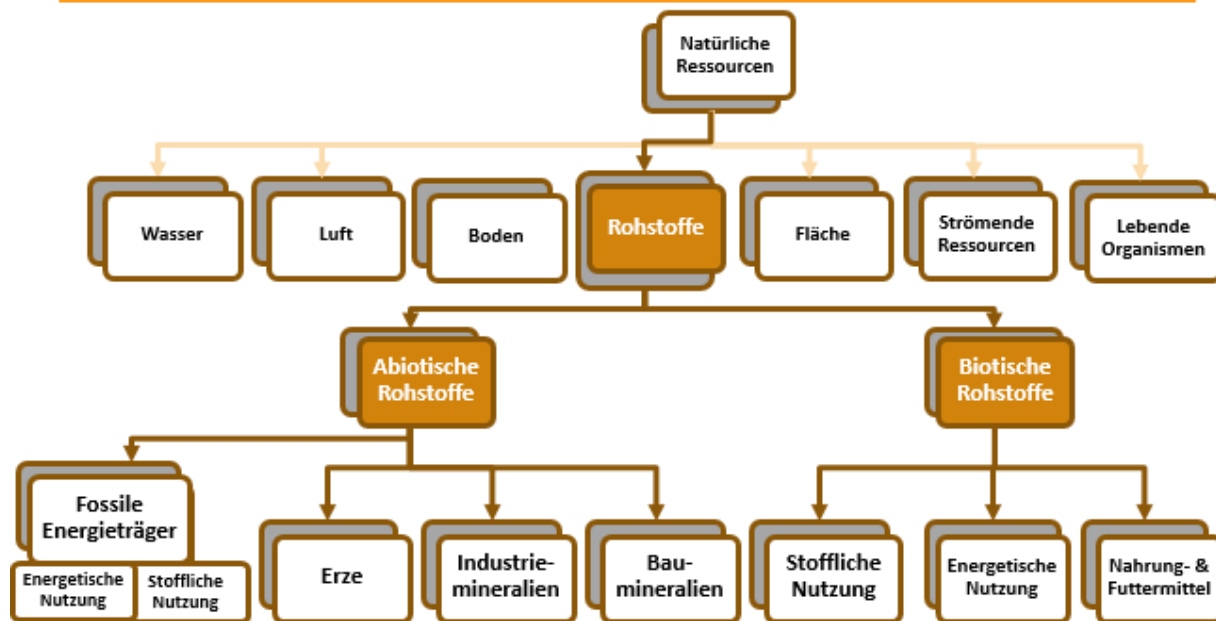
Um diese Leitideen umzusetzen, werden die Indikatoren und Ziele zur Ressourcenschonung aus der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie um weitere Indikatoren und Ziele ergänzt und Gestaltungsansätze aufgezeigt, um die Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu verbessern. Es geht darum, eine nachhaltige Rohstoffversorgung zu sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion zu steigern, Produkte und Konsum ressourcenschonender zu gestalten und eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft auszubauen. Dafür werden Maßnahmen für ressourcenrelevante Handlungsfelder wie Bauen, nachhaltige Stadtentwicklung und Informations- und Kommunikationstechnik in die Wege geleitet sowie übergreifende rechtliche, ökonomische und informatorische Instrumente genutzt.

ProgRes hat eine eigene Ressourcensystematik.

- Zu den natürlichen Ressourcen gehören Wasser, Luft, Boden, Rohstoffe, Fläche, Strömende Ressourcen (Luft, Sonnenlicht, bewegtes Wasser) sowie lebende Organismen.
- Rohstoffe wiederum werden unterschieden in biotische und abiotische Rohstoffe.
 - Biotische Rohstoffe, also erneuerbare, natürlich vorkommende Stoffe sind tierischer oder pflanzlicher Herkunft, z. B. Produkte aus der Land- oder Forstwirtschaft. Diese können stofflich, energetisch oder als Nahrungsmittel oder Tierfutter genutzt werden.
 - Abiotische Rohstoffe sind sowohl die fossile Energieträger (Erdöl, Kohle) als auch Erze, Industrie- und Baumineralien.

Abbildung 1: Ressourcensystematik von ProgRes II.

Sachanalyse: Ressourcen Systematik



Quelle: Eigene Darstellung nach BMUB 2016

ProgRes umfasst 10 Handlungsfelder – die auf der nachfolgenden Abbildung aufgeführt werden. Diese sind:

Tabelle 1: Handlungsfelder von ProgRes II.

Handlungsfelder	Themen
Handlungsfeld 1	Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern
Handlungsfeld 2	Ressourceneffizienz in der Produktion steigern
Handlungsfeld 3	Produkte und Konsum ressourcenschonender gestalten
Handlungsfeld 4	Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen
Handlungsfeld 5	Nachhaltiges Bauen und nachhaltige Stadtentwicklung
Handlungsfeld 6	Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik
Handlungsfeld 7	Übergreifende Instrumente (u. a. BilRes und LehrRes)
Handlungsfeld 8	Synergie zu anderen Politikfeldern erschließen und Zielkonflikte abbauen
Handlungsfeld 9	Ressourceneffizienzpolitik auf kommunaler und regionaler Ebene unterstützen
Handlungsfeld 10	Ressourcenpolitik auf internationaler und EU-Ebene stärken

Quelle: BMUB 2016.

In jedem der Handlungsfelder gibt es verschiedene Gestaltungsaspekte (siehe nachfolgende Tabelle). Einer dieser Gestaltungsaspekte ist die „Ressourceneffizienz der IKT-Produkte verbessern“. Dieser Gestaltungsaspekt wird in dieser Weiterbildung und der dazugehörigen Unterrichtseinheit am Beispiel „Der ökologisch Rucksack eines Handys“ behandelt.

**Tabelle 2: Gestaltungsaspekte von ProgRess II im Handlungsfeld 6.
Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik**

<i>Gestaltungsaspekt</i>	<i>Thema</i>
6.1	Ressourceneffizienz der IKT-Produkte verbessern
6.2	Mit effizienter Software die Ressourceninanspruchnahme der IKT verringern
6.3	Ressourceneffiziente IKT-Produkte und Dienstleistungen bevorzugt beschaffen
6.4	Ressourceneffizientere Rechenzentren schaffen

Quelle: BMUB 2016.

Das Thema dieser Lerneinheit ist Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz am Beispiel eines Handys bzw. Smartphones. Produktion, Gebrauch und Recycling der Geräte beanspruchen erhebliche und vielfältige natürliche Ressourcen.

Die vorliegende Sachanalyse, die Weiterbildung und die Unterrichtsvorschläge beziehen sich auf das Handlungsfeld „Ressourceneffizienz der IKT-Produkte verbessern“. Die Materialien behandeln den Ressourcenverbrauch durch die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von mobilen Telefonen. Die Unterrichtsreihe vermittelt zunächst, woraus ein Handy besteht, geht dann auf die Produktionsprozesse insbesondere der Metalle ein, erarbeitet dabei den vielfältigen Ressourceneinsatz und macht dies mittels dem ökologischen Rucksack sinnbildlich begreifbar.

Durch die Omnipräsenz und rasante Entwicklung der IKT und den Zusammenhang zwischen Digitalisierung und Wirtschaftswachstum hat dieser Bereich erhebliche Relevanz für die Ressourcenschonung. Zum einen kann durch die IKT eine Effizienzsteigerung der Planung von Produktion und Service erreicht werden, zum anderen kann die Produktion von IKT-Produkten selbst ressourcenschonender werden. In Progress II werden folgende explizite Gestaltungsansätze vorgestellt:

Zum einen arbeitet die Bundesregierung daran, die Lebens- und Nutzungsdauer der IKT-Geräte zu verlängern, indem Anforderungen an Modularität und Nachrüstbarkeit, Reparierbarkeit und Ersatzteile, sowie an die Abwärtskompatibilität von Hard- und Software entwickelt und umgesetzt werden. Im Bereich der Standardisierung von Ladegeräten wurde dies bereits erreicht, bisher stehen aber kaum Produkte ohne beige packte Ladegeräte zur Verfügung. Ein weiterer Ansatz ist die Bewertung der Ressourcennutzung der verschiedenen Geräte von der Wiege bis zur Bahre. Zudem soll sichergestellt werden, dass eine umweltgerechte Entsorgung nicht nur im Inland, sondern auch nach Verbringung ins Ausland gewährleistet ist.

Neben den Ressourcenanforderungen der Hardware ist auch die Software relevant für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz, denn beide sind voneinander abhängig. Dieser Zusammenhang soll ermittelt und bewertet werden.

Als relevanten Treiber für die Etablierung von umweltfreundlichen Produkten im IKT-Markt hat die Bundesregierung die öffentliche Beschaffung auf allen Regierungsebenen identifiziert, die vollständige Umsetzung der bereits bestehenden Leitfäden muss noch weiterverfolgt werden, bis umweltfreundliche Produkte und ressourceneffiziente IKT-Produkte als Standard etabliert sind. Dies betrifft auch die Rechenzentren, deren Ressourceneffizienz sowohl bezüglich Energieeffizienz, perspektivisch aber auch auf die Effizienz anderer Umweltressourcen hin weiterentwickelt werden. Auf Bundesebene sind die Kriterien des „Blauen Engels“ bereits als Umsetzungsziel etabliert, für Wirtschaft, Länder und Kommunen sind Selbstverpflichtungen in der Entwicklung. Zudem besteht weiterer Bedarf an der Entwicklung für Kennzahlen für ressourceneffiziente Rechenzentren.

In dieser Lerneinheit wird vor allem Bezug genommen auf die Ressourceneffizienz von IKT-Produkten. Den Schülerinnen und Schülern werden die Ressourcenanforderungen von Produktion und Nutzung von Handys vermittelt und damit auf verantwortliches Verbraucherverhalten hingewirkt.

- Die Nutzung von Handys und Smartphones weist unbestritten einen Katalog an Vorteilen und Nutzungsannehmlichkeiten auf. Insbesondere Smartphones bieten den Nutzern weit mehr Funktionalität als nur weitgehend ortsunabhängiges Telefonieren, z.B. umfangreiche Computer-Funktionalitäten, Medienabspielgerätefunktionen, Internet-Zugang oder die Funktionen eines Personal Digital Assistant (PDA) einer Digital- und Videokamera und eines GPS-Navigationsgeräts.
- Gleichzeitig treten gesellschaftliche Auswirkungen auf: neben dem intensiveren und zeitlich nahezu unbegrenzten Vernetzt-sein wird z.B. der Trend zu Neuheiten, der sich bis zu einem „Zwang zum aktuellen Produkt“ entwickeln kann, konstatiert.
- Die rasante Entwicklung des Handy- und Smartphone-Marktes bedingt erhebliche ökonomische Kosten sowie erhebliche Umweltauswirkungen. Hier werden die Anforderungen an natürliche Ressourcen, die diese Entwicklung mit sich bringt im Detail erörtert.
- Die geringe Nutzungsdauer der Geräte, zum Teil durch gezielte Lebensdauerverkürzung (z.B. durch verklebte statt auswechselbare Akkus) bedingt, führt zudem zu Elektro-Schrott.

1. Themenbeschreibung

Mobiltelefone (auch Handy, Funktelefon, GSM-Telefon genannt) waren zunächst tragbare Telefone, die über Funk mit dem Telefonnetz kommunizierten. 2013 wurden weltweit erstmals mehr internetfähige Mobiltelefone mit berührungsempfindlichen Bildschirmen (Smartphones) als herkömmliche Mobiltelefone verkauft.

Die Digitalisierung im Alltag ist ein Megatrend der kontrovers diskutiert wird, aber schon heute nahezu alle menschlichen Lebensbereiche durchdringt. John Naisbitt, der den Begriff „Megatrend“ geprägt hat beschreibt Megatrends folgendermaßen: *...„diese großen gesellschaftlichen, ökonomischen, politischen und technologischen Veränderungen entfalten sich langsam und üben - wenn sie erst mal wirksam geworden sind - dann ihren Einfluss eine Zeitlang auf uns aus: zwischen sieben und zehn Jahren oder länger. Sie sind an Umfang und Intensität das, was ein Jahrzehnt an Veränderung leisten kann.“* (Naisbitt, 1982)

In der folgenden Übersicht wird anhand von einigen Beispielen verdeutlicht, wie weit die Digitalisierung des täglichen Lebens bereits fortgeschritten ist und wie weitreichend die nur wenigen dargestellten Lebensbereiche von digitalen Medienmöglichkeiten durchdrungen werden:

Abbildung 2: Megatrend Digitalisierung im Alltag.



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Kommunikation, insbesondere bei Jugendlichen, ist vom digitalen Miteinander stark beeinflusst, Reiseplanung und auch das Entdecken ferner Örtlichkeiten ist auf digitalem Wege möglich. Selbst die Lebensbereiche des Lernens und der Organisation des eigenen Lebens sind von digitalen Angeboten bestimmt. Mediennutzung und auch die Schaffung von Material für Medien sind schon lange digital dominiert.

Neben der Digitalisierung wird auch die Ressourceneffizienz als einer der großen Megatrends des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Praktische Ressourcenknappheit, steigende Ressourcenkosten und nachhaltig ausgerichtetes Wirtschaften sind die Gründe für eine intensive Auseinandersetzung

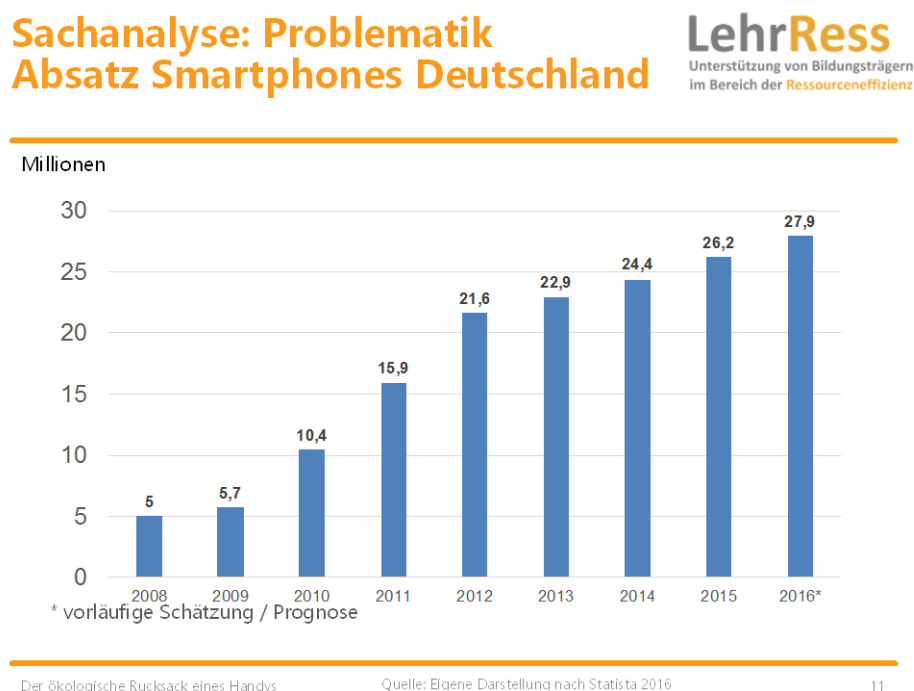
mit dem Thema Ressourceneffizienz. Hierbei geht es nicht nur um eine ressourcenschonende Produktion, sondern auch um möglichst ressourcenschonende Lebenszyklen und Wiederverwertung. Eine große Herausforderung dabei ist bisher, dass Informationen zur Ressourceneffizienz den Verbrauchern in der Regel kaum zugänglich sind.

1.1. Problembeschreibung: Ressourcenbedarf

Ein Leben ohne Handy oder Smartphones ist heute für die meisten Menschen in Deutschland kaum noch vorstellbar. Insbesondere für Jugendliche gehören die mobilen IKT-Geräte fest zum Alltag: 2014 hatten 97 Prozent der 12- bis 19-Jährigen ein eigenes Handy, ein Smartphone besaßen 88 Prozent. Selbst in der Altersgruppe der 6- bis 13-Jährigen verfügen 47 Prozent der Kinder über ein Handy oder Smartphone, wobei diese mit steigendem Alter an Bedeutung gewinnen: Lediglich 10 Prozent der 6- bis 7-Jährigen besitzen ein Mobiltelefon, bei den 10- bis 11-Jährigen sind es bereits 61 Prozent und bei den 12- bis 13-Jährigen 83 Prozent.

Seit 2008 wurden allein in Deutschland etwa 160 Millionen Smartphones verkauft, weltweit wurden von 2010 bis 2016 über 6.7 Milliarden Smartphones vertrieben. Prognosen weisen weiteres Wachstum aus. Smartphones und Handys sind technologische Präzisionsprodukte. Für ihre Produktion wird eine Vielzahl von Rohstoffen benötigt, Herstellung und auch die Nutzungsphase der Geräte bedingen den Verbrauch von natürlichen Ressourcen.

Abbildung 3: Der Absatz von Smartphones in Deutschland, 2008-2016.



Quelle: Eigene Darstellung nach Statista 2016.

Die Abbildung zeigt den Absatz von Smartphones in Deutschland. Smartphones können durchaus mindestens vier Jahre genutzt werden – nach einer Studie des Umweltbundesamtes kaufen jedoch 42% der befragten Nutzer/-innen alle zwei Jahre oder häufiger ein neues Smartphone. Nach Bitkom nutzten in 2014 und 2015 6 von 10 Bundesbürgern ab 14 Jahre (63%) ein Smartphone. In der Unterrichtsklasse wird vermutlich ein Wert von 100% vorliegen. Der Bestand an Smartphones – nicht an Handys – dürfte aufgrund der Lebensdauer in Deutschland weit über die 100 Millionen bis hin zu 150 Millionen Geräte liegen (Abschätzung VDI ZRE).

Die zentrale Rolle, die Handys im heutigen Alltag spielen lässt sich am Vergleich mit der Zeit, in der es noch keine Handys gab sehr effektiv darstellen. Die folgende Karikatur aus dem *Simplicissimus* aus dem Jahre 1926 illustriert - mit damals satirischem Biss - eine Situation, die heute allgegenwärtig ist.

Abbildung 4: Zur Geschichte des Handys: Karikatur aus dem *Simplicissimus*



Bildüberschrift: Berlin - Drahtlose Telephonie

Bildunterschrift: „Hier Kuschke zur Zeit Ecke Friedrich-Behenstraße...gut - bon - gemacht - komme sofort!“;

Quelle: Karl Arnold: Karikatur, *Simplicissimus* 31 No 38, 1926 © VG Bild-Kunst, Bonn 2017

Der Vergleich der damaligen „mobilen Telefone“ mit aktuellen Smartphones illustriert die rasante technische Entwicklung und auch die vielfältigen Ressourcenansprüche der Geräte, da technische Materialien wie gehärtetes Glas, Hartkunststoffe und Mikrochips noch nicht entwickelt waren. Auch ein Vergleich der Funktionen eines heutigen Smartphones mit denen der dargestellten, fiktiven Telefone illustriert das Ausmaß des technischen Fortschritts und wirft zudem ein Licht auf die Verschiebung der Wertevorstellungen. Der satirische Aspekt rührt insbesondere davon, dass es damals nicht denkbar gewesen wäre, dem Übermitteln einer so trivialen Information ein Telefongespräch zu widmen.

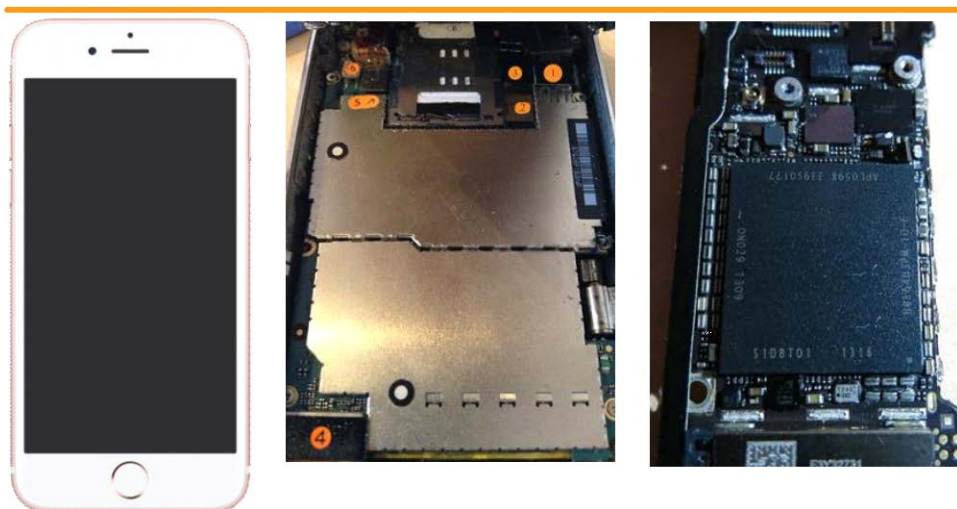
1.2. Zusammensetzung eines Smartphones - Bauteile

Die Zusammensetzung eines Handys/Smartphones variiert von Marke zu Marke und auch von Modell zu Modell. Trotzdem sind die Geräte in ihren Grundkomponenten durchaus vergleichbar. Wenn man ein Smartphone in seine Komponenten zerlegt, so lassen sich viele Komponenten eindeutig identifizieren: Das Display ist mit dem Frontcase abgedeckt. Die integrierten Kameras sind anhand der Mini-Linsen eindeutig identifizierbar, wie auch das Beleuchtungs-Modul (Blitzlicht/Taschenlampe). Die Antenne ist je nach Modell u.U. schwierig zu identifizieren, da sie häufig in das Gehäuse integriert ist. Auf dem Mainboard ist anhand der verschiedenen Strukturen und Verbindungen die darauf zu erkennen sind, die Vielzahl der eingesetzten Rohstoffe am besten darzustellen. Der Vibrationsalarm ist oft anhand der Unwucht zu erkennen. Lautsprecher und Mikrophoneinheit sind anhand der charakteristischen Abdeckung eindeutig zuzuordnen, bei manchen Modellen lässt sich die Funktionsweise von Kippschaltern sehr gut vermitteln. SIM-Karten-Slot, Batterie, Kopfhörer und I/O Eingänge sind Strukturen die ohnehin regelmäßig benutzt werden.

Abbildung 5: Bauteile in einem Smartphone.

Unterrichtsmaterial Welche Bauteile im Smartphone?

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz



Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Links iPhone, World Super Cars, Mitte geöffnetes iPhone, Jojhnjoy, Rechts Logicboard iPhone, Jojhnjoy

64

Quelle: Eigene Darstellung; Bildquellen siehe unter Referenzen.

1.3. Zusammensetzung eines Smartphones - Stoffe (Elemente)

Von den makroskopisch erkennbaren Strukturen ausgehend stellt sich die Frage nach der stofflichen Zusammensetzung. Unsere heutigen technischen (Elektro-)Produkte sind äußerst komplexe Präzisionsprodukte. Wir sehen die Kunststoffe - die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und häufig Sauerstoff (teilweise Stickstoff) bestehen, die Metallbauteile (u.a. Aluminium, Stahl) sowie Gläser (Calcium-Natrium-Siliziumoxide). Doch vor allem in der Elektronik verbergen sich viele Elemente des Periodensystems. Die Umweltschutzagentur der Vereinten Nationen (UNEP) gibt exemplarisch folgende Inhaltsstoffe an (UNEP, 2006):

- **Hülle / Gehäuse:** Kunststoff, Aluminium, Stahl, Chrom, Titan, Antimon, Magnesium
- **Platine:** Kunststoff, Kupfer, Brom, Mangan, Silber, Tantal, Wolfram, Zink, Barium, Wismut, Calcium, Gold, Palladium, Ruthenium, Strontium, Schwefel, Yttrium, Zirconium
- **Batterien:** Nickel, Kalium, Kobalt, Lithium, Carbon, Aluminium, Stahl, Zinn, Fluor, Kupfer
- **LCD Bildschirm, Chips:** Glas, Keramik, Flüssigkristall Polymere, Arsen, Gallium, Tantal

Insgesamt werden bis zu 60 der 80 stabilen Elemente des Periodensystems in Handys und Smartphones verbaut.

Abbildung 6: Stoffe bzw. Elemente in einem Smartphone.

Unterrichtsmaterial Elemente im Smartphone

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

1 H Wasserstoff																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkon	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Jod	54 Xe Xenon
55 Cs Cäsium	56 Ba Barium	57 La Lanthan	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

(³²Ge: Germanium gehört nicht zu den üblichen Inhaltsstoffen eines Handys)

Quelle: Peter Hermes Furian/Fotolia #82673007

1.4. Rohstoffbedarf für Smartphones

Um den Ressourceneinsatz darzustellen, der notwendig ist um Smartphones herzustellen und zu betreiben, stellt sich die Frage nach der mengenmäßigen Verteilung der eingesetzten Elemente:

Mengenmäßig sind die bedeutendsten Elemente:

- Aluminium (z.B. Gehäuse)
- Lithium und Kobalt (Lithium-Ionen-Batterie)
- Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff (Kunststoffe)
- Kupfer (Kabel, Leiterbahnen)

- Silizium, Calcium, Natrium, Kalium, Sauerstoff (Gläser)

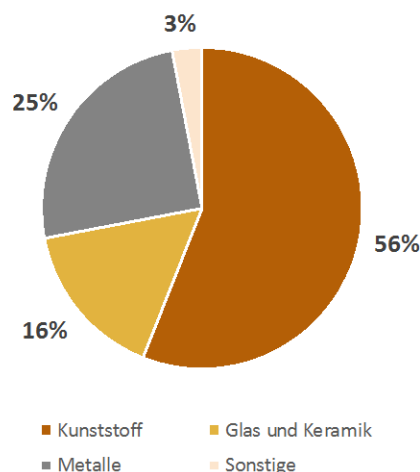
Diese Elemente finden sich in den 56% Kunststoffen, 16% Glas- und Keramikkomponenten, 25% Metallen und 3% sonstige Elemente aus denen ein Handy besteht.

Abbildung 7: Bestandteile eines Smartphones.

Unterrichtsmaterial Woraus besteht ein Smartphone?

- Kunststoffe bilden den größten Teil eines Smartphones
- Die größte Vielfalt an Elementen findet sich in den **1% Andere Metalle**.
Darin befinden sich z.B. **Gold, Silber, Platin, Palladium...**

Metall (25%)	Anteil (%)
Kupfer	15%
Eisen	3%
Aluminium	3%
Nickel	2%
Zinn	1%
Andere	1%



Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darstellung nach informationszentrum-mobilfunk.de 66

Quelle: Eigene Darstellung nach informationszentrum-mobilfunk.de, Stand November 2015.

Auch wenn ein Smartphone zum größten Teil aus Kunststoff und Glas besteht: Besonders wichtig ist die Metallvielfalt, die zusammen 25 Prozent des Gewichts ausmacht. 15% sind Kupfer, der wie in allen elektrischen Geräten als Stromleiter dient. 3% entfallen auf Aluminium, wobei dieser Anteil bei Handys mit Aluminium-Gehäuse erheblich höher ist. 3% entfallen auf Eisen, 2% auf Nickel. Kritisch sind jedoch vor allem die Elemente, die in sehr geringen Mengen vorkommen: Neben Gold, Silber und Platin selteneren Elemente wie Palladium, Tantal, Indium oder Gallium. Diese Elemente werden eingesetzt, da sie sehr spezifische Eigenschaften haben und die hochkomplizierten elektronischen Vorgänge im und Funktionen des Smartphones erst ermöglichen (siehe Abbildung 6).

Die folgende Übersicht zeigt, wie gering die eingesetzten Mengen größtenteils sind und in welchen Bauteilen sie eingesetzt werden:

Abbildung 8: Metalle in einem Smartphone in Prozentanteilen.

Unterrichtsmaterial Ausgewählte Metalle, Smartphone

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

Element	Gew.-Anteil %	Verwendung
Kupfer	10-15%	Leiterplatte, Verbindungen, Kontakte (Legierungen)
Silizium	10-15%	Mikrochips, Glas, auch als Kunststoff (Silikone)
Aluminium	4-9%	Rahmen, Abdeckungen, Befestigungen (Gehäuse für Batterien: Anteil bis 20%)
Kobalt	~ 4%	Elektroden der Lithium-Ionen-Batterie
Lithium	3 – 4%	Elektrolyt in der Lithium-Ionen-Batterie
Eisen	~ 3%	Federn, Schrauben
Silber	0,16%	Leitfähige Kleber, Kontaktbahnen der Platine
Gold	0,024%	Beschichtung der Kontakte und Steckverbindungen
Palladium	0,005%	elektrische Kontakte und Kondensatoren
Tantal	~ 0,004%	Mikrokondensatoren
Platin	< 0,001%	Hochbelastete Kontakte auf der Leiterplatte
Indium	~ 0,002%	Touchscreen (durchsichtige Leiterbahnen)
Gallium	~ 0,0013%	Elektronik (optische-elektrische Signalumwandlung)

Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darstellung nach Nordmann u.a. (2015): Die Rohstoff-Expedition, Springer-Verlag

70

Quelle: Nordmann u.a. (2015): Die Rohstoff-Expedition. Springer-Verlag.

Rein finanziell betrachtet sind die Elemente Silber, Gold, Palladium, Platin, Tantal, Indium und Gallium die wertvollsten. Neben diesem Aspekt stellt sich aber zudem die Frage der Verfügbarkeit. Metalle können aus unterschiedlichen Gründen als „seltene Erden“ klassifiziert werden (Preis bzw. Preisanstieg, Knappheit des Vorhandenseins in der Erdkruste oder Konzentration des Metalls in den abbaubaren Gesteinen).

Für mehrere der in der Informations- und Kommunikationstechnologie erforderlichen Metalle gibt es starke Beschränkungen für die jetzige oder die zukünftige weltweite Verfügbarkeit. Die Kritikalität wird ganz besonders deutlich, wenn man den Bedarf für die aktuellen oder absehbaren zukünftigen Entwicklungen des Smartphone-Marktes betrachtet:

Abbildung 9: Metalle für die weltweite Smartphone-Produktion.

Unterrichtsmaterial Mengen weltweiter Verbrauch

Vergleichen Sie nun die Mengen der Metalle, die weltweit eingesetzt werden mit den geringen Mengen, die in einzelnen Handys verbaut werden:

	je Handy (Stück) in mg	je Smartphone (Stück) in mg	Gesamt in Smartphones (Verkauf 2015*, in t)	Gesamtpreis 2016 Smartphones
Gold	24	30	43	1.600 Mio.€
Silber	250	305	436	230 Mio.€
Platin	< 0,9	< 1,1	1,6	46 Mio.€
Palladium	9	11	13	7,7 Mio.€
Indium	1,8	2,2	3,1	1,3 Mio.€
Tantal	3,6	4,4	6,3	0,72 €
Cobalt	4,4	5,2	7,4	0,20 €

Quellen: Wuppertalstiftung 2013; Statista 2015; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz; Berechnung der Preise nach Daten Statista 2015: Smartphone-Absatz weltweit 1,43 Mrd, sowie Preise gemäß <http://www.finanzen.net/rohstoffe/> bzw. <http://www.boerse.de/rohstoffpreise>

Abbildung 8 zeigt, wie sich die geringen Mengen in den Smartphones zu großen Mengen summieren: In einem herkömmlichen Handy sind ca. 250 Milligramm Silber, 24 Milligramm Gold und 9 Milligramm Palladium enthalten. Für Smartphones geht man von höheren Werten aus. Schätzungen zufolge enthält ein Gerät mit einem Gewicht von 110 Gramm ca. 305 Milligramm Silber, 30 Milligramm Gold und 11 Milligramm Palladium.

Hochgerechnet auf den von Statista ermittelten Absatz von 1,43 Mrd Smartphones (nicht Handys) weltweit, ergeben sich somit Rohstoffbedarfe von 436 t Silber, 43 t Gold und 13 t Palladium im Jahr 2015. Preislich besonders relevant sind die Werte für Gold und Silber mit 31 bzw. 4,5 Millionen Euro sowie für Platin mit 0,9 Millionen. Diese Zahlen zeigen auch, dass ein Recycling insbesondere dieser werthaltigen Stoffe besonders wichtig ist.

1.5. Lebenszyklus von Metallen

Mit diesen Mengen an metallischen Rohstoffen, die sich im Smartphone befinden, ist aber bei Weitem nicht der Einsatz aller Materialien beschrieben die notwendig sind um den Weg des Metalls aus dem Gestein bis zum Recycling nachzuvollziehen:

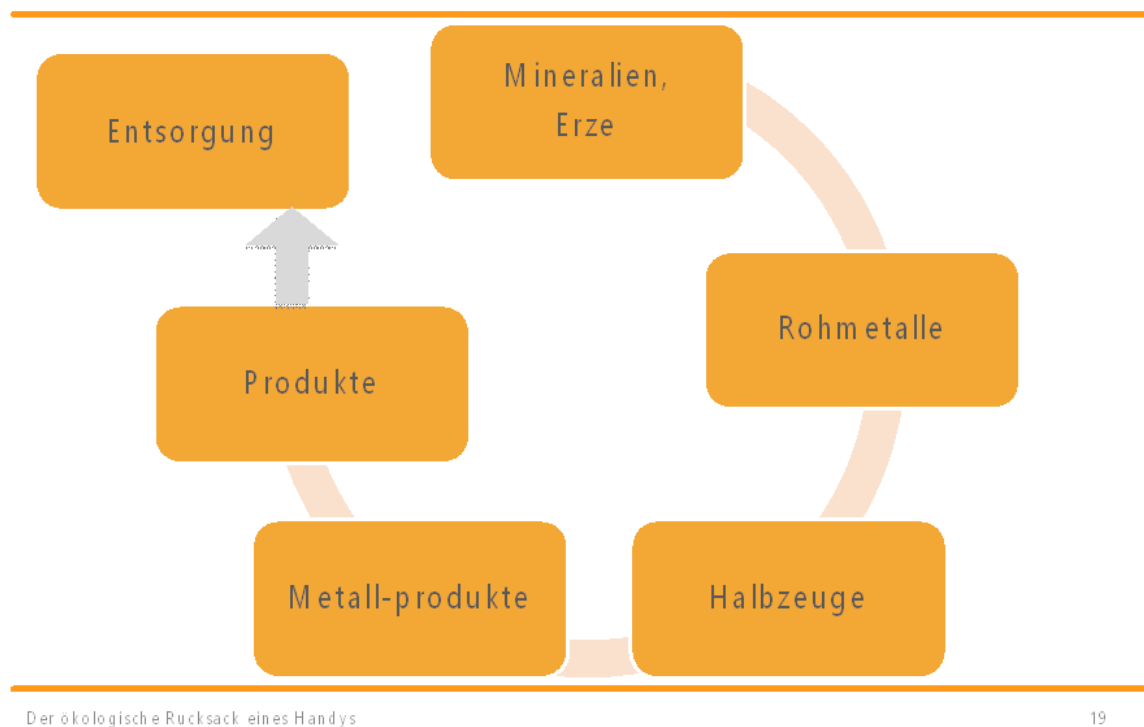
Alle Materialien durchlaufen eine Herstellungsphase, die mit den Rohstoffen beginnt und folgende **Prozessschritte** umfasst. Vereinfacht dargestellt umfasst der Lebenszyklus von Metallen folgende Stationen:

Lebenszyklus vereinfacht:

1. **Mineralien und Erze:** Der erste Schritt ist die Gewinnung von Mineralien (v.a. Metalloxide, -carbonate, -sulfide) und Erzen (v.a. Metalle) mittels Bergbau. Dies kann im Tagebau geschehen, wobei zum Teil riesige Gruben entstehen, oder auch im Untertagebau mittels Stollen und Schächten.
2. **Rohmetalle:** Anschließend erfolgt die Verhüttung der Mineralien und Erze zur Herstellung der Rohmetalle. Dabei werden neben dem massiven Energiebedarf in der Regel auch noch weitere Hilfsstoffe eingesetzt (z.B. Flussmittel um den Schmelzpunkt herabzusetzen)
3. **Halbzeuge:** Im dritten Schritt erfolgt die Herstellung der Halbzeuge wie z.B. von Rohren, Platten oder Bändern.
4. **Metallprodukte:** Aus den Halbzeugen werden über sehr unterschiedliche Prozesse und Verfahren die Metallprodukte hergestellt. Beispiele sind standardisierte Produkte wie Schrauben, Drähte oder Klemmen, aber auch spezielle Produkte z.B. wie Metallrahmen für Smartphones.
5. **Produktherstellung:** Der letzte Schritt ist die Herstellung der End-Produkte wie z.B. des Smartphones. Dieser Prozess umfasst diverse Stufen mit einer Mischung aus sehr unterschiedlichen Materialien und deren Verbindungen. Je komplizierter diese Produkte aufgebaut werden, desto aufwändiger wird in der Regel auch der letzte Schritt.
6. **Entsorgung:** Nach der Nutzung fallen die Produkte als Abfälle an und werden der Entsorgung zugeführt. Insbesondere Metalle sind bisher lohnenswert im Recycling. Der Einsatz von natürlichen Rohstoffen kann dadurch z. T. erheblich vermindert werden. Doch auch bei den Metallen ist vollständiges Recyceln manchmal nicht möglich.

Abbildung 10: Der Lebenszyklus von Metallen 1.

Sachanalyse: Metallproduktion Lebenszyklus von Metallen 1



Quelle: Eigene Darstellung.

Um diesen Lebenszyklus konkreter werden zu lassen sind hier exemplarisch **diese Prozessschritte in der Kupferherstellung** beschrieben.

Lebenszyklus Beispiel Kupfer:

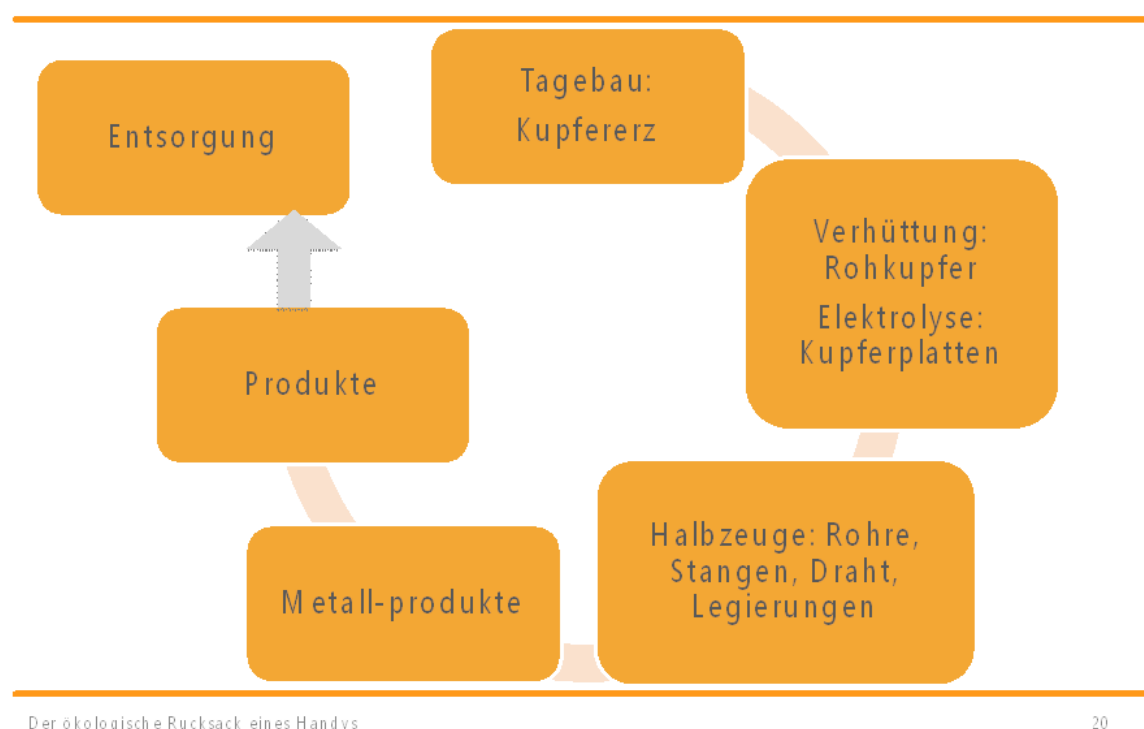
1. **Tagebau:** Für die Gewinnung von Kupfer wird Kupferkies (Erz) abgebaut. Es enthält ca. 30 % Kupfer.
 - **Verhüttung:** Um Kupfer aus dem Erz zu isolieren, wird Kupferkies im Ofen zusammen mit Koks (Kohlenstoff) geröstet. Die Eisenoxide werden als Schlacke abgetrennt. Als Produkt entsteht Kupferstein (Cu_2S). Im nächsten Schritt wird Kupferstein im Ofen geschmolzen und mit Luft verblasen. Dabei entsteht Kupferoxid, welches sich mit dem Kupferstein zu Rohkupfer umsetzt. Rohkupfer enthält ca. 2 % andere Metalle, wie Eisen und Zink, aber auch Gold oder Silber. Um reines Kupfer zu erhalten, folgt eine Elektrolyse. Während alle anderen Metalle in Lösung gehen und als Anodenschlamm ausfallen, scheidet sich an der Kathode das reine Kupfer in Form von Kupferplatten ab.
 - **Halbzeuge:** Die Kupferplatten werden mit Walzverfahren in die Form der Halbzeuge gebracht. Häufige Formen sind Barren, Platten, Stangen, Rohre oder Drähte (in Drahtziehereien). An dieser Stelle werden auch Legierungsverfahren genutzt, d.h. das Kupfer wird mit anderen Metallen zusammengeschmolzen um z.B. Messinglegierungen zu erhalten.

- **Metallprodukte:** Die Halbzeuge werden weiterverarbeitet zu Metallprodukten. Aus den Drähten werden z.B. Litzen (dünne ummantelte Bündel von Einzeldrähten) hergestellt. Aus Flachstangen können durch Schneiden und Pressen z.B. Formwerkstücke wie Klemmen produziert werden. In diesem Prozessschritt werden auch durch vielfältige Schritte die elektrischen und elektronischen Bauteile hergestellt, die Kupfer enthalten (integrierte Schaltkreise, Leiterplatten, Antennen, Sensoren etc.).
- **Produkte:** Im nächsten Schritt werden die Metallprodukte in ein Produkt eingebaut oder zu einem Produkt zusammengebaut.
- **Entsorgung:** Der letzte Schritt im Lebenszyklus ist die Entsorgung. Handys und Smartphones gehören in den Elektroschrott, der aufgrund gesetzlicher Regelungen nicht deponiert werden darf, sondern recycelt werden muss.

Abbildung 11: Der Lebenszyklus von Metallen 2.

Sachanalyse: Metallproduktion Lebenszyklus von Metallen 2

LehrRess
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

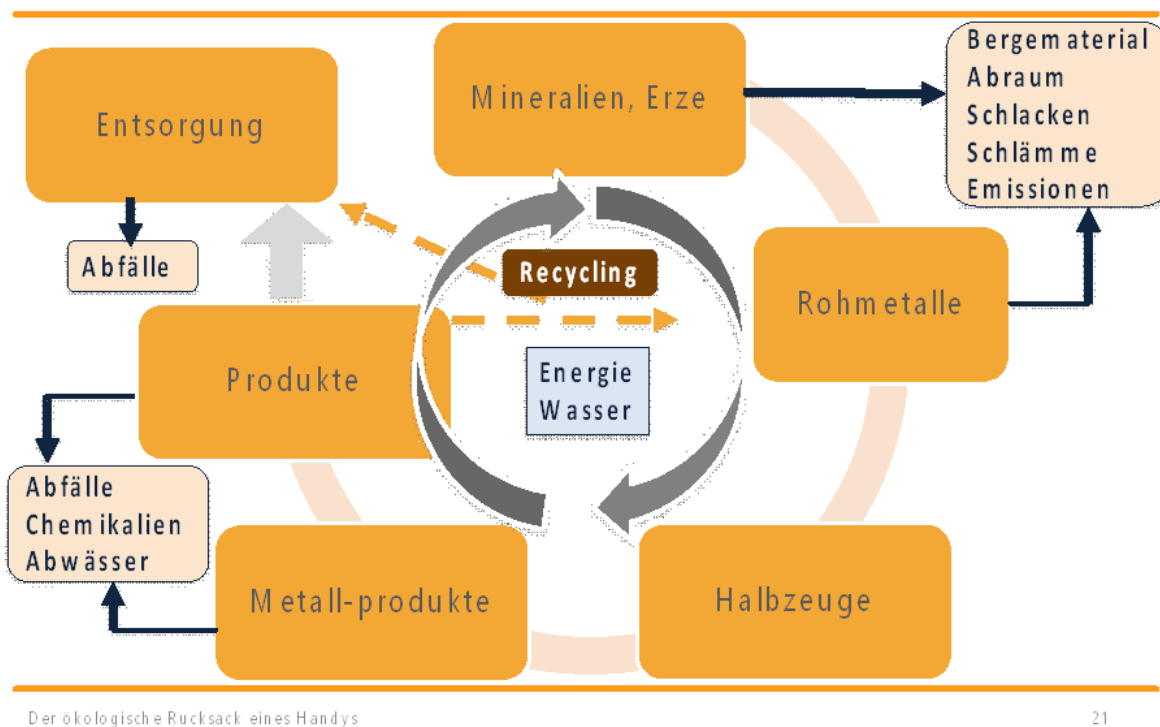


Quelle: Eigene Darstellung.

Doch auch diese Darstellung umfasst noch nicht alle Komponenten des Ressourcenverbrauches: Wie oben herausgestellt wurde der Lebenszyklus bisher stark vereinfacht dargestellt. Denn jeder Prozessschritt benötigt nicht nur **Energie** und **andere Ressourcen**, sondern es entstehen auch **Abfälle**, die entsorgt werden müssen.

Abbildung 12: Der Lebenszyklus von Metallen 3.

Sachanalyse: Metallproduktion Lebenszyklus von Metallen 3



Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Ressourcen, die dem Zyklus zugeführt werden und die aus ihm abfließen mit in die Beschreibung einzubeziehen muss die Beschreibung also nochmals erweitert werden:

Lebenszyklus (fast) umfassend:

1. **Mineralien und Erze:** Beim Bergbau fallen Bergematerialien an (Gesteine), sowohl im Tagebau als auch im eigentlichen Bergbau. Diese Bergematerialien werden deponiert und sind damit der Witterung ausgesetzt. Das Auswaschen von giftigen Metallsalzen kann zur Gewässer- und Grundwasserbelastung führen. Ebenso führt die Verwitterung dazu, dass Stäube in die Umgebung verweht werden, die hohe Konzentrationen (gesundheitsschädlicher) Metalle und deren Verbindungen enthalten können.
- **Rohmetalle:** Alle Metalle liegen meist als Salze oder Oxide vor, nur die Edelmetalle sind rein (metallisch). Vor allem Reduktionen (Oxide) oder Oxidationen (Sulfide) sind notwendige Schritte zur Herstellung der Rohmetalle. Hierbei entstehen Emissionen oder Schlacken im größten Umfang. Zumeist gibt es Technologien um diese Verfahren umweltfreundlich zu gestalten, aber diese werden häufig aus Kostengründen und aus Gewinnstreben zu Lasten der Umwelt und der Bevölkerung in vielen Ländern nicht eingesetzt. Ein bekanntes Beispiel ist Russland (Nickelherstellung bei Norilsk). Vielfach werden auch elektrolytische Verfahren eingesetzt, bei denen dann Schlämme mit hoher Metallbelastung entstehen. Gemeinsam ist allen Verhüttungsprozessen, dass ein hoher Input an Energie und Wasser notwendig ist.

- **Halbzeuge:** Alle Formverfahren benötigen Energie zum Umformen. Wärme wird meist über das Verbrennen fossiler Rohstoffe erzeugt, hierbei fallen Emissionen an. Wasser als Kühlmittel ist ein zentraler Bestandteil der Prozesse wobei auch eine Wasserverschmutzung anfällt, wenn Kühlwasser mit Schmierstoffen oder Hilfsmitteln der Halbzeugherstellung in Kontakt kommt.
- **Metallprodukte:** Die Herstellung von Metallprodukten ist fast immer ein komplexes Verfahren. Energie, Wasser und Chemikalien werden bei allen komplexen Metallprodukten verwendet. Beispielsweise werden Leiterplatten in diversen Ätz- mit anschließenden Reinigungsverfahren hergestellt.
- **Produkte:** Bei der Verwendung von Metallprodukten fallen vor allem Produktreste an. Diverse Verfahren, die auf der dauerhaften Verbindung von Bauteilen setzen, nutzen Hilfsstoffe wie Kleber oder Lötmaterialien, deren Verwendung gleichfalls Abfälle erzeugt.
- **Entsorgung:** Die Entsorgung in Verbindung mit dem Recycling führt dazu, dass viele Rohstoffe wiedergewonnen werden. Bei hochkomplexen Produkten ist dieses stoffliche Recycling problematisch, es werden zumeist nur die Massenwerkstoffe wiedergewonnen (Kupfer, Aluminium, Stahl, Kunststoffe). Kunststofffraktionen werden häufig „thermisch verwertet“, also verbrannt.

Gemeinsam ist allen Schritten, dass ein hoher Aufwand an Energie notwendig ist. Diese Energie wird zumeist aus fossilen Rohstoffen gewonnen mit den entsprechenden klimaschädlichen Auswirkungen.

1.6. Der Ökologische Rucksack - das Konzept

Der ökologische Rucksack stellt eben diesen Zusammenhang zwischen Rohstoffnutzung und Rohstoffherstellung und dem entsprechenden Ressourcenverbrauch her: Er ist die sinnbildliche Darstellung der Menge an Ressourcen, die bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes benötigt werden, welche ökologischen Folgen also damit einhergehen. Je größer der ökologische Rucksack ist, desto mehr Natur wird für ein Produkt verbraucht. Das Modell geht zurück auf Friedrich Schmidt-Bleek, der es 1994 im Rahmen der Überlegungen zum Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS) erstmals veröffentlichte. Alternative Konzepte sind der ökologische Fußabdruck und das virtuelle Wasser. In der Umweltpolitik wird das Konzept nicht mehr verwendet, hier sind Indikatoren wie KRA Kumulierter Ressourcenaufwand etabliert. Der Unterschied der von MIPS und KRA liegt in der Berechnung der Umweltwirkungen, wobei der KRA meist auf Daten von Ökobilanzen zurückgreift und deshalb genauer ist. Die Intention von MIPS lag darin, eine Leistung zu bemessen, also z.B. das Telefonieren. Hierzu war es aber notwendig das Handy zu bilanzieren um dann auf z.B. eine Gesprächsminute umzurechnen. Abbildung 12 vermittelt die Definition des ökologischen Rucksacks in vereinfachter, einprägsamer Form und führt einige Beispiele an.

Abbildung 13: Der ökologische Rucksack - Definition.

Unterrichtsmaterial Was ist der ökologische Rucksack?

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

Der ökologische Rucksack ist:

**Die sinnbildliche Darstellung
der Ressourcen, die für die
Herstellung (und Nutzung)
eines Produktes gebraucht
werden**

Der ökologische Rucksack eines Handys

84

Quelle: Eigene Darstellung.

Sowohl für MIPS als auch für andere Konzepte gilt, dass weiterreichende Umweltwirkungen wie die Gewässerbelastung oder Artenschwund oder Gesundheitsgefährdungen nicht abgebildet werden können, da das Ergebnis des Rucksacks eine Zahl ist, die angibt wie viele stoffliche Ressourcen - Rohstoffe, Wasser oder Energierohstoffe - gebraucht werden. Für die Umweltbildung ist der ökologische Rucksack jedoch sehr gut geeignet, denn eine in Gewicht erfahrbare Zahl verdeutlicht den „Verbrauch“ an Ressourcen.

Zudem gibt es diverse Online-Rechner für den ökologischen Rucksack, so dass die Lernenden am Smartphone ihren Rucksack berechnen können.

Das Wuppertal-Institut stellt die fünf Input-Kategorien, aus denen die Materialintensität errechnet wird, folgendermaßen klar:

Tabelle 3: Materialintensität, Input Kategorien, Wuppertal Institut, 2013.

Exemplarisch genutzt für die Angaben zur Produktion von Kupfer, Aluminium, Glas und Kunststoff

<p>I. Abiotische Rohmaterialien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mineralische Rohstoffe (verwertete Rohförderung, z.B. Erze, Sand, Kies, Schiefer, Granit) • fossile Energieträger (Kohle, Erdöl, etc.), nicht verwertete Rohförderung (Abraum, Gangart, etc.) • bewegte Erde (z.B. Aushub von Erde und Sediment) <p>II. Biotische Rohmaterialien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pflanzliche Biomasse aus Bewirtschaftung • Biomasse aus nicht bewirtschafteten Bereichen (Pflanzen, Tiere, etc.) <p>III. Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Bodenbearbeitung oder • Erosion <p>IV. Wasser (unterschieden nach Prozess- und Kühlwasser):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenwasser • Grundwasser • Tiefengrundwasser <p>V. Luft:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbrennung • chemische Umwandlung • physikalische Veränderung (Aggregatzustand)
--

Neben Kupfer sind, wie oben besprochen, Aluminium, Kunststoff und Glas die Hauptbestandteile von Handys und Smartphones. Hier soll kurz dargestellt werden, wie diese Stoffe erzeugt werden mit der Betonung auf dem Einsatz von natürlichen Ressourcen die dazu notwendig sind, und damit dem ökologischen Rucksack.

1.6.1. Kupfer-Herstellung (siehe auch oben)

Für die Gewinnung von Kupfer wird Kupferkies (Erz) abgebaut. Es enthält ca. 30 % Kupfer. Um Kupfer aus dem Erz zu isolieren, wird Kupferkies im Ofen zusammen mit Koks (Kohlenstoff) geröstet. Die Eisenoxide werden als Schlacke abgetrennt. Als Produkt entsteht Kupferstein (Cu_2S). Im nächsten Schritt wird Kupferstein im Ofen geschmolzen und mit Luft verblasen. Dabei entsteht Kupferoxid, welches sich mit dem Kupferstein zu Rohkupfer umsetzt. Rohkupfer enthält ca. 2 % andere Metalle, wie Eisen und Zink, aber auch Gold oder Silber. Um reines Kupfer zu erhalten, folgt als letzter Schritt eine Elektrolyse. Während alle anderen Metalle in Lösung gehen und zu Anodenschlamm werden, scheidet sich an der Kathode das reine Kupfer ab. Für die Menge des im Handy enthaltenen Kupfers werden 4,2 kg Kupferkies benötigt.

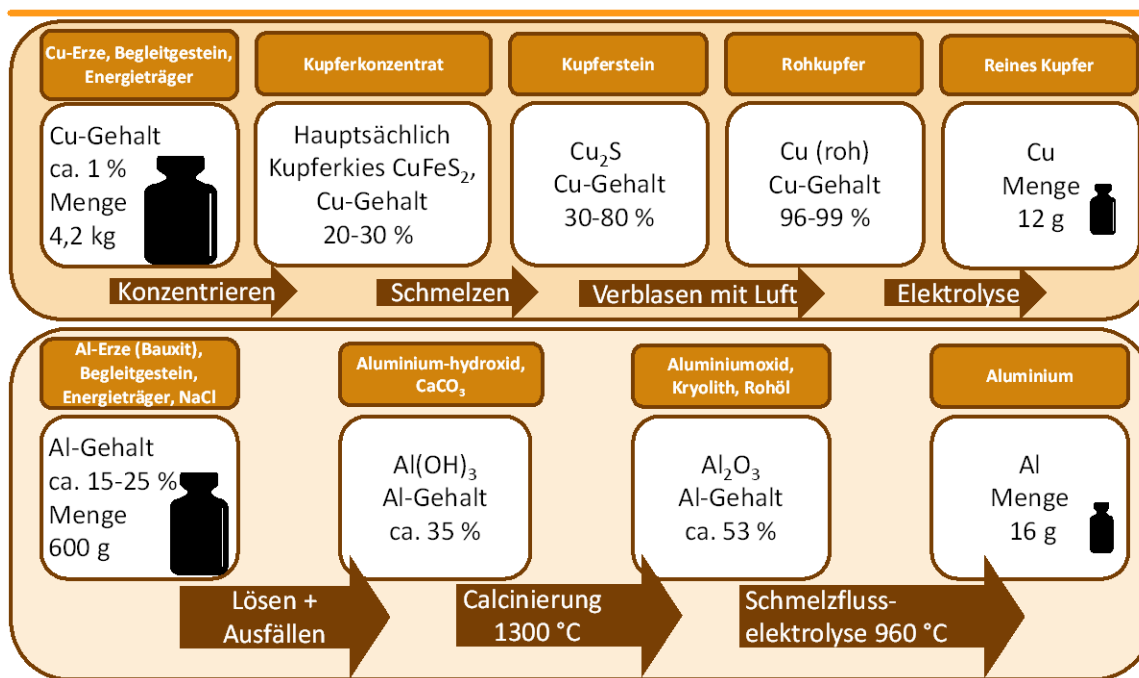
1.6.2. Aluminium-Herstellung

In Handys/Smartphones stecken je nach Modell ca. 16 g reines Aluminium. Die Gewinnung des Aluminiums ist mit sehr hohen Temperaturen und damit einem sehr hohen Energiebedarf verbunden. Der Ausgangsstoff für Aluminium ist Bauxit. Es enthält verschiedene Mineralien, u.a.: Hydrargillit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Böhmit ($\text{AlO}(\text{OH})$), Hämatit (Fe_2O_3) und Goethit $\text{FeO}(\text{OH})$, Kaolinit und Anatas. Um Aluminium zu isolieren, wird Bauxit unter Druck mit Natronlauge (NaOH) versetzt. Dabei geht Aluminium als Aluminat-Ion ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$) in Lösung und wird danach als Hydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) wieder ausgefällt. Im nächsten Schritt wird $\text{Al}(\text{OH})_3$ im Ofen bei 1300 °C zu Aluminiumoxid (Al_2O_3) calciniert. Durch eine Schmelzflusselektrolyse wird bei 960 °C das reine Aluminium gewonnen. Der Elektrolyt ist dabei die heiße Salzschnmelze. Als Anode dient Graphit. Während Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid oxidiert, wird das Aluminium im Al_2O_3 zum reinen Aluminium reduziert. Über die verschiedenen Prozessschritte aufaddiert, ergeben sich 600 g

Bauxit, die für die Menge des im Handy enthalten Aluminiums benötigt werden. Für die Menge des im Handy enthalten Aluminiums werden ca. 600 g Bauxit benötigt.

Abbildung 14: Herstellungsprozesse für Kupfer und Aluminium.

Sachanalyse: Exkurs 1 Kupfer und Aluminium



Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darst. nach Wuppertal Institut 1995/2013/DKI 2016 / Hydro 2013

23

Quelle: Eigene Darstellung nach Deutsches Kupferinstitut, 2016 und Wuppertal Institut, 1995.

Die dargestellten Mengen in der Folie beziehen sich nur auf die abiotischen Rohmaterialien, d.h. mineralische Rohstoffe, fossile Energieträger (Kohle, Öl, etc.), nicht verwertete Rohförderung (Abraum, etc.) und bewegte Erde (Aushub von Erde und Sediment). Die Folie berücksichtigt nur die Metallherstellung, nicht die Herstellung der Halbzeuge, der Metallprodukte und der Produkte. Die Mengen an Kupfer und Aluminium sind nur als grobe Richtwerte zu verstehen, da sie von Handy zu Handy und von Typ zu Versionsnummer immer variieren.

1.6.3. Glas-Herstellung

In heutigen Smartphones wird spezielles, gehärtetes Glas als Display verwendet, meist sogenanntes Gorilla-Glas. Je nach Modell sind ca. 12 g Glas enthalten. Das Spezialglas gehört zur Gruppe der Alkali-Alumosilikatgläser. Hier ist neben dem Quarzsand ein wichtiger Bestandteil das Aluminiumoxid. Die Produktion benötigt aufgrund der hohen Temperaturen viel Energie. Neben den Hauptkomponenten Quarzsand, Soda, Pottasche und Aluminiumoxid gibt es weitere Metalloxide, die bestimmte Funktionen haben, u.a. Bariumoxid, Magnesiumoxid, Boroxid usw. Im Schmelzofen werden die Rohstoffe geschmolzen und mit Hilfe einer speziellen Maschine in sehr dünne Glasscheiben (< 1 mm) gegossen. Anschließend wird das Glas gehärtet. Dazu wird es in ein 400 °C heißes Kaliumnitrat-Bad getaucht. Natriumionen werden an der Glasoberfläche

durch Kaliumionen, die einen größeren Durchmesser als Natriumionen haben, ausgetauscht. Das Ergebnis ist eine stabilere Oberfläche. Für die Menge des im Handy enthaltenen Glases werden ca. 80 g an Ausgangsmaterial benötigt.

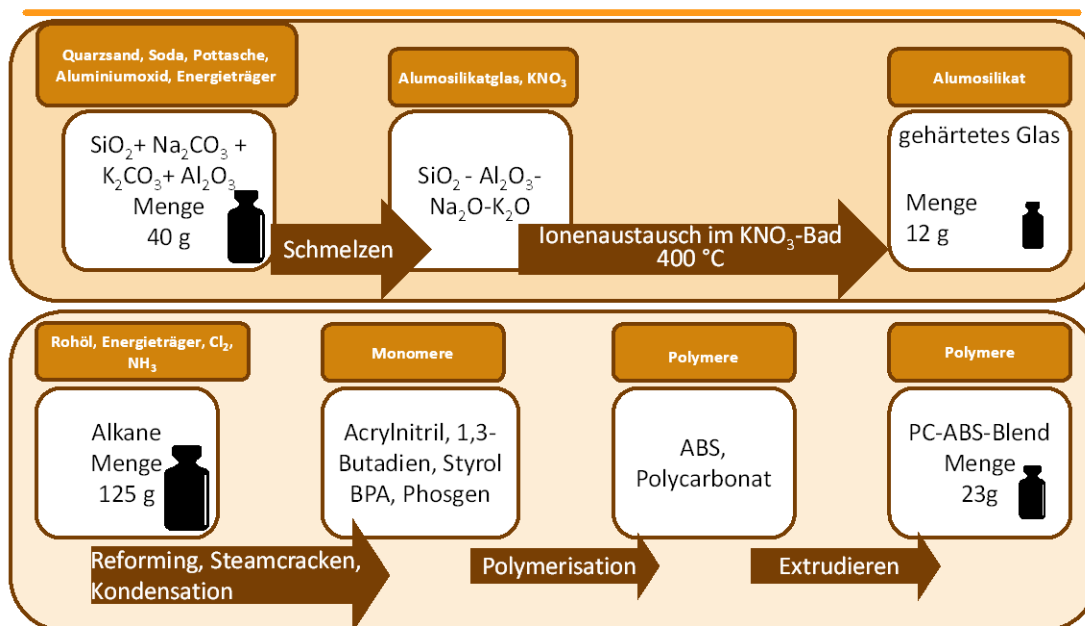
1.6.4. Kunststoff-Herstellung

40-50 % der Materialien im Handy/Smartphone sind Kunststoffe, der größte Anteil davon ist PC-ABS, eine Polymermischung aus Polycarbonat (PC) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS). Sie wird z.B. für die Kunststoffaußenhülle verwendet. Je nach Modell sind ca. 23 g Kunststoff enthalten. Der Ausgangsstoff für den Kunststoff PC-ABS ist Rohöl (Erdöl). In Rohöl sind verschiedene chemische Verbindungen enthalten, hauptsächlich Alkane (einfache Kohlenwasserstoffe) in verschiedenen Kettenlängen. Durch eine spezielle Technik, werden die Alkane getrennt. Die Fraktionen werden in vielen Prozessen mit bestimmten Chemikalien weiterbehandelt (u.a. Reforming, Steamcracken, Kondensation). Man erhält dadurch die Chemikalien, die als Bausteine (Monomere) für Polymere dienen. Aus Acrylnitril, 1,3-Butadien und Styrol wird durch Copolymerisation das Polymer ABS. Aus Bisphenol A und Phosgen wird durch Polykondensation das Polycarbonat (PC) gebildet. Für das Mischpolymer, das sogenannte Blend, werden beide Polymere, also PC und ABS, in einer Maschine erhitzt, im weichen Zustand miteinander vermischt und in die gewünschte Form (z.B. Smartphone-Hülle) gebracht. Für die Menge des im Handy enthaltenen Kunststoffes PC/ABS werden ca. 125 g an Erdöl benötigt.

In der folgenden Abbildung sind die Prozessschritte der Herstellung der Smartphone Bestandteile zusammengefasst.

Abbildung 15: Herstellungsprozesse für Glas und Kunststoffe.

Sachanalyse: Exkurs 2 Glas und Kunststoffe



Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darstellung nach Wuppertal Institut 1995/2012/2013

24

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung unter Zuhilfenahme von Wuppertal Institut, 1995.

1.7. Der ökologische Rucksack des ganzen Smartphones/Handys

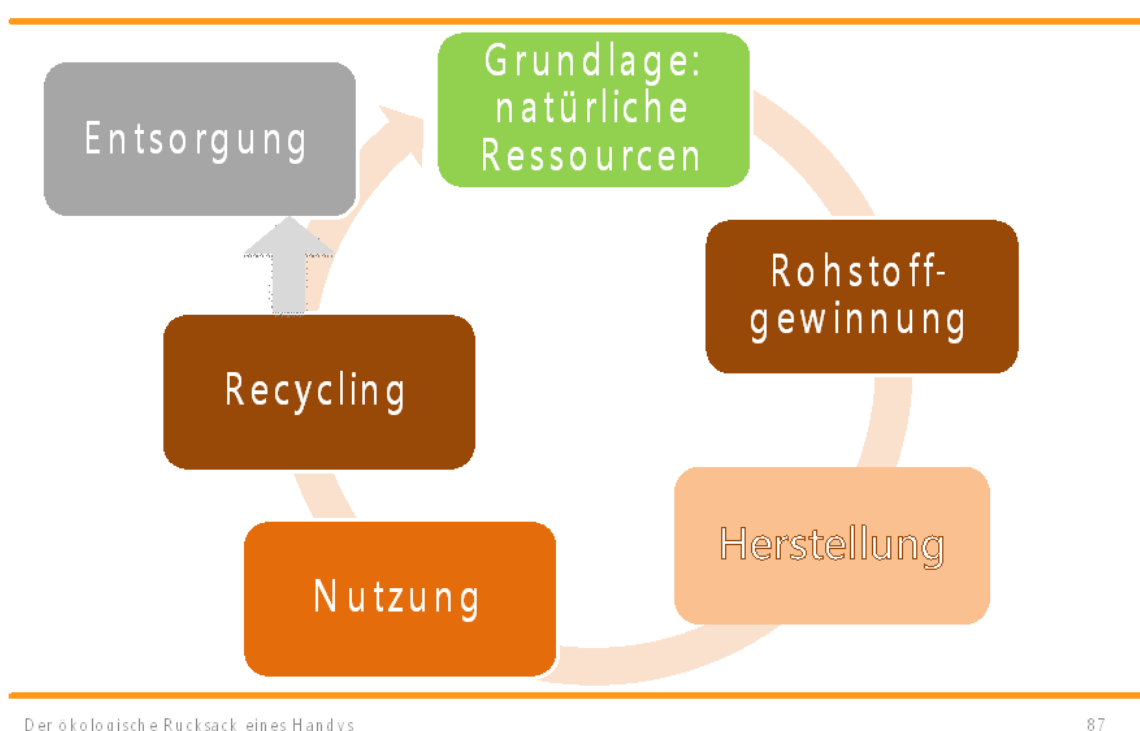
Bisher wurde vor allem diskutiert, wie der Ökologische Rucksack der einzelnen Bestandteile eines Smartphones/Handys entsteht. Der ökologische Rucksack eines ganzen Handys berechnet sich aber nicht nur aus der Summe aller ökologischen Rucksäcke der Bestandteile des Handys.

Vereinfacht kann man auch für Handys einen Lebenszyklus darstellen:

Abbildung 16: Lebenszyklus eines Handys.

Unterrichtsmaterial Der Lebensweg eines Handys

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der **Ressourceneffizienz**



Der ökologische Rucksack eines Handys

87

Quelle: Eigene Darstellung.

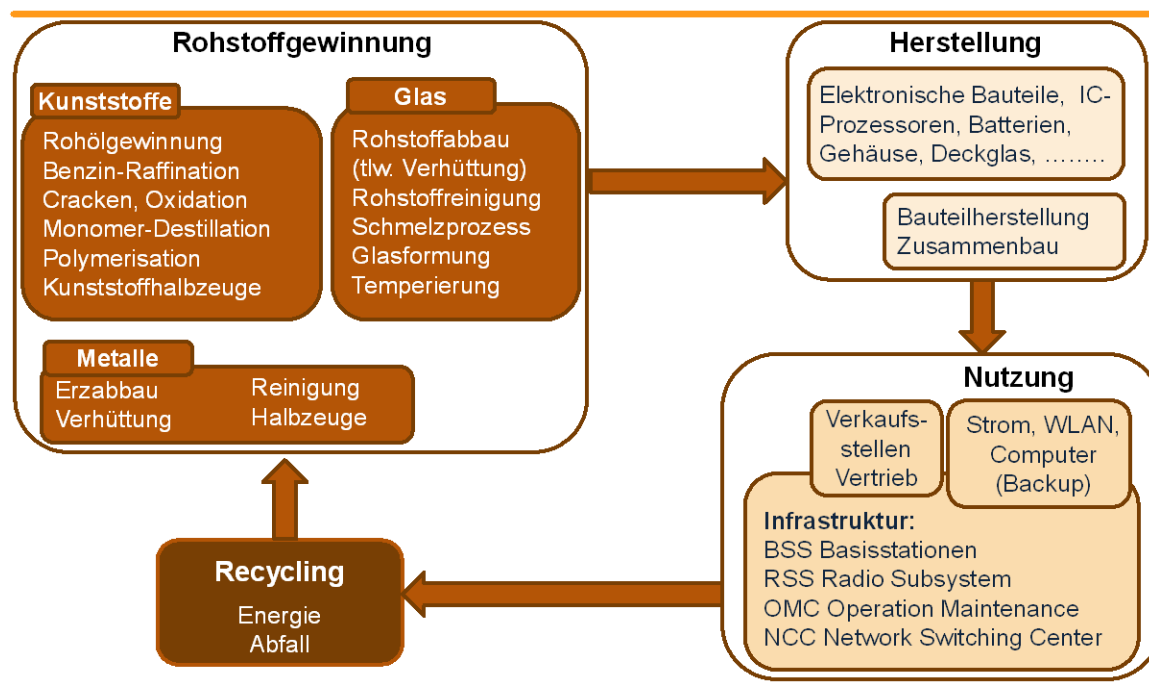
Neben dem Bereich **Rohstoffgewinnung** (z.B. Metalle), den wir bisher vorwiegend betrachtet haben, gibt es auch den Bereich **Herstellung** der Bauteile (z.B. Litzen). Dieser Herstellungsschritt umfasst auch den eigentlichen Bau der Produkte.

Ein weiterer Bereich ist der ökologische Rucksack für die **Nutzung** des Gerätes. Denn viele Strukturen sind notwendig, um ein Handy zu nutzen: von den Basisstationen des Mobilfunknetzes über die Rechenzentren zur Netzsteuerung oder der Kundenabrechnung. Selbst das **Recycling** des Gerätes erfordert einen, wenn auch vergleichsweise geringen Rohstoffeinsatz.

Die folgende Abbildung 16 zeigt, dass alle vier dieser Stationen im Lebenszyklus eines Handys sehr komplexe Abläufe beinhalten, die immer mit entsprechenden Ressourcenanforderungen verbunden sind.

Abbildung 17: Der ökologische Rucksack des Handys - alle Komponenten.

Unterrichtsmaterial Der ökologische Rucksack Handy



Der ökologische Rucksack eines Handys

88

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die vier Bereiche wurden folgende ökologische Rucksäcke berechnet:

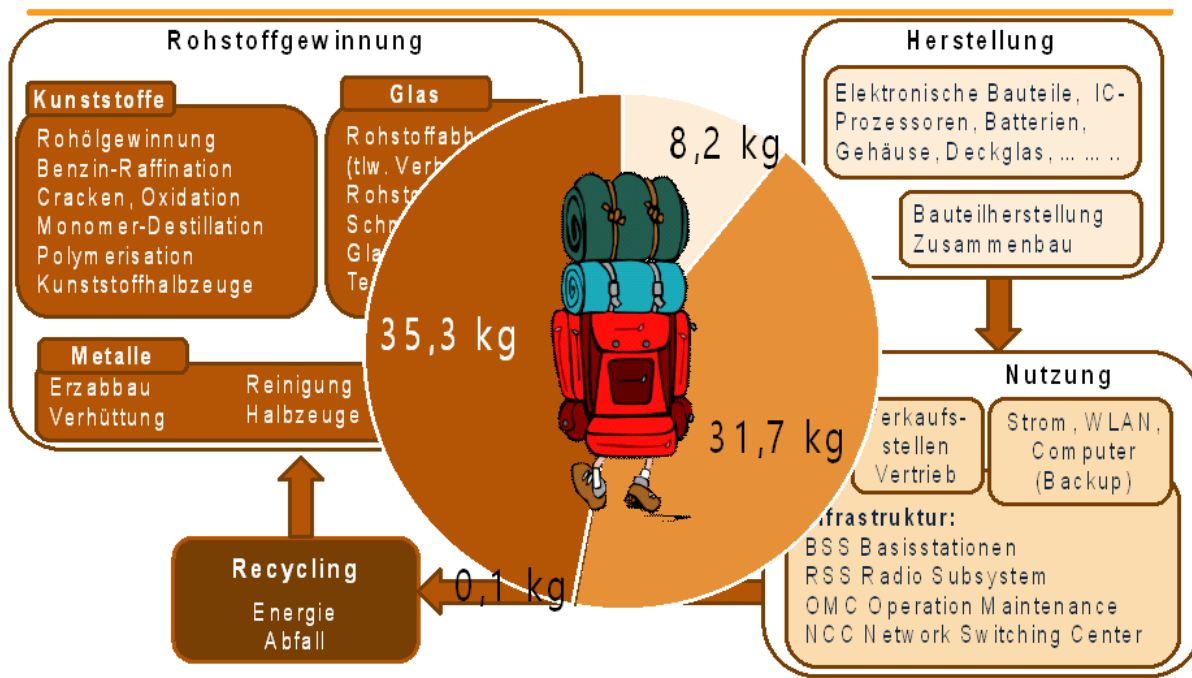
- Rohstoffgewinnung: 35,3 kg
- Herstellung: 8,2 kg
- Nutzung: 31,7 kg
- Recycling: 0,1 kg

Insgesamt ist der ökologische Rucksack eines Handys somit 75,3 kg schwer.

Abbildung 18: Der ökologische Rucksack des Handys - alle Komponenten.

Unterrichtsmaterial Der ökologische Rucksack Handy

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz



Der ökologische Rucksack eines Handys

89

Quelle: Eigene Darstellung nach Wuppertal Institut 2012 & 2013.

Der Wert dieses ökologischen Rucksacks ist exemplarisch und vor allem zu Bildungszwecken zu sehen. Er illustriert wie groß der Ressourcenaufwand für die Nutzung eines (Alltags-)Produkts ist. Der Wert würde von Modell zu Modell variieren, zudem gibt es unterschiedliche Herangehensweisen an die Berechnung. Eine Kernschwierigkeit bei der Berechnung ist die Definition der Grenzen des Systems: Als Beispiel mag der Satellit dienen, der zwar für die Funktionalität des Handys unerlässlich ist, oft aber nicht zu diesem Zweck alleine produziert worden ist. Inwiefern oder wie weit die Ressourcenverbräuche für die Produktion des Satelliten, seine Entwicklung, die Verbringung ins All etc. in die Berechnung des ökologischen Rucksacks eines individuellen Handys mit einbezogen werden wäre eine solche Frage der Systemgrenze.

Neben den umweltbildungs-Aspekten und aus einer wissenschaftlichen und (umwelt-)politischen Perspektive werden zudem verschiedene andere Indikatoren verwendet. Aufgrund der Verfügbarkeit von Ressourcenrechnern eignet sich dieser Indikator jedoch für die Umweltbildung sehr gut.

Es stehen mehrere Online-Plattformen zur Verfügung um den ökologischen Rucksack verschiedener Produkte zu berechnen:

- Nabu: Ökologischen Rucksack berechnen. Online: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/alltagsprodukte/oekologischerucksack.html>
- Wuppertal-Institut: Wie viele Rohstoffe verbrauchen Sie? Online: <http://ressourcenrechner.de/>

2. Handlungsoptionen

2.1. Was kann gemacht werden - welche Alternativen gibt es?

Ziel von Umweltbildung ist es, durch den Wissens- und Verständniszuwachs die Lernenden zu mehr nachhaltigem Verhalten zu bewegen: Da Handys mittlerweile integraler Bestandteil im Leben der meisten Menschen sind, scheint die Alternative kein Handy zu benutzen nur in besonderen Fällen umsetzbar. Dennoch gibt es eine Anzahl von Maßnahmen, die getroffen werden können, um den Ressourcenverbrauch zu verringern:

2.1.1. „Reduce“ - Den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren

Das Mobilgerät nutzen bis es wirklich nicht mehr geht, leistet den größten Beitrag zur Ressourcenschonung! Um die Lebensdauer eines Handy zu verlängern können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden: Der Einsatz von Schutzhüllen vermindern die Bruchgefahr; extreme Kälte- oder Hitze-Einwirkungen auf das Handy sollten vermieden werden; bereits beim Kauf sollte darauf geachtet werden, dass recycelte Materialien in der Produktion eingesetzt wurden (das Umweltbundesamt verweist dazu auf <http://www.ecotopen.de>); Universal-Ladegeräte vermindern Duplikationen und den Bedarf an spezieller Gerätschaft. Zudem kann es zur Ressourcenschonung beitragen z.B. ungenutzte Programme, die im Hintergrund laufen, zu deaktivieren und Stromsparfunktionen zu nutzen.

2.1.2. „Re-use“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich

Ungenutzte Geräte sollten nicht einfach weggeworfen werden und auch nicht langfristig gelagert werden. Auf keinen Fall sollte es in den Hausmüll entsorgt werden. Wenn ein Gerät nicht mehr genutzt wird sollte vielmehr dafür gesorgt werden, dass eine andere Person es benutzen kann. Das kann intrafamiliär geschehen (z.B. könnte die ältere Generation das „neue Alte“ der jüngeren Generation übernehmen - und hat damit gleich einen persönlichen Ratgeber zur Hand), im Freundeskreis oder per Verkauf (z.B. über das Internet). Dabei sollte auf seriöse Anbieter geachtet werden, da sonst wertvolle Bestandteile entnommen werden und ansonsten schwer verwertbarer Elektronikschrott anfällt.

2.1.3. „Repair“ - Durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen

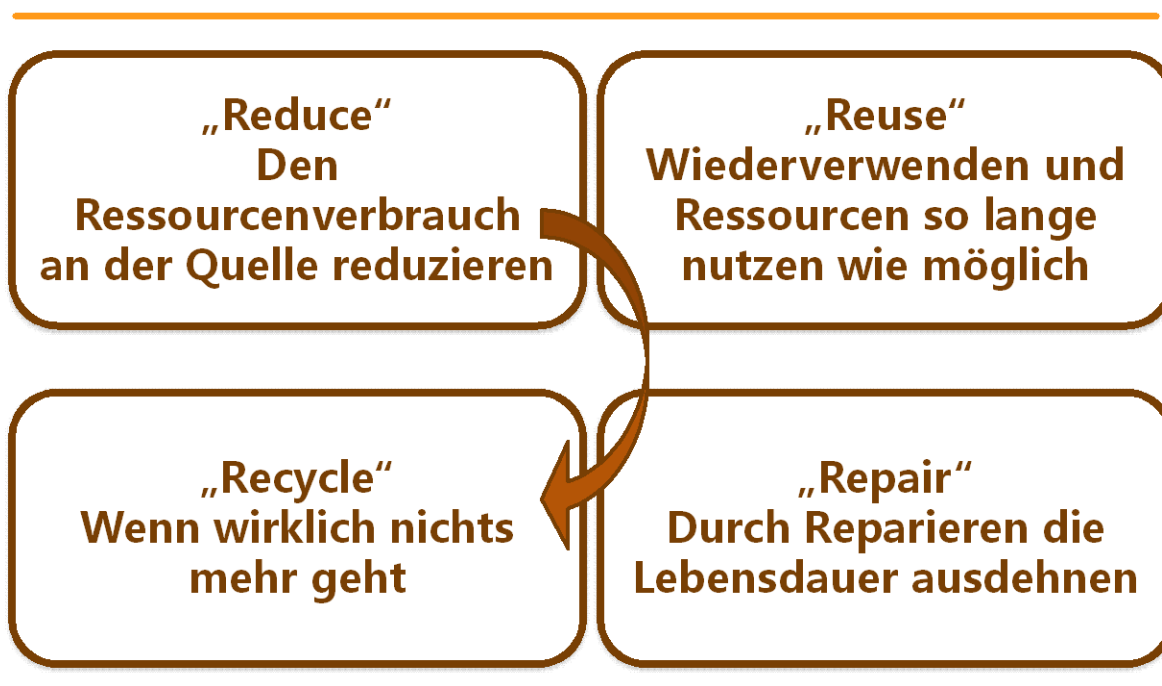
Auch, wenn es sich nicht zu lohnen scheint oder Sie das Gerät nicht mehr nutzen möchten sollten Handys repariert werden. Dadurch verbessert sich der Wiederverkaufswert und die Wahrscheinlichkeit, dass das Gerät weiter benutzt wird ist maßgeblich höher

2.1.4. „Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht

Wenn ein Gerät wirklich nicht mehr weiter benutzt werden kann, so sollte es der fachgerechten Entsorgung zugeführt werden. Viele Umweltschutzorganisationen bieten Handy-Sammeldienste an. Die offiziellen Abfallentsorger bieten in der Regel Recycling für Handys an, wie auch die Mobilfunkanbieter. Bei anderen Verwertern sollte geprüft werden, was genau mit den Gerät passiert. Von unseriösen Anbietern werden möglicher Weise die wertvollen und einfach zu verwertenden Bestandteile des Handys entnommen und der verbleibende Anteil entweder gar nicht entsorgt oder zu schwer verwertbarer Elektronikschrott gemacht. In jedem Falle sollten Speichermedien entfernt werden, Speicher gelöscht und das Gerät auf Werkeinstellungen zurückgesetzt werden.

Abbildung 19: Möglichkeiten zur Reduktion des ökologischen Rucksacks.

Unterrichtsmaterial: Handlungsoptionen - Was kann man tun?



Der ökologische Rucksack eines Handys

92

Quelle: Eigene Darstellung.

2.2. Wer müsste noch aktiv werden?

Um den Ressourcenverbrauch für Handys und Smartphones zu reduzieren könnte in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen Veränderungen angestrebt werden.

Auf individueller Ebene der Verbraucher/-innen sind die Möglichkeiten weitgehend oben beschrieben. Der Verbraucherwille könnte jedoch über entsprechende Kaufentscheidungen auch die Produktion der Geräte beeinflussen. Schon der Einsatz von standardisierten Lade- und Verbindungskabeln würde ressourcenschonend wirken. Bezüglich der Produktion von Coltan, das bisher oft unter grausamen Umständen abgebaut wurde und zur Finanzierung des Bürgerkrieges in der Demokratischen Republik Kongo diente wurde dies bereits weitgehend erreicht. Wenn die Langlebigkeit von Handys sowie die Austauschbarkeit der Komponenten sich als Verkaufsargument etablieren ließen und das Credo „das immer Neueste haben zu müssen“ verdrängen könnte, so würde auf dem hochkompetitiven Markt ein klarer Anreiz für die Industrie entstehen.

Ein Beispiel für die Handy-Branche hier ist das Fairphone, eine Innovation einer niederländischen Firma. Das Unternehmen Fairphone B.V. produziert ein Smart Phone, bei dem zwar keinesfalls alle Bestandteile fair sind. Es werden aber verschiedene zentrale und umstrittene Rohstoffe fair und nach bestimmten Kriterien bezogen. Zudem ist das Telefon ressourcenschonend, da es leicht reparierbar ist, Ersatzteile (wie Display oder Akku) lassen sich unkompliziert und direkt nachkaufen. Insbesondere mit dem auswechselbaren Akku als einer Schwachstelle bei

Smartphones unterscheidet sich das Fairphone damit in zentralen Aspekten von anderen Produkten auf dem Markt.

Die Firma „Fairphone“ verfolgt dabei aktuell folgende Grundsätze bzw. Ziele:

- Rohstoffe (Zinn und Tantal, zukünftig auch Gold und Wolfram) „konfliktfrei“ beziehen,
- ein umweltfreundliches, auf Langlebigkeit ausgerichtetes Design haben,
- die gesamte Lebensspanne von Smartphones, einschließlich Recycling, betrachten,
- faire Produktionsbedingungen anstreben,
- transparente Preise aufstellen.

Auf politischer Ebene könnten derartige Ansätze nicht nur im Sinne der Ressourcenschonung sondern auch im Sinne des Verbraucherschutzes vorgeschrieben werden. Zudem obliegt es staatlichen und Nicht-Regierungs-Organisationen (NGO) die Information und Bildung der Verbraucher/-innen weiter fortzutreiben und zu unterstützen. Auch eine Verlängerung der gesetzlichen Garantiezeiten könnte erwogen werden. Hier ist insbesondere die Europäische Union ein entscheidender Faktor, da Handelshemmnisse unter den Bestimmungen der Welthandelsorganisation abgebaut werden sollen bzw. nicht entstehen dürfen.

Von Seiten der Industrie könnte neben den bereits aufgeführten Maßnahmen, die Ressourcenschonung bereits in der Produktentwicklung mit bedacht werden. Ultimativ würde dies nicht nur die natürlichen Ressourcen schonen, sondern auch den Firmen ressourceneffizientere Produkte und damit geringere Kosten bringen.

3. Rahmung der Unterrichtsreihe

Das folgende Kapitel führt ein in die Voraussetzungen und die Übersicht über die Unterrichtsvorschläge.

3.1. Lehr- und Lernvoraussetzungen

Die Lehrenden kennen ihre Lerngruppe und treffen aufgrund der inhaltlichen und methodischen Lernvoraussetzungen der Lernenden die didaktisch-methodischen Entscheidungen. Die vorgeschlagene Unterrichtsreihe im Umfang von 5 Unterrichtsstunden gibt den Lehrenden die Möglichkeit flexibel an die Lernvoraussetzungen der Lernenden anzuknüpfen.

Die vorgeschlagenen Lehrmodule können jeweils einzeln oder als Reihe unterrichtet werden. Ist eine inhaltliche Vertiefung beabsichtigt und/oder sollen die vorgeschlagenen Methoden weiter vertieft oder zunächst eingeführt werden, kann auch die ganze Reihe unterrichtet werden. Die Arbeitsmaterialien sind ebenso wie die Methoden ein Angebot, welches flexibel einsetzbar ist und um eigene Materialien oder Quellen erweitert werden kann.

3.2. Didaktisch-methodische Vorschläge

Die hier vorgeschlagene Unterrichtsreihe wurde als inhaltliche Anbindung für die Fächer des berufsübergreifenden Bereichs der Berufskollegs, z.B. Politik, Ethik und Wirtschaftskunde entwickelt. Auch in den Fächern des MINT-Bereichs finden sich Anknüpfungspunkte insbesondere bei Behandlung fächerübergreifender Themen.

Die Unterrichtsreihe hat eine fachliche und methodische Progression, es können aber auch einzelne Module unterrichtet werden. Über die ganze Kurzreihe werden mehrere inhaltliche und methodische Kompetenzen gefördert.

Für die Anforderungsniveaus gilt (Sachkompetenz):

- Anforderungsbereich 1 (AFB 1): Reproduktion: Z.B. Wiedergeben, Beschreiben, Darstellen
- Anforderungsbereich 2 (AFB 2): Reorganisation und Transfer: Z.B. Erklären, Begründen, Erläutern
- Anforderungsbereich 3 (AFB 3): Reflexion und Problemlösung: Z.B. Stellung nehmen, Diskutieren, Beurteilen

Wir schlagen Methoden vor und liefern Arbeitsmaterial in Form von Informations-Texten, Bildern und Arbeitsblättern. Unser Angebot erleichtert den inhaltlichen Einstieg in das Thema und reduziert die Vorbereitungszeit der Lehrkraft, lässt aber Raum für individuelle didaktisch-methodische Entscheidungen.

3.3. Übersicht über die Unterrichtsreihe

Tabelle 4: Verlauf der Unterrichtsreihe.

Übersicht über die Unterrichtsreihe	
Ziel der Unterrichtsreihe	Ziel ist es, ein Bewusstsein zu schaffen für die Menge an natürlichen Ressourcen, die bei Produktion, Nutzung und Entsorgung eines mobilen Telefons eingesetzt werden - und Lösungsmöglichkeiten für verantwortlichere Verhaltensweisen zu erarbeiten.
Methoden	<p>Die Methoden können von der Lehrkraft angepasst werden. Die Reihe ist so konzipiert, dass sie sowohl im Klassenunterricht mit fragend-entwickelndem Unterrichtsgespräch, als auch weitgehend in Eigenarbeit durchgeführt werden kann.</p> <p>Folgende Möglichkeiten werden in den Modulen angeboten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Karikaturanalyse und/oder Einstiegsfragen/ Arbeitsblatt • Entdeckendes Lernen: Bauteile eines Handys (EA / PA / GA) Zusammensetzung eines Handys Elemente in Periodensystem zuordnen: EA / PA / GA • Relevanz der Mengen: Berechnung der Gold und Kupfermengen: EA / PA • Lebenszyklus von Metallen: Textanalyse, Zuordnung von Photos: EA / PA • Gruppendiskussion des Begriffes „ökologischer Rucksack“ von Metallen • Transfer: Lebenszyklus eines Handys: EA / PA / GA • Transfer: „ökologischer Rucksack“ eines Handys: EA / PA / GA • Gruppenarbeit, Präsentation der Ergebnisse, Abschlussdiskussion
Arbeitsmaterial	<p>Beamer für Vortragsfolien Arbeitsblätter Waage (z.B. eine Personenwaage)</p>
Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Reflektion zum eigenen Verhalten und zu gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (AFB 1) <ul style="list-style-type: none"> ○ Nutzung des Mobiltelefons ○ Gesellschaftliche Rahmenbedingungen ○ Wertstoffe im Mobiltelefon • Fertigkeiten - Beurteilungsfähigkeit • Transfer, z.B. Erklären, Begründen, Erläutern (AFB 2) <ul style="list-style-type: none"> ○ Lebenszyklus von Metallen ○ Ökologischer Rucksack von Metallen ○ Lebenszyklus eines Handys • Selbstständigkeit - Eigenständigkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Entwicklung von Lösungsvorschlägen • Reflexion und Problemlösung, z.B. Stellung nehmen, Diskutieren, Beurteilen (AFB 3) • Sozialkompetenz - Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Gruppenarbeit (Module 2, 3, 6, 7, 8, 9) ○ Präsentation der Ergebnisse

Quelle: Eigene Darstellung. UG: Unterrichtsgespräch, EA: Einzelarbeit; PA: Partnerarbeit ; GA: Gruppenarbeit

3.4. Die Unterrichtsvorschläge

Die hier vorgestellten Module bauen aufeinander auf. Zunächst wird die Unterrichtsidee präsentiert, dann werden die Arbeitsmaterialien, die ab Seite 53 zum Ausdruck zur Verfügung stehen, inklusive des beigefügten Lösungsangebotes, abgebildet. Diese verkleinerten Abbildungen dienen hier nur dazu, um einen Eindruck und Überblick zu vermitteln. Bitte konsultieren Sie Seite 53 ff. (Materialien) um die Details zu finden.

Die Module werden in der Regel durch den Lehrervortrag gerahmt und miteinander verbunden. Meist lassen sie sich sowohl in Einzelarbeit als auch in Partnerarbeit durchführen. Die Abschlussmodule sind als Gruppenarbeit mit Schülerpräsentation konzipiert.

Alternativ stehen der Lehrkraft auch die Folien zur Verfügung um im Rahmen eines Lehrvortrages mittels fragend-entwickelndem Gespräch den Lehrstoff zu vermitteln.

3.4.1. Übersicht Modul 1: Einstiegsdiskussion

Tabelle 5: Modul 1: Einführung Mobiltelefone in Alltag und Gesellschaft.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
10 min	Bildanalyse Karikatur Pranger Handysucht / Handy als Gefängnis	s.u.	Grafik gemeinsam erschließen und beschreiben, Fragen, Klassengespräch	Arbeitsblatt 1.1a-b
10 min	Reflektion zur Nutzung des eigenen Mobiltelefons, zu Aspekten der gesellschaftlichen Rolle und des Rohstoffverbrauches	1.1	Diskussion anhand von aktuellen Fragen	Arbeitsblatt 1.2

Quelle: Eigene Übersicht

3.4.2. Einstieg: Karikaturanalyse

Nach Erklärung und Diskussion der Abbildung soll, je nach Wahl der Karikatur durch den Lehrer, mit den Schülerinnen und Schülern hier zum einen diskutiert werden, seit wann es Handys wie wir sie kennen erst gibt sowie die Frage warum die Darstellungen parodistisch gemeint sein könnten. Die Arbeitsblätter sind mit offenen Fragen versehen, die die Entwicklung des Gespräches unterstützen sollen.

Zur Geschichte des Handys:

Die Entwicklung des Mobilfunks begann **1926** mit einem Telefondienst in Zügen der Deutschen Reichsbahn und Reichspost auf der Strecke zwischen Hamburg und Berlin - die Karikatur hatte also einen aktuellen Anlass.

Die ersten privaten Mobilfunkgespräche wurden erst über in Kraftfahrzeugen montierte Endgeräte - Autotelefone - im Jahr **1946** möglich. Die Geräte waren zunächst wegen der für die Funktechnik verwendeten Vakuumröhren recht groß (ca. Reisekoffergröße), die Gespräche wurden handvermittelt und die Gerätepreise lagen bei etwa 50 % des Wagenpreises. Erst ab **1972** wurden in der Bundesrepublik Selbstwählverbindungen möglich. **1973** stellte ein Entwicklerteam bei Motorola den ersten Prototyp eines Mobiltelefons her das in der Hand getragen werden konnte und nicht mehr an Autos oder andere Transportmittel gebunden war. **1986** wog zum Beispiel das Nokias Mobira Talkman 320F "nur" noch 4,7 kg und kam mit einem voll aufgeladenen Akku rund zehn Stunden ohne Steckdose aus. Eine kleine Sensation gelang


Nokia ein Jahr später mit dem Mobira Cityman, das nur noch 800 Gramm wog. Dieses ca. 10.000 Mark teure Mobiltelefon wurde Ende der 80er Jahre zum weit verbreiteten Prestige-Objekt.

Im Herbst 1992 gelangten die ersten GSM-Handys in den Fachhandel. Das erste Kulthandy der war Motorolas International 3200 (1992), das wegen seiner außergewöhnlichen Form liebevoll "Telefon-Knochen" genannt wurde. 1996 entwickelte Nokia mit dem Communicator 9000 erstmals eine Handy/Organizer-Kombination, mit der Besitzer auch im Internet surfen konnten. Dieses so genannte Smartphone war lange Zeit ein wegweisendes Unikum, denn erst 2000 zog die Konkurrenz mit vergleichbaren Geräten nach.

Abbildung 20: Arbeitsblatt 1.1 a-b: Karikaturanalyse und Lösungsblatt

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 56 von 90

Arbeitsblatt 1.1b: Karikatur Pranger Handysucht




Quelle: Fotolia 92583172 - Pranger gegen Handysucht © HSB-Cartoon

1. Was ist ein Pranger und wann und wozu hat man ihn benutzt?
2. Warum vermuten Sie, ist der Handy-Inhaber so gestresst?
3. Befanden Sie sich - im übertragenen Sinn - bereits in einer ähnlichen Situation und wenn ja, welcher Aspekt hat oder würde bei Ihnen Stress auslösen?
4. Wenn Sie eine Zettreise machen könnten, wie vermuten Sie würden Sie mit Ihrem Handy aufgenommen? Welche Funktionen Ihres Handys könnten Sie noch nutzen?

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 58 von 90

Arbeitsblatt 1.1c: Karikatur Handygefängnis



Quelle: Fotolia 144266376 - A office man character in mobile phone jail © Holmesu

1. Wer ist, Ihrer Meinung nach, die Person, die im Handy gefangen ist?
2. Gibt es Situationen aus Ihrem Leben, die zu dieser Karikatur passen? Können Sie sich vorstellen, dass andere Menschen sich in bzw. durch ihr Handy „eingesperrt“ oder „gefangen“ fühlen? Welche Personen wären das?
3. Vergleichen Sie die Rolle des Handys heute mit der Zeit, bevor Handys bzw. Smartphones auf den Markt kamen. Welche Vor- und welche Nachteile hat das Leben ohne bzw. mit Handy.

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.3. Was hat mein Handy mit Ressourcen(schonung) zu tun??

Handys sind in der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler tief verankert. Es ist daher sinnvoll, diese Bindung an ihre Handys zu nutzen um das Thema für sie relevant und motivierend zu gestalten.

Zunächst soll ein objektiv-untersuchender Blick auf das (eigene) Gerät erreicht werden, der Reflektionsprozess zum eigenen Verhalten bei der Handy-Nutzung angestoßen werden und der Zusammenhang mit gesellschaftlichen und Umwelt-Aspekten eröffnet. Es bieten sich provokativ-interessante Fragen an, die im fragend-entwickelnden Gespräch präsentiert werden können. Je nach Fachbereich und individueller Zusammensetzung der Lerngruppe eigenen sich viele Aspekte der Ausführungen oben um auf das Thema hinzuführen. Hier sind grundlegende Fragenkomplexe angesprochen.

Abbildung 21: Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsquiz und Lösungsblatt.

<p><small>LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys</small> <small>Seite 55 von 86</small></p> <p>Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsfragen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ihr wieviertes Handy haben Sie in der Tasche und wie lange benutzen Sie es schon? 2. Ab welchem Alter haben mehr als 50% aller Kinder ein Handy? 3. Worin findet man mehr Gold? In einer Tonne Gold-Erz oder in einer Tonne Schrott-Handys? 4. Was schätzen Sie: wie viele ungenutzte Handys liegen in deutschen Schubladen? 5. Und wieviel Gold wäre dann darin? 6. Was schätzen Sie: Wie viele neue Handys wurden 2015 in Deutschland verkauft? 7. Wie viele von Ihnen haben schon mal Seltene Erden besessen? 8. Welches ist das wertvollste Metall in Ihrem Handy? 	<p><small>LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys</small> <small>Seite 56 von 86</small></p> <p>Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsfragen-Lösung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ihr wieviertes Handy haben Sie in der Tasche und wie lange benutzen Sie es schon? Durchschnittliche Gebrauchsdauer: 18 bis 24 Monate vs. mögliche Gebrauchsdauer ca. 4 Jahre 2. Ab welchem Alter haben mehr als 50% aller Kinder ein Handy? Im Alter von 10-11 Jahren haben 61% der Kinder ein Handy. 3. Worin findet man mehr Gold? In einer Tonne Gold-Erz oder in einer Tonne Schrott-Handys? In einer Tonne alter Handys/Smartphones befindet sich ungefähr 50-mal so viel Gold wie in einer Tonne Gold. 4. Was schätzen Sie: wie viele ungenutzte Handys liegen in deutschen Schubladen? Ca. 120 Millionen! 5. Und wieviel Gold wäre dann darin? $0,025\text{g} \times 120.000.000 = 3.000.000\text{g} = 3000\text{ kg}$ 6. Was schätzen Sie: Wie viele neue Handys wurden 2015 in Deutschland verkauft? 26,2 Millionen 7. Wie viele von Ihnen haben schon mal Seltene Erden besessen? Alle, die ein Handy haben. (Unter Seltenen Erden versteht man „eine Gruppe von 17 Elementen welche aus den 15 Lanthaniden (Ordnungszahl 57 bis 71) sowie Scandium und Yttrium besteht. Diese Elemente sind funktionell wichtig und kommen nur in sehr geringen Mengen im Mobiltelefon vor) 8. Welches ist das „wertvollste“ Metall in Ihrem Handy? Gold, Platin und Silber...aber was ist mit den seltenen Erden wie Kobalt etc...
--	--

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.4.Übersicht Modul 2: Aufbau eines Handys

Tabelle 6: Modul 2: Bauteile und Zusammensetzung von Handys.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
10 min	Bauteile eines Handys erschließen	1.2	Handy untersuchen, entweder physisch oder per Arbeitsblatt	Handy oder Arbeitsblatt 2
5 min	Stoffliche Zusammensetzung eines Handys	1.3	Informationstext	Information 1
10 min	Im Periodensystem der Elemente herausfinden, welche Elemente im Handy enthalten sein könnten.	1.3	Fragen und Diskussion zu verschiedenen Elementen	Arbeitsblatt 3

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.5. Bauteile eines Handys

Die Schülerinnen und Schüler sollen sich damit auseinandersetzen, woraus ein Handy besteht. Dazu werden zunächst die physisch erfassbaren **Bauteile** erörtert (im kommenden Schritt werden auch **Materialien** wie Glas oder Aluminium besprochen, die Betonung soll hier zunächst auf der Vielfalt und Komplexität der Bauteile liegen).

Dazu können die Schülerinnen und Schüler in einem ersten Schritt ihre eigenen Geräte untersuchen und - soweit dies ohne Beschädigung möglich ist - auseinanderbauen. Mittels den beigefügten Arbeitsblättern kann das Angebot zusätzlich über die Arbeitsblätter erfolgen. Die Schülerinnen und Schüler sollen dabei benennen, welche Bauteile sie vorfinden bzw. erkennen können. Selbst bei den kaum zu öffnenden Geräten* (z.B. der Firma Apple) sind Bauteile wie z.B. Frontabdeckung, Kameras, Mikrophon, und Gehäuse erkennbar. Die große Anzahl an Einzelbauteilen sowie deren hoher Komplexitätsgrad sollten angesprochen werden. Auch die Bauteile der zugehörigen Komponenten (Kopfhörer, Ladekabel etc.) sollte Erwähnung finden. Wo die Geräte nicht oder kaum geöffnet werden können bietet sich an, die Frage aufzuwerfen, warum das so ist, warum z.B. die Akkus nicht austauschbar sind und für wen das einen Vor- oder Nachteil hat (siehe z.B. auch Lehrinheit Obsoleszenz). Mittels der beigefügten Arbeitsblätter kann dann in Einzel- oder Gruppenarbeit im Detail erarbeitet werden, welche Bauteile in einem Handy zu finden sind.

Abbildung 22: Arbeitsblatt 2: Bauteile eines Smartphones und Lösungsblatt.



Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.6. Stofflicher Aufbau eines Handys

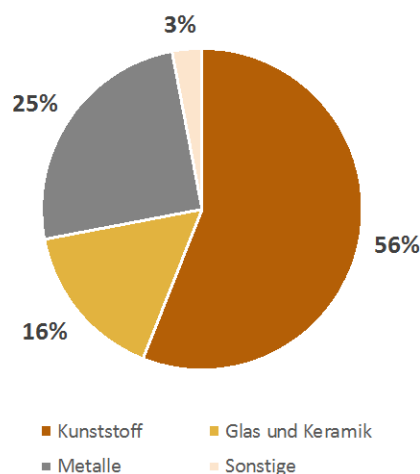
Im Rahmen eines Kurzvortrages durch den Lehrer werden die Schülerinnen und Schüler nun darauf hingeführt, woraus die Komponenten stofflich aufgebaut sind.

Abbildung 23: Information 1: Bestandteile eines Handys.

Unterrichtsmaterial Woraus besteht ein Smartphone?

- Kunststoffe bilden den größten Teil eines Smartphones
- Die größte Vielfalt an Elementen findet sich in den **1% Andere Metalle**.
Darin befinden sich z.B. **Gold, Silber, Platin, Palladium...**

Metall (25%)	Anteil (%)
Kupfer	15%
Eisen	3%
Aluminium	3%
Nickel	2%
Zinn	1%
Andere	1%



Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darstellung nach informationszentrum-mobilfunk.de 66

Quelle: Eigene Darstellung.

Insbesondere hinleitend auf die Rolle der Metalle wird dann Bezug genommen auf das Periodensystem der Elemente. In Form einer **Gruppen-Diskussion**, oder auch in Partnerarbeit wird nun das **Arbeitsblatt 3** mit dem Periodensystem der Elemente genutzt um bei den Schülerinnen und Schülern die Frage aufzuwerfen, welche Stoffe nach ihrer Meinung in einem Handy enthalten sein könnten. Die Schülerinnen und Schüler sollen das Periodensystem untersuchen und Vermutungen anstellen a) welche Elemente im Handy enthalten sind und b) wie viele der 80 stabilen Elemente.

Abschließend wird die Schätzaufgabe diskutiert:

Wie viele der ca. 80 stabilen Elemente des Periodensystems sind in einem Handy enthalten?
(Lösung: bis zu 60!)

Abbildung 24: Arbeitsblatt 3: Stoffe im Smartphone, Lösungsblatt.

Um dieses Modul abzuschließen wird von der Lehrkraft mittels der folgenden Folie auf die Zuordnung der Elemente zu einzelnen Bauteilen und auf die geringen Mengen der eingesetzten Elemente eingegangen.

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 60 von 86

Arbeitsblatt 3: Elemente in einem Smartphone

Von welchen Elementen vermuten Sie, dass sie wahrscheinlich in einem Smartphone enthalten sind?
Wie viele der ca. 80 stabilen Elemente des Periodensystems kommen im Handy vor?

PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

1 H <small>Wasserstoff</small>																	2 He <small>Helium</small>
3 Li <small>Lithium</small>	4 Be <small>Beryllium</small>											5 B <small>Bor</small>	6 C <small>Kohlenstoff</small>	7 N <small>Stickstoff</small>	8 O <small>Sauerstoff</small>	9 F <small>Fluor</small>	10 Ne <small>Neon</small>
11 Na <small>Natrium</small>	12 Mg <small>Magnesium</small>											13 Al <small>Aluminium</small>	14 Si <small>Silizium</small>	15 P <small>Phosphor</small>	16 S <small>Schwefel</small>	17 Cl <small>Chlor</small>	18 Ar <small>Argon</small>
19 K <small>Kalium</small>	20 Ca <small>Calcium</small>	21 Sc <small>Scandium</small>	22 Ti <small>Titan</small>	23 V <small>Vanadium</small>	24 Cr <small>Chrom</small>	25 Mn <small>Mangan</small>	26 Fe <small>Eisen</small>	27 Co <small>Cobalt</small>	28 Ni <small>Nickel</small>	29 Cu <small>Kupfer</small>	30 Zn <small>Zink</small>	31 Ga <small>Gallium</small>	32 Ge <small>Germanium</small>	33 As <small>Arsen</small>	34 Se <small>Selen</small>	35 Br <small>Brom</small>	36 Kr <small>Krypton</small>
37 Rb <small>Rubidium</small>	38 Sr <small>Strontium</small>	39 Y <small>Yttrium</small>	40 Zr <small>Zirkon</small>	41 Nb <small>Niob</small>	42 Mo <small>Molybdän</small>	43 Tc <small>Technetium</small>	44 Ru <small>Ruthenium</small>	45 Rh <small>Rhodium</small>	46 Pd <small>Palladium</small>	47 Ag <small>Silber</small>	48 Cd <small>Cadmium</small>	49 In <small>Indium</small>	50 Sn <small>Zinn</small>	51 Sb <small>Antimon</small>	52 Te <small>Tellur</small>	53 I <small>Jod</small>	54 Xe <small>Xenon</small>
55 Cs <small>Cäsium</small>	56 Ba <small>Barium</small>	57 La <small>Lanthan</small>	72 Hf <small>Hafnium</small>	73 Ta <small>Tantal</small>	74 W <small>Wolfram</small>	75 Re <small>Rhenium</small>	76 Os <small>Osmium</small>	77 Ir <small>Iridium</small>	78 Pt <small>Platin</small>	79 Au <small>Gold</small>	80 Hg <small>Quecksilber</small>	81 Tl <small>Thallium</small>	82 Pb <small>Blei</small>	83 Bi <small>Bismut</small>	84 Po <small>Polonium</small>	85 At <small>Astat</small>	86 Rn <small>Radon</small>
87 Fr <small>Francium</small>	88 Ra <small>Radium</small>	89 Ac <small>Actinium</small>	104 Rf <small>Rutherfordium</small>	105 Db <small>Dubnium</small>	106 Sg <small>Seaborgium</small>	107 Bh <small>Berkelium</small>	108 Hs <small>Hassium</small>	109 Mt <small>Mitrium</small>	110 Ds <small>Darmstadtium</small>	111 Rg <small>Röntgenium</small>	112 Cn <small>Copernicium</small>	113 Uut <small>Ununtrium</small>	114 Fl <small>Flerovium</small>	115 Uup <small>Ununpentium</small>	116 Lv <small>Livermorium</small>	117 Uus <small>Ununseptium</small>	118 Uuo <small>Ununoctium</small>

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 61 von 86

Arbeitsblatt 3: Elemente in einem Smartphone-Lösung

Unterstützung von Bildungsträgern
 im Bereich der Ressourceneffizienz

Elemente in einem Smartphone?

(¹²Ge: Germanium gehört nicht zu den üblichen Inhaltsstoffen eines Handys)

Der ökologische Rucksack eines Handys
Quelle: Peter Hermes Furian/Fotolia #82673007
68

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.7.Übersicht Modul 3: Die Relevanz der Mengen

Tabelle 7: Modul 3: Mengen von verschiedenen Metallen im Handys.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
5 min	Die Mengen ausgewählte Metalle im Handy erörtern	1.2	Informationstext	Information 1
10 min	Berechnung der Menge und des Wertes von Gold und Kupfer in Handys	1.3	Berechnung	Arbeitsblätter 3.1 und 3.2

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.8.Mengen von Metallen in Handys

Abbildung 25: Information 2: Metalle in einem Smartphone.

Unterrichtsmaterial Ausgewählte Metalle, Smartphone

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

Element	Gew.-Anteil %	Verwendung
Kupfer	10-15%	Leiterplatte, Verbindungen, Kontakte (Legierungen)
Silizium	10-15%	Mikrochips, Glas, auch als Kunststoff (Silikone)
Aluminium	4-9%	Rahmen, Abdeckungen, Befestigungen (Gehäuse für Batterien: Anteil bis 20%)
Kobalt	~ 4%	Elektroden der Lithium-Ionen-Batterie
Lithium	3 – 4%	Elektrolyt in der Lithium-Ionen-Batterie
Eisen	~ 3%	Federn, Schrauben
Silber	0,16%	Leitfähige Kleber, Kontaktbahnen der Platine
Gold	0,024%	Beschichtung der Kontakte und Steckverbindungen
Palladium	0,005%	elektrische Kontakte und Kondensatoren
Tantal	~ 0,004%	Mikrokondensatoren
Platin	< 0,001%	Hochbelastete Kontakte auf der Leiterplatte
Indium	~ 0,002%	Touchscreen (durchsichtige Leiterbahnen)
Gallium	~ 0,0013%	Elektronik (optische-elektrische Signalumwandlung)

Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle: Eigene Darstellung nach Nordmann u.a. (2015): Die Rohstoff-Expedition, Springer-Verlag

70

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Schülerinnen und Schüler erörtern anhand des Informationsblattes die Mengen an Metallen, die in einem einzigen Handy zu finden sind. Diese scheinen verschwindend gering zu sein. Damit stellt sich die Frage, ob diese Mengen überhaupt erheblich sind.

3.4.9. Berechnung Gesamtmenge Gold und Kupfer

Im Gegensatz zu diesen sehr niedrigen Prozentzahlen stehen Menge und Wert der Metalle die in der Summe der Geräte verbaut werden. Die Schülerinnen und Schüler berechnen die Gold und Kupfer-Gehalte der in Deutschland und weltweit in 2015 hergestellten Smartphones, sowie den Wert, den diese Metall-Mengen auf dem Weltmarkt hatten.

Abbildung 26: Arbeitsblätter 3.1 & 3.2: Berechnung von Gold und Kupfer, Lösungsblatt.

The image shows three worksheets from a teaching resource. The first two are student worksheets, and the third is a solution sheet. They all focus on calculating the amount and value of gold and copper in smartphones.

Arbeitsblatt 3.1: Gold in Smartphones (Seite 64 von 87):
 Exemplarische Berechnung: Verbrauch an Gold in Smartphones in 2015 (weltweit & Deutschland):
 Berechnen Sie: Wieviel Gold wurde für die in 2015 verkauften Smartphones (Deutschland und weltweit) benötigt, und wieviel kostete es?
 (Am einfachsten ist es, zur Berechnung Kilogramm als Einheit zu verwenden. Gold wird in Unzen gehandelt, Sie müssen also auch den Goldpreis pro Kilo Gold errechnen)
 • 1 Kilo Gold = 32,15 Feinunzen Gold;
 • Goldpreis pro Feinunze (12/2016): 1184 USD (15-Dollar)
 • Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft, in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.
 • Ein Smartphone enthält etwa 30 mg Gold
 Berechnung für GOLD:

Arbeitsblatt 3.2: Kupfer in Smartphones (Seite 65 von 87):
 Exemplarische Berechnung: Verbrauch an Kupfer in Smartphones in 2015 (weltweit & Deutschland):
 Nun berechnen Sie zum Vergleich Menge und Wert des eingesetzten Kupfers:
 • Preis für Kupfer: 5750 USD pro t
 • Ein Smartphone wiegt ca. 80g, und enthält 155 Kupfer
 • 12 g Kupfer pro Smartphone
 • Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft, in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.
 Berechnung für KUPFER:

Arbeitsblatt 3.1 & 3.2: Kupfer und Gold in Smartphones-Lösung (Seite 66 von 87):
 Exemplarische Berechnung: Lösung Verbrauch an Gold und Kupfer in Smartphones in 2015 (weltweit & Deutschland):
 Berechnen Sie: Wieviel Gold wurde für die in 2015 verkauften Smartphones (Deutschland und weltweit) benötigt, und wieviel kostete es?
 (Am einfachsten ist es, zur Berechnung Kilogramm als Einheit zu verwenden)
 1 Kilo Gold = 32,15 Feinunzen Gold
 Goldpreis pro Feinunze (12/2016): 1.184 USD
 Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft, in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.
 Ein Smartphone enthält etwa 30 mg Gold
 Lösung:
 • 1 Kilo Gold kostet: 1184 USD x 32,15 Feinunzen = 38.065,60 USD
 • 30 mg = 0,00003 kg
 • Weltweiter Verbrauch: 1.432.900.000 x 0,00003 kg = 42.987 kg Gold
 • Preis: 42.987 kg x 38.065,60 USD = 1.636.325.947,20 USD
Weltweit wurden 42.987 kg Gold verbraucht um Smartphones herzustellen. Auf dem Weltmarkt war dieses Gold 1.636.325.947,20 USD wert.
 Die Werte für Deutschland sind:
 • Verbrauch: 26.200.000 x 0,00003 kg = 786 kg Gold
 • Preis: 786 kg x 38.065,60 = 29.919.561,60 USD
 Nun berechnen Sie zum Vergleich Menge und Wert des eingesetzten Kupfers:
 Preis für Kupfer: 5.750 USD pro t
 Ein Smartphone wiegt ca. 80 g, und enthält 155 Kupfer = 12 g Kupfer pro Smartphone
 Berechnung für KUPFER:
 Lösung:
 • 1.432.900.000 x 0,012 kg = 17.194.800 kg Kupfer = 17.195 Tonnen Kupfer
 • 17.195 t x 5750,0 USD pro t = 98.875.100 USD
Weltweit wurden 17.195 Tonnen Kupfer verbraucht um Smartphones herzustellen. Auf dem Weltmarkt war dieses Kupfer 98.875.100 USD wert.
 Die Werte für Deutschland sind:
 • 26.200.000 x 0,012 kg = 314.400 kg Kupfer = 314 Tonnen Kupfer
 • 314,4 t x 5750,0 USD pro t = 1.807.800 USD

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Rechnungen sind mittels der Grundrechenarten ermittelbar, zusätzlich benötigt wird nur das Grundwissen der Umrechnung von Milligramm in Kilogramm:

- $1\text{mg} = 0,001\text{g} = 0,000001\text{ kg}$ daher sind $30\text{ mg} = 0,00003\text{ kg}$.

Die Unterschiede in den Angaben Vortragsfolien vs. Arbeitsblatt resultieren aus EURO bzw. USD - Angaben. Wegen der starken Kursschwankungen der Weltmarktpreise für Metalle sind die Werte als Indikativ zu betrachten

Durch die Berechnung wurde herausgearbeitet, dass erhebliche Mengen an Rohstoffen eingesetzt werden, um die Produktion von Handys zu ermöglichen. Die Abbildung zeigt, dass dies auch für andere Metalle relevant ist.

Abbildung 27: Information 3: Mengen von Metallen in Mobiltelefonen weltweit.

Unterrichtsmaterial Mengen weltweiter Verbrauch

LehrRes
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

Vergleichen Sie nun die Mengen der Metalle, die weltweit eingesetzt werden mit den geringen Mengen, die in einzelnen Handys verbaut werden:

	je Handy (Stück) in mg	je Smartphone (Stück) in mg	Gesamt in Smartphones (Verkauf 2015*, in t)	Gesamtpreis 2016 Smartphones
Gold	24	30	43	1.600 Mio.€
Silber	250	305	436	230 Mio.€
Platin	< 0,9	< 1,1	1,6	46 Mio.€
Palladium	9	11	13	7,7 Mio.€
Indium	1,8	2,2	3,1	1,3 Mio.€
Tantal	3,6	4,4	6,3	0,72 €
Cobalt	4,4	5,2	7,4	0,20 €

Der ökologische Rucksack eines Handys

Quelle Statista 2015

75

Quelle: Eigene Darstellung.

Im folgenden Modul wird nun die damit einhergehende Umweltbelastung thematisiert.

3.4.10. Übersicht Modul 4: Lebenszyklus von Metallen

Tabelle 8: Modul 4: Lebenszyklus und ökologischer Rucksack.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
10 min.	Der Lebenszyklus von Metallen	1.5	Photos den Schritten zuordnen	Arbeitsblatt 4 mit Photoblatt
15 min.	Lebenszyklus der Metalle: der ökologische Rucksack	1.5	Textanalyse mit anschließender Zuordnung Input/Output zu den Zyklusschritten	Arbeitsblatt 5.1, 5.2 und 5.3
10 min.	Der ökologische Rucksack - Definition	1.6	Erarbeitung einer Definition	Arbeitsblatt 6

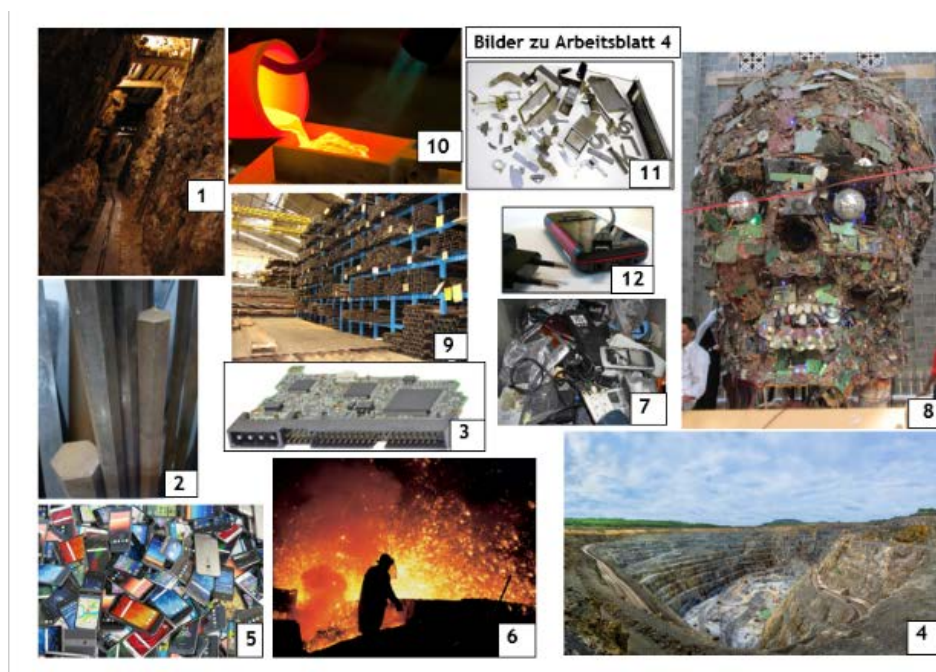
Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.11. Lebenszyklus von Metallen

In diesem Modul wird im Rahmen einer **Partnerarbeit** eingeführt, welche Prozesse von der Förderung eines Metalls bis zu dessen Entsorgung bzw. Recycling in der Regel ablaufen. Im zweiten Schritt wird herausgearbeitet, welche Ressourcen dabei im Rahmen der Produktion eines einzelnen Metalls notwendig sind. Es stehen zwei aufeinander aufbauende Aufgaben zur Verfügung:

Zunächst wird anhand von 12 verschiedenen Photos visualisiert, welche Schritte im Lebenszyklus von Metallen unterschieden werden. Dabei müssen immer 2 Photos einem Arbeitsschritt zugeordnet werden. Zudem soll schon hier überlegt werden, welche Faktoren bei jedem Arbeitsschritt zugeführt werden müssen: Wasser und Energie

Abbildung 28: Arbeitsblatt 4a: Lebenszyklus von Metallen und Lösung.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 29: Arbeitsblatt 4b und 4c: Lebenszyklus von Metallen und Lösung.

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 69 von 87

Arbeitsblatt 4b: Der Lebenszyklus von Metallen

Von den folgenden 12 Bildern sind jeweils zwei einer der Stationen im Lebenszyklus von Metallen zugeordnet. Überlegen Sie, was die Bilder darstellen und welche Bilder zu welcher Station gehören.

Welche beiden Faktoren könnten bei allen Verarbeitungsstationen verbraucht werden?

Station 1: Bergbau: Gewinnung von Erzen und Mineralien, Bergbau oder Tagebaus
Bild Nr. _____ und _____

Station 2: Verhüttung zu Rohmetall, in der Regel im Hochofen durch Schmelzen der Erze und Mineralien:
Bild Nr. _____ und _____

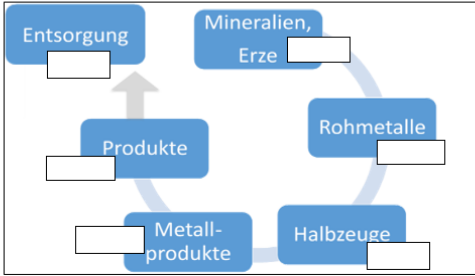
Station 3: Halbzeuge: Rohprodukte für die Weiterverarbeitung, z.B. Rohre, Stangen, Draht, auch aus Metalllegierungen
Bild Nr. _____ und _____

Station 4: Metallprodukte: Zwischenprodukte die hergestellt werden z.B. durch Drehen, Fräsen, Schleifen, oder per Laserschneiden
Bild Nr. _____ und _____

Station 5: End-Produkte, die die Endverbraucher im Einzelhandel einkaufen
Bild Nr. _____ und _____

Station 6: Entsorgung: Elektroschrott - und was man damit machen kann
Bild Nr. _____ und _____

Ordnen Sie nun die Bildnummern den entsprechenden Kästen des Lebenszyklus zu:



LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 70 von 87

Arbeitsblatt 4c: Der Lebenszyklus von Metallen-Lösung

Von den folgenden 12 Bildern sind jeweils zwei einer der Stationen im Lebenszyklus von Metallen zugeordnet. Überlegen Sie, was die Bilder darstellen und welche Bilder zu welcher Station gehören.

Welche beiden Faktoren könnten bei allen Verarbeitungsstationen verbraucht werden?

Station 1: Bergbau: Gewinnung von Erzen und Mineralien, Bergbau oder Tagebaus
Bilder Nr.: 1 und 4

Station 2: Verhüttung zu Rohmetall, in der Regel im Hochofen durch Schmelzen der Erze und Mineralien:
Bilder Nr.: 6 und 10

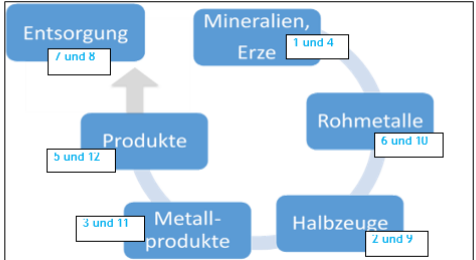
Station 3: Halbzeuge: Rohprodukte für die Weiterverarbeitung, z.B. Rohre, Stangen, Draht, auch aus Metalllegierungen
Bilder Nr.: 2 und 9

Station 4: Metallprodukte: Zwischenprodukte die hergestellt werden z.B. durch Drehen, Fräsen, Schleifen, oder per Laserschneiden
Bilder Nr.: 3 und 11

Station 5: End-Produkte: die die Endverbraucher im Einzelhandel einkaufen
Bilder Nr.: 5 und 12

Station 6: Entsorgung: Elektroschrott - und was man damit machen kann
Bilder Nr.: 7 und 8

Ordnen Sie nun die Bildnummern den entsprechenden Kästen des Lebenszyklus zu:



Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.12. Der ökologische Rucksack der Metallproduktion

In einem weiteren Arbeitsblatt werden nun die einzelnen Arbeitsschritte genauer betrachtet:

Mit Hilfe des Erläuterungstextes sollen die Schülerinnen und Schüler nun den einzelnen Arbeitsschritten im Lebenszyklus all die Ressourcen zuordnen, die in den Arbeitsschritt einfließen. Ziel ist es, zu vermitteln, dass eine große Variabilität und Menge an Stoffen im Produktionsprozess eingesetzt wird, die im Allgemeinen nicht bedacht wird. Die Kupferherstellung dient hier als Beispiel für alle Metalle. Die Form der Platzhalter entspricht der Form der Textbausteine.

Abbildung 30: Arbeitsblätter 5.1-5.3: Lebenszyklus von Metallen und Lösungsblatt.

Arbeitsblatt 5.1: Informationstext Der Lebenszyklus der Metalle

Mineralien und Erze: Der Ausgangspunkt ist die Gewinnung von Mineralien (z.B. Metalloxide, -carbonate, -sulfide) und Erzen (z.B. Metalle) mittels Sprengen. Dies kann im Tagebau geschehen, wobei zum Teil erdige Gesteine erdosen, oder auch im Untertagebau mittels Stollen und Schächten. Der Metallgehalt des Erzes kann sehr variieren: bei Gold sind es z.B. nur wenige Gramm pro Tonne.

Verhüttung: Es erfolgt die Verhüttung der Mineralien und Erze zur Herstellung der Rohmetalle. Dabei werden neben dem maximal Energieaufwand in der Regel auch noch weitere Hilfsstoffe eingesetzt (z.B. Flussmittel um den Schmelzpunkt herabzusetzen), Metalle liegen meist als Sulfid oder Oxid vor, nur die Eisenmetalle sind rein (metallisch). Vor allem Reduktionsmittel (Kohle) oder Oxidationsmittel (Luft) sind notwendige Schritte zur Herstellung der Rohmetalle. Hierbei entstehen Emissionen oder Schlacken im großen Umfang. Lärm und die Toxizitäten der Abfälle verbleiben unvermeidlich zu gestalten, aber diese werden häufig aus Abfallströmen und aus Umweltschäden zu Lasten der Umwelt und der Bevölkerung in vielen Ländern nicht eingestrichelt. Geleitet ist kein Verhüttungsprozess, der ein höheres Maß an Energie und Wasser benötigt ist.

Halbzeuge: Im nächsten Schritt erfolgt die Herstellung der Halbzeuge wie z.B. von Rohren, Platten oder Blechen. Alle Formverfahren benötigen Energie zum Ionisieren. Wärme wird meist über das Vorformen mittels Katalysatoren erzeugt, wobei fallen Emissionen an. Wasser als Katalysator ist ein wesentlicher Bestandteil der Prozesse, wobei auch eine Wasserverschmutzung erfolgt, wenn Kühlwasser mit Schwermetallen oder Hilfsstoffen der Halbzugschmelze in Kontakt kommt. Häufige Formen sind Bleche, Platten, Stangen, Stäbe oder Drähte (in Stahlblechform).

Metallprodukte: Aus den Halbzeugen werden über sehr unterschiedliche Prozesse und Verfahren die Metallprodukte hergestellt. Beispiele sind standardisierte Produkte wie Schrauben, Drähte oder Klammern, aber auch spezielle Produkte z.B. wie Metallrahmen für Smartphones. Dabei fallen auch Metallreste als Abfall an. In diesem Prozessschritt werden z.B. auch durch vielfältige Schritte die elastischen und elastischen Bauteile hergestellt, die Kupfer enthalten (integrierte Schaltkreise, Leiterplatten, Antennen, Sensoren etc.). Die Herstellung von Metallprodukten ist fast immer ein komplexer Verfahren. Energie, Wasser und Chemikalien werden bei allen komplexen Metallprodukten verwendet. Beispielweise werden Leiterplatten in diversen Abz. mit anschließender Reinigungsverfahren hergestellt.

Endprodukte: Der letzte Schritt ist die Herstellung der Endprodukte wie z.B. des Smartphones. Dieser Prozess umfasst diverse Stufen mit einer Mischung aus sehr unterschiedlichen Materialien und deren Verbindungen. Je komplexer diese Produkte aufgebaut werden, desto aufwendiger wird es in der Regel auch der letzte Schritt. Bei der Verwendung von Halbzugprodukten fallen vor allem Produktreste an. Chemikalien, die auf der dauerhaften Verbindung von Bauteilen setzen, nutzen Hilfsstoffe wie Kleber oder Lötmaterialien, deren Verwendung gleichfalls Abfälle erzeugt.

Entsorgung: Der letzte Schritt im Lebenszyklus ist die Entsorgung. Nach der Nutzung fallen die Produkte als Abfälle an. Auch für die Recycling ist der Einsatz von Energie, Wasser und häufig auch von Lösungsmitteln und anderen chemischen Verbindungen notwendig. Insbesondere Metalle sind bisher schwerwiegend im Recycling. Der Einsatz von natürlichen Rohstoffen kann dadurch z.T. erheblich vermindert werden. Doch auch bei den Metallen ist vollständiges Recycling nach wie vor nicht möglich. Bei hochkomplexen Produkten ist dieses vollständige Recycling oft unmöglich, es werden stattdessen nur die Hauptbestandteile wiedergewonnen (Kupfer, Aluminium, Stahl, Kunststoff). Kunststoffstrukturen werden auch häufig „sternförmig“ abgeleitet.

Arbeitsblatt 5.2: Textfelder/Hilfsstoffe und Abfallprodukte im Lebenszyklus

Ordnen Sie die folgenden Textfelder mit Hilfe des Textes in der Grafik der nächsten Seite dem entsprechenden Positionen zu (die Form der Textfelder gibt keine eindeutige Zuordnung an):

Energie, Wasser, Kleber, Abzettel, Lötlote, etc., andere Hilfsstoffe 1	Energie (Heiz), Zuschlagstoffe, Flussmittel, Luft / Sauerstoff, Energie (Druck), Wasser 2	Energie, Wasser, Lösungsmittel, ... 3	Schmelzstoffe, Energie, Wasser 4	Durchschnittliche Recyclingleistungen: 94 Kupfer, 150 mg Silber, 25 mg Gold sowie sehr geringe Mengen an Platin und Palladium 5
Metalle: z.B. Gold: 1-10g / 1000g Erz 6	Abraum, Abgas, Schlacke, Schlacken, Emissionen + z.T. giftige Metallstoffe und andere Verbindungen 7	Energie, Wasser, Chemikalien wie z.B. Säuren 8	Abwasser, Emissionen, Metallabfälle (prozessierbar) 10	Abwasser, Produktreste, Metallverbindungen, Reaktionsreste 11
Abwasser, Abgas 9				

Arbeitsblatt 5.3: Grafik Lebenszyklus der Metalle

Arbeitsblatt 5.1 - 5.3: Grafik Lebenszyklus der Metalle-Lösung

Quelle: Eigene Darstellung.

In den bisherigen Schritten wurde das Wissen etabliert, das für das tiefere Verständnis der Ressourcenproduktion notwendig ist. Im nächsten Modul wird nun übergeleitet zum eigentlichen Ziel, dem ökologischen Rucksack:

3.4.13. Der Ökologische Rucksack - Definition

Mit Hilfe der vorgestellten Konzepte sollen die Schülerinnen und Schüler nun versuchen, ihre eigene Definition des ökologischen Rucksacks zu entwickeln: Dabei sind viele Ansätze richtig, die verschiedene Grade an Detail widerspiegeln können.

Die gängigste Definition ist „Der ökologische Rucksack ist die sinnbildliche Darstellung der Menge an Ressourcen, die bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbraucht werden.“

Abbildung 31: Arbeitsblatt 6: Definition des ökologischen Rucksacks und Lösungsblatt.



Quelle: Eigene Darstellung.

Anhand des Arbeitsblattes soll angedeutet werden, dass die Summe vieler individueller ökologischer Rucksäcke (z.B. für Kupfer, Silber, Gold, etc. im Handy) den ökologischen Rucksack eines Produktes darstellt.

3.4.14. Übersicht Modul 5: Lebenszyklus und ökologischer Rucksack

Tabelle 9: Modul 5: Bauteile und Zusammensetzung von Handys.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
5 min	Lebenszyklus eines Handys	s.u.	Transfer Zyklus Prinzip auf das Handy	Arbeitsblatt 7
15 min.	Die Komponenten des Ökologischen Rucksacks eines Handys	1.3	Informationstext	Information 3
20 min.	Gewichte der Komponenten	1.3	Experimentieren mit verschiedenen Gewichten	Waage

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.15. Lebenszyklus eines Handys

Dieses Konzept des Lebenszyklus, das im vorigen Modul etabliert wurde, wird nun in einfacher Form auf den gesamten Lebensweg eines Handys übertragen: Die Schülerinnen und Schüler sollen selbständig nachdenkend erarbeiten, nach Möglichkeit diskursiv, welche „Lebensstationen“ ein Handy durchläuft. Dabei ist der Hinweis sinnvoll, dass bisher vor allem die erste Komponente des Lebenszyklus, die Rohstoffgewinnung, besprochen wurden.

Abbildung 32: Arbeitsblatt 7: Lebenszyklus des Handys und Lösungsblatt.



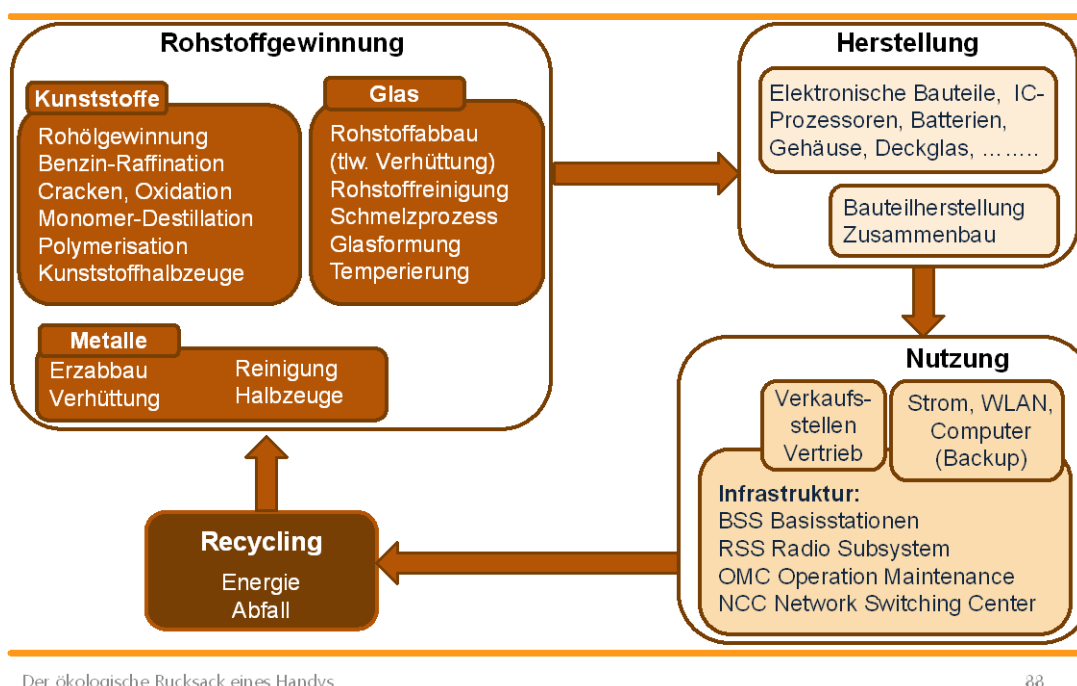
Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.16. Modul 8: Die Komponenten des ökologischen Rucksacks Handy

In gemeinsamer Gruppendiskussion mit fragend-entwickelndem Gespräch werden nun die beiden letzten Module kombiniert: Anhand der Abbildung werden die Stationen des Lebenszyklus detailliert erörtert. Gleichzeitig wird erarbeitet, dass für jede Station im Lebensweg eines Handys auch jeweils ein ökologischer Rucksack entsteht.

Abbildung 33: Information 4: Die Komponenten des ökologische Rucksacks eines Handys.

Unterrichtsmaterial Der ökologische Rucksack Handy



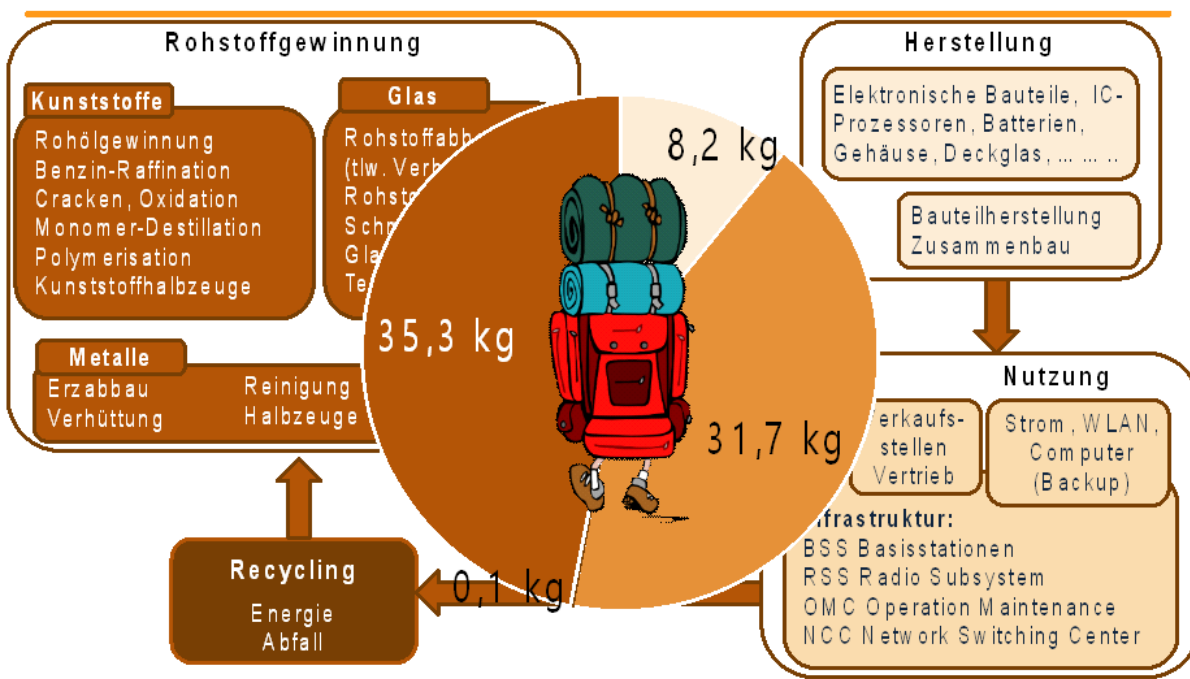
Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.17. Die Gewichte der Komponenten

Die Schülerinnen und Schüler sollen nun konkrete Vorstellungen von den Gewichten der einzelnen Rucksäcke der Komponenten gewinnen. Verschiedene Gewichte werden per Waage abgewogen, die jeweiligen Einzel-Gewichte von den Schülern angehoben und abschließend mittels anheben zum Beispiel eines Mitschülers mit dem etwaigen Gewicht erfahren, welches Gesamtgewicht an „Umwelt“ ihre Handynutzung verbraucht (hat).

Abbildung 34: Information 5: Der ökologische Rucksack eines Handys: Lösungsblatt.

Unterrichtsmaterial Der ökologische Rucksack Handy



Der ökologische Rucksack eines Handys

89

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4.18. Modul 6: Abschluss: Was kann ich tun?

Tabelle 10: Modul 6: Handlungsoptionen.

Zeit	Thema	Kapitel der Sachanalyse	Methodischer Zugang	Medien
15 min.	Handlungsoptionen	2.1	Optionen entwickeln	Arbeitsblätter 9.1 – 9.4
35 min.	Handlungsoptionen	1.5	Schülervortrag und Gruppendiskussion	

Quelle: Eigene Darstellung.

Zum Abschluss wird die Lerngruppe in vier Gruppen unterteilt. Jede Gruppe bekommt ein Arbeitsblatt (9.1/9.2/9.3/9.4) zur Diskussion. Es soll herausgearbeitet werden, welche Faktoren bei den verschiedenen Handlungsfeldern entscheidend sind. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass unterschiedlich viele Aspekte herausgearbeitet werden können. Die Arbeitsblätter enthalten Fragen zur Unterstützung der Diskussion. Das entsprechende Lösungsblatt vermittelt einen Überblick über Punkte, die diskutiert werden sollten.

Abbildung 35: Arbeitsblätter 9.1 – 9.4 Handlungsoptionen und Lösungsblatt.

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 81 von 88

Arbeitsblatt 9.1: Reduce

Handlungsoptionen!!

„Reduce“ - den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Wie können Sie sich verhalten, oder welche Hilfen können Sie einsetzen?
2. Auf welche verschiedenen Ressourcen, die im Zusammenhang mit dem Handy benutzt werden, haben Sie Einfluss??
3. Können Sie überhaupt mit ihrem eigenen Verhalten beeinflussen, wieviele Handys benutzt werden?

LehrRes / Der ökologische Rucksack eines Handys Seite 82 von 88

Arbeitsblatt 9.2: Reuse

Handlungsoptionen!!

„Reuse“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Wie können Sie erreichen, dass die Ressourcen, die für die Produktion Ihres Handys eingesetzt wurden so lange als nur möglich genutzt werden (damit nicht so schnell wieder ein neues Handy produziert und gekauft werden muss)? Versuchen Sie, mehrere Möglichkeiten zu entwickeln.

LehrRess / Der Ökologische Rucksack eines Handys Seite 83 von 88

Arbeitsblatt 9.3: Repair

Handlungsoptionen!!

„Repair“ - durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Welchen Einfluss hat das Reparieren eines Gerätes auf den Ressourcenverbrauch?
2. Welche Vorteile sind mit einer Reparatur verbunden - und welche Nachteile?

LehrRess / Der Ökologische Rucksack eines Handys Seite 84 von 88

Arbeitsblatt 9.4: Recycle

Handlungsoptionen!!

„Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Erklären Sie kurz, warum das Recycling wichtig ist.
2. Fallen Ihnen unterschiedliche Möglichkeiten ein, an wen man das Gerät zum recyceln geben könnte?
3. Was könnte problematisch sein, wenn man das kaputte Handy an nicht seriöse „Recycler“ gibt?
4. Überlegen Sie auch, was man beachten sollte bevor man sein Handy zum Recyceln gibt!

LehrRess / Der Ökologische Rucksack eines Handys Seite 84 von 87

Arbeitsblatt 9.1 - 9.4: Reduce, Reuse, Repair und Recycle-Lösungen

Handlungsoptionen!!

„Reduce“ - den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren

„Reuse“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich

„Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht

„Repair“ - durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen

„Reduce“ - Den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren

Das Mobilgerät nutzen bis es wirklich nicht mehr geht, leistet den größten Beitrag zur Ressourcenschonung!!!

- Einsatz von Schutzhüllen (Bruchgefahr); extreme Kälte- oder Hitze-Einwirkungen;
- Beim Kauf darauf achten, dass recycelte Materialien eingesetzt wurden
- Universal-Ladegeräte nutzen
- Ungenutzte Programme deaktivieren und Stromsparfunktionen zu nutzen

„Reuse“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich

Ungenutzte Geräte nicht einfach wegwerfen, nicht langfristig lagern, nie in den Hausmüll! Wenn ein Gerät nicht mehr genutzt wird, dafür sorgen, dass eine andere Person es nutzen kann. Z.B. in der Familie, im Freundeskreis oder per Verkauf (auf seriöse Anbieter achten!)

„Repair“ - Durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen

Auch, wenn es sich nicht zu lohnen scheint! Besserer Wiederverkaufswert und höhere Wahrscheinlichkeit, dass das Gerät weiter benutzt wird. Auch Komponenten können noch verwertbar oder weiter nutzbar sein.

„Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht

Auf fachgerechte Entsorgung achten! (Handy-Sammeldienste z.B. bei Umweltschutzorganisationen, offiziellen Abfallentsorgern oder Mobilfunkanbietern)

Bei anderen Verwertern: prüfen, was genau mit dem Gerät passiert: Von unseriösen Anbietern werden möglicher Weise die wertvollen und einfach zu verwertenden Bestandteile des Handys entnommen und der verbleibende Anteil entweder gar nicht entsorgt oder zu schwer verwertbarem Elektronikschrott gemacht.

Vorher: Speichermedien entfernen, Speicher löschen, auf Werkeinstellungen zurücksetzen.

4. Anhang: Arbeitsmaterialien

Im folgenden Kapitel finden Sie alle Fragen, Grafiken und Texte für den Unterricht als Arbeitsblätter zum Ausdruck

Arbeitsblatt 1.1a: Karikatur Pranger gegen Handysucht

Quelle: Fotolia 92583172 - Pranger gegen Handysucht © HSB-Cartoon

1. Was ist ein Pranger und wann und wozu hat man ihn benutzt?
2. Warum vermuten Sie, ist der Handy-Inhaber so gestresst?
3. Befanden Sie sich - im übertragenen Sinn - bereits in einer ähnlichen Situation und wenn ja, welcher Aspekt hat oder würde bei Ihnen Stress auslösen?
4. Wenn Sie eine Zeitreise machen könnten, wie vermuten Sie würden Sie mit Ihrem Handy aufgenommen? Welche Funktionen Ihres Handys könnten Sie noch nutzen?

Arbeitsblatt 1.1a: Karikatur Pranger gegen Handysucht - Lösung



1. Was ist ein Pranger und wann und wozu hat man ihn benutzt?

Der Pranger wurde zur Bestrafung und zur öffentlichen Darstellung und Schändung eines Fehlverhaltens eingesetzt. Andere Personen sollten davon abgehalten werden, das angeprangerte Verhalten auszuführen. Mitmenschen durften den Angeprangerten u.a. bewerfen und bespucken. Daher auch die Bewachung, die primär dem Schutz des Angeprangerten diente.

2. Warum vermuten Sie, ist der Handy-Inhaber so gestresst?

Mehrere Gründe sind denkbar, zum Beispiel: Es ist ihm peinlich am Pranger zu stehen, er leidet unter Entzugserscheinungen, weil er sein Handy nicht adäquat bedienen kann oder er befürchtet Aktivitäten des Wächters oder andere Mitbürger.

3. Befanden Sie sich – im übertragenen Sinn – bereits in einer ähnlichen Situation und wenn ja, welcher Aspekt hat oder würde bei Ihnen Stress auslösen?

Die Frage soll darauf hinleiten, dass es im 20. Jahrhundert durchaus ähnliche Situationen gibt, oft sind es Eltern, die ihrem Nachwuchs „Handysucht“ vorwerfen. Die Schülerinnen und Schüler sollen hinterfragen, wie weit sie selbst oder Freunde einer Handysucht bzw. anderen anzuprangenden Verhaltensweisen (z.B. Cybermobbing) unterliegen.

4. Wenn Sie eine Zeitreise machen könnten, wie vermuten Sie würden Sie mit Ihrem Handy aufgenommen? Welche Funktionen Ihres Handys könnten Sie noch nutzen?

Sofern das Gerät funktionieren würde, würde man vermutlich als Hexe oder Zauberer auf dem Scheiterhaufen verbrannt. Die allermeisten Funktionen stünden jedoch mangels technologischer Infrastruktur nicht zur Verfügung, selbst die Funktion des Musik-Abspielens wäre auf die Dauer der Akku-Ladung begrenzt.

Arbeitsblatt 1.1b: Karikatur Handygefängnis



Quelle: Fotolia 144266376 - A office man character in mobile phone jail © Holmessu

1. Wer ist, Ihrer Meinung nach, die Person, die im Handy gefangen ist?
2. Gibt es Situationen aus Ihrem Leben, die zu dieser Karikatur passen? Können Sie sich vorstellen, dass andere Menschen sich in bzw. durch ihr Handy „eingesperrt“ oder „gefangen“ fühlen? Welche Personen wären das?
3. Vergleichen Sie die Rolle des Handys heute mit der Zeit, bevor Handys bzw. Smartphones auf den Markt kamen. Welche Vor- und welche Nachteile hat das Leben ohne bzw. mit Handy.

Arbeitsblatt 1.1b: Karikatur Handygefängnis - Lösung



1. Wer ist, Ihrer Meinung nach, die Person, die im Handy gefangen ist?

Möglich sind z.B. der Handy-Inhaber; eine Persönlichkeit, mit der man über das Handy Kontakt hat; die „Seele“ des Handys; die Institution, die den Service betreibt oder das Internet...

2. Gibt es Situationen aus Ihrem Leben, die zu dieser Karikatur passen? Können Sie sich vorstellen, dass andere Menschen sich in bzw. durch ihr Handy „eingesperrt“ oder „gefangen“ fühlen? Welche Personen wären das?

Ziel ist es, die Schülerinnen und Schüler darauf hin zu führen, wie gefangen sie selbst in der „Handy-Welt“ sind, dass es für Viele, v.a. Jugendliche, nahezu ein Zwang ist, online und erreichbar sein zu müssen.

Insbesondere trifft dies für Arbeitnehmer zu, die jederzeit erreichbar sein sollen und auch z.B. auf Reisen überall arbeitstätig sein können bzw. sollen.

3. Vergleichen Sie die Rolle des Handys heute mit der Zeit, bevor Handys bzw. Smartphones auf den Markt kamen. Welche Vor- und welche Nachteile hat das Leben ohne bzw. mit Handy.

Die vielfältigen Vorteile und Nutzen der Handys und insbesondere der Smartphones sind unbestritten. Es bietet sich jedoch eine Diskussion zum Thema Zeit und deren Nutzung, Lebensbeschleunigung, permanente Erreichbarkeit, Veränderung der Kommunikationsformen und der Kommunikationstiefe und vieles mehr an. Die Referenz auf die Zeit vor dem Handy dient dazu, bei den Schülerinnen und Schülern den Kontrast zu ihrem eigenen Verhalten zu etablieren.

Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsfragen

1. Ihr wieviertes Handy haben Sie in der Tasche und wie lange benutzen Sie es schon?
2. Ab welchem Alter haben mehr als 50% aller Kinder ein Handy?
3. Worin findet man mehr Gold? In einer Tonne Gold-Erz oder in einer Tonne Schrott-Handys?
4. Was schätzten Sie: wie viele ungenutzte Handys liegen in deutschen Schubladen?
5. Und wieviel Gold wäre dann darin?
6. Was schätzen Sie: Wie viele neue Handys wurden 2015 in Deutschland verkauft?
7. Wie viele von Ihnen haben schon mal Seltene Erden besessen?
8. Welches ist das wertvollste Metall in Ihrem Handy?

Arbeitsblatt 1.2: Einstiegsfragen-Lösung

1. Ihr wieviertes Handy haben Sie in der Tasche und wie lange benutzen Sie es schon?

Durchschnittliche Gebrauchsdauer: 18 bis 24 Monate vs. mögliche Gebrauchsdauer ca. 4 Jahre

2. Ab welchem Alter haben mehr als 50% aller Kinder ein Handy?

Im Alter von 10-11 Jahren haben 61% der Kinder ein Handy.

3. Worin findet man mehr Gold? In einer Tonne Gold-Erz oder in einer Tonne Schrott-Handys?

In einer Tonne alter Handys/Smartphones befindet sich ungefähr 50-mal so viel Gold wie in einer Tonne Golderz.

4. Was schätzen Sie: wie viele ungenutzte Handys liegen in deutschen Schubladen?

Ca. 120 Millionen!

5. Und wieviel Gold wäre dann darin?

$0,025\text{g} \times 120.000.000 = 3.000.000\text{g} = 3000\text{ kg}$

6. Was schätzen Sie: Wie viele neue Handys wurden 2015 in Deutschland verkauft?

26,2 Millionen

7. Wie viele von Ihnen haben schon mal Seltene Erden besessen?

Alle, die ein Handy haben.

(Unter Seltenen Erden versteht man „eine Gruppe von 17 Elementen welche aus den 15 Lanthaniden (Ordnungszahl 57 bis 71) sowie Scandium und Yttrium besteht. Diese Elemente sind funktionell wichtig und kommen nur in sehr geringen Mengen im Mobiltelefon vor)

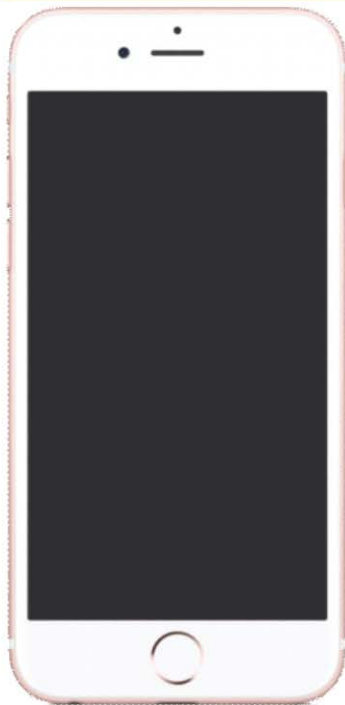
8. Welches ist das „wertvollste“ Metall in Ihrem Handy?

Gold, Platin und Silber...aber was ist mit den seltenen Erden wie Kobalt etc...

Arbeitsblatt 2: Welche Bauteile können Sie in (Ihrem) Handy/Smartphone identifizieren?

Unterrichtsmaterial Welche Bauteile im Smartphone?

LehrRess
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz



Arbeitsblatt 2: Welche Bauteile können Sie in (Ihrem) Handy/Smartphone identifizieren?-Lösung

Unterrichtsmaterial

Welche Bauteile im Smartphone?

LehrRess
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der **Ressourceneffizienz**

- Frontcase
- Display
- Display-Rückseite
- Front- und Rückkamera
- Blitzlicht
- Antenne
- Mainboard (Logicboard)
- Lautsprecher-Einheit
- I/O-Eingang
- Kopfhörer-Eingang
- SIM-Lock
- Batterie
- Gehäuse
- Buttons / Schalter

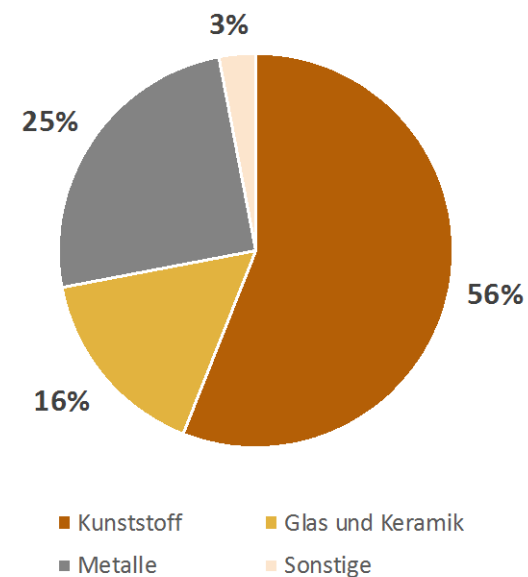


Information 1: Woraus besteht ein Smartphone?

Woraus besteht ein Smartphone?

- Kunststoffe bilden den größten Teil eines Smartphones
- Die größte Vielfalt an Elementen findet sich in den **1% Andere Metalle**.
 Darin befinden sich z.B. **Gold, Silber, Platin, Palladium...**

Metall (25%)	Anteil (%)
Kupfer	15%
Eisen	3%
Aluminium	3%
Nickel	2%
Zinn	1%
Andere	1%



Arbeitsblatt 3: Elemente in einem Smartphone

Von welchen Elementen vermuten Sie, dass sie wahrscheinlich in einem Smartphone enthalten sind?

Wie viele der ca. 80 stabilen Elemente des Periodensystems kommen im Handy vor?

PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

1 H Wasserstoff																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkonium	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Iod	54 Xe Xenon
55 Cs Caesium	56 Ba Barium	57 La [*] Lanthan	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac ^{**} Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

Arbeitsblatt 3: Elemente in einem Smartphone-Lösung

Elemente in einem Smartphone?

LehrRess
 Unterstützung von Bildungsträgern
 im Bereich der Ressourceneffizienz

1 H Wasserstoff																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkon	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Jod	54 Xe Xenon
55 Cs Cäsium	56 Ba Baryum	57 La Lanthan	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

(³² Ge: Germanium gehört nicht zu den üblichen Inhaltsstoffen eines Handys)

Information 2: Ausgewählte Metalle in Smartphones

Ausgewählte Metalle in einem Smartphone

Element	Gew.-Anteil %	Verwendung
Kupfer	10-15%	Leiterplatte, Verbindungen, Kontakte (Legierungen)
Silizium	10-15%	Mikrochips, Glas, auch als Kunststoff (Silikone)
Aluminium	4-9%	Rahmen, Abdeckungen, Befestigungen (Gehäuse für Batterien: Anteil Batterien: Anteil bis 20%)
Kobalt	~ 4%	Elektroden der Lithium-Ionen-Batterie
Lithium	3 – 4%	Elektrolyt in der Lithium-Ionen-Batterie
Eisen	~ 3%	Federn, Schrauben
Silber	0,16%	Leitfähige Kleber, Kontaktbahnen der Platine
Gold	0,024%	Beschichtung der Kontakte und Steckverbindungen
Palladium	0,005%	elektrische Kontakte und Kondensatoren
Tantal	~ 0,004%	Mikrokondensatoren
Platin	< 0,001%	Hochbelastete Kontakte auf der Leiterplatte
Indium	~ 0,002%	Touchscreen (durchsichtige Leiterbahnen)
Gallium	~ 0,0013%	Elektronik (optische-elektrische Signalumwandlung)

Arbeitsblatt 3.1: Gold in Smartphones**Exemplarische Berechnung:
Verbrauch an Gold in Smartphones in 2015
(weltweit & Deutschland):**

Berechnen Sie: Wieviel Gold wurde für die in 2015 verkauften Smartphones (Deutschland und weltweit) benötigt, und wieviel kostete es?

(Am einfachsten ist es, zur Berechnung Kilogramm als Einheit zu verwenden. Gold wird in Unzen gehandelt, Sie müssen also auch den Goldpreis pro Kilo Gold errechnen)

- 1 Kilo Gold = 32.15 Feinunzen Gold;
- Goldpreis pro Feinunze (12/2016): 1184 USD (US-Dollar)
- Im Jahr 2015 wurden
weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft,
in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.
- Ein Smartphone enthält etwa 30 mg Gold

Berechnung für GOLD:

Arbeitsblatt 3.2: Kupfer in Smartphones**Exemplarische Berechnung:
Verbrauch an Kupfer in Smartphones in 2015
(weltweit & Deutschland):**

Nun berechnen Sie zum Vergleich Menge und Wert des eingesetzten Kupfers:

- Preis für Kupfer: 5750 USD pro t
- Ein Smartphone wiegt ca. 80g, und enthält 15% Kupfer
- 12 g Kupfer pro Smartphone
- Im Jahr 2015 wurden
- weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft,
- in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.

Berechnung für KUPFER:

Arbeitsblatt 3.1 & 3.2: Kupfer und Gold in Smartphones-Lösung**Exemplarische Berechnung: Lösung
Verbrauch an Gold und Kupfer in Smartphones in
2015(weltweit & Deutschland):**

Berechnen Sie: Wieviel Gold wurde für die in 2015 verkauften Smartphones (Deutschland und weltweit) benötigt, und wieviel kostete es?

(Am einfachsten ist es, zur Berechnung Kilogramm als Einheit zu verwenden)

1 Kilo Gold = 32.15 Feinunzen Gold

Goldpreis pro Feinunze(12/2016): 1.184 USD

Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 1.432.900.000 Smartphones verkauft, in Deutschland allein waren es etwa 26.200.000.

Ein Smartphone enthält etwa 30 mg Gold

Lösung:

- 1 Kilo Gold kostet: $1184 \text{ USD} \times 32,15 \text{ Feinunzen} = 38.065,60 \text{ USD}$
- $30 \text{ mg} = 0,00003 \text{ kg}$
- Weltweiter Verbrauch: $1.432.900.000 \times 0,00003 \text{ kg} = 42.987 \text{ kg Gold}$
- Preis: $42.987 \text{ kg} \times 38.065,60 \text{ USD} = 1.636.325.947,20 \text{ USD}$

Weltweit wurden 42.987 kg Gold verbraucht um Smartphones herzustellen. Auf dem Weltmarkt war dieses Gold 1.636.325.947,20 USD wert.

Die Werte für Deutschland sind:

- Verbrauch: $26.200.000 \times 0,00003 \text{ kg} = 786 \text{ kg Gold}$
- Preis: $786 \text{ kg} \times 38.065,60 = 29.919.561,60 \text{ USD}$

Nun berechnen Sie zum Vergleich Menge und Wert des eingesetzten Kupfers:

Preis für Kupfer: 5.750 USD pro t

Ein Smartphone wiegt ca. 80 g, und enthält 15% Kupfer => 12 g Kupfer pro Smartphone

Berechnung für KUPFER:

Lösung:

- $1.432.900.000 \times 0,012 \text{ kg} = 17.194.800 \text{ kg Kupfer} = 17.195 \text{ Tonnen Kupfer}$
- $17.195 \text{ t} \times 5750,0 \text{ USD pro t} = 98.870.100 \text{ USD}$

Weltweit wurden 17.195 Tonnen Kupfer verbraucht um Smartphones herzustellen. Auf dem Weltmarkt war dieses Kupfer 98.870.100 USD wert.

Die Werte für Deutschland sind:

- $26.200.000 \times 0,012 \text{ kg} = 314.400 \text{ kg Kupfer} = 314 \text{ Tonnen Kupfer}$
- $5750,0 \text{ USD pro t} = 1.807.800 \text{ USD}$

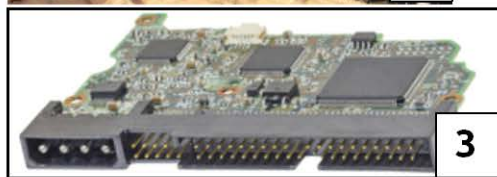
Information 3: Mengen an enthaltenen Metallen

Welche Mengen sind dies weltweit?

LehrRess
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz

	je Handy (Stück) in mg	je Smartphone (Stück) in mg	Gesamt in Smartphones (Verkauf 2015*, in t)	Gesamtpreis 2016 Smartphones
Gold	24	30	43	1.600 Mio.€
Silber	250	305	436	230 Mio.€
Platin	< 0,9	< 1,1	1,6	46 Mio.€
Palladium	9	11	13	7,7 Mio.€
Indium	1,8	2,2	3,1	1,3 Mio.€
Tantal	3,6	4,4	6,3	0,72 €
Cobalt	4,4	5,2	7,4	0,20 €

Arbeitsblatt 4a: Lebenszyklus der Metall - Bilder (Miniaturansicht)



Arbeitsblatt 4b: Der Lebenszyklus von Metallen

Von den folgenden 12 Bildern sind jeweils zwei einer der Stationen im Lebenszyklus von Metallen zugeordnet. Überlegen Sie, was die Bilder darstellen und welche Bilder zu welcher Station gehören.

Welche beiden Faktoren könnten bei allen Verarbeitungsstationen verbraucht werden??

Station 1: Bergbau: Gewinnung von Erzen und Mineralien, Bergbau oder Tagebaus

Bild Nr. _____ und _____

Station 2: Verhüttung zu Rohmetall, in der Regel im Hochofen durch Schmelzen der Erze und Mineralien:

Bild Nr. _____ und _____

Station 3: Halbzeuge: Rohprodukte für die Weiterverarbeitung, z.B. Rohre, Stangen, Draht, auch aus Metalllegierungen

Bild Nr. _____ und _____

Station 4: Metallprodukte: Zwischenprodukte die hergestellt werden z.B. durch Drehen, Fräsen, Schleifen, oder per Laserschneiden

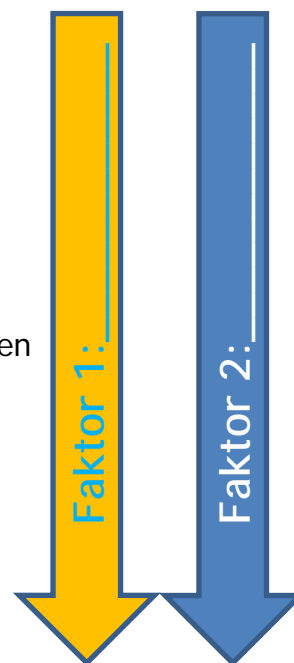
Bild Nr. _____ und _____

Station 5: End-Produkte, die die Endverbraucher im Einzelhandel einkaufen

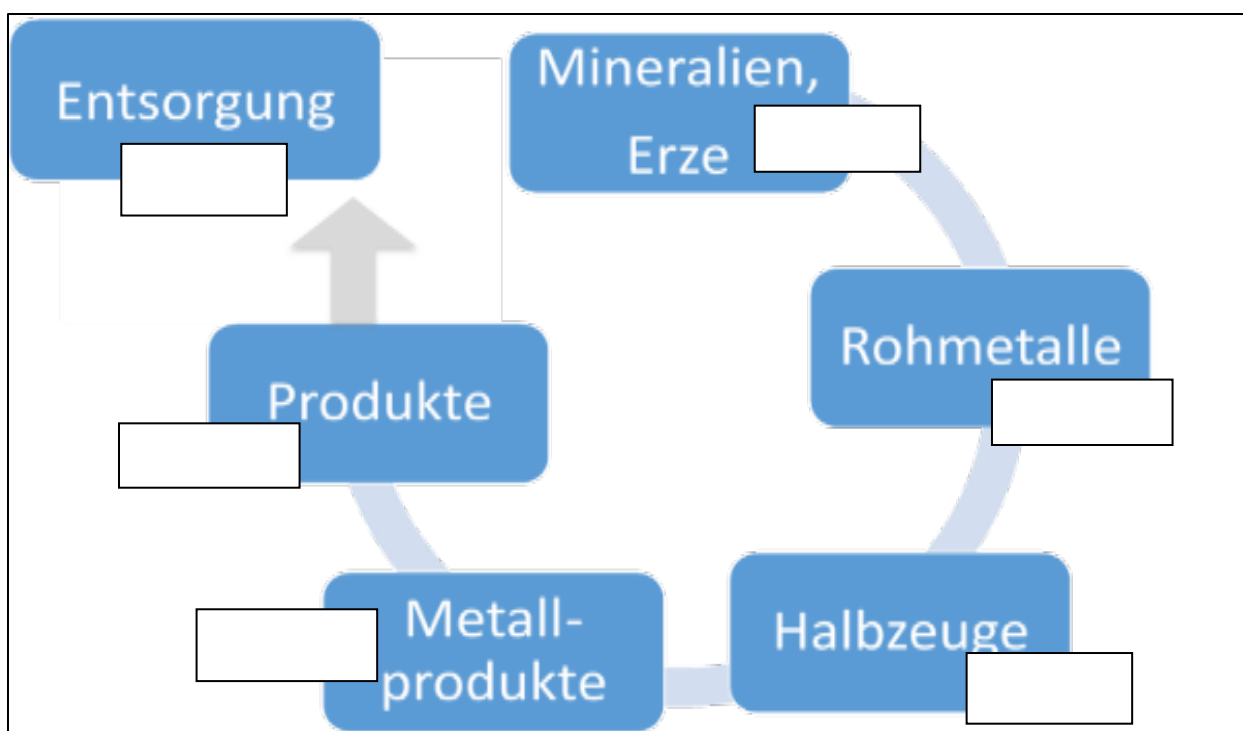
Bild Nr. _____ und _____

Station 6: Entsorgung: Elektroschrott - und was man damit machen kann

Bild Nr. _____ und _____



Ordnen Sie nun die Bildnummern den entsprechenden Kästen des Lebenszyklus zu:



Arbeitsblatt 4c: Der Lebenszyklus von Metallen-Lösung

Von den folgenden 12 Bildern sind jeweils zwei einer der Stationen im Lebenszyklus von Metallen zugeordnet. Überlegen Sie, was die Bilder darstellen und welche Bilder zu welcher Station gehören.

Welche beiden Faktoren könnten bei allen Verarbeitungsstationen verbraucht werden??

Station 1: Bergbau: Gewinnung von Erzen und Mineralien, Bergbau oder Tagebaus

Bilder Nr: 1 und 4

Station 2: Verhüttung zu Rohmetall, in der Regel im Hochofen durch Schmelzen der Erze und Mineralien:

Bilder Nr: 6 und 10

Station 3: Halbzeuge: Rohprodukte für die Weiterverarbeitung, z.B. Rohre, Stangen, Draht, auch aus Metalllegierungen

Bilder Nr: 2 und 9

Station 4: Metallprodukte: Zwischenprodukte die hergestellt werden z.B. durch Drehen, Fräsen, Schleifen, oder per Laserschneiden

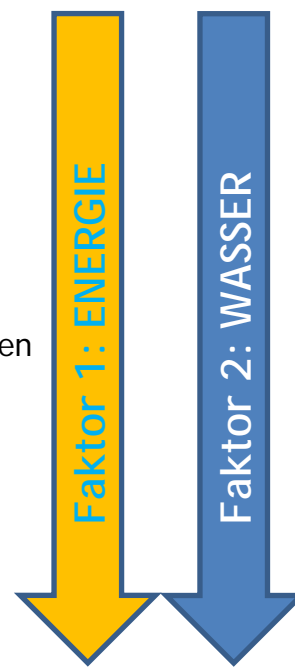
Bilder Nr: 3 und 11

Station 5: End-Produkte: die die Endverbraucher im Einzelhandel einkaufen

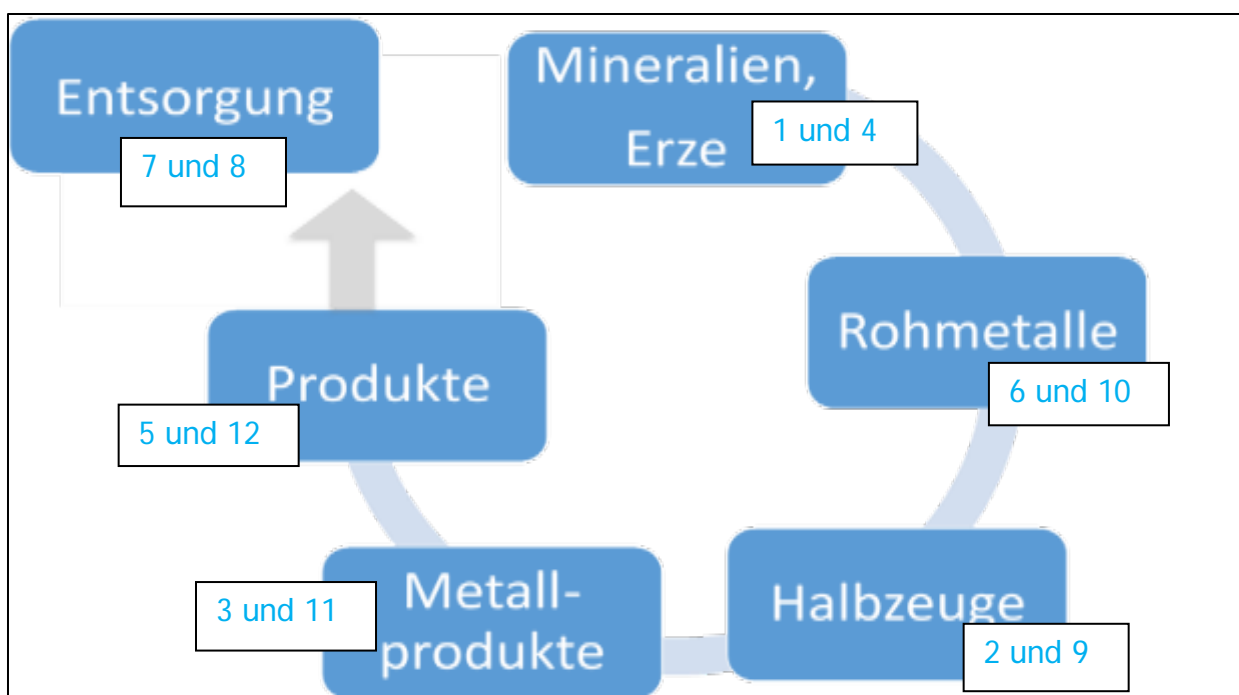
Bilder Nr: 5 und 12

Station 6: Entsorgung: Elektroschrott - und was man damit machen kann

Bilder Nr: 7 und 8



Ordnen Sie nun die Bildnummern den entsprechenden Kästen des Lebenszyklus zu:



Arbeitsblatt 5.1: Informationstext Der Lebenszyklus der Metalle

Mineralien und Erze: Der Ausgangspunkt ist die Gewinnung von Mineralien (v.a. Metalloxide, -carbonate, -sulfide) und Erzen (v.a. Metalle) mittels Bergbau. Dies kann im Tagebau geschehen, wobei zum Teil riesige Gruben entstehen, oder auch im Untertagebau mittels Stollen und Schächten. Der Metallgehalt des Erzes kann sehr variieren: bei Gold sind es z.B. nur wenige Gramm pro Tonne.

Verhüttung: Es erfolgt die Verhüttung der Mineralien und Erze zur **Herstellung der Rohmetalle**. Dabei werden neben dem **massiven Energiebedarf** in der Regel auch noch weitere Hilfsstoffe eingesetzt (z.B. **Flussmittel** um den Schmelzpunkt herabzusetzen). Metalle liegen meist als Salze oder Oxide vor, nur die Edelmetalle sind rein (metallisch). Vor allem Reduktionen (Oxide) oder Oxidationen (Sulfide) sind notwendige Schritte zur Herstellung der Rohmetalle. Hierbei entstehen **Emissionen** oder **Schlacken** im größten Umfang. Zumeist gibt es Technologien um diese Verfahren umweltfreundlich zu gestalten, aber diese werden häufig aus Kostengründen und aus Gewinnstreben zu Lasten der Umwelt und der Bevölkerung in vielen Ländern nicht eingesetzt. Gemeinsam ist allen Verhüttungsprozessen, dass ein hoher Input an Energie und Wasser notwendig ist.

Halbzeuge: Im nächsten Schritt erfolgt die **Herstellung der Halbzeuge** wie z.B. von Rohren, Platten oder Bändern. Alle Formverfahren benötigen **Energie** zum Umformen. Wärme wird meist über das Verbrennen fossiler Rohstoffe erzeugt, hierbei fallen Emissionen an. **Wasser** als Kühlmittel ist ein zentraler Bestandteil der Prozesse wobei auch eine Wasserverschmutzung anfällt, wenn Kühlwasser mit **Schmierstoffen** oder Hilfsmitteln der Halbzeugherstellung in Kontakt kommt. Häufige Formen sind Barren, Platten, Stangen, Rohre oder Drähte (in Drahtziehereien).

Metallprodukte: Aus den Halbzeugen werden über sehr unterschiedliche Prozesse und Verfahren die **Metallprodukte** hergestellt. Beispiele sind standardisierte Produkte wie Schrauben, Drähte oder Klemmen, aber auch spezielle Produkte z.B. wie Metallrahmen für Smartphones. Dabei fallen auch Metallreste als Abfall an. In diesem Prozessschritt werden z.B. auch durch vielfältige Schritte die elektrischen und elektronischen Bauteile hergestellt, die Kupfer enthalten (integrierte Schaltkreise, Leiterplatten, Antennen, Sensoren etc.). Die Herstellung von Metallprodukten ist fast immer ein komplexes Verfahren. Energie, Wasser und Chemikalien werden bei allen komplexen Metallprodukten verwendet. Beispielsweise werden Leiterplatten in diversen Ätz- mit anschließenden Reinigungsverfahren hergestellt.

End-Produkte: Der letzte Schritt ist die **Herstellung der End-Produkte** wie z.B. des Smartphones. Dieser Prozess umfasst diverse Stufen mit einer Mischung aus sehr unterschiedlichen Materialien und deren Verbindungen. Je komplizierter diese Produkte aufgebaut werden, desto aufwändiger wird in der Regel auch der letzte Schritt. Bei der Verwendung von Metallprodukten fallen vor allem **Produktreste** an. Diverse Verfahren, die auf der dauerhaften Verbindung von Bauteilen setzen, nutzen Hilfsstoffe wie **Kleber** oder **Lötmaterialien**, deren Verwendung gleichfalls Abfälle erzeugt.

Entsorgung: Der letzte Schritt im Lebenszyklus ist die **Entsorgung**. Nach der Nutzung fallen die Produkte als Abfälle an. Auch für das Recycling ist der Einsatz von **Energie**, **Wasser** und häufig auch von **Lösungsmitteln** und anderen **chemischen Verbindungen** notwendig. Insbesondere Metalle sind bisher lohnenswert im Recycling. Der Einsatz von natürlichen Rohstoffen kann dadurch z. T. erheblich vermindert werden. Doch auch bei den Metallen ist vollständiges Recyceln manchmal nicht möglich. Bei hochkomplexen Produkten ist dieses stoffliche Recycling oft problematisch, es werden zumeist nur die Massenwerkstoffe wiedergewonnen (Kupfer, Aluminium, Stahl, Kunststoffe). Kunststofffraktionen werden auch häufig „thermisch verwertet“, also verbrannt.

Arbeitsblatt 5.2: Textfelder/Hilfsstoffe und Abfallprodukte im Lebenszyklus

Ordnen Sie die folgenden Textfelder mit Hilfe des Textes in der Grafik der nächsten Seite den entsprechenden Positionen zu (die Form der Textfelder lässt keine eindeutige Zuordnung zu):

Energie, Wasser, Kleber
Ätzmittel, Lötmittel, div.
andere Hilfsstoffe **1**

Energie (Koks) , Zuschlagstoffe,
Flussmittel, Luft / Sauerstoff;
Energie (Strom), Wasser **2**

Energie, Wasser,
Lösungsmittel, ... **3**

Schmierstoffe,
Energie,
Wasser **4**

Durchschnittliche
Recyclingmengen:
9g Kupfer,
150 mg Silber,
25 mg Gold sowie
sehr geringe
Mengen an Platin
und Palladium **5**

Metallgehalt:
i.d.R. sehr gering, z.B.
Gold: 1-10g / 1000kg Erz **6**

Abraum, Abgas, Schlacke,
Schlämme, Emissionen =
z.T. giftige Metallsalze und
andere Verbindungen **7**

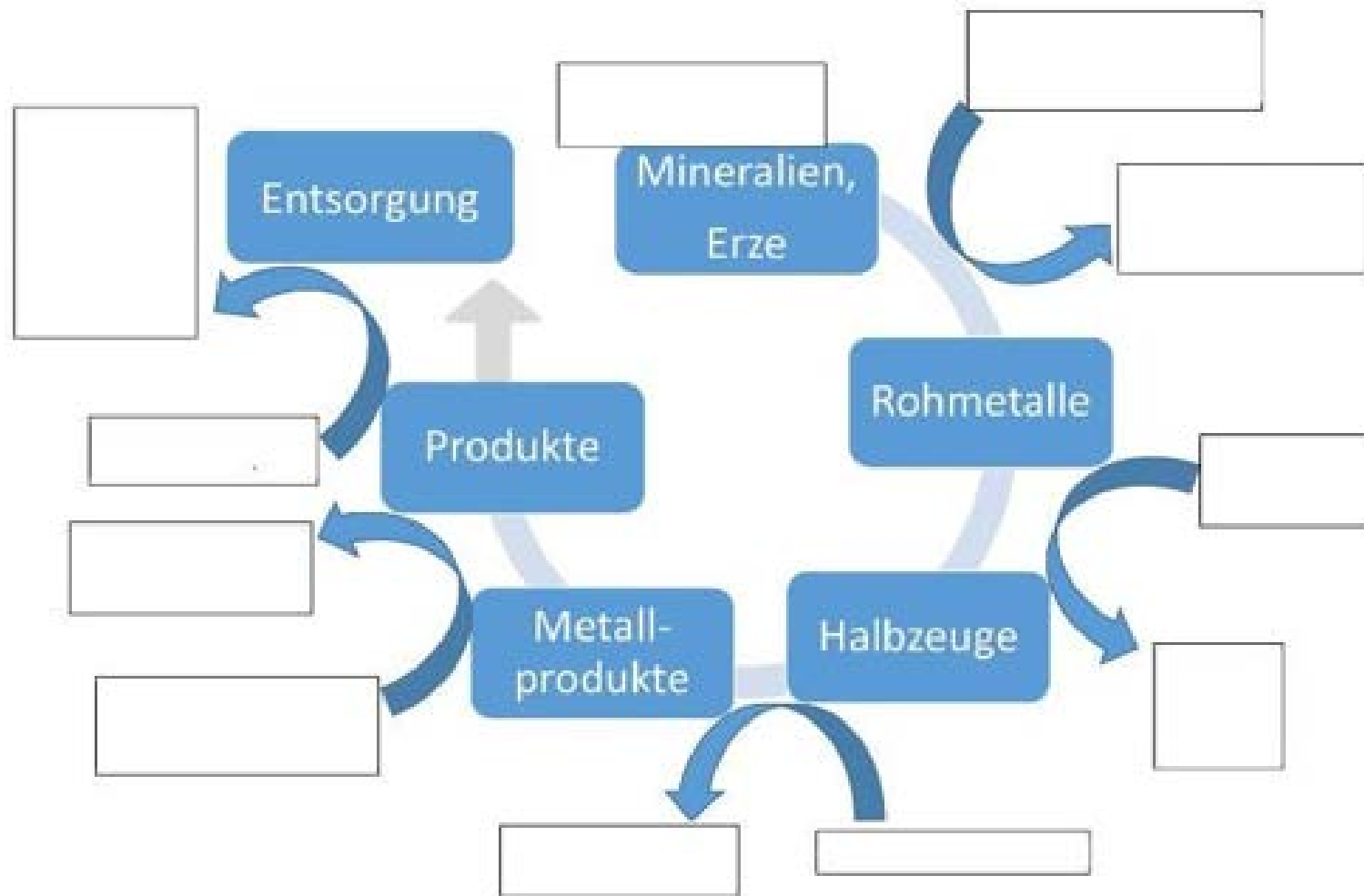
Energie, Wasser,
Chemikalien wie z.B. Säuren **8**

Abwasser,
Abgase, **9**

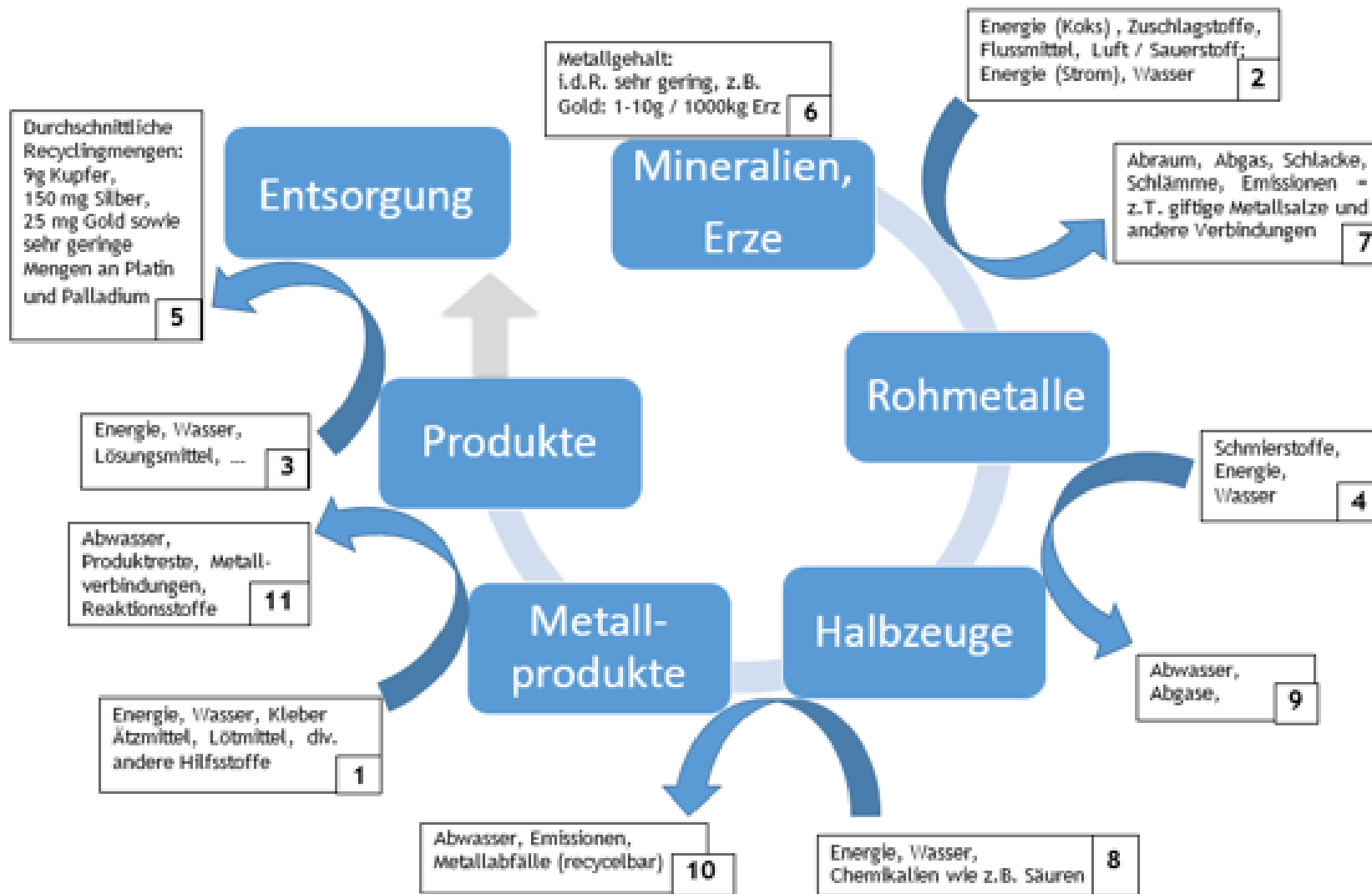
Abwasser, Emissionen,
Metallabfälle (recyclebar) **10**

Abwasser,
Produktreste, Metall-
verbindungen,
Reaktionsstoffe **11**

Arbeitsblatt 5.3: Grafik Lebenszyklus der Metalle



Arbeitsblatt 5.1 - 5.3: Grafik Lebenszyklus der Metalle-Lösung



Arbeitsblatt 6: Definition „Ökologischer Rucksack“

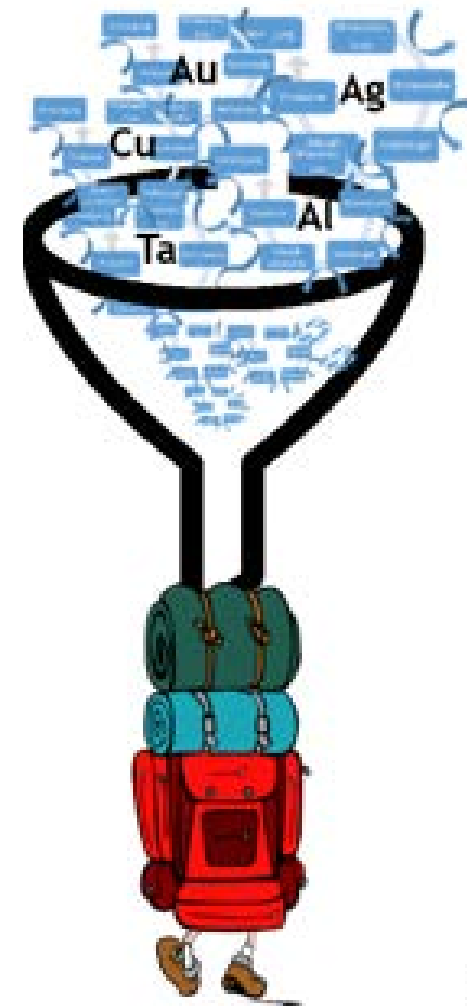
Versuchen Sie nun, eine einfache Definition für den ökologischen Rucksack von Stoffen zu finden:

Der ökologische Rucksack ist

z.B.:

- 1 kg Kunststoffe hat einen Rucksack von 5 kg
- 1 kg Aluminium hat einen Rucksack von 85 kg
- 1 kg Kupfer hat einen Rucksack von ca. 500 kg
- 1 kg Gold hat einen Rucksack von 550.000 kg

Der ökologische Rucksack für die Rohstoffproduktion aller Materialien, aus denen ein Handy hergestellt wird, beträgt:



Arbeitsblatt 6: Definition „Ökologischer Rucksack“-Lösung

Versuchen Sie nun, eine einfache Definition für den ökologischen Rucksack von Stoffen zu finden:

Der ökologische Rucksack ist

Die sinnbildliche Darstellung der Ressourcen, die für die Herstellung eines Produkts gebraucht werden

oder

Die Menge an Natur, die für die Herstellung verbraucht wird

oder ...

z.B.:

1 kg Kunststoffe hat einen Rucksack von 5 kg

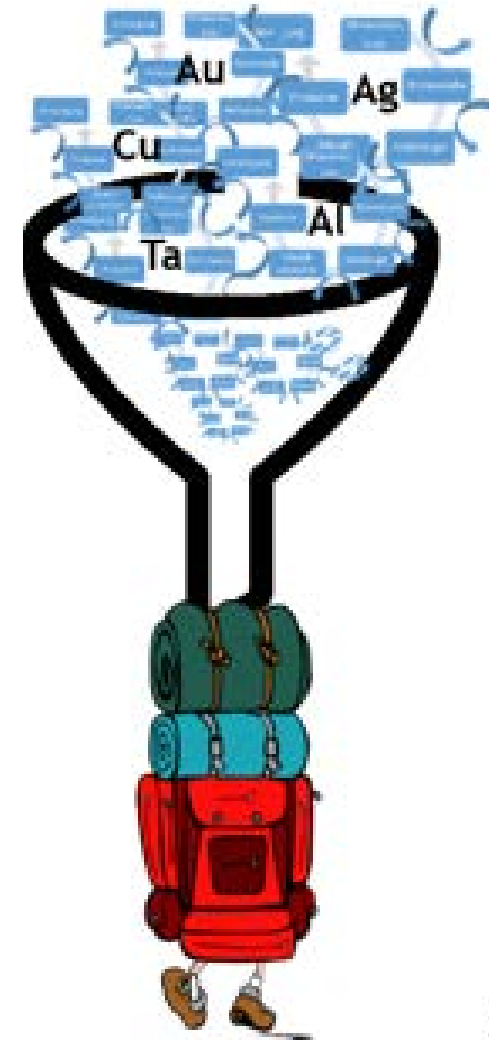
1 kg Aluminium hat einen Rucksack von 85 kg

1 kg Kupfer hat einen Rucksack von ca. 500 kg

1 kg Gold hat einen Rucksack von 550.000 kg

Der ökologische Rucksack für die Rohstoffproduktion aller Materialien, aus denen ein Handy hergestellt wird, beträgt:

35,3
kg

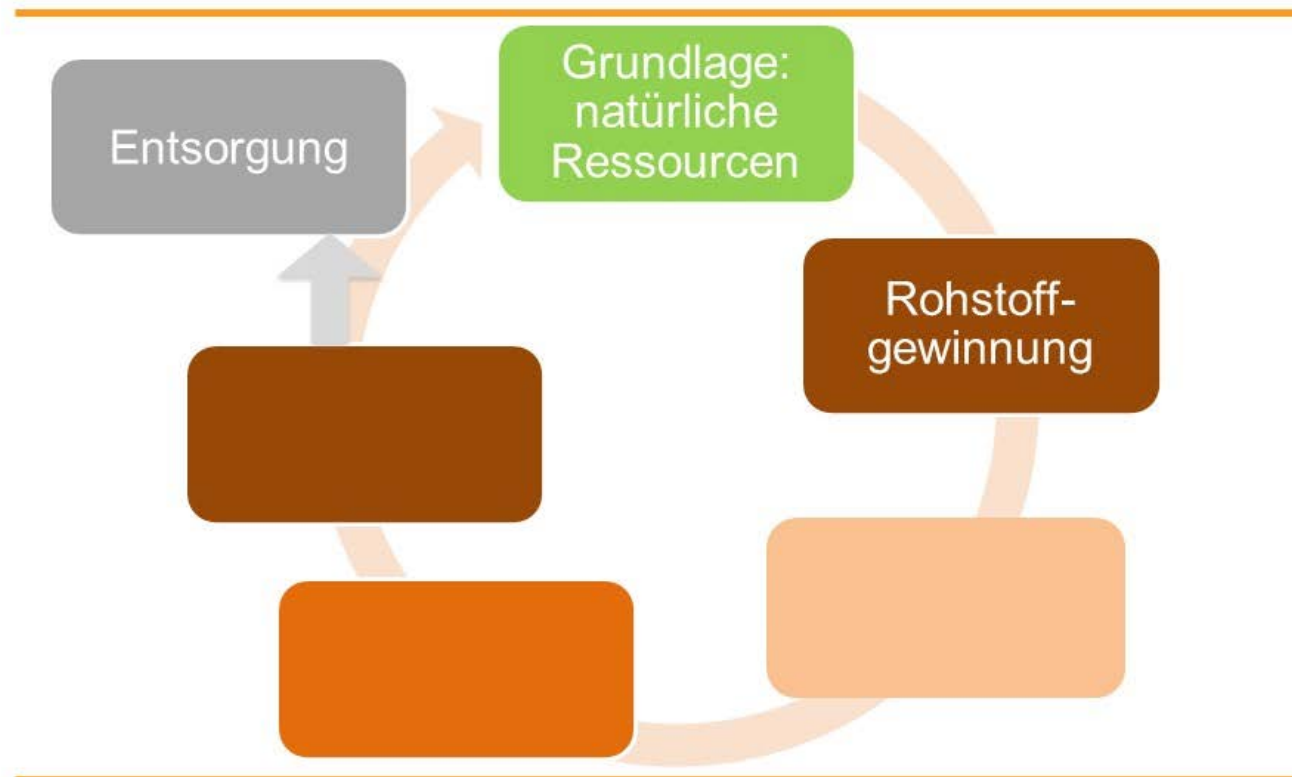


Arbeitsblatt 7: Der Lebensweg eines Handys

Versuchen Sie nun Ihre Erkenntnisse aus dem Produktionszyklus von Metallen auf den Lebenszyklus eines Handys zu übertragen: Welche großen Stationen könnte man im Lebenszyklus eines Mobiltelefons unterscheiden?

Der Lebensweg eines Handys

LehrRess
 Unterstützung von Bildungsträgern
 im Bereich der **Ressourceneffizienz**



Arbeitsblatt 7: Der Lebensweg eines Handys-Lösung

Der Lebensweg eines Handys

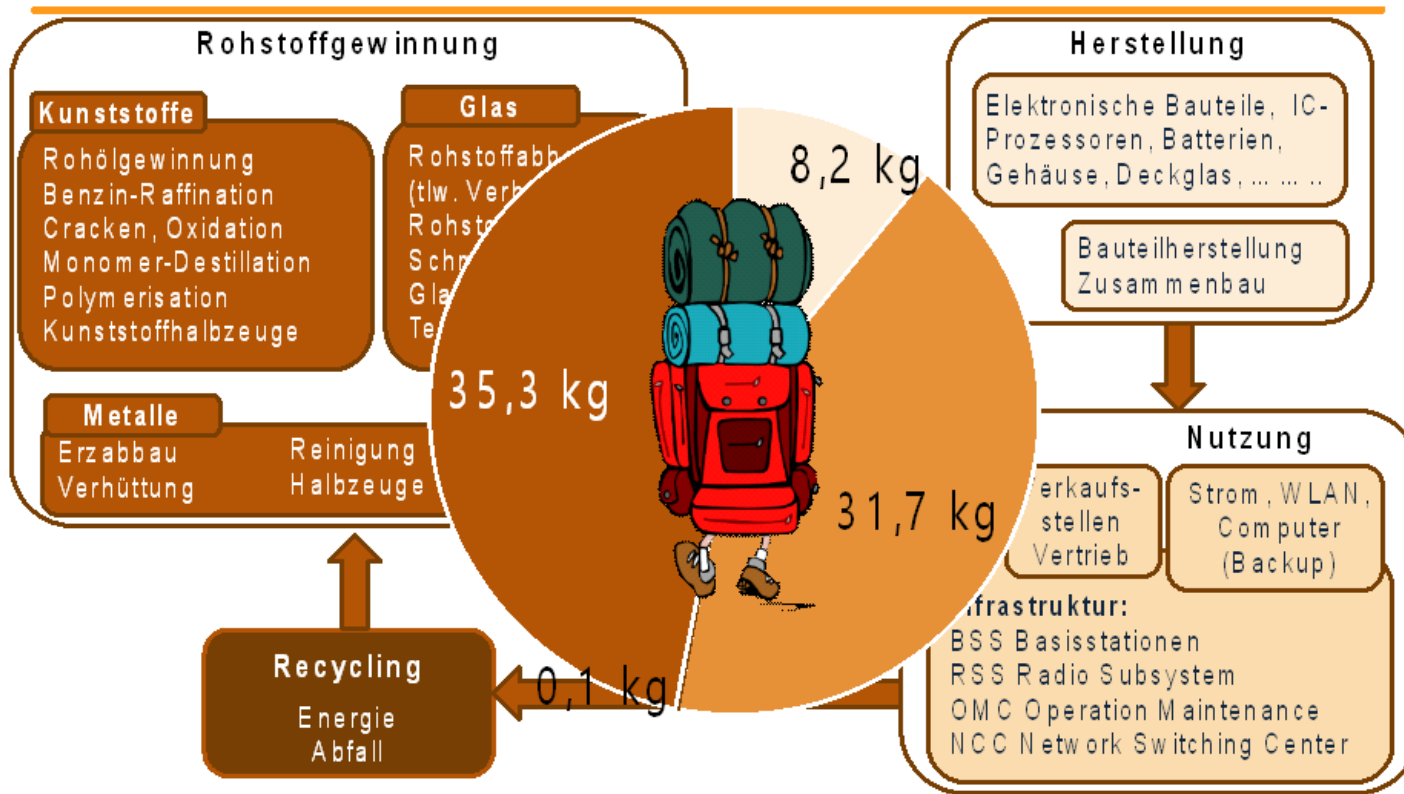
LehrRess

Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der **Ressourceneffizienz**



Arbeitsblatt 8: Die Komponenten des ökologischen Rucksacks eines Handys

Unterrichtsmaterial Der ökologische Rucksack Handy



Arbeitsblatt 9.1: Reduce

Handlungsoptionen!!

„Reduce“ - den
Ressourcenverbrauch
an der Quelle
reduzieren

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Wie können Sie sich verhalten, oder welche Hilfen können Sie einsetzen?
2. Auf welche verschiedenen Ressourcen, die im Zusammenhang mit dem Handy benutzt werden, haben Sie Einfluss??
3. Können Sie überhaupt mit ihrem eigenen Verhalten beeinflussen, wieviele Handys benutzt werden?

Arbeitsblatt 9.2: Reuse

Handlungsoptionen!!

**„Reuse“ -
Wiederverwenden und
Ressourcen so lange
nutzen wie möglich**

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Wie können Sie erreichen, dass die Ressourcen, die für die Produktion Ihres Handys eingesetzt wurden so lange als nur möglich genutzt werden (damit nicht so schnell wieder ein neues Handy produziert und gekauft werden muss)? Versuchen Sie, mehrere Möglichkeiten zu entwickeln.

Arbeitsblatt 9.3: Repair

Handlungsoptionen!!

„Repair“ - durch
Reparieren die
Lebensdauer ausdehnen

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

Zum Beispiel:

1. Welchen Einfluss hat das Reparieren eines Gerätes auf den Ressourcenverbrauch?
2. Welche Vorteile sind mit einer Reparatur verbunden - und welche Nachteile?

Arbeitsblatt 9.4: Recycle

Handlungsoptionen!!

„Recycle“ - wenn
wirklich nichts mehr
geht

Überlegen Sie, wie Sie selbst den Verbrauch an Ressourcen vermindern können.

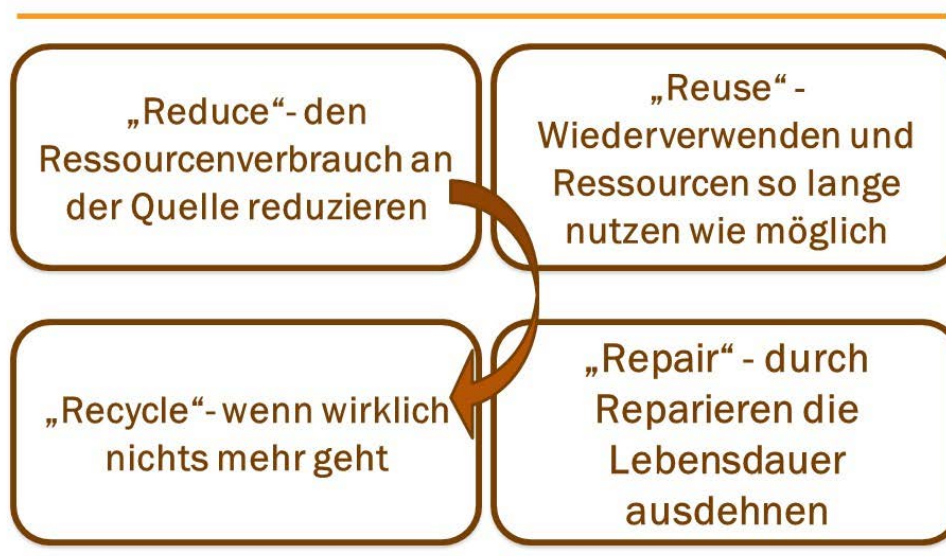
Zum Beispiel:

1. Erklären Sie kurz, warum das Recycling wichtig ist.
2. Fallen Ihnen unterschiedliche Möglichkeiten ein, an wen man das Gerät zum recyceln geben könnte?
3. Was könnte problematisch sein, wenn man das kaputte Handy an nicht seriöse „Recycler“ gibt?
4. Überlegen Sie auch, was man beachten sollte bevor man sein Handy zum Recyceln gibt!

Arbeitsblatt 9.1 - 9.4: Reduce, Reuse, Repair und Recycle-Lösungen

Handlungsoptionen!!

LehrRess
Unterstützung von Bildungsträgern
im Bereich der Ressourceneffizienz



Der ökologische Rucksack eines Handys

29

„Reduce“ - Den Ressourcenverbrauch an der Quelle reduzieren

Das Mobilgerät nutzen bis es wirklich nicht mehr geht, leistet den größten Beitrag zur Ressourcenschonung!!!

- Einsatz von Schutzhüllen (Bruchgefahr); extreme Kälte- oder Hitze-Einwirkungen;
- Beim Kauf darauf achten, dass recycelte Materialien eingesetzt wurden
- Universal-Ladegeräte nutzen
- Ungenutzte Programme deaktivieren und Stromsparfunktionen zu nutzen

„Reuse“ - Wiederverwenden und Ressourcen so lange nutzen wie möglich

Ungenutzte Geräte nicht einfach wegwerfen, nicht langfristig lagern, nie in den Hausmüll!
Wenn ein Gerät nicht mehr genutzt wird, dafür sorgen, dass eine andere Person es nutzen kann.
Z.B. in der Familie, im Freundeskreis oder per Verkauf (auf seriöse Anbieter achten!)

„Repair“ - Durch Reparieren die Lebensdauer ausdehnen

Auch, wenn es sich nicht zu lohnen scheint! Besserer Wiederverkaufswert und höhere Wahrscheinlichkeit, dass das Gerät weiter benutzt wird. Auch Komponenten können noch verwertbar oder weiter nutzbar sein.

„Recycle“ - wenn wirklich nichts mehr geht

Auf fachgerechte Entsorgung achten!! (Handy-Sammeldienste z.B. bei Umweltschutzorganisationen, offiziellen Abfallentsorgern oder Mobilfunkanbietern)

Bei anderen Verwertern: prüfen, was genau mit dem Gerät passiert: Von unseriösen Anbietern werden möglicherweise die wertvollen und einfach zu verwertenden Bestandteile des Handys entnommen und der verbleibende Anteil entweder gar nicht entsorgt oder zu schwer verwertbarem Elektronikschrott gemacht.

Vorher: Speichermedien entfernen, Speicher löschen, auf Werkeinstellungen zurücksetzen.

Literatur und Quellen

Arnold, K., Karikatur, Simplicissimus 31 No 38, 1926 © VG Bild-Kunst, Bonn 2017;

Bitkom (2015): 44 Millionen Deutsche nutzen ein Smartphone. Online:
<https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/44-Millionen-Deutsche-nutzen-ein-Smartphone.html>

Bundesregierung, BMUB (2012): ProgRes I. Online:
<http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-progress/>

Bundesregierung, BMUB (2016): ProgRes II. Online:
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf

Bundeszentrale für politische Bildung/bpb (Hrsg.). Thema im Unterricht/Extra (2016) Methodenkiste. Online: <http://www.bpb.de/shop/lernen/thema-im-unterricht/36913/methoden-kiste>

Deutsches Kupferinstitut (2016): Herstellung von Kupfer. Online:
<https://www.kupferinstitut.de/de/werkstoffe/system/herstellung-kupfer.html>

Hagelücken, C. (2011): „Recycling von Handys – Kreislaufwirtschaft der Edel- und Sondermetalle.“ Umicore, Hanau. Online: http://www.muenchner-wissenschaftstage.de/2012/upload/download/Hagelueken_Christian_Recycling_von_Handys_und_Computern_-_Kreislaufwirtschaft_der_Edel-_und_Sondermetalle.pdf

Heise Online (2014): Obsoleszenz-Studie: Smartphones und TVs als Modeartikel. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Obsoleszenz-Studie-Smartphones-und-TVs-als-Modeartikel-2468179.html>

Hydro (2013): Bauxitabbau. Online: <http://www.hydro.com/de/Deutschland/uber-aluminium/aluminium-lebenszyklus/Bauxitabbau/>

Informationszentrum Mobilfunk o.J.: Lebenszyklus eines Handys. Online: <http://informationszentrum-mobilfunk.de/lebenszyklus-eines-handys-und-oekologischer-rucksack#header>

Informationszentrum-mobilfunk.de (Stand November 2015): Woraus besteht ein Smartphone. Online : <http://informationszentrum-mobilfunk.de/rohstoffe-im-handy-die-inneren-werte-zaehlen#header>

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2012): LANUV-Fachbericht 38, Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten. Online:
https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/30038.pdf Daten für Edelmetalle Gold, Silber, Palladium)

Merkel, W. (2012): Wie das kratzfeste Smartphone-Display entsteht. Online.
<https://www.welt.de/wissenschaft/article107911368/Wie-das-kratzfeste-Smartphone-Display-entsteht.html>.

Nabu: Ökologischen Rucksack berechnen. Online: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/alltagsprodukte/oekologischerrucksack.html>

Naisbitt, John: Megatrends - 10 Perspektiven, die unser Leben verändern werden (Original erschien 1982: Megatrends), Hestia; (1. Januar 1984) München 1985.

Nordmann, J., Welfens, M.J., Fischer, D., Nemnich, C., Bookhagen, B., Bienge, K., Niebert, K. (2015): Die Rohstoff-Expedition. Springer-Verlag.

Statista 2015: Smartphone-Absatz 2015. Online <https://de.statista.com/themen/581/smartphones/>

Statista (2016): Absatz von Smartphones. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77637/umfrage/absatzmenge-fuer-smartphones-in-deutschland-seit-2008/>

Statista (2010): Zusammensetzung von Smartphones. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164028/umfrage/bestandteile-eines-mobiltelefons-nach-materialien/>

Süddeutsche Zeitung (2010): Tödliche Ortschaften - Die Liste der zehn am stärksten verschmutzten Ortschaften. Online: <http://www.sueddeutsche.de/panorama/umweltverschmutzung-toedliche-ortschaften-1.235014>

Universität Bayreuth: Kupfer - Industrielle Reindarstellung, Eigenschaften und Verwendung. Online: <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/kupfer/kupfer.htm>

Verbraucherzentrale (VZ) NRW (2015): Ressourcenschulen Projekt. Rund um das Projekt. Online: <http://www.verbraucherzentrale.nrw/ressourcenschulen-projekt>

Wuppertal-Institut (o.J.): Wie viele Rohstoffe verbrauchen Sie? Online: <http://ressourcen-rechner.de/>

Wuppertal Institut (1995): Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen (2), Der Werkstoff Aluminium

Wuppertal Institut (2012): Die Mobiltelefone und Nachhaltigkeit. Online: <http://wupperinst.org/uploads/Rohstoffexpedition>. Springer Verlag.

Wuppertal Institut (2013): „Fact Sheets zum Thema Mobiltelefone und Nachhaltigkeit“, Online: http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Mobiltelefone_Factsheets.pdf

Bildnachweise: Abbildung 4: Bauteile in einem Smartphone, Seiten 13, 39, 62 und 63

Links iPhone, World Super Cars, Wikipedia, online: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43505849>

Mitte geöffnetes iPhone, Jojhjjoy, Wikipedia, online: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:IPhone3GS_Logicboard.jpg

Rechts Logicboard iPhone, Jojhjjoy, Wikipedia, online: https://de.wikipedia.org/wiki/Apple_A6#/media/File:S5L8960-SoC-Apple-A6.JPG

Bildnachweise Arbeitsblätter 1a-c, Seiten 54-59:

AB 1.1a: Karl Arnold: Karikatur, Simplicissimus 31 No 38, 1926 © VG Bild-Kunst, Bonn 2017;

AB 1.1b: Fotolia (o.J.): „Pranger gegen Handysucht“ Datei: #92583172 - Urheber: HSB-Cartoon. Online: <https://de.fotolia.com/id/92583172>

AB1.1c: Fotolia (o.J.): „A office man character in mobile phone jail“ Datei: #144266376 - Urheber: Holmessu. Online: <https://de.fotolia.com/id/144266376>

Bildnachweise Arbeitsblatt 4, Seite 72:

Bild 1: Alter Stollen mit [Huntslauf](#) des [Silberbergwerks Suggental](#); Von Christian Rößler - Eigenes Werk, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1184600>

Bild 2: Stabstahl; Von Cdang - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15671073>

Bild 3: Fotolia (o.J.): "Electronic circuit board close up". Datei: #137357920. Urheber: [vizland](#). Online: <https://de.fotolia.com/id/137357920>

Bild 4: Fotolia (o.J.): " Work site at the largest gold mine Work site at the largest gold mine ". Datei: #115106681. Urheber: pomphotothailand. Online: <https://de.fotolia.com/id/115106681>

Bild 5: Fotolia (o.J.): "Choose mobile phone. Heap of the different smartphones with diff". Datei: #136690703. Urheber: Maksym Yemelyanov. Online: <https://de.fotolia.com/id/136690703>

Bild 6: Hochofenabstich (21. Jahrhundert); Von Třinecké železářny, Attribution, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2941464>

Bild 7: Handyschrott; Von MikroLogika - own work, photograph, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7609303>

Bild 8: Electronic Waste Monster: Von Rudolph.A.furtado - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24568229>

Bild 9: Halbzeuge: Verschiedene Rohre in einem Lager; Von Hermes Perez e Hijos SRL - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19441828>

Bild 10: Fotolia (o.J.): "金の鑄造 Casting of the bar of the gold". Datei: #77780641. Urheber: norikko.
Online: <https://de.fotolia.com/id/77780641>

Bild 11: Schönauer Schulmöbelfabrikation und Metallwaren GmbH (2016), Metallprodukte, Online:
<http://www.ssm-schoenau.de/toptencms/dateien/metallprodukte/schulmoebel-1347969463.jpg>

Bild 12: Handy mit Kabel; Von Reinraum - Eigenes Werk, Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7159220>