Rohstoffkoffer: Was steckt im Handy?

LehrerInnenbroschüre

Dipl. Geol. Britta Bookhagen

Die Entwicklung des Rohstoffkoffers wurde im Rahmen der Vermittlungsinitiative „Kulturvermittlung mit Schulen in Bundesmuseen 2011" vom Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur gefördert und von KulturKontakt Austria beratend begleitet.

naturhistorisches museum wien

bm:uk

KULTUR Kontakt AUSTRIA

Wir bedanken uns herzlich für die großzügige Spende bei den Firmen WACKER und SILTRONIC, die uns das Polysilizium (Bruch und Granulat) und die Wafer sowie technisches Know-How zur Verfügung stellten. Zusätzlich nahmen diese sich nicht nur die Zeit für eine Privatführung, sondern auch für die Korrektur des Polysilizium-Teils dieser Broschüre.

WACKER

siltronic perfect silicon solutions

Wir bedanken uns bei der Industriellenvereinigung Wien für die großzügige finanzielle Unterstützung des Projekts.

iv INDUSTRIELLENVEREINIGUNG WIEN

Wie möchten uns bei Univ.-Prof. Dr. Christoph Spötl von der Universität Innsbruck, Forschungszentrum Geogene Dynamik – Geogene Stoffe bedanken, der uns den Ölschiefer aus Tirol zur Verfügung stellte.

Eigentümer und Verleger: © 2012 Naturhistorisches Museum Wien. Alle Rechte vorbehalten.
Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Unerlaubtes Kopieren und Vervielfältigen ist nicht gestattet.
Die als Arbeitsbögen gekennzeichneten Materialien dürfen für schulische Zwecke vervielfältigt werden.
Für den Inhalt ist die Autorin verantwortlich.

ISBN 978-3-902421-73-9

Inhalt

1. Vorwort und Zielsetzung 5
1.1. Kurzeinführung in das Thema 5
1.2. Zielgruppe 6
1.3. Wie diese Broschüre zu verwenden ist 6
2. Hintergrundwissen (Sachinformationen, Zahlen und Fakten) 8
2.1. Funktion und Netzbetrieb eines Handys 8
2.2. Allgemeiner Aufbau eines Handys und Kurzinfos 8
2.3. Definition Rohstoffe 11
2.4. Die Rohstoffe eines Mobiltelefons 13
2.5. Die Rohstoffe dieses Materialkoffers 15
2.5.1. Übersicht 15
2.5.2. Erklärungen und Anwendung 16
Kupfer (Rohstoff Nr. 1) 16
Silizium (Rohstoffe Nr. 2, 9 und 11) 17
Eisen (Rohstoff Nr. 3) 18
Aluminium (Rohstoff Nr. 4) 19
Lithium (Rohstoff Nr. 5) 20
Kunststoffe (Rohstoff Nr. 6) 21
Tonmineral (Rohstoff Nr. 7) 22
Tantal (Rohstoff Nr. 10) 23
Gold (Rohstoff Nr. 8) 24
2.6. Andere wichtige Rohstoffe im Handy 25
Platin 25
Silber 25
Palladium 25
Indium 26
Gallium 26
Seltene Erden 26
2.7. Allgemeines über Rohstoffe Österreichs, Ihren Abbau und den Jahresverbrauch 27
2.8. Rohstoffknappheit 30

2.9. Recycling von Mobiltelefonen 31
2.9.1. Ökobilanz von Handys, „graue Energie“ 32
2.9.2. Recycling Allgemein – gesetzliche Vorgaben 33
2.9.3. Kurzüberblick über die Schadstoffe in Handys 35
2.9.4. Ablauf der Verwertung/Entsorgung von Handys 36
2.10. Handy und Gesundheit: Strahlung – schädlich oder nicht? 38
2.11. Zusammenfassung, Shortfacts 39
2.12. Glossar und Definitionen 40
3. Didaktische Informationen 41
Sicherheitshinweise 41
3.1. Lernziele und Kompetenzen 41
3.2. Unterrichtsmethoden – Vorschläge für den Verlauf 42
Praktische Hinweise 42
3.3. Weiterführende Projektmöglichkeiten 43
4. Literaturverzeichnis 44
4.1. Nützliche Webseiten für Unterrichtspläne und Videos 44
4.2. Verwendete Literatur 46
5. Danksagung 53
Appendix 1 54
Appendix 2 57
Appendix 3 59
Appendix 4 63
Appendix 5: Unterrichtsmaterialien 64
Appendix 6: Unterrichtsmaterialien – Lösung 73
Appendix 7: Inhalt Rohstoffkoffer – Lösung 79

1. Vorwort und Zielsetzung

Die Geowissenschaften mit all ihren Anwendungen sind sowohl im Bewusstsein der Öffentlichkeit als auch im Bereich der schulischen Bildung nicht ausreichend gegenüber den anderen Naturwissenschaften vertreten. Der weitreichende wirtschaftliche Nutzen aber auch die langfristig umweltrelevanten Aspekte dieses Themenbereichs werden weit unterschätzt (um nur einige Beispiele zu nennen wie Rohstoffe, Wasser, Klima, Ernte, Tourismus). Die Nachwuchsförderung auf diesem Gebiet ist daher nicht nur bildungstechnisch, sondern auch ökologisch und wirtschaftlich überaus wichtig, um das öffentliche Bewusstsein zu schärfen und eine ausreichende Versorgung mit ausgebildeten Fachkräften für Österreich als Wirtschafts- und Wissensstandort zu gewährleisten.

Das Verständnis der Geowissenschaften soll daher durch den schülernahen, alltagstauglichen Einsatz didaktisch aufbereiteter erdwissenschaftlicher Themen verstärkt ins Bewusstsein gerückt werden. Um das Interesse der Schüler zu wecken kam mir bei Schulführungen im Naturhistorischen Museum Wiens die Idee, die Rohstoffe und Materialien im Mobiltelefon zu bearbeiten. Die auf den ersten Blick „langweiligen" Minerale und Gesteine sehen auf einmal viel spannender aus, wenn man erfährt, dass sich z.B. in einem Schwarzen Raucher (einem hydrothermalen Tiefseeschlot) ein Teil der Metalle, die man zur Herstellung eines Handys benötigt, finden können. Und der oft gehörte Kommentar von SchülerInnen, dass Geologie und Gesteine sie nicht interessieren, weil diese nichts mit ihrem Alltag zu tun haben kann hiermit auch revidiert werden: Eigentlich leben wir immer noch in der „Steinzeit" wenn man bedenkt, dass alle unsere Gebrauchsgegenstände irgendwann mal in verschiedenster Form als Gestein oder Minerale unserer Erde entnommen wurden!

Da die fachliche erdwissenschaftliche Ausbildung in der LehrerInnenbildung NEU nur noch sehr untergeordnet vorkommt und durch die Aktualität des Themas viele Neuerungen aufkommen, wollte ich den LehrerInnen mit dem Materialkoffer und der LehrerInnenbroschüre ein fertiges Unterrichtsmodul liefern, um den Einstieg in das Thema zu erleichtern. Ich hoffe, mit dieser Broschüre PädagogInnen verschiedenster Fachrichtungen anzusprechen und einen Großteil der nötigen Hintergrundinformationen zum Unterrichten dieses Themas abzudecken. Diese Broschüre erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dass es sich allein in Bezug auf die verschiedenen Metalle um ein umfangreiches Unterfangen handelt wird bei dieser Lektüre schnell auffallen, z.B. zum Thema „Recycling" kann der Stoff sicher noch vertieft werden.

1.1. Kurzeinführung in das Thema

Das Handy soll hier stellvertretend für die Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) stehen, die mittlerweile Bestandteil unseres täglichen Lebens und für viele scheinbar unersetzlich geworden sind. Trotz der zweifelsohne positiven Aspekte der Technik sollten die Auswirkungen auf die Umwelt nicht außer Acht gelassen werden, die bei Herstellung, Gebrauch und Entsorgung der Geräte entstehen. Dazu gehören z.B. die Produktion der Rohstoffe, die langen Transportwege zur Herstellung der Einzelteile, und die richtige Wiederverwendung und -verwertung der Altgeräte mit all ihren rohstoffpolitischen Faktoren. Es sollte auch nicht vergessen werden, dass der tägliche Gebrauch von Computer, Internet, Handy und Co mittlerweile zu den weltweiten CO_2-Emissionen nicht unwesentlich beiträgt.

Das Thema der Rohstoffe im Mobiltelefon soll die Schüler nicht nur ansprechen, weil es sich (für die meisten von ihnen) um einen Alltagsgegenstand handelt. Es soll helfen, ein allgemeines Bewusstsein für die Verwendung von Ressourcen zu schaffen und die Aktualität von Begriffen wie Rohstoffknappheit, Recycling und Nachhaltigkeit zu behandeln. Dazu ist es u. a. nötig zu wissen, wo die Rohstoffe herkommen und wie sie gewonnen werden. Beispielsweise ist in der Presse häufig zu lesen, dass Rohstoffknappheit zu einer Verzögerung der Auslieferung technischer Geräte führen kann. Die Elemente Lithium, Tantal oder Indium werden dabei häufig in den Nachrichten genannt. Doch was hat Indium mit dem neuesten Smartphone zu tun? Wie viele und welche verschiedenen Rohstoffe gibt es überhaupt in einem Handy, warum sind einige nicht durch andere ersetzbar? Woher kommen diese Stoffe, und unter welchen Bedingungen werden sie abgebaut? Was passiert mit den weggeworfenen Handys und warum muss man diese recyceln?

Diese und andere Fragen sollen zumindest ansatzweise im Kapitel Hintergrundwissen behandelt werden.

Zum Thema Rohstoffimport und Rohstoffpolitik möchte ich mit folgenden Zitaten abschließen, um auch die globale Bedeutung des Themas nicht außer Acht zu lassen:

Zitat der ÖGG(Österreichische Geologische Gesellschaft): „Österreich kann, wie auch alle anderen Staaten der EU, seinen Bedarf an mineralischen Rohstoffen nur zum Teil aus eigenen Lagerstätten decken. Die für die Wirtschaft unverzichtbaren mineralischen Rohstoffe müssen daher importiert werden."

Zitat der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Deutschland): „Rohstoffpolitische und rohstoffwirtschaftliche Entscheidungsträger tragen daher nicht nur Verantwortung für die heimische Industrieproduktion und deren Versorgung mit Rohstoffen, sondern auch Mitverantwortung für die Nachhaltigkeit der Rohstoffgewinnung in den Ländern, aus denen wir Rohstoffe oder daraus weiterverarbeitete Produkte beziehen."

1.2. Zielgruppe

Alter:

Das Arbeits- und Lehrmaterial ist für SchülerInnen ab der 7. Schulstufe konzipiert.

Zeit:

Je nach Fach und gewünschtem Vertiefungsgrad können Sie mit den beigefügten Arbeitsbögen von einer Doppelstunde bis zu einer fachübergreifenden Projektwoche alles abdecken. Detailliertere Vorschläge und Tipps finden Sie in Kapitel 3 und 4.

Fächer und Fächerkombination:

Kurz zusammengefasst können folgende Themen behandelt werden, weiteres siehe Kapitel 3:

- **Geografie**: z.B. Industriegeographie (Rohstoffe und Verarbeitung), Rohstoffpolitik, Handelswege, Abhängigkeit der Märkte
- Biologie/Umweltkunde: z.B. Auswirkungen des Rohstoff-Abbaus auf Umwelt, Tiere und Menschen
- **Physik**: z.B. Schaltungen und Schaltkreise, Kondensatoren, technische Physik
- **Chemie**: z.B. Wirkungen und Toxizität von Schwermetallen; Anorganische Chemie (Elemente, Verbindungen), Angewandte Chemie (Technische Chemie, Chemie in Alltag und Umwelt)
- **Sozialkunde**: z.B. sozialpolitische Folgen des Rohstoffabbaus (Ausbeutung und Lebensstandard der Arbeiter)
- **Werken und Bildnerische Erziehung**: basteln mit Platinen z.B. zur Schmuckherstellung
- **Englisch**: viele Webseiten mit Informationen sind auf Englisch (z.B. USGS und UNEP, siehe Kap. 4.1) und können daher gut als Übung mit einbezogen werden

1.3. Wie diese Broschüre zu verwenden ist

Diese Broschüre enthält

- Hintergrundinformationen und Tabellen/Abbildungen
- Vorschläge für Unterrichtsaktivitäten
- Literaturverzeichnis: verwendete und weiterführende Literatur, sowie Literatur für anknüpfende Projekte

Die Unterrichtsaktivitäten enthalten

- kurze didaktische Vorschläge zur Einbindung der einzelnen Aktivitäten
- ausgearbeitete Schülerarbeitsblätter (Appendix 5)
- Lösungen (Appendix 6)

Das Thema Rohstoffe in Mobiltelefonen ist sehr vielschichtig, diese Broschüre soll PädagogInnen verschiedener Fächer so viele Informationen wie möglich vermitteln. Die Broschüre versucht, die gewünschten Themen anhand der ausgewerteten Fragebögen der teilnehmenden PädagogInnen des Anfangsprojektes abzudecken. Daher werden sich zwischendurch Informationen finden, die für Ihr Fach evtl. nicht relevant sind, aber für den Grundzusammenhang oder andere Fächerkombination von Bedeutung sind. Um eine effektive Nutzung der Broschüre zu erreichen, empfehle ich Ihnen daher, die Inhaltstabelle sorgfältig zu studieren.

Der Hauptteil, das **Kapitel 2 Hintergrundwissen**, gibt

- zunächst eine allgemeine Kurzübersicht über den Aufbau eines Handys.
- Der Begriff Rohstoff und seine Definition werden im darauffolgenden Unterkapitel erläutert.
- Danach werden die Rohstoffe eines Handys allgemein aufgelistet.
- Es folgt eine Beschreibung der Minerale und Gesteine des Rohstoffkoffers und in welchen Bauteilen des Handys sich diese finden.
- Darauf findet sich eine Auflistung weiterer wichtiger Rohstoffe, die sich in Mobiltelefonen finden können.
- Am Ende des Rohstoffmarathons finden sich die wichtigsten Informationen über Rohstoffe in Österreich und der Begriff Rohstoffknappheit wird kurz diskutiert.
- Als nächstes wird das Thema Recycling von Mobiltelefonen behandelt. Hier werden Begriffe wie graue Energie und die rechtlichen Grundlagen (EU-Direktiven) beschrieben und erläutert, wie Handys in Österreich recycelt werden.
- Kurzinformationen zu Handys und Gesundheit findet sich im Anschluss.
- Abschließend gibt es eine Kurzzusammenfassung der wichtigsten Inhalte und ein Glossar.

In **Kapitel 3 Didaktische Informationen** finden sich einige Lernziele sowie Tipps und Anregungen zur Unterrichtsmethodik. Dazugehörige Vorschläge für fertige Arbeitsbögen mit Lösungen finden sich im Appendix. Die Unterrichtsideen beinhalten natürlich nur Vorschläge; wie Sie diese Materialien im Unterricht verwenden bleibt natürlich Ihnen überlassen. Schön wäre ein möglichst interaktiver Einsatz, bei dem die Schüler auch eigenständig oder in Gruppen die Materialien bearbeiten. Auch einige Vorschläge für weiterführende Projekte sind hier aufgelistet.

Das **Kapitel 4 Literaturverzeichnis** bietet eine ausführliche Literaturliste (fast ausschließlich Webseiten), insbesondere mit nützlichen Webseiten für den Unterricht (z.B. andere Unterrichtsbroschüren, Links zu Videos, etc.) sowie der verwendeten Literatur und Empfehlungen für weiterführende Literatur.

2. Hintergrundwissen (Sachinformationen, Zahlen und Fakten)

2.1. Funktion und Netzbetrieb eines Handys

Ein Handy funktioniert auf dem Prinzip der Funkübertragung. Die Daten des Handys (Gespräche, Bilder und Töne) können mittels elektromagnetischer Wellen drahtlos übermittelt werden. Dazu ist ein dichtes Netz für die Aufnahme und Weitergabe der Funksignale notwendig, damit keine „Funklöcher" entstehen. Den verschiedenen drahtlosen Systemen wie Radio, Fernsehen und Handy sind jeweils bestimmte Frequenzbereiche zugeteilt.

Ein kurzer Überblick über die Mobilfunknetze ***GSM, UMTS***

- GSM (**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communication) war der erste Standard für volldigitale Mobilfunknetze und wird auch als 2G (2. Generation) bezeichnet; er ist immer noch der weltweit dominierende Standard für Mobilfunknetze. GSM überträgt Daten nur langsam und eignet sich daher vorzugsweise zum Telefonieren. Es gibt allerdings Erweiterungen wie GPRS, die schnellere Datendienste (z.B. WAP) ermöglichen.

- UMTS (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystems) auch 3G (3. Generation) genannt, unterscheidet sich durch eine andere Bandbreite der genutzten Frequenzen. Hierdurch können Daten schneller übertragen werden als im GSM-Netz. Dadurch werden Funktionen wie Videotelefonie, mobiles Surfen im Internet oder Downloads von Musik und Videos (besser) möglich

2.2. Allgemeiner Aufbau eines Handys und Kurzinfos

Ein Mobiltelefon ist je nach Hersteller und Modell sehr unterschiedlich aufgebaut. Hier sollen zunächst die Hauptbestandteile, die sich normalerweise in Handys finden, aufgezählt und kurz beschrieben werden (verändert u.a. nach Umweltbildungszentrum Steiermark, siehe auch Abbildungen dort). Genauere Erläuterungen zu den Bauteilen finden sich bei den jeweiligen Rohstoffen in Kapitel 2.5 und 2.6. Eine sehr hilfreiche Abbildung zu den Kleinbauteilen im Handy findet sich z.B. auf der Seite der Jane-Gooddall-Kampagne: http://www.janegoodall.at/sites/default/files/files/projekte/handyrecycling-kampagne/anatomie-eines-handys.pdf

Zur Unterscheidung Handy/Smartphone

Die Übergänge sind hier fließend, da z.B. auch unterschiedliche Händler das gleiche Gerät anders anpreisen. Generell lässt sich aber zusammenfassen:

- Ein **Mobiletelefon** (Handy) ist ein tragbares Telefon, das über Funk mit dem Telefonnetz kommuniziert. Es kann einige Zusatzfunktionen wie z.B. eine Kamera und einen Musikplayer haben.

- Ein **Smartphone** kombiniert die Funktionen von Handy und PDA (Persönlicher Digital Assistent oder auch Organizer). Das heißt, es kann zusätzlich wie ein Computer Dokumente öffnen (z.B. PDF-Dateien), besitzt i.d.R. ein Betriebssystem (z.B. Android, Windows, Linux, ...) und oft noch erweiterte Multimedia-Funktionen, auch kann es mit externen Programmen (Applications - kurz Apps) aufgerüstet werden.

Nachfolgend wird keine explizite Unterscheidung mehr zwischen Handy und Smartphone vorgenommen. Die Bauteile sind im Aufbau im Allgemeinen die gleichen, daher wird hier (außer im Kapitel 2.4) nur noch vom Handy oder Mobiltelefon gesprochen und umfassend Smartphones mit einbezogen.

Gehäuse

Das Gehäuse besteht hauptsächlich aus verschiedenen Kunststoff-Typen wie ABS- (Acrylbutadienstyrol), PC- (Polycarbonat) und PE- (Polyethylen) Kunststoffen. Seltener gibt es auch Metallgehäuse, die zwar robuster und kratzfester sind, aber auch schwerer und kostenaufwändiger.

Der **Lautsprecher** und das **Mikrofon** dienen zur Umwandlung von Schallwellen und elektromagnetischen Wellen. Hier können sich neben Kupfer auch Seltenerd-Metalle finden (z.B. Neodym für Magneten).

Display

Das **Display** der heutigen Handys besteht meist aus einer Flüssigkristallanzeige (englisch liquid crystal display, LCD), wo Flüssigkristalle zwischen Lagen aus Glas eingebettet sind; zusätzlich finden sich zahlreiche (Dünnschicht-)Transistoren für die Steuerung (Schaltung und Verstärkung) elektrischer Signale. Flüssigkristalle (LC) sind organische Moleküle, die gleichzeitig physikalische und chemische Eigenschaften sowohl von Festkörpern als auch von Flüssigkeiten aufweisen. Die Flüssigkristalle ändern bei Stromfluss ihre optischen Eigenschaften (Transparenz). Dazu wird mit elektrischer Spannung in jedem Segment unabhängig von anderen Segmenten die Ausrichtung der Flüssigkristalle gesteuert. Damit ändert sich die Durchlässigkeit für polarisiertes Licht, das bei farbigen Displays mit einer Hintergrundbeleuchtung und Polarisationsfiltern erzeugt wird. Die farbgebenden Pigmente befinden sich in einer nur ein tausendstel Millimeter dünnen Schicht. Die Bildpunkte (Pixel) werden durch das Dreifarbensystem RGB (rot, grün, blau) zusammengesetzt, jeder Farbe in einem Pixel ist eine Flüssigkristallzelle zugeordnet, deren Lichtdurchlässigkeit durch die anliegende Spannung verändert werden kann. Lässt ein Pixel das gesamte Licht durch, erscheint ein weißer Bildpunkt. Ein schwarzer Pixel ist bei völliger Lichtundurchlässigkeit zu sehen. Alle anderen Farbmischungen und Grundfarben werden durch die teilweise oder vollständige Lichtdurchlässigkeit der einzelnen Flüssigkristallzellen in einem Pixel möglich (Firmeninfo von Netzsch). Es gibt mittlerweile viele verschiedene Displays, in neuen Modellen können auch sog. Touchscreens die Tastatur ersetzen. In den meisten Touchscreens findet sich das seltene Indium, siehe Erläuterungen dort. Es existieren zurzeit drei Arten von Touchscreens, die nach verschiedenen physikalische Prinzipien funktionieren: nach dem Widerstandsprinzip, dem Energi eabsorptionsprinzip oder dem Kapazitätsprinzip. Mehr dazu siehe Literaturliste.

Tastatur

Die Tastaturmatte (falls vorhanden und es sich nicht um ein Touchscreen handelt) besteht ebenfalls aus Kunststoff, hier werden meist Silicone (Silizium-basierte Kunststoffe) verwendet. Mit der Tastatur werden Daten und Befehle eingegeben wie z. B. Telefonnummern. Die Tastatur ist mit der Prozessoreinheit verbunden. In den Kontakten der Tastatur findet sich häufig Silber.

Akkumulator

Der Akkumulator, kurz Akku, ist ein wiederaufladbarer Speicher für elektrische Energie und versorgt das Handy mit Strom. Er macht rund ein Drittel der Masse des Handys aus. Die heutigen meist Lithium-basierten Akkus haben die früheren Akkus ersetzt, die oft Schwermetalle wie Nickel und Cadmium enthielten. Lithium-Ionen und Lithium-Polymer Akkus bieten eine hohe Belastbarkeit und eine große Energiedichte. Hier werden beim Laden Lithium-Ionen (geladene Teilchen des Elements Lithium) von einem Ort zum anderen bewegt. Beim Entladen werden sie in die andere Richtung gepumpt. Die Akkus dürfen keinesfalls geöffnet/aufgeschnitten werden, wenn Lithium mit Luft in Kontakt kommt, kann es sehr heftig reagieren und es besteht dabei Feuer-und Explosionsgefahr!

Mehr über Batterien finden Sie beim Lithium und in der Literaturliste, hier nur kurz einige Daten dazu: In einer Batterie findet die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie statt, sie dient somit als Stromquelle. Sobald man den Prozess der Entladung einer Batterie umkehren kann, spricht man von einem Akkumulator. Der Prozess zum Aufladen eines Akkus kann als Elektrolyse bezeichnet werden, es handelt sich um einen „Umkehrprozess" des Entladungsvorganges einer herkömmlichen Batterie. Elektrolysen können also der Energiespeicherung dienen. Eine Elektrolyse erfordert eine Gleich-Spannungsquelle (fester Plus- und Minuspol), welche die elektrische Energie liefert und die chemischen Umsetzungen vorantreibt. Wenn man einen Akku auflädt, läuft eine Elektrolyse ab, die die chemischen Vorgänge während der Entladung rückgängig macht.

Die **Ladeschaltung** oder -sicherung überprüft den Zustand des Akkus und steuert das Aufladen, wenn das Netzgerät angesteckt ist. Sie sorgt dafür, dass die Handykomponenten auch dann mit konstanter Spannung versorgt werden, wenn der Akku am Ende seines Entladezyklus nicht mehr die volle Leistung bringt. Außerdem ist er bei Anschluss eines Netzteils für die schnelle und zugleich schonende Ladung zuständig. Dafür wird zu Beginn der Ladephase viel Strom in den Akku gepumpt, um ihn möglichst schnell zu beladen. Ist aber erst einmal ein größerer Teil des Energiespeichers gefüllt, wird er nun mit konstanter Voltzahl vorsichtig weitergeladen, da er sonst gefährlich heiß werden könnte. Dabei muss die Spannung exakt an die Temperatur des Akkus angepasst werden. Dies erklärt auch, warum Handy-Akkus im Gegensatz zu einfachen Batterien mindestens drei Anschlüsse haben: Am dritten sitzt der im Akku liegende Sensor zur Temperaturüberwachung.

Platine
Die Leiterplatte oder Platine besteht meist aus Kupfer und faserverstärkten Kunststoffen, die in Kunstharz eingebunden sein können. Sie dient als „Grundplatte" der mechanischen Befestigung und elektrischen Verbindung für den Großteil der elektronischen Bauteile, die auf ihrer Oberfläche meist durch SMD-Technik (surface-mounted device/ oberflächenmontiertes Bauelement) montiert sind. Die Bauelemente werden direkt auf eine Leiterplatte gelötet und mit grünem Lötstopplack versiegelt; größere Komponenten können auch mit Kabelbindern, Klebstoff oder Verschraubungen fixiert sein. Hier finden sich viele verschiedene Metalle wie z.B. auch Gold und Platin. Folgende Bauteile finden sich u.a. auf der Leiterplatine:

- **Abschirmbleche** sind meist aus Aluminium und sorgen einerseits dafür, dass sich die elektronischen Funktionsgruppen untereinander nicht stören, andererseits halten sie einen Teil der elektromagnetischen Strahlung beim Telefonieren vom Benutzer ab.

- Die **Prozessoreinheit** übernimmt die Steuerung des Handys, die Umwandlung der Töne, Bilder

und Texte in digitale Informationen und umgekehrt, sowie die gesamte Datenverarbeitung (Menüs, SIM-Karten, Adressbuch, Spiele, ...). Der Prozessor (auch CPU, Central Processing Unit, Zentrale Recheneinheit) ist das Herzstück des Handys und bestimmt grundlegend, welche Rechenleistung das Gerät hat. Es gibt verschiedene Arten von Prozessoren. Bei einem Prozessor handelt es sich um eine elektronische Verarbeitungseinheit, eine Schaltung, welche für die Steuerung von anderen Schaltungen oder Komponenten zuständig ist. Der Prozessor empfängt Befehle und setzt diese um. Mittlerweile befinden sich die meisten Hauptprozessoren auf einem Mikrochip, daher der Begriff Mikroprozessor. Mikroprozessoren bestehen aus Millionen von winzigen elektronischen Halbleiterelementen, den Transistoren, die zum Schalten und Verstärken von elektrischen Strömen und Spannungen verwendet werden und deren Schaltvorgänge die Rechenleistung bereitstellen. Transistoren werden mit einem photochemischen Verfahren direkt auf die Silizium-Wafer aufgebracht (siehe dazu mehr beim Silizium). Multikernprozessoren (z.B. dual core processor, Zweikernprozessoren) gehören ebenfalls zu den Mikroprozessoren. Auf einem Mikrochip arbeiten in diesem Fall mehrere Prozessoreinheiten zusammen, die gemeinsam die Funktion eines Prozessors erfüllen. Die Rechenleistung eines modernen Handy-Zentralprozessors liegt bei 250 bis 1000 MIPS (Million Instructions Per Second); 1996 konnte ein Mobiltelefon gerade 10 MIPS aufbieten, das genügte für SMS und Telefonieren. Nur durch diese gesteigerte Rechenleistung können heute Internetverbindungen in DSL-Geschwindigkeit und Farbvideos oder TV-Bilder erreicht werden.

- Der Oszillator mit dem **Schwingquarz** dient zur Erzeugung der Trägerwelle. Die Quarze erzeugen durch Anlegen einer Spannung eine Grundschwingung. Diese wird zum Aufbau der Trägerwelle oder als Arbeitstakt für die Prozessoreinheit verwendet.

- Die **Modulationseinheit** bringt die Information auf die Trägerwelle bzw. holt sie von dort wieder herunter.

- Der **Sende- und Empfangsteil** verstärkt die modulierte Trägerwelle und sendet sie über die Antenne ab. Ebenso empfängt er mittels Antenne die ankommenden Trägerwellen und gibt sie der Modulationseinheit weiter, wo die ursprüngliche Information von der Trägerwelle getrennt wird.

- **Widerstände** dienen zur Regulation und Verteilung des Stromflusses.

- **Kondensatoren** dienen u.a. als Spannungsspeicher. Es gibt verschiedene Arten, z.B. Keramikkondensatoren und Tantalkondensatoren. Kondensatoren haben wie andere elektronische Schaltungen verschiedene Zwecke, z.B.:
  - zur Spannungsglättung
  - als Schwingkreise (z.B. um eine Taktfrequenz zu erzeugen)
  - als Hoch- und Tiefpassfilter
  - zur kurzzeitigen Ladungsspeicherung
  - für jegliche Form von Arbeitsspeicher

Abbildungen und Beschreibungen zu Kondensatoren finden sich z.B. auf
http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Kondensator-capacitor.html

- **Integrierte Schaltungen** (integrated circuit = IC, umgangssprachlich auch Chips genannt) sind hoch miniaturisierte Schaltungen, die sich auf einem kleinen Siliziumplättchen befinden und in kleinen Kunststoff- oder Keramikgehäusen untergebracht sind.

Noch vor einigen Jahren hätte man für alle Schaltungen, die heute in einem Handy untergebracht sind, eine Leiterplatine mit der Größe einer Schreibtischplatte benötigt. Der Mikroprozessor (Recheneinheit) ist ein Beispiel für einen hoch verdichteten IC.

- **Leiterbahnen** verbinden die Bauteile auf der Leiterplatine miteinander und bestehen aus

Kupfer oder Gold, die oft direkt in die Leiterplatine geätzt sind. Die extrem dünnen Golddrähte nennt man auch Bond-Drähte.

Weitere, hier nicht eingehend besprochene Bauteile sind z.B. eine Kamera.

Bevor die einzelnen Rohstoffe in Mobiltelefonen besprochen werden, soll nachfolgend zunächst der Begriff „Rohstoff" genauer erläutert werden.

2.3. Definition Rohstoffe

Definition mineralischer Rohstoffe und anderer Begriffe:

Wegen der uneinheitlichen Verwendung in Literatur und Presse soll der Rohstoffbegriff, wie er für diese Broschüre verwendet wird, genau erläutert bzw. eingeschränkt werden:

- **Mineralrohstoffgesetz – MinroG: „mineralischer Rohstoff"**: jedes Mineral, Mineralgemenge und Gestein, jede Kohle und jeder Kohlenwasserstoff, wenn sie natürlicher Herkunft sind, unabhängig davon, ob sie in festem, gelöstem, flüssigem oder gasförmigem Zustand vorkommen
- **Mineralischer Rohstoff** (nach World-Mining-Data 2011, BMWFJ): Mineralischer Bestandteil der Erdkruste, nach welchem eine Nachfrage besteht, sowie Gewinnungsprodukte des Bergbaus im weitesten Sinne einschließlich der durch Aufbereitungsprozesse erzeugten Konzentrate.
- Grundstoff: Produkt der Weiterverarbeitung von mineralischen Rohstoffen bis einschließlich der ersten handelsüblichen Bearbeitungsstufe.
- Wertstoff: Zumeist empirisch ermittelter, tatsächlich nutzbarer Inhalt eines bestimmten mineralischen Rohstoffes oder Mineralgemenges
- Ressource vs. Rohstoff

Der Begriff „Ressource" bedeutet im amerikanischen folgendes laut USGS (United States Geological Survey):
Resource – A concentration of naturally occurring solid, liquid, or gaseous material in or on the Earth's crust in such form and amount that economic extraction of a commodity from the concentration is currently or potentially feasible.
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2009/mcsapp2009.pdf
Diese Definition ist mit der des mineralischen Rohstoffs fast identisch, wobei der Begriff Ressource im Deutschen weiter gefasst ist, auch immaterielle Dinge können Ressourcen (Arbeitskräfte, Zeit, das Vorkommen von etwas, etc.) sein. Daher sollte man sich hier auf den Begriff mineralische Ressourcen beschränken.

- Lagerstätte: Als Lagerstätte bezeichnet man eine natürliche, räumlich begrenzte Konzentration von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen in oder auf der Erdkruste, deren Abbau sich lohnt oder in Zukunft lohnen könnte. Die Wirtschaftlichkeit von Lagerstätten hängt u.a. von Weltmarktpreisen sowie neuen technische Explorations- und Gewinnungsverfahren ab.

Der Begriff (mineralischer) Rohstoff wird im allgemeinen Sprachgebrauch nicht immer streng nach diesen Definitionen verwendet sondern entspricht dort eher allgemein einem Grundstoff zur Weiterverarbeitung. Hier sei folgendes Beispiel angebracht:

Rohstoffbörse
Die wichtigsten Rohstoffbörsen sind die LME, NYMEX u.a.m. Nicht alle Rohstoffe werden an diesen Börsen gehandelt, meist handelt es sich z.B. um Blei, Zink, Kupfer, aber auch Edelmetalle. Bei den Platingruppenmetallen treten auch andere Handelshäuser (z.B. Johnson Matthey) in Erscheinung, die man nicht als Börsen i.e.S. bezeichnen kann.
Gehandelt wird hier bereits die erste Verarbeitungsstufe (also z.B. nicht das mineralisch Eisenerz, sondern bereits das gewonnene Eisen), eigentlich ein Grundstoff. Dennoch spricht man nicht von Grundstoff-, sondern von Rohstoffbörsen.

Da der Gehalt der Metalle in jedem Erz aber variiert interessiert nur der reine, „rohe" Stoff also das Konzentrat wie in der 2. Definition beschrieben. Der Gehalt der Metalle im Erz kann von Ort zu Ort sehr variieren und oft sehr gering sein, z.B. enthält ein ergiebiges Golderz gerade mal 5 Gramm/ Tonne Gold (5 ppm). Blei- und Zinkerze sind ab Metallgehalten von ca. 8 % interessant, Kupfererze ab ca. 0,5 %. Dies hängt aber auch von den jeweils aktuellen Rohstoffpreisen ab. Höhere Rohstoffpreise erlauben, auch Lagerstätten mit geringeren Konzentrationen wirtschaftlich auszubeuten.
Auch Kaffee, Mais, Weizen sind an der Rohstoffbörse Rohstoffe. Nicht nur sind dies nachwachsende, organische Rohstoffe, auch sind sie bereits von Menschen verarbeitet. Diese „Agrar-Rohstoffe" sollen hier außer Acht gelassen werden, da sie mit den mineralischen Rohstoffen nicht direkt im Zusammenhang stehen.

Es gibt verschiedene Arten von „Industrierohstoffen" (als Abgrenzung zu den „Agrar-Rohstoffen"), genauere Definitionen siehe Kapitel 2.10) nach BMBFJ

Mineralische Rohstoffe:

- Energierohstoffe: fossile Rohstoffe Kohle, Erdöl, Erdgas und Kernbrennstoffe (z.B. Uran)
- Industrieminerale: zum Beispiel: Talk, Kaolin, Gips
- Baurohstoffe: zum Beispiel: Sand, Kies, Ton, Granit, Lehm
- Erze (Metallrohstoffe): Eisen, Aluminium, Gold, Silber, Platin, Kupfer, Wolfram
- Rohstoffe kann man auch essen: Salz!

Die Entstehung von mineralischen Rohstoffen insgesamt lässt sich eigentlich nicht zusammenfassend beschreiben, da jede Lagerstätte anders entsteht und von den dortigen Gegebenheiten abhängt. Einige Mineralbildungsprozesse sind hier grob übersichtlich dargestellt, sollen aber nur richtungsweisend gelten und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Begriffsklärung siehe Glossar.

Elemente: entstehen meist magmatisch und hydrothermal. Man nennt diese elementar vorkommenden Minerale auch gediegen, d.h. sie kommen in reiner Form vor und nicht als Verbindung. Sie finden sich auch häufig sekundär als Seifen (z.B. Gold), dies sind Mineralanreicherungen in Sedimenten wie Sand und Kies. Wegen ihrer Verwitterungsbeständigkeit und ihres hohen Gewichts können sich die Erze z.B. in Flussläufen anreichern.

Sulfide: entstehen oft hydrothermal (Kupferkies ist z.B. ein Sulfid)

Oxide: entstehen oft magmatisch, hydrothermal, oder durch Verwitterung (Magnetit ist z.B. ein Oxid)

Silikate: entstehen fast überall: magmatisch, hydrothermal, durch Verwitterung, metamorph (Montmorillonit und Lepidolith gehören zu den Silikaten)

Ganz allgemein gesagt lässt sich für viele Erze (diese können elementar, sulfidisch, oxidisch oder silikatisch sein) oft eine hydrothermale oder magmatische Entstehungsgeschichte aufweisen, dennoch ist die Entstehungsgeschichte stets unterschiedlich. Häufig finden sich Vorkommen magmatischer Erze an Zonen, an denen Platten konvergieren oder divergieren (Plattengrenzen). Erz-Vorkommen findet man jedoch auch sekundär als Seifen, siehe Beschreibung oben bei den Elementen.

Anmerkung: Die „Rohstoffe" des Materialkoffers

Es wurde für diesen Rohstoffkoffer primär darauf Wert gelegt, einen Repräsentanten für eine gewisse Substanz im Mobiltelefon darzustellen. So finden sich im Rohstoffkoffer neben Mineralen (z.B. Quarz) und Gesteinen (z.B. Ölschiefer) auch bereits industriell bearbeitete Substanzen (Polysilizium als Bruch und Granulat). Diese sind genau genommen Grundstoffe; das Silizium z.B. ist bereits stark weiterverarbeitet um daraus Polysilizium herzustellen; siehe Kapitel 2.5 und Appendix. Ölschiefer kann zwar zur Erdölgewinnung herangezogen werden um (theoretisch) daraus Kunststoff herzustellen, die Gewinnung von Öl aus Ölschiefer ist allerdings technisch kompliziert, selten wirtschaftlich und bei Umweltschützern umstritten. Da in einem Schulkoffer aus Sicherheitsgründen aber kein Erdöl-Fläschchen enthalten sein darf wurde hier der (immerhin auch noch „stinkende") Ölschiefer verwendet.

Der Einfachheit halber werden alle Materialien im Koffer nachfolgend als Rohstoffe bezeichnet.

2.4. Die Rohstoffe eines Mobiltelefons

Ein Mobiltelefon besteht aus mehreren hundert verschiedenen Einzelteilen, die aus ca. 60 verschiedenen Substanzen bestehen (Nokia-Studie 2005; Bass 2006).
Der Begriff „Substanz" ist sehr ungenau, viele Bestandteile des Handys sind Verbindungen z.B. mehrerer Metalle (Legierungen). Die Anzahl der verschiedenen **Elemente** in den Verbindungen liegt bei rund 45 (siehe unten), davon stellen die **Metalle allein über 30!**

Anmerkung: Die Werte variieren in der Literatur sehr stark (z.B. je nach Berechnungsprinzip, aber vor allem je nach Batterietyp und Handymodell) daher ergeben sich keine 100 % durch Addition der Einzelsubstanzen. Hier wurde versucht, die Durchschnittswerte soweit es geht zusammenzufassen. Da verschiedene Literaturangaben unterschiedliche Gewichte von Handys voraussetzen, wurde hier durchschnittlich ein Gewicht von rund 100 g pro Handy angenommen, wobei einige Quellen hierfür den Akku herausrechnen, andere Quellen verwenden höhere Gewichte etc. Daher sind alle Angaben nur als ungefähre Werte zu betrachten!

Werte zusammengefasst nach Blass 2006; Nokia Studie 2005; UNEP 2008; Reller 2009
(Da die Werte der UNEP 2009-Zusammenfassung ganz andere Werte aufweisen als jegliche andere Quelle sind sie bei dieser Zusammenfassung nicht berücksichtigt.)

Vorkommen im Handy (Durchschnittswerte, in Gewichtsprozent des gesamten Handys inkl. Akku)

Kunststoffe (40 % bis zu 60 %) (Herstellung größtenteils aus Erdöl, bis zu etwa 10 % davon aus Silizium)
- im Gehäuse
- in der Tastaturmatte (oft auch aus Silizium-Kautschuk)
- als Bestandteile der Leiterplatine

Metalle (mind. 25 %) (Herstellung aus metallhaltigen Erz-Mineralen)
- für Leiterbahnen und Kontakte
- sind meistens auf der Platine zu finden in fast allen technischen Bauteilen

Glas und Keramik (ca. 10–15 %) (Herstellung hauptsächlich aus Quarz und Tonmineralen)
- LCD-Anzeige (Glas aus Quarzsand)
- Isolatoren aus Tonmineralen (Keramik)

Siehe auch Abb. 1 im Appendix 1.

Die verschiedenen Metalle in Mobiltelefonen sind von besonderem Interesse und sollen daher hier kurz aufgelistet werden, einige genauere Beschreibungen zur Anwendung finden sich in Kapitel 2.5 und 2.6:

Metall	Vorkommen im Handy (Gew. %)	Anwendung im Handy
Kupfer und seine Verbindungen	ca. 15 %	Drähte, Verbindungen; Bestandteil der Leiterplatine
Lithium	ca. 3–4 %	Akku
Aluminium	ca. 4–9 %	Abdeckplatten auf Leiterplatine
Eisen	ca. 3 %	Schrauben, Federn
Kobalt	ca. 2–3 %	im Akku
Nickel	ca. 2 %	in Legierungen auf Leiterplatine
Zinn	ca. 1 %	im Lötmaterial
	in geringen Mengen (unter 1 %, Reihenfolge nicht nach Anteil):	
Silber	~0,2–0,5 %	in Tastatur, auf Leiterplatine
Gold	< 0,1 % (schätzungsweise 0,025 %)	Bond-Drähte
Platin	~0,004 %	Kontakte
Tantal	~0,004 %	Elektrolyt-Kondensatoren
Palladium	0,015 %	Vielschichtkondensatoren
Chrom und/oder Titan	keine Angabe	im Gehäuse
Indium	~0,002 %	im LCD-Display
Antimon	k.A.	in bleifreien Löten; in den Kunststoffgehäusen und der Tastatur als Flammhemmer

Weitere, meist auf der Leiterplatine vorkommende Metalle sind:
Wolfram, Zink, Mangan, Brom, Magnesium, Bismut, Beryllium, Barium, Zirkonium, Ruthenium, Strontium, Halbmetalle (Antimon, Arsen, Gallium).

Blei, Cadmium und Quecksilber dürfen seit 2006 in Handys nur noch sehr eingeschränkt verwendet werden, mehr dazu siehe Kapitel 2.9.2.

In sehr geringen Mengen können u.a. auch die Nichtmetalle Phosphor, Fluor und Schwefel als Verbindungselemente vorkommen, auch Kalium und Calcium können vorkommen.

Alle **Elemente**, die sich z.T. in Form von Verbindungen in Handys finden können, sind (nach Hagelüken, 2010 und eigenen Messungen) folgende Elemente:

H, Li, Be, B, C, N, O, F, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Pd, Ag, (Cd), In, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Nd, Ta, W, Pt, Au,(Hg),(Pb), Bi

Einige der hier aufgezählten Rohstoffe und deren Vorkommen und Anwendung im Handy werden in den nächsten Kapiteln genauer erläutert.

Vergleich Inhaltstoffe Handys und Smartphones:

Die Inhaltsstoffe in Handys und Smartphones sind höchstwahrscheinlich im Großen und Ganzen die gleichen, aber

- die Mischverhältnisse der Inhaltsstoffe werden anders sein (verschiedene Patente der Hersteller etc.), d.h. die Hardware ist ähnlich, größtenteils handelt es sich wahrscheinlich um eine andere Technik und andere Software

- Handyhersteller werden weiterhin versuchen, mit anderen Techniken schnellere Ergebnisse zu erzeugen, was evtl. auch mit anderen Materialien in Einzelbauteilen einhergehen könnte – da aber schon über 40 verschiedene Elemente im Handy sind, wird insgesamt an anderen Elementen nicht viel Neues dazukommen, höchstens vielleicht andere Seltene Erden o.ä.

- Siehe Appendix 1, Abb. 3 für einen direkten Vergleich der Bauteile!

2.5. Die Rohstoffe dieses Materialkoffers

2.5.1. Übersicht

Einige dieser beschriebenen Rohstoffe und ihre möglichen mineralischen Vertreter werden in dieser Broschüre repräsentativ besprochen (siehe auch Erläuterung zum Rohstoffbegriff Kap. 2.3 Anmerkung).

Eine farbliche Abbildung zur weiteren Übersicht findet sich in Appendix 7. Die Rohstoffe sind in der nachfolgenden Tabelle nach ihrem ungefähren Gewichts-Anteil im Mobiltelefon aufgelistet. Wie bereits oben erwähnt variiert dieser Anteil von Hersteller zu Hersteller teilweise stark. In der nächsten Spalte steht das Material, welches repräsentativ für den jeweiligen Rohstoff gewählt wurde. In der 4. Spalte steht die Nummer, mit der sie im Rohstoffkoffer bezeichnet sind. Den Rohstoffen wurden im Materialkoffer bewusst beliebige Nummern zugeteilt, damit eine evtl. Aufgabe, in der die SchülerInnen die Materialien nach ihrer Häufigkeit im Handy ordnen sollen nicht vorweggenommen wird.

Rohstoff	Gew.-Anteil im Handy	Im Koffer repräsentiert durch	Nummer im Materialkoffer	Anwendung im Handy
Kunststoffe	ca. 40–60 %	Gestein Ölschiefer bzw. für Silizium-basierten Kunststoff siehe Silizium	Nr. 6	Gehäuse, Tastaturmatte (oft aus Silizium-Kautschuk), Teile der Leiterplatine
Kupfer	ca. 15 %	Mineral Chalkopyrit	Nr. 1	Leiterplatine, diverse Drähte und Verbindungen
Silizium*	ca. 8–15 %	Mineral Quarz	Nr. 9	Display (Glas)
		technisches Polysilizium	Bruch Nr. 2 und Granulat Nr. 11	Mikrochips Mirkochips
Aluminium	ca. 4–9 %	Gestein Bauxit	Nr. 4	Abdeckungen
Eisen	ca. 3 %	Mineral Magnetit	Nr. 3	Schrauben, Federn
Tonminerale – Keramik	ca. 3–10 %	Tonmineral Montmorrillonit	Nr. 7	Isolatoren, in Kondensatoren
Lithium	3–4 %	Mineral Lepidolith	Nr. 5	Akku
Gold	unter 0,1 %	Blattgold	Nr. 8	Kontakte; dünne Drähte
Tantal	unter 0,1 %	Tantalerz (Mineralgemisch „Coltan" Columbit-Tantalit, eigentl. Niobit-Tantalit)	Nr. 10	Tantal-Kondensatoren

* findet im Handy teilweise auch Anwendung für Silizium-basierten Kunststoff, wurde hier aber nicht repräsentativ dafür ausgewählt.

2.5.2. Erklärungen und Anwendung

Die Rohstoffe des Materialkoffers werden im Folgenden wieder nach der Nummer im Rohstoffkoffer aufgelistet mit Informationen zur Geologie (Entstehung, mineralogische Merkmale) und Ihrer Verwendung im Handy.

Die Beschreibungen der Rohstoffe folgen immer dem Aufbau: *Kurzfakten zum Rohstoff; Informationen zum vorliegenden Rohstoff; Vorkommen, Gewinnung und Herstellung; Besonderheit und Anwendung im Handy.*

In Appendix 1 sind die in dieser Broschüre besprochenen Rohstoffe nach ihren Massenanteilen aufgelistet. Betrachtet werden für die Massenanteile hier die erreichbaren Vorkommen in der Erdkruste. Vorsicht: Es gibt auch Tabellen mit Massenanteilen, die sich auf die gesamte Erde beziehen, aber hier soll explizit die Erdkruste betrachtet werden, da dies die für uns am ehesten erreichbaren Elemente umfasst. Zusätzlich sind in der Abbildung die Weltjahresproduktion und die Hauptproduzentenländer aufgelistet, diese Angaben eignen sich gut für den Geografie-Unterricht.

Kupfer (Rohstoff Nr. 1)
Mineral Chalkopyrit (Kupferkies) $CuFeS_2$

Kurzfakten Kupfer:

- Besonderheit: guter Wärme- und Stromleiter (besser als Gold), leicht formbar
- Verwendung im Handy: Drähte und Verbindungen; Bestandteil der Leiterplatine
- ca. 15 Gewichts-% im Handy
- Vorkommen: sehr häufig; bereits seit 10.000 Jahren verwendet (Bronze: Kuper und Zinn)

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Chalkopyrit ist ein Kupfereisensulfid und wird auch Kupferkies oder Buntkupfer genannt. Er hat meist eine goldene Farbe, kann aber durch Verwitterungseinflüsse mehrfarbig anlaufen. Vorsicht: nach einigen Jahren kann diese Farbe durch Lichteinwirkung verblassen!

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Kupfer wurde auf Zypern (lat. Cyprium, daraus wurde später cuprum (lat.)= Kupfer) durch Reduktion mit Holzkohle bereits vor ca. 5000 Jahren hergestellt.

Chalkopyrit entsteht meist hydrothermal in sulfidhaltigen Lagerstätten, er findet sich deshalb häufig in Gesteinen magmatischen Ursprungs. Kupferkies kann auch in Sedimentgesteinen unter Redoxbedingungen gebildet werden.

Bei der heutigen Gewinnung aus Chalkopyrit kann teilweise Indium als Nebenprodukt anfallen. Kupfer kommt in der Natur zwar auch gediegen, d.h. in elementarer Form vor, dies ist aber nur in kleineren Mengen der Fall. Meist kommt es in Oxiden, Sulfiden und Karbonaten vor (stets kationisch).

Das Mineral Chalkopyrit kann einen Kupfergehalt von bis zu 33 Gewichtsprozent haben. Der Kupfergehalt der bergmännisch gewonnenen Erze ist infolge der Gangart (Begleitgestein) meist relativ gering (0,4-2Gew.-% Cu) und lässt sich erst durch Flotation (Schwimmaufbereitung) in angereicherte Erze mit 20-30% überführen. Hierzu wird feinverteiltes Ausgangsmaterial mit Wasser und Öl angerührt, wobei sich das vom Öl benetze Kupfererz in der Oberflächenschicht ansammelt, während die vom Wasser benetzte Gangart zu Boden sinkt. Durch Röstung entfernt man das Eisenoxid des Chalkopyrits als Schlacke und erhält Kupfersulfid, durch weitere Röstreaktion setzt man daraus Rohkupfer frei. Dieses wird anschließend durch schmelzmetallurgische und dann elektrolytische Raffination von kleineren Beimengungen wie Zn, Pb, As, Fe aber auch Au und Ag etc. befreit.

Etwa 80 % der globalen Kupferproduktion fallen auf Chalkopyrit. Obwohl Cuprit, ein weiteres Kupfererz, zu bis zu 90 % aus Kupfer besteht, ist aufgrund der weiten Verbreitung von Chalkopyrit der Abbau wirtschaftlicher. Bei der Gewinnung aus Chalkopyrit kann teilweise das teure Indium als Nebenprodukt anfallen, siehe dort.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Kupfer hat nach Silber die beste elektrische Leitfähigkeit und findet daher eine weite Verbreitung in der Elektrotechnik, insbesondere auch aufgrund des häufigen Vorkommens und damit i.a. günstigeren Rohstoffpreises. Teile der Leiterplatine, Kabel und Leiterbahnen bestehen aus Kupfer. Beim Aufschrauben einiger Ladegeräte von Handys findet sich oft eine Kupferspule.

Silizium (Rohstoffe Nr. 2, 9 und 11)
Polykristallines Silizium: Bruch (Nr. 2), Granulat (Nr. 11); Mineral Quarz SiO_2 (Nr. 9)

Kurzfakten Silizium:

- Besonderheit: Halbmetall
- Verwendung: Mikrochips (Halbleitertechnik), Transistoren (Schalter), Wafer; auch im Glas des Displays und in Spezialgläsern für optische Linsen und Prismen in der Kamera
- Vorkommen: als Quarz im Sand so häufig wie „Sand am Meer"; die für die Industrie nötigen reinen Quarzsande sind allerdings seltener geworden
- Computerindustrie wäre ohne Silizium undenkbar: daher der Name Silicon Valley (Kalifornien) (Vorsicht: engl. *silicon* heißt auf Deutsch Silizium. Das synthetische Polymer Silikon heißt auf Englisch Silicone.); Silizium findet auch Verwendung in Solarzellen

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
In Ihrem Materialkoffer finden Sie Silizium in verschiedenen Formen:

- Als natürlich vorkommendes Mineral **Quarz** (SiO_2, Nr. 9), hier liegt das Silizium in gebundener Form vor. Quarz steht repräsentativ für das Glas des Displays und der Kamera, kommt aber auch in künstl. hergestellten Schwingquarzen (Taktgeber) vor
- Als **polykristallines, reines Silizium,** welches in der Natur so nicht vorkommt und aus Quarz erzeugt wird. Nr.2 ist sog. Polybruch, Nr. 11 das Polygranulat, in diesen beiden technisch erzeugten Grundstoffen liegt das Silizium bereits in reinster Form vor (99,9999999 % Reinheit).
- Im **Wafer**, der „Grundplatte" für elektronische Bauelemente wie z.B. Mikrochips. Die Wafer werden aus einem Silizium-Einkristall hergestellt, welches wiederum aus dem polykristallinen Silizium hergestellt wird, siehe Appendix für genaue Erläuterung.
- Zusätzlich findet sich Silizium zwar auch als Bestandteil der beiden im Koffer enthaltenen Silikat-Minerale Montmorillonit und Lepidolith, nimmt aber dort nur einen geringen Stellenwert ein, diese sind hier nicht als Repräsentanten für Silizium gewählt worden, weil sie nicht als Rohstoff für die Si-Gewinnung verwendet werden.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Silizium findet sich auf der Erde aufgrund seiner Sauerstoff-Affinität nie elementar sondern immer an Sauerstoff gebunden. Dabei wird Silizium von vier Sauerstoffen in Form eines Tetraeders umgeben. Diese Tetraeder können sich vielfach verknüpfen und bilden so eine wesentliche Gruppe des Mineralreichs. Die Silikate bilden etwa ein Drittel aller bekannten Mineralien. Die Erdkruste besteht zu über 75% aus Silikaten, dazu kommen 12% „Kieselsäure". Quarz ist nach den Feldspäten das zweithäufigste Mineral. Im Quarz (SiO_2) liegt ein SiO_4-Tetrader in unendlicher, räumlicher Verknüpfung vor.

Das Element Silizium macht rund 27% der Erdkruste aus - nur Sauerstoff ist mit rund 48% häufiger. Eine kleine Rechnung zeigt die Häufigkeit von Silizium: 100% - 27% (Si) - 48% (O) = 25%. Es gibt auf der Erde in verfügbarerer Reichweite (Erdkruste) also mehr Silizium als von *allen anderen Elemente zusammen* (Sauerstoff ausgenommen).

Die SiO_2-Minerale sind sehr vielfältig, dazu gehören z.B. Bergkristall, Amethyst (dies sind Quarz-Varietäten, die nach ihren verschiedenen Farben benannt werden), aber auch in Form von Kieselgur, Opal, Flint. Quarz ist unter den normalen Bedingungen an der Erdoberfläche chemisch und physikalisch sehr widerstandsfähig d.h. verwitterungsbeständig. Es bleibt daher oft als Verwitterungsrest übrig und bildet daher den größten Teil von Sand und Sandsteinen.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Silizium findet sich als Quarz als Hauptbestandteil von im Glas im Display. Quarz ist piezoelektrisch, d.h. bei Druckausübung auf den Kristall weist dieser elektrische Ladungen an seiner Oberfläche auf. Der Kristall kann auch oszillieren (schwingen). Daher setzt man synthetische Quarzkristalle (diese sind

reiner als natürlich vorkommende) als Schwingquarze (Taktgeber) ein, im Handy sorgen sie u.a. für konstante Frequenzen. Quarzsande werden u.a. auch bei der Keramikproduktion hinzugegeben.
Der aus Quarz gewonnene Grundstoff Polysilizium (reinstes Silizium) wird weiterverarbeitet für die Herstellung der Wafer, um daraus Mikrochips herzustellen. Zur Herstellung dieser siehe folgend:

Kurz-Zusammenfassung Herstellung Polysilizium und Wafer

Aus Quarzkies (SiO_2) wird im Lichtbogenofen Rohsilizium (Siliziumanteil von ca. 98 %) hergestellt, d.h. hier wird grob gesagt der Sauerstoff „entfernt". Zur Aufreinigung wird basierend auf dem Siemens-Verfahren aus diesem Rohsilizium mit Hilfe von Trichlorsilan das Polysilizium (mit dem nötigen Reinheitsgrad von mind. 99,9999999 %) hergestellt. Dieses Polysilizium wird nun gebrochen (Polybruch, das ist Ihre Nr. 2 im Koffer) und in großen Quarztiegeln bei 1420 °C mit einem Impfkristall zu einem großen Einkristall gezüchtet.

Der Einkristall wird im Anschluss zersägt (z.B. auch mit Diamantsägen) in die Rohwafer. Diese unterliegen noch vielen technischen Einzelschritten, bevor sie so aussehen wie die Wafer, die Ihrem Materialkoffer beigelegt sind. Im Anschluss können auf die Wafer photochemisch die Bauelementstrukturen („Informationen") aufgebracht werden, dies wird vom jeweiligen Mikrochiphersteller selbst unternommen.

Ihre Wafer haben einen Durchmesser von 150 mm und eine Dicke von etwa 675µm.

Das Silizium-Granulat mit der Nr. 11 (Herstellung ähnlich, siehe im Fließtext im Appendix), das Sie erhalten haben, ist in ausreichender Näherung etwa vergleichbar mit der Qualität des Polybruchs (Nr. 2).

Unter http://www.seilnacht.com/silicon/sili14.html sind die Schritte stark vereinfacht auch mit Bildern dargestellt.

Im Appendix 3 wird die Herstellung des polykristallinen Siliziums und der Wafer ausführlich beschrieben.

Eisen (Rohstoff Nr. 3)
Mineral Magnetit, chem. Formel Fe_3O_4 („Magneteisenstein"),

Kurzfakten Eisen:

- Eisenerze kommen relativ häufig vor, Eisen ist nach Aluminium das zweithäufigste Metall der Erdkruste
- Eisen ist magnetisch
- Verwendung im Handy: Schrauben und Federn
- Eisen wird von Menschen schon seit langem verwendet (Eisenzeit, Mitteleuropa ca. 800 v. Chr.)

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Der Magnetit des Materialkoffers ist (ferro)magnetisch und sogar attraktorisch, d.h. er wirkt selbst als Magnet und zieht z.B. kleine Eisenspäne an (für größere Objekte reicht die Anziehung allerdings nicht aus, aber mit Eisenspänen können Sie einen sehenswerten Effekt erzielen).
In einem Magneten sind die magnetischen Momente der einzelnen Teilchen (in dem Fall Atome) parallel ausgerichtet (anders als in einem nichtmagnetischen Metall), so wie Streichhölzer in einer Schachtel. Dadurch addieren sich die mikroskopischen Magnetfelder der Atome (Weisssche Bezirke) zu einem messbaren Gesamtmagnetfeld. Das funktioniert allerdings nur mit so genannten ferromagnetischen Materialien (ferro lat. Eisen), in denen die Atome ihre Ausrichtung auch beibehalten, nachdem sie mit einem starken äußeren Magnetfeld ausgerichtet wurden. Bitte machen Sie falls nötig Ihren SchülerInnen deutlich, dass von den Metallen bei Raumtemperatur nur Eisen, Nickel und Kobalt (ferro)magnetisch sind! Zu magnetischen Seltenen Erden siehe dort.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Wirtschaftlich interessante Eisenerze enthalten 45–75 % Eisen. Andere Eisenerze sind z.B. Hämatit und Siderit. Siderit ist für Österreich von Bedeutung, da es zusammen mit Ankerit am Steirischen Erzberg abgebaut wird, weltweit hat es sonst als Eisenerz keinerlei Bedeutung.

Es gibt z.B. in den USA riesige Lagerstätten in Form von sedimentären BIF (banded iron formation = Bändererze), die vor mehr als 2 Milliarden Jahren entstanden, als auf der Erde der erste freie Sauerstoff entstand. Das in den BIFs abgebaute Eisenerz ist eine Mischung von Magnetit und Hämatit. Magnetit kommt sonst hauptsächlich in magmatischen Gesteinen vor. Die technische Darstellung von Eisen erfolgt durch die Reduktion von oxidischen Eisenerzen mit Koks oder Holzkohle im Hochofen (auch im Wirbelschichtofen mit H_2, CO, CH4 oder Erdgas möglich). Hierbei entsteht Roheisen (enthält 1,7 % bis max. 4 % Kohlenstoff). Für Stahl muss es noch entkohlt werden (Stahl enthält < 1,7% Kohlenstoff).

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Eisen findet sich in Verbindungen z.B. in den Schrauben und Federn des Handys. Die Magnete in den Lautsprechern sind i.d.R. nicht mehr aus Eisen hergestellt. In den 90er Jahren kamen Magnete aus Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) in den Handel, die fünf- bis zehnmal so stark wie herkömmliche Legierungen sind, siehe Seltene Erden.

Aluminium (Rohstoff Nr. 4)
Gestein Bauxit

Kurzfakten Aluminium:

- Besonderheit: sehr leichtes Metall, Dichte 2,699g/cm³ (viermal leichter als Blei, achtmal leichter als Platin)
- Verwendung im Handy: Abdeck-Platten auf der Leiterplatine
- Vorkommen: häufigstes Metall der Erdkruste!
- Zur Herstellung extrem hoher Energieaufwand nötig

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Der rotbraune Bauxit des Materialkoffers enthält neben Al-Oxiden auch bis zu 20% Fe_2O_3, daher die Farbe. Oft wird der Bauxit auch als Industriemineral bezeichnet (z.B. BMWFJ), obwohl es sich streng genommen um ein Gestein handelt. SchülerInnen wird insbesondere beim Vergleich der Farben (rotbraunes Bauxit neben den silbernen Aluminium-Abdeckungen des Handys) deutlich, dass einiges an Energie und Chemie nötig ist, damit aus diesem Gestein das Aluminium gewonnen werden kann.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Aluminium ist das häufigste Metall in der Erdkruste und nach Sauerstoff und Silizium das dritthäufigste Element. Es kommt wegen seiner Sauerstoffaffinität nicht gediegen, sondern nur in oxidischen Verbindungen vor (als Oxide und Hydroxide, nach Hollemann Wiberg).

Bauxit ist ein Sedimentgestein, das aus verschiedenen Aluminium- und Eisenmineralien zusammengesetzt ist: Das Gemenge besteht meist aus den Al-Hydroxid- Mineralen Gibbsit $Al(OH)_3$, Böhmit und Diaspor (beide AlOOH)), dazu kommen häufig noch Eisenoxide und Eisenhydroxide, die dem Bauxit die rotbraune Farbe verleihen. Bauxit ist ein Verwitterungsprodukt, es entsteht entweder aus verwitterten Ton-Silikaten (z.B. ursprünglich Granite, die zu Tonen verwittern) oder Karbonaten (z.B. in Karstgegenden); es gehört zu den lateritischen Böden, den unfruchtbaren Böden, welche die rote und braune Erde von Steppen bilden.

Bauxit ist der wichtigste Aluminium-Rohstoff der Erde. Zur Aluminiumgewinnung muss der Bauxit in Aluminiumoxid (meist nach dem Bayer-Verfahren) umgewandelt werden, aus diesem erhält man durch die energieaufwändige Schmelzflusselektrolyse reines Aluminium (hoher Schmelzpunkt von Aluminiumoxid bei 2045°C). Zur Herstellung von 1t Aluminium werden 4t Bauxit benötigt (und Zusätze wie Anodenkohle, AlF_3 und Kryolith, $Na_3[AlF_6]$), und es werden ca. 13.000-16.000kWh Strom verbraucht (Hollemann Wiberg). Dies macht die aufwändige Herstellung von Aluminium deutlich.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Aluminium findet sich in diversen Kleinbauteilen, insbesondere in den Abdeckplatten auf der Leiterplatine. Aluminium ist das wichtigste Nicht-Eisenmetall für die Technik: leicht, thermisch und elektrisch leitend (allerdings nicht so gut wie Kupfer), relativ korrosionsbeständig, nicht magnetisch, gut hämmer-, gieß- und schmiedebar , sehr dehnbar und dünn auswalzbar (zu Folien mit 0.004mm Dicke), es wird oft auch als Legierungszusatz für andere Metalle verwendet.

Lithium (Rohstoff Nr. 5)
Mineral Lepidolith, chem. Formel $K(Li,Al)_3[(F,OH)_2|(Si,Al)_4O_{10}]$

Kurzfakten Lithium:

- Besonderheit: thermisch stabil, extrem leicht; neuer strategischer Rohstoff
- Verwendung : Akku (lange haltbar, kein Memory-Effekt)
- Vorkommen: kommt meist sehr verteilt vor und nur in einigen Gebieten konzentriert in einer Lagerstätte; findet sich z.B. auch im Meerwasser und als Spurenelement in Mineralwasser

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Lepidolith gehört wie auch der Montmorrillonit zu den Schichtsilikaten, d.h. die SiO_4-Tetraeder liegen in Schichten übereinander, siehe dort.

Die rosa Farbe des Lepidoliths wird meist durch einen geringen Gehalt an Mn^{2+} verursacht. Lepidolith bildet sich oft in Granitgängen („Pegmatite") oder in zersetzten Graniten. Er tritt häufig zusammen mit der Turmalingruppe auf, daher finden Sie in einigen Ihrer Exemplare stengelige, rosafarbene Turmaline, bitte diese nicht mit dem eigentlichen Lepidolith verwechseln! Lepidolith wird auch „Lithiumglimmer" genannt.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Lithium findet sich in zahlreichen silikatischen Gesteinen, z.B. in Hochtemperatur-Quarz-Gängen (sog. Pegmatite), kommt dort aber meist nur in geringen Konzentrationen vor, so dass sich der Abbau selten lohnt, außer z.B. in einigen australischen Lagerstätten. Die wichtigsten weiteren Lithiumerze neben Lepidolith sind z.B. Amblygonit ($LiAl[PO_4]F$), Zinnwaldit ($K(Li,Fe,Al)_3[(Al,Si)_4O_{10}](F,OH)_2$) und Spodumen ($LiAl[Si_2O_6]$). Diese Minerale haben einen Lithiumgehalt von bis zu 9 % (bei Amblygonit). Metallisches Lithium kann wegen seines starken elektronegativen Potentials aus diesen Mineralien nur schmelzelektrolytisch gewonnen werden, d.h. der Aufwand ist groß und sehr teuer. Daher spielen diese Mineralien zur Lithiumgewinnung derzeit eine untergeordnete Rolle. Bei Engpässen könnte sich dies ändern. Wirtschaftlich relevante Abbaugebiete liegen in West-Australien (als Nebenprodukt der Tantalgewinnung), Spodumen wird in Kanada und Russland zur Lithiumgewinnung abgebaut (USGS).

Aufgrund der geringeren Produktionskosten findet sich derzeit die wichtigste Quelle für Lithium in sog. Sekundärlagerstätten. In Salzseen werden Lithiumsalze (insb. Lithiumchloride) gewonnen. Lithiumchlorid wird derzeit vor allem in Chile (Salar de Atacama) abgebaut. In Bolivien gibt es mit dem Salar de Uyuni den Salzsee mit den möglicherweise größten Ressourcen von geschätzt 5,4 Millionen Tonnen Lithium, der derzeit aber noch nicht wirtschaftlich abgebaut wird (USGS). Aus den lithiumhaltigen Salzlösungen wird durch Verdunsten des Wassers und Zugabe von Natriumkarbonat (Soda) Lithiumkarbonat ausgefällt. Dazu wird die Salzlake zunächst so lange an der Luft eingedampft, bis der Lithiumgehalt 0,5 % überschreitet. Durch Zugabe von Natriumkarbonat fällt daraus das schwerer lösliche Lithiumkarbonat aus, welches technisch weiter verarbeitet wird. Abgebaut werden eigentlich Nitrate und Kaliumcarbonat (Pottasche). Beim Abbau dieser Produkte fällt auch das Lithiumkarbonat an.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Das silberweiße Metall Lithium ist mit einer Dichte von $0.534 g/cm^3$ das leichteste aller festen Elemente (abgesehen von metallischem Wasserstoff bei -260°C). Da Lithium großes elektrochemisches Potenzial besitzt und eine hohe Energiedichte pro Gewichtseinheit liefert, eignet es sich gut für den Einsatz in Batterien, und zwar sowohl in Primärbatterien („Wegwerfbatterien") als auch in Sekundärbatterien (wiederaufladbare Akkus). Der zunehmende Einsatz für Akkus bei Elektroautos führt zu einer starken Nachfrage. Lithium-Akkus liefern über den gesamten Entladezeitraum eine konstante Leistung und weisen keinen sogenannten Memory-Effekt auf, also einen langsamen Leistungsabbau bei mehrmaliger Benutzung. Für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien bedarf es je nach Bauart etwa 80 - 130 Gramm metallisches Lithium je Kilowattstunden-Speicherkapazität. Der Lithium-Ionen-Akku hat eine der höchsten Energiedichten unter den wiederaufladbaren Batterien, und das frühere Problem, dass er nur geringe Stromstärken liefern konnte wurde mittlerweile durch technische Verbesserungen gelöst (USGS).

Akkus nutzen als negative Aktivmasse Einlagerungsverbindungen von Li z.B. in Graphit, Aluminium, Zinn oder Silizium, und als positive Aktivmasse Mangan-, Kobalt- oder Nickel- Oxide. Als Elektrolyte dienen z.B. $SOCl_2$ und Li-Leitsalze. Die Lithiumatome sind sozusagen als Gastatome in den Elektroden-

Wirtgittern gespeichert, d.h.im Li-Ion-Akku kann Lithium in ionisierter Form durch den Elektrolyten zwischen den beiden Elektroden hin- und herwandern. Daher kommt auch der Name des Lithium-Ionen-Akkus. Eine schöne Abbildung, auch um das Entladen und Laden darzustellen befindet sich dazu auf Wikipedia unter: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Li-Ion-Zelle_%28CoO2-Carbon,_Schema%29.svg&filetimestamp=20090816163639

Teilweise verwendet man Graphit/$LiCoO_2$-Zellen:

$Li_xC_n + Li_{1-x}CoO_2$ laden--> <--entladen $C_n + LiCoO_2$

Bis zu 9 dieser Zellen werden in kleinen Batterien wie Laptops und Mobiltelefonen verwendet, über 100 dieser Zellen sind für den Betrieb von Kraftfahrzeugen notwendig.
Lithium-Polymer Batterien haben eine ähnliche Batterie-Chemie wie Lithiumionen-Batterien, verwenden aber einen anderen Elektrolyt.

Kunststoffe (Rohstoff Nr. 6)
Gestein Ölschiefer

Kurzfakten Kunststoffe:

- Kunststoff-Herstellung: meist aus Erdöl, seltener auch aus künstlich gewonnenem Silizium; früher auch aus Kohle und Erdgas
- Es gibt über 200 verschiedene Kunststofftypen!
- Besonderheiten: leicht; viele verschiedene Eigenschaften (v.a. bezüglich der Festigkeit und Formbarkeit) je nach Wunsch des Herstellers
- Verwendung: Gehäuse, Dichtungen, Kabelhüllen etc.

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Der Ölschiefer wurde hier vertretend für die Kunststoffe gewählt, da in einem Schulkoffer aus Sicherheitsgründen kein Erdölfläschchen enthalten sein darf. Dieser Tiroler Ölschiefer riecht stark nach Bitumen, wenn man ihn mit dem Fingernagel ritzt. Ölschiefer enthält in der Regel kein Öl, sondern Kerogen, eine aus Faulschlamm hervorgegangene Substanz, die weder in Wasser noch in organischen Lösungsmitteln löslich ist. Ölschiefer gehört zu den unkonventionellen Erdölen, ebenso wie die Ölsande, s.u. Aus Ölschiefer kann durch Erhitzen und anschließender Kondensation Schwelöl gewonnen werden. Das so gewonnene Steinöl kann durch Sulfonierung in einen wasserlöslichen Zustand übergeführt werden. Am Tiroler Achensee wird Ölschiefer abgebaut und zu hochwertigen kosmetischen und pharmazeutischen Produkten (z.B. Ichthyolsalben, Badeöle, Haarbalsam, etc.) verarbeitet (BMWF).

Ölschiefer sind tonige oder kalkige Sedimentgesteine, die einen hohen Gehalt an organischem Material (> 10 %) aufweisen. Der Name Ölschiefer ist petrografisch nicht ganz korrekt, es handelt sich nicht um das metamorphe Gestein Schiefer, sondern um geschichtete Sedimentgesteine. Ölschiefer wird auch, obwohl es ein Sedimentgestein ist, als Industriemineral bezeichnet (siehe BMWF).

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Untersuchungen zeigten, dass Ölschiefer auch zur Herstellung von Energierohstoffen geeignet wäre, er wurde früher teilweise für die Gewinnung von Rohöl abgebaut. Der Prozess ist allerdings derzeit nicht sehr ökonomisch: Je nach Vorkommen ließen sich aus einer Tonne Ölschiefer rund 50 Liter Rohöl gewinnen, es gibt auch wenige Ausnahmen, wo die Ausbeute bis zu 200 Liter pro Tonne betragen kann (USGS). Die wirtschaftliche Nutzung ist meist ökonomischer, wenn der Ölschiefer direkt verbrannt wird. In Estland basiert 80 % der produzierten Elektrizität auf direkt verbranntem Ölschiefer (USGS). Die Heizkraft des estonischen Ölschiefers liegt bei bis zu ca. 2,200 kcal/kg (zum Vergleich: die Heizkraft von Braunkohle liegt mit 3,500 bis 4,600 kcal/kg wesentlich höher). Gesteinsanalysen ergaben, dass die estonischen Ölschiefer theoretisch bis zu 320–500 Liter Öl pro Tonne Ölschiefer enthalten können.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass Ölschiefer nur ein geringes Potential zur Erdölgewinnung haben, im Gegensatz zu z.B. Ölsanden. Mehr zur Entstehung z.B. auf http://www.planet-schule.de/wissenspool/geomorphologie/inhalt/wissen/jurassic-alb-der-schwaebische-oelschiefer/entstehung-verbreitung-und-eigenschaften-des-oelschiefers.html

Erdöl entsteht aus abgestorbenen Meeresorganismen wie z.B. Algen. Die im Gestein eingeschlossenen Mikroben und Kleinlebewesen durchlaufen einen biologischen Abbau- und Umbauprozess. Unter Sauerstoffabschluss kann Faulschlamm entstehen, nach Jahrmillionen kann dieser in der Tiefe hohen Drücken und Temperaturen ausgesetzt werden und zu Erdöl werden. Als Folge entstehen gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe, die sich in vorhandenen porösen Gesteinsschichten nach oben bewegen. Die Bestandteile des Ölschiefers zeichnen sich gegenüber den reinen Öllagerstätten durch einen geringeren Wasserstoff- und einen höheren Sauerstoffanteil aus.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Kunststoffe werden größtenteils aus Erdöl hergestellt. Es gibt aber auch Silizium-basierte Kunststoffe (Silikone).

Im Handy finden sich nach UNEP 2009 wahrscheinlich bis zu 19 verschiedene Kunststofftypen, davon stellen etwa im gesamten Handy in Gewichtsprozent folgende Kunststofftypen die Hauptanteile:

- PC+ABS- Blend (ABS: Acrylnitril-Butadien-Styrol-Kopolymerisate, PC: Polycarbonate) über 20 %
- rund 3 % PAI (Polyamideimide)
- weitere Acrylpolymere 1,5 %,
- Epoxidharze 1,3 %
- PET 1,5 %;
- etwa 5–8 % sind Si-Polymerverbindungen (Silikone)

Alle anderen Kunststoffarten treten im Handy unter einem Gewichtsprozent auf.

Eine Übersicht über die verschiedenen Kunststofftypen und wo sich diese im täglichen Gebrauch noch finden gibt es z.B. auf http://www.tree-pool.at/media/841/cms_4ca31e0c6ae46.pdf

Silikone stellen eine besondere Gruppe innerhalb der Kunststoffe dar. Der Begriff Kunststoff wird normalerweise im Sinne von organischem Material gebraucht, welches sich nicht in der belebten Natur findet. Silikone sind dagegen halb organische Materialien, die auf dem Element Silizium basieren. Silizium besitzt im Vergleich zum Kohlenstoff einen stärkeren metallischen Charakter. Dies wiederum verleiht Silikonen einzigartige Eigenschaften.

Die in der technischen Anwendung als Silikone bezeichneten Materialien heißen korrekterweise Polysiloxane. Ausgangspunkt und Grundbaustein der Silikonherstellung sind Silane, die in der Synthese aus Silizium und Methylchlorid entstehen (Müller-Rochow-Synthese). Silikone (chem. Polydiorganosiloxane) ähneln in ihrer Struktur organisch modifiziertem Quarz. Sie bestehen aus einem „anorganischen", abwechselnd aus Silizium- und Sauerstoffatomen aufgebauten Gerüst. Die beiden übrigen Valenzen der Siliziumatome sind mit organischen Gruppen verknüpft (vorzugsweise Methylgruppen), wodurch der partiell organische Charakter entsteht.

Silikonkautschuke bestehen aus langkettigen Polysiloxanen und diversen Füllstoffen wie Kieselsäure und vulkanisieren zu gummiartigen Elastomeren. Sie finden sich z.B. in der Tastaturmatte des Mobiltelefons und werden u.a. für die Ummantelung von Kabeln verwendet.

Tonmineral (Rohstoff Nr. 7)
Mineral Montmorrillonit, chem. Formel $(Al, Mg)_2 [(OH)_2/(Si_4O_{10})](Na, Ca) (H_2O)$

Kurzfakten Tonminerale:

- Besonderheit: weich (nach Brennen hart: Keramik), nicht-leitend
- Verwendung im Handy: Keramik (als Isolator, in Sensoren,...)
- Vorkommen: sehr häufig
- Verwendung auch für Ziegel und Zement; anorganisches Bindemittel bei Papierherstellung

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Dieses äußerst feinkörnige Mineral ist ein Schichtsilikat, d.h. es besteht aus Dreischichtstrukturen (wechsellagernde Tetraeder und Oktaeder), und ist daher sehr quellfähig. Bei Verlust können Sie diesen zur Not auch nachkaufen, im Reformhaus gibt es grüne Tonerden zu kaufen, die nicht zwingend Montmorillonit enthalten aber zumindest andere Tonminerale.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Montmorillonit ist Hauptbestandteil bestimmter Tone, die Bentonit genannt werden. Bentonite bilden sich meist bei der Verwitterung vulkanischer Aschen und von Eruptivgesteinen. Montmorillonit bildet sich ferner hydrothermal durch Substitution anderer Minerale in vulkanischen Tuffen, Aschen und Bentoniten. Als Tonbestandteil ist er vor allem in tropischen Böden und in der Tonmineralfraktion der Tiefseeböden zu finden. Vermischt mit Wasser kann Montmorillonit zu einer glitschigen Masse werden und beim Trocknen Risse bilden. Durch Brennen wird er fest und ist somit (z.B. neben Quarz) Bestandteil vieler Keramikprodukte. Er wird z.B. auch zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.

Eine 3D-Animation zur Struktur von Montmorillonit findet sich auf:
http://www.bentonit.de/bentonit/mindestgehalt-montmorillonit/index.php Dort sind z.B. auch Absorptionsversuche für die Wasserreinigung mit Methylenblau dargestellt sowie weitere Anwendungen von Bentonit.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Als Sensor, Datenüberträger, Datenspeicher und in der Datenwiedergabe erfüllen keramische Bauelemente zentrale Aufgaben. Daneben dienen keramische Werkstoffe als zuverlässige Isolatoren in der Mikroelektronik, z.B. in Kondensatoren. Der Keramikkondensator hat ein keramisches Dielektrikum (Dielektrikum: ein Bereich mit isolierender Eigenschaft). Die übereinander geschichteten Keramikvielschicht-Chipkondensatoren (englisch: multi layer ceramic capacitor, MLCC) werden häufig in der Elektronik eingesetzt. Darüber hinaus werden Keramikkondensatoren in unterschiedlichen speziellen Bauformen als Entstör-, Durchführungs- oder als Leistungskondensatoren verwendet.

Gold (Rohstoff Nr.8)
chem. Symbol: Au

Kurzfakten zum Rohstoff Gold

- Besonderheit: guter Wärme- und Stromleiter
- Verwendung im Handy: dünne Bonddrähte, korrosionsbeständige Kontakte
- Vorkommen: seltenes Edelmetall.

Informationen zum vorliegenden Rohstoff

In den Glasfläschchen befindet sich Blattgold. Gold liegt hier als Legierung mit anderen Metallen (meist Silber, Kupfer und Platin) vor und wird in sehr dünne Folien gepresst.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung
Gold ist eines der am wenigsten reaktiven festen chemischen Elemente, daher kommt es meist gediegenen vor, d.h. es liegt elementar vor und nicht als Verbindung. Bei Goldvorkommen wird zwischen primären Vorkommen (sog. Berggold) und sekundären Vorkommen (sog. Seifengold) unterschieden. Primär tritt Gold vor allem in hydrothermalen Gängen oder vergesellschaftet mit weiteren Mineralen wie z.B. Sulfiden oder Quarzen auf. Sekundäre Goldlagerstätten entstehen als Produkt der Verwitterung goldhaltiger Gesteine, diese Reste sammeln sich z.B. in Flusssanden an.

Die Goldgewinnung ist oft sehr umweltschädlich: die Quecksilber-Methode (kleinräumiger Abbau: aus Gold und Quecksilber bildet sich das dichte Amalgam, welches sich am Grund ablagert) oder die Cyanid-Laugung (bei großtechnischen Anlagen rentabel: das Gestein wird gemahlen, mit Natriumcyanid versetzt, das Gold findet sich im toxischen Sickerwasser) hinterlassen giftigen Abraum, bei Unfällen können die hochtoxischen Stoffe in die Umwelt gelangen. Oft fällt Gold auch bei der Raffination (Elektrolyse) anderer Metalle als „Nebenprodukt" an, wodurch solche Lagerstätten teilweise erst wirtschaftlich werden können.

Besonderheit und Anwendung im Handy.
Gold ist enorm dehnbar, aus einem Gramm Gold lässt sich ein drei Kilometer langer Draht ziehen (sog. Bond-Verbindungen), die auf der Leiterplatine die technischen Bauteile verbinden. Gold lässt sich mit anderen Metallen legieren, mit Quecksilber erhält man Amalgam. Neben Silber und Kupfer gehört

Gold zu den drei besten Leitern von Wärme und elektrischem Strom. Gold ist wie Silber zur Herstellung korrosionsbeständiger Kontaktoberflächen wichtig.

In 41 Handys steckt etwa ein Gramm Gold. Zum Vergleich: Um ein Gramm Gold zu erhalten benötigt man etwa 200 kg bis zu einer Tonne erträgliches Golderz - nur dass dieses erst abgebaut, abtransportiert und das Gold aus dem Gestein herausgelöst werden muss (Cyanid-Laugung, mit Quecksilber etc.)! Eine „Tonne Mobiltelefone" enthält rund 250 g Gold, eine Tonne erträgliches Golderz rund 5 g Gold, d.h. in den Handys steckt **fast 50 mal** so viel Gold wie in einem Golderz!

Tantal (Rohstoff Nr. 10)

Erz „Coltan"(Columbit-Tantalit), chem. Formel $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$

Kurzfakten Tantal:

- Besonderheit: ermöglicht Verkleinerung der Geräte da leistungsstark, lange Lebensdauer, geringer Stromverbrauch und resistent gegen Temperaturschwankungen
- Verwendung im Handy: als leistungsstarke Kondensatoren
- Vorkommen: selten

Informationen zum vorliegenden Rohstoff:
Der Name des Erzes „Coltan" leitet sich von der Mineralgruppe **Col**umbit-**Tan**talit ab: Die beiden Elemente Niob (früher Columbium genannt) und Tantal treten aufgrund ihrer chemischen Ähnlichkeit gemeinsam auf und bilden eine sog. Mischkristallreihe mit zwei Oxid-Mineralen als Endgliedern: dem stärker Niob-haltigen Columbit (heute Niobit genannt) und dem Tantal-haltigen Tantalit. Im 19. Jh. wurden Tantal und Niob noch für ein Element gehalten. Die Handelsbezeichnung ist Coltan.

Vorkommen, Gewinnung und Herstellung:
Tantalerze finden sich häufig in Pegmatitgängen (magmat. Ganggesteine). Die technische Gewinnung von Tantal aus dem Erz erfolgt meist durch Extraktion oder fraktionierte Destillation (siehe z.B. Holleman-Wiberg). Auch Schlacken aus der Zinnverhüttung sind eine Quelle für Tantal, da sie wenige Prozent Tantal enthalten können.

Besonderheit und Anwendung im Handy:
Tantal findet sich im Periodensystem in derselben Gruppe wie Vanadium und Niob und gehört somit nicht zu den seltenen Erden wie oft fälschlich erwähnt! Tantal wird aufgrund seiner feinen Mikrostruktur zur Herstellung von hochreinen Drähten in Kondensatoren eingesetzt. Die technischen Anforderungen wie hohe Kapazität und niedriger Widerstand können nur von diesen Drähten gewährleistet werden. Beim Tantal-Elektrolytkondensator besteht die Anoden-Elektrode aus Tantal bzw. die Oberfläche der Tantal-Anode aus Tantalpentoxid, welches sich durch eine hohe Spannungsfestigkeit auszeichnet und das Dielektrikum des Kondensators bildet (aus Lohninger, 2004). Mehr zu Kondensatoren siehe http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Kondensator-capacitor.html

Tantal-Kondensatoren haben eine lange Lebensdauer, geringe Spannungsverluste, sind beständig gegen starke Temperaturschwankungen und es gibt derzeit keinen Ersatzstoff. Vergleichbar leistungsstarke Kondensatoren mit Aluminium, Keramik und Niob sind noch in der Entwicklung und bisher noch nicht in der Effektivität vergleichbar (USGS).
Tantal macht nur einen kleinen Teil im Handy aus. Die Gewichtsangaben über Tantal sind sehr unterschiedlich, meist werden sie mit unter 0,04 % Gewicht angegeben, UNEP 2008 gibt zwischen 0,1 und 1 % an.

Es zählt somit zu den auch als Gewürzmetallen (z.B. Reller 2009) bezeichneten Materialien, und ist enorm wichtig für schnelle, kleine, leichte Handys. Insgesamt werden etwa 60 % des weltweit verarbeiteten Tantals in der Elektronikindustrie verwendet, mit mehr als der Hälfte davon für Mobiltelefone (Quelle: Australian Government).

Siehe Exkurs Fingerprint-Methode im Appendix für Informationen über „Coltan" aus dem Kongo.

2.6. Andere wichtige Rohstoffe im Handy

Da sich im Handy viele Edelmetalle finden sei hier der Anteil von Silber (Ag), Gold (Au), Palladium (Pd) und zum Vergleich Kupfer (Cu) und Kobalt Co) genauer betrachtet. Kobalt ist in Form von Lithium-Cobalt-Oxid ($LiCoO_2$) wesentlicher Bestandteil klassischer Li-Ion-Akkus.

In einem Handy befinden sich durchschnittlich ca.

- 9 g Kupfer
- 0,25 g Silber
- 0,025 g Gold
- 0,009 g Palladium
- Akku: 3,8 g Kobalt

d.h. pro „Tonne" Mobiltelefon finden sich ca. 90 kg Kupfer, 2,5 kg Silber, 250 g Gold und 90 g Palladium!
Oder auch anders gerechnet: In einer Millionen Handys stecken rund 9 Tonnen Kupfer, 250 kg Silber, 25kg Gold und 9kg Palladium!

(zusammengefasst aus Hagelüken 2010; Nokia 2005)

Zum Vergleich: In einem Laptop befinden sich ca. 1 g Silber, 220 mg Gold, 80 mg Pd, 500 g Kupfer, der Akku beherbergt ca. 65 g Kobalt

Der Anteil dieser Metalle in Handys und Laptops ist im Vergleich zur Jahresproduktion in folgender Tabelle dargestellt:

Metall	**a) Mobiltelefone** 2008: 1,3 Milliarden Stück verkauft	**b) PC und Laptops** 2008: 300 Mio. Stück verkauft	Minen Produktion weltweit	Anteil von **a+b** an Jahres-produktion
Kupfer	x 9 g = 12.000 t	x 500 g =150.000 t	16 Mio t/a	> 1 %
Silber	x 0,250 g =325 t	x 1 g = 300 t	21.000 t/a	3 %
Gold	x 0,025 g =33 t	x 0,2 g = 60t	2.400 t/a	4 %
Palladium	x 0,009 g = 12 t	x 0,08 g = 24 t	220 t/a	16 %
	1.300 Mio. Akkus	**ca. 140 Mio. laptop-Akkus**		
Kobalt	x 3.8 g = 4.900 t	x 65g = 9.100 t	60.000 t/a	23 %

Tabelle: Anteil metallischer Rohstoffe in weltweit verkauften Endgeräten 2008. Quelle: Hagelüken 2010, leicht verändert und angepasst

Platin

Pro Handy finden sich ca. 0.00034 g Platin (Reller 2009 und Encyclopedia of earth). Im Vergleich zu Gold kann aus 30 g Platin ein 3,2 km langer Draht hergestellt werden (Gold 1 g - 3 km). Platin ist wichtig für hochbelastete und korrosionsbeständige Kontakte auf den Leiterplatinen. Auch hier besteht eine hohe Nachfrage aus der Automobilindustrie für die Katalysatorherstellung. Weitere große Verbraucher sind die Schmuckindustrie und die Hersteller medizintechnischer Produkte.

Silber

Kein anderes Metall reflektiert das Licht besser, kein anderes Metall leitet Strom effektiver als Silber. Es findet sich z.B. in der Tastaturmatte in leitfähigen Klebern und auf der Leiterplatine in Kontaktbahnen. Des weiteren kann es als als Substitut für bleihaltige Löte und als Substitut für Palladium in MLCC (Vielschichtkeramik-Kondensatoren) verwendet werden. In einem Handy finden sich ca. 0,25g. Silber. Es ist unter den 8 Edelmetallen (6 Platinmetalle, Silber, Gold) das häufigste.

Palladium

Palladium wird für die Kontakte in den MLCC verwendet und kann als Palladium-Nickel-Legierung das teure Gold ersetzen. Palladium weist gute elektrische und mechanische Eigenschaften auf, ist korrosions- und oxidationsbeständig.

Palladium macht ca. 0,009–0,015 Gewichtsprozent des Handys aus (Hagelüken 2010; Reller, 2009), wobei das Vorkommen in Handys bereits über 15% der weltweiten Palladium-Produktion deckt. Die Nachfrage aus der Automobilindustrie (in Katalysatoren) sorgt allerdings für eine starke Nachfrage.

Indium

Indium ist ein relativ seltenes Element und steht in der Häufigkeit direkt hinter Silber, aber noch vor Platin und Gold. Indium gehört nicht zu den Seltenen Erden! In der Natur kommt es nicht elementar vor. Die Gewinnung des Elements erfolgt ausschließlich aus Rückständen bei der Aufbereitung von Zink-, Blei- oder Kupfererzen. Spuren von Indium können sich in Metallsulfiden finden (z.B. in Chalcopyrit), der Hauptteil der Indium-Produktion wird aus Sphalerit (Zinksulfid-Erz) gewonnen.
Indium macht etwa 0,002 Gewichtsprozent des Handys aus. Es findet sich vor allem im Glas der LCD-Displays als bisher unverzichtbares Indiumzinnoxid (ITO, IndiumTinnOxide): dieses ist transparent, besitzt fast metallische Leitfähigkeit und ermöglicht bei Displays somit eine dünne, leitfähige Beschichtung. Diese geringe Menge des Indiums im Handy kann bisher noch nicht oder kaum recycelt werden. Da es (noch) nicht herausgefiltert wird landet Indium in der Biosphäre und wird somit weiter verdünnt, so dass es nicht mehr wieder herausgefiltert werden kann. Ähnliches passiert auch teilweise mit Palladium (nach Reller 2009). Dies bedeutet eine unwiderrufliche Verschwendung dieser extrem seltenen Metalle, daher gibt es hier das Bestreben, diese Stoffe wiederzugewinnen.
Alternativen zum Indium befinden sich noch in der Testphase, z.B. Antimonoxid-Beschichtungen und Poly(3,4-ethylene dioxythiophene) (PEDOT). (USGS)

Gallium

Gallium fällt als Nebenprodukt bei der Aluminium- und Zinkherstellung an. Die Reserven sind eigentlich nicht knapp, da die Gewinnung aber von konjunkturellen Schwankungen der Hauptabbaumetalle (Al, Zn) abhängt, steht es auf der Liste der kritischen Rohstoffe der EU (siehe Literatur unter „Defining Critical Raw Materials for the EU"). Es wird als Galliumarsenid zur Umwandlung elektrischer in optische Signale eingesetzt.

Seltene Erden

Die Seltenerdmetalle (kurz Seltene Erden oder abgekürzt auch SEE) sind eine Gruppe von 17 Elementen bestehend aus Scandium, Yttrium, Lanthan und den Lanthanoiden (früher Lanthanide). Zu den Lanthanoiden gehören Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Das häufigste Element der Seltenen Erden ist Cer; Lanthan und Neodym sind die bekanntesten (Tantal und Indium gehören wie oft fälschlich erwähnt nicht zu den seltenen Erden!).
Die Bezeichnung rührt von ihrer Entdeckung, sie wurden in eher seltenen Mineralien gefunden, in denen sie in Form von Oxiden (frühere Bezeichnung „Erden") vorlagen. Entgegen ihrem Namen sind sie allerdings gar nicht so selten, Cer z.B. ist weit häufiger als Blei oder Arsen, und das nach Promethium zweitseltenste Europium ist immer noch fast so häufig wie Silber und damit häufiger als Gold oder Platin. Nur Promethium ist wirklich selten.
Das Vorkommen in eher seltenen Mineralien erklärt sich so: Ihre verhältnismäßig großen Ionenradien verhinderten bei der magmatischen Erstarrung der Gesteinsschmelze einen Einbau in die Kristallstrukturen der gewöhnlichen gesteinsbildenden Mineralien, so dass sie sich eher in den Restschmelzen anreicherten. Die Seltenerdmetalle haben wegen ihrer nahen kristallchemischen Verwandtschaft eine sog. isomorphe Austauschbarkeit und treten nicht rein, sondern immer gemeinsam mit anderen Seltenerdmetallen auf. Aus diesem Grund wird bei den Mineralien oft nur eine vereinfachte chemische Formel angegeben. Das wichtigste Seltenerd-Erz ist der **Monazit** [(La,Th,Ln) ($(P,Si)O_4$)] – hier steht das Symbol Ln nicht für das einzelne Element Lanthan (La), sondern für die Summe aller Lanthanoide. Monazit findet sich z.B. in Granitgängen und ist meist erst als sekundäre Ablagerung abbauwürdig, als Monazitsand (Seifen-Lagerstätte) durch Anreicherung der schweren Minerale nach Verwitterung des Muttergesteins. Größere Lagerstätten von Seltenen Erden und geeigneten Mineralien sind selten. Die Elemente kommen meist in eher weit verstreut lagernden Mineralien sowie als Beimischungen in anderen Mineralien vor. Ein Großteil der industriellen Gewinnung geschieht daher als Nebenprodukt bei der chemischen Aufbereitung anderer Metalle.

Seit 2001 beträgt der Anteil der VR China über 90 % der weltweiten Förderung der SEE, im Jahr 2007 stammten über 95 % der Bergwerksförderungen aus der VR China, der Rest aus Indien, Brasilien, Malaysia und Russland. Von den weltweiten Seltenerdlagerstätten befinden sich zwar nur rund 35 % in China, aber die aufwändige Herstellung wird größtenteils dort vollzogen. Die Preise werden zwischen dem jeweiligen Anbieter und dem Nachfrager ausgehandelt, Börsenhandel findet nicht statt (BGR).

Da die Elemente für viele technische Anwendungen unverzichtbar sind, ist diese Monopolstellung rohstoffpolitisch ungünstig und kann zu Lieferschwierigkeiten bestimmter Geräte führen, falls z.B. der Export der Elemente gedrosselt wird. Andere Länder versuchen daher, die Produktion der landeseigenen SEE wieder aufzunehmen.

Verwendung:
Seltene Erden finden sich z.B. als leistungsstarke Permanentmagneten in Kopfhörern und Sensoren. Die SEE sind im allgemeinen paramagnetisch, Gadolinium ist unterhalb von 16°C ferromagnetisch. Auch Dysprosium, Holmium, Erbium werden beim Abkühlen mit flüssigem Stickstoff ferromagnetisch, ebenso Neodym. Yttrium kann in Speicherchips Verwendung finden.
Elektro- und Hybridautos verwenden größtenteils Nickel-Metall-Hydrid (NiMH) Batterien, deren negative Elektrode Cer oder Lanthan verwenden. Lithium-Ionen Batterien, die keine Seltenenerdoxide benötigen, sollen diese in der Zukunft ersetzen.
Auch in LCDs werden tw. Seltene Erden verwendet. Lanthan findet sich z.B. in keramischen Kondensatoren (BGR Liedtke Nr. 31).
In Bezug auf Recycling der Selten Erden scheint die Wiedergewinnung von Neodym aus Permanentmagneten die am weitesten verbreitete zu sein.

Lanthan
Lanthan kann als Allrounder der Seltenen Erden bezeichnet werden. Es kommt recht häufig vor und wird deshalb überall dort eingesetzt, wo es nicht darauf ankommt, welches der Lanthanoide man verwendet. Da die Trennung der Seltenen Erden immer noch recht aufwendig ist und ihre Eigenschaften oft austauschbar sind, kann man sich so häufig einen Großteil der Kosten ersparen.
Lanthan kommt etwa dreimal so häufig vor wie das viel bekanntere Blei.

Neodym
Permanent-Magneten aus Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) sind ein weiterer Grund, die die Miniaturisierung von Technologien ermöglichen. Mobiltelefone beinhalten Neodym sowohl in starken Magneten als auch in Kondensatoren, die die Elektronik der Handys verstärken. Diese maximieren die Power/Kosten-Rate.
Neodym kann z.B. durch Ionen-Austausch von anderen Seltenerd-Salzen getrennt werden
(aus Los Alamos National Library http://periodic.lanl.gov/60.shtml).

2.7. Allgemeines über Rohstoffe Österreichs, Ihren Abbau und den Jahresverbrauch

Größtenteils übernommen und zusammengefasst vom BMWFJ
http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/MineralischeRohstoffe/Seiten/default.aspx

Österreich kann – wie auch alle anderen Staaten der EU – seinen Bedarf an mineralischen Rohstoffen nur zum Teil aus eigenen Lagerstätten decken. Die für die Wirtschaft unverzichtbaren mineralischen Rohstoffe müssen daher auch importiert werden. Bei einigen Rohstoffen wie Wolfram, Magnesit und Talk zählt Österreich aber zu den weltweit führenden Produzentenländern.
Österreich ist trotz Alpen, Flachland und Bergbautradition nicht unbedingt ein „Rohstoffland" (Zitat Forum Rohstoffe).

Ein großer Teil der maßgeblichen Wertschöpfung erfolgt nicht in den Regionen, in denen die Förderung und der eigentliche Verbrauch der mineralischen Rohstoffe stattfinden.

Energierohstoffe: Österreich kann seinen Bedarf an Erdöl zu 8 %, an Erdgas zu 18 % aus eigenen Lagerstätten aufbringen, durch moderne Explorationstechniken ist auch in Zukunft mit der Auffindung neuer Lagerstätten zu rechnen. Das Wiener Becken (z.B. Matzen-Feld) in NÖ beherbergt das größte zusammenhängende Erdölvorkommen Mitteleuropas, dicht dabei liegt Ebenthal mit Erdgasvorkommen. Weitere genutzte Vorkommen liegen in OÖ im südlichen Bereich des Alpenvorlandes (ca. südlich der Linie Braunau am Inn – Kronstorf nördlich von Steyr) und im Salzburger Flachgau.

Die Braunkohlenlagerstätten im weststeirischen Braunkohlenrevier, im Mur- und Mürztal, im Salzachkohlenrevier und im Hausruck sind weitgehend erschöpft, somit ist der Bergbau auf Braunkohle nur mehr Geschichte. Eine wirtschaftliche Gewinnung der Steinkohlenvorkommen Österreichs ist aufgrund der geringen und kompliziert gelagerten Vorkommen nicht möglich.

Industrieminerale sind mineralische Rohstoffe, aus denen keine Metalle gewonnen werden und die auf Grund ihrer physikalischen oder chemischen Eigenschaften direkt in Produktionsprozessen eingesetzt werden können (Kalke, Sande, Kies, Salze etc.). Zu den wichtigsten in Österreich produzierten Industriemineralen zählen Eisenglimmer (Waldenstein; Herstellung von Rostschutzfarben), Kalkstein (weit verbreitet; Zementindustrie, Stahlherstellung, Füllstoff in Papier-, Kunststoff- und Farbenindustrie), Magnesit (Ö eines der Hauptproduzentenländer; Feuerfestprodukte), Dolomit (Feuerfestbereich, Verputzmittel etc.), Salz (Hallstatt; Speise- und Industriesalze), Gips und Anhydrit (Gipskartonplatten, Wärmedämmung etc.), Talk und Leukophyllit (Rabenwald, Kleinfeistritz in Kärnten und Aspangberg NÖ; Füllstoff in Papier-, Kunststoff- und Farbenindustrie, Keramikzusatz), Kaolin(Schwertberg, OÖ; Füllstoff in Papier-, Kunststoff- und Farbenindustrie, in kosmetischen und pharmazeutischen Produkten), Quarzsand (Linzer und Melker Sande; Glasindustrie, Gießereiwesen, chemische Industrie, Feuerfestindustrie, Füllstoffe, Keramik-, Email-Industrie), Ölschiefer (am Achensee in Tirol; Schwelöl für kosmetische und pharmazeutische Produkte), Grafit (Kaisersberg, Stmk; Hochfeuerfestprodukten (z.B. Schmelztiegel), Spezialelektroden).

Baurohstoffe: Ein Großteil der Baurohstoffe wird für den Straßenbau sowie für die Errichtung von Gebäuden verwendet. Der Bedarf an Baurohstoffen ist sehr groß. Der durchschnittliche pro Kopf Verbrauch an Baurohstoffen liegt derzeit in Österreich bei rund 12–15 Tonnen pro Jahr. Baurohstoffe sind auf Grund der Preisrelationen zu den Transportkosten nur räumlich eingeschränkt handelsfähig (ab Distanzen über 30 km sind die Transportkosten höher als die Gestehungskosten des Rohstoffs). Der überwiegende Teil der in Österreich benötigten Baurohstoffe wird im Inland aus über 1000 Betriebsstätten aufgebracht.

Erze:
Erze sind mineralische Rohstoffe, aus denen mit wirtschaftlichem Nutzen ein Metall extrahiert werden kann. Die Erze können grob in Eisen und Stahlveredler, Nichteisenmetalle und Edelmetalle unterteilt werden.
Die gesamte Inlandsproduktion (in Österreich werden nur Eisen- und Wolframerze gefördert) beträgt jährlich ca. 2,5 Mio. Tonnen.
Eisen ist das weltweit meistgebrauchte Metall und wird überwiegend zur Herstellung von Stahl eingesetzt. Erze des Eisens werden am Steirischen Erzberg gewonnen, diese decken mit ca. 2 Mio. t pro Jahr rund 25 % des heimischen Bedarfes. Zur Herstellung von Spezialstählen wird Eisen mit Stahlveredlern (Mangan, Chrom, Nickel, Molybdän, Kobalt, Titan, Vanadium, Wolfram) legiert. Die in Österreich abgebauten Wolframerze werden zu hochwertigen Grundstoffen (z.B. Wolframkarbide) weiterverarbeitet. Mit einer Roherzproduktion von ca. 430.000 t im Jahr zählt der Wolframerzbergbau Mittersill zu den größten der westlichen Welt.

Im Mittelalter standen viele Gold- und Silberbergbaue in Betrieb (Tauerngoldbergbaue; Silberbergbau Schwaz), diese sind derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar. Zurzeit laufen Untersuchungsarbeiten zur Lokalisierung von noch unbekannten Lagerstättenteilen. Platinerzlagerstätten wirtschaftlichen Ausmaßes sind aus geologischen Gründen nicht zu erwarten.

Nichteisen- sowie Leicht- und Sondermetalle sind unverzichtbare Grundstoffe für die Wirtschaft und können nur zu einem geringen Teil substituiert werden. Österreich verfügt derzeit über keine wirtschaftlich nutzbaren Lagerstätten. Aus Rentabilitätsgründen mussten in den vergangenen Jahren der Blei-Zinkerzbergbau Bleiberg-Kreuth und der Kupfererzbergbau Mühlbach am Hochkönig geschlossen werden. Die Antimonerzlagerstätte Schlaining gilt als erschöpft. Quecksilberlagerstätten haben nie eine wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Zinnerze sind aus geologischen Gründen nicht zu erwarten. Auf der Koralpe wurde zwar ein Lithiumvorkommen entdeckt, welches derzeit aber nicht genutzt wird. Derartige Metalle werden jedoch aus Alt- und Abfallstoffen rückgewonnen. So wird rund die Hälfte des österreichischen Bleibedarfes durch Inlandsrecycling gedeckt. Die restlichen Nichteisenmetallerze müssen importiert werden. In der Kupferhütte Brixlegg werden aus Schrott neben Kupfer auch Edelmetalle recycliert.

Eine kurze Übersicht über einige Rohstoffe in Österreich findet sich auf:
http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/MineralischeRohstoffe/industrieminerale/Seiten/default.aspx

Die stets aktuellen Produktionsdaten (Österreich und global) können aus der internationalen Rohstoffstatistik World Mining Data und dem Montanhandbuch entnommen werden:

World Mining Data:
http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/WMD2011%20mit%20Grafiken.pdf
Montanhandbuch: http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/MHB%202011.pdf

Daten und Fakten zu Rohstoffen in Österreich

(Quelle: Forum Rohstoffe)

- Pro Jahr benötigt jeder Österreicher im Durchschnitt 12–15 Tonnen an mineralischen Rohstoffen, dies entspricht einer LKW-Ladung oder der Masse von 2 Elefanten.
- Für alle Österreicher (~8 Mio Einwohner) ergibt dies eine LKW-Kette, die 2mal um die Erde reicht!
- Zum Vergleich: Für 1 km Autobahn benötigt man 160.000 Tonnen Rohstoffe, das sind rund 13.000 LKW-Ladungen (oder die Masse von 26.000 Elefanten)!
- Es gibt über 1.200 Rohstoffgewinnungsstätten österreichweit, davon sind (aktiv) 950 Sand-/Kiesgruben und 250 Steinbrüche. Daran hängen direkt insgesamt 15.000 Arbeitsplätze, indirekt zusammen mit der Bauwirtschaft sind es 250.000 Arbeitsplätze.

427 t Sand/Kies
166 t Erdöl
146 t Hartsteine
99 t Kalkstein
83 t Braunkohle
39 t Eisen
29 t Ton
23 t Quarzsande
13 t Steinsalz
6 t Gips
3,5 t Dolomit
3,4 t Phosphat
1,9 t Schwefel
1,8 t Natursteine
1,6 t Kalisalz
1,4 t Aluminium
1,2 t Kaolin
1 t Stahlveredler
1 t Kupfer

Tabelle: durchschnittliche Mengenangaben für den Verbrauch eines Menschen in Österreich in 70 Lebensjahren

Gesamte Produktionsmenge pro Jahr in Österreich:
rund 100 Mio. Tonnen Sand, Kies, Naturstein, Industrieminerale ...

Verwendung der österreichischen Rohstoffe

- Der Großteil der mineralischen Rohstoffe wird in der Bauwirtschaft eingesetzt:
- rund 66 Mio. Tonnen: Infrastrukturbauten (Erhaltung und Neubau von Straßen, für Hoch- und Tiefbauten)
- rund 34 Mio. Tonnen: Produktion von Bauprodukten wie Zement, Putz/Mörtel, Splitte sowie Gesteinskörnungen für den Straßen- und Bahnbau

Interessante Kurzfakten:

- In Ö liegt die größte Wolframerzlagerstätte der westlichen Welt (Wolframerz Scheelit, $CaWO_4$, Hohe Tauern, Felbertal)
- In Ö wird einer der größten untertägigen Magnesitbergbaue betrieben (Breitenau / Stmk)
- Im Wiener Becken wurde mit ca. 8552m die tiefste Bohrung auf Kohlenwasserstoffe Europas aufgestellt
- In Matzen (NÖ) befindet sich das größte mitteleuropäische Ölfeld
- Über 50 % des Bleibedarfs wird aus Alt- und Abfallstoffen rückgewonnen
- Jährlich werden 230.000 t an Glas gesammelt und verwertet und dadurch 228.000t mineralische Rohstoffe eingespart

2.8. Rohstoffknappheit

Die Reichweite mineralischer Rohstoffvorräte

Angaben über die Rohstoffreserven werden seit Jahren diskutiert und fallen oft sehr unterschiedlich aus. Eine Verknappung von entsprechenden Rohstoffen ist z.B. aufgrund neuer Explorationsmethoden schwer vorauszusagen, aber von unerschöpflichen Rohstoffen auszugehen ist ebenso illusorisch.
Viele Faktoren, welche die „Lebensdauer" eines Rohstoffs bestimmen, wirken zusammen für eine Prognose der verbleibenden Rohstoffvorräte, dazu gehören u.a. Weltmarktpreise, Recyclingraten, Stabilität der Förderländer, verändertes Verbraucherverhalten, neue technische Gewinnungsverfahren und die Erschließbarkeit oder die Einführung von Ersatzstoffen.
Viele Wissenschaftler bringen an, dass in der Erdkruste theoretisch genügend Rohstoffe vorhanden wären, deren Erschließbarkeit nicht immer (wirtschaftlich oder technisch) möglich ist. Die Frage ist, welche ökologischen Auswirkungen der Raubbau an unserer Erde hat, und welche Schäden oder Mängel unserer Nachwelt daraus entstehen. Daher ist verantwortungsvoller, nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen sehr wichtig. Die Erde stellt ein geschlossenes System dar und Rohstoffe erneuern sich nur in geologischen Zeiträumen, die mehrere Tausend und Millionen von Jahre umfassen.

Eine nützliche Abbildung zu statischer und dynamischer Lebensdauer von Rohstoffen finden Sie z.B. unter ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/SystemErde/11_Begleittext_oL.pdf ab S. 11

Element	Durchschnittliche Häufigkeit in der Erdkruste in % („Clark Wert")	Mindestgehalt, um abbauwürdig zu sein in %	Anreicherungsfaktor
Al	7,5	30	3,8
Fe	5	30	6-12
Cu	0,01	0,5	500
Ni	0,01	0,5	500
Zn	0,01	4	400
Pb	0,002	4	2000
Mn	0,01	35	3500
Sn	0,004	0,5	ca. 100
Cr	0,02	30	150
Au	0,000002	0,004	2000

Quelle: Information Univ.-Prof. Dr. Leopold Weber, BMWFJ, Leiter der Abt. IV/7 Rohstoffpolitik

Die Mindestgehalte/Anreicherungsfaktoren sind allerdings nur als grobe Richtwerte zu verstehen. Die Gewinnungskosten einer Lagerstätte hängen von zahlreichen Faktoren ab („Bonitätsfaktoren"). Bei steigenden Rohstoffpreisen können auch Lagerstätten mit geringeren Wertstoffgehalten interessant werden. Dem sind aber wieder höhere Gewinnungskosten (mehr Materialdurchsatz) und die Energiekosten entgegenzuhalten. Z.B. versuchen die USA, ihre SEE-Lagerstätten zu reaktivieren um die Abhängigkeit von China zu reduzieren, siehe Seltene Erden.

Von der EU gibt es eine Liste der kritischen Rohstoffe (strategisch bzw. konjunkturell wichtige Rohstoffe, bei denen es Engpässe in der Lieferung geben kann). Diese Liste fällt von Jahr zu Jahr und Land zu Land anders aus. Von den Elementen, die im Handy stecken, gehören derzeit zur Liste der 14 kritischen Rohstoffe der EU-Liste: Beryllium, Cobalt, Gallium, Indium, Magnesium, Niob, Seltene Erden, Antimon, Tantal und Wolfram. Mehr dazu siehe „Defining Critical Raw Materials for the EU" auf http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm

Nachhaltigkeit:

Der Begriff der Nachhaltigkeit wird in den letzten Jahren überall und sehr häufig verwendet. Die Bedeutung wird dabei auch mehrdeutig verwendet, alle Ideen gemein ist immer der Grundgedanke, dass es darum geht, etwas für die Zukunft zu bewahren. Eine schöne Zusammenfassung liefert folgendes:

Die Idee der Nachhaltigkeit zielt darauf ab, langfristig und zukunftsfähig zu wirtschaften, damit wir unseren Kindern und Enkelkindern ein intaktes ökologisches, soziales und ökonomisches Gefüge hinterlassen (nach Rat für Nachhaltige Entwicklung).

2.9. Recycling von Mobiltelefonen

Das Umweltbundesamt definiert **Recycling** als „die stoffliche Verwertung von bereits genutzten Rohstoffen, Materialien oder Produkten. Neben der reinen stofflichen Verwertung sind auch Mischformen aus stofflicher und energetischer Verwertung möglich. ..." (http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/abfall/behandlung/recycling/)
Die durchschnittliche Verweildauer eines Handys bei seinem Besitzer beträgt zwischen 18 und 24 Monaten, obwohl die Geräte weitaus länger gebrauchstüchtig sind. Wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, steckt einiges an Rohstoffen, an „grauer" Energie (s. unten, Kap. 2.9.1) und toxischen Stoffen in einem Handy. Das Recycling von Mobiltelefonen ist vielschichtig und wird daher von zwei verschiedenen Seiten betrachtet:

1) **Schadstoffentlastung/ Klima- und Umweltschutz**: Einerseits befinden sich in Handys gefährliche Stoffe, die nicht in den Hausmüll gehören, sondern als Sondermüll entsorgt werden müssen. Umweltschutz findet auch durch Einsparung an Neuproduktion (Chemikalien bei Abbau, CO_2-Ausstoss durch Produktion und Transport, etc.) statt.

2) **Ressourcenerhaltung/ Abfallminderung**: Andererseits enthalten Handys wichtige Rohstoffe, die nicht nur teuer, aufwändig oder u.a. umweltschädigend zu produzieren sind, sondern auch meist selten und stets nur endlich vorkommen und daher durch Recycling wiedergewonnen werden sollten (Rückführen der Rohstoffe in den Stoffkreislauf, Konzept des „Urban Mining"). Diese **Rohstoffsicherung** führt gleichzeitig zu einer Schonung der natürlichen Lagerstätten. Weiterhin findet eine Abfallminderung durch Wiederverwertung der Materialien statt.

Auch der **Technische Fortschritt** profitiert durch z.B. neue Recyclingmethoden, da die Technik vorangetrieben wird. Mehr dazu siehe http://www.iwkoeln.de/de/infodienste/iwd/archiv/beitrag/27827

Urban Mining:
Das Konzept des Urban Mining versucht, verteilte Rohstoffe, insbesondere Metalle, wieder nutzbar zu machen. Viele Metalle stecken u.a. in Gebäuden und der Infrastruktur: Gleise, Rohre, etc.; dies sind gewissermaßen „Sekundärminen", aus denen die Rohstoffe wiedergewonnen werden können.

Fakten:

- Nach einer Schätzung der Europäischen Kommission bildet elektrischer und elektronischer Müll (sog. E-Müll) für jeden Bürger der Europäischen Union pro Jahr durchschnittlich 17-20kg (UNEP)
- An rund 2000 kommunalen Sammelstellen verzeichnete Österreich im Jahr 2010 aus privaten Haushalten fast 73 Millionen Kilogramm Elektroaltgeräte – das entspricht einer Menge von rund 9 kg pro Einwohner (Werte aus Kommunalnet)
- In den in Österreich gesammelten Elektroaltgeräten sind unter anderem 22.570 Tonnen Eisen enthalten, daraus könnte man beinahe 1,9 Millionen Fahrräder herstellen, mehr als Wien Einwohner hat (Werte aus Kommunalnet)
- Das größte Problem des Handy-Recyclings liegt darin, dass nicht genug Altgeräte an die Sammelstellen zurückgegeben werden, sondern in den Schubladen liegen: In Österreich liegen schätzungsweise 11 Millionen unbenutzte Handys in den Schubladen, in der Schweiz ca. 8 Millionen, in Deutschland bis zu 83 Millionen!
- Laut einer Umfrage von Nokia liegen 44 Prozent der alten Handys in Schubladen herum, 25 Prozent werden an Familie und Freunde weitergegeben, ungefähr 16 Prozent privat verkauft (Nokia 2005)
- In Österreich werden rund 4% der Handys in den Restmüll geworfen und nur 3 % dem Recycling zugeführt (Jane Gooddall Institut).
- Die weltweite Rücklaufquote von Handys fürs Recycling beträgt nur 3 % (UNEP 2008).
- Laut dem Institut der Deutschen Wirtschaft werden durch das Recycling von (allen) Abfällen derzeit rund 20 Prozent der Kosten für Metallrohstoffe eingespart.

Bevor die sachgerechte Entsorgung von Handys im folgenden Kapitel besprochen wird, sollen hier zunächst einige Informationen zur Produktion von Mobiltelefonen zusammengefasst werden, die für die Umweltbilanz von Handys ebenfalls von großer Bedeutung sind.

2.9.1. Ökobilanz von Handys, „graue Energie"

Der Weg zu einem funktionsfähigen Handy ist lang und mit großem Energieaufwand verbunden. Diese sog. Wertschöpfungskette (die einzelnen Stufen der Produktion: Herstellung, Transport und Entsorgung eines Produktes) geht über viele Einzelschritte. Ein Werkzeug zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umwelteinwirkungen ist z.B. die **Ökobilanz**:
„Eine Ökobilanz analysiert möglichst umfassend den gesamten Produktlebensweg und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen und bewertet die während des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen." (aus http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekobilanz.htm, siehe dort für umfassendere Beschreibung)

Die Ökobilanz berücksichtigt den ganzen Lebenszyklus eines Produkts „von der Wiege bis zur Bahre" (from cradle to grave). Sie heißt deshalb auch Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA). Für eine übersichtliche Abbildung hierzu siehe Seite 9 einer Lehrerbroschüre der ETH Zürich: http://www.educ.ethz.ch/unt/um/uwis/oek/oekobilanzen/1_Lektion_Oekobilanz_mit_deckblatt.pdf

Nach Swico ergibt sich die **Ökobilanz eines Handys** aus folgenden Schritten:

- Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe
- deren Transport zum Produktionsstandort
- Herstellung der Einzelteile
- Montage der Bauteile
- Herstellung, Transport der Verpackung und der Weg des verpackten Gerätes zu den Verkaufsmärkten
- Stromverbrauch während der Gebrauchsdauer
- Demontage und Entsorgung (Recycling)

Um Vergleichswerte für Ökobilanzen von Stoffen zu schaffen gibt es verschiedene Hilfsmittel: z.B. den ökolog. Fußabdruck http://www.mein-fussabdruck.at/; für das Handy eignet sich auch der Begriff „**graue Energie**": Für Herstellung, Transport und Entsorgung eines Produktes (oder auch einer Dienstleistung) wird Energie benötigt. Diese Energie wird verbraucht und belastet die Umwelt, ohne dass es sofort erkennbar ist. Als graue Energie bezeichnet man also die Energie, die zusammengerechnet die Ökobilanz ergibt, d.h. die Energie, die in Herstellung, Verkauf, Verwendung und Entsorgung des Handys steckt. In einem Handy stecken nach einer Berechnung von SWICO **ca. 42 kWh graue Energie**.

Die Ökobilanz eines Handys könnte u.a. deutlich verbessert werden

Auf der Seite des Verbrauchers:
- Nutzungsdauer verlängern (Durchschnittlich ist ein Handy nur ca. 18 Monate bis etwa 2 Jahre im Gebrauch)
- energiesparendes Umgehen, die Nutzung einschränken etc.
- Eine sachgerechte Entsorgung

Auf Seiten der Hersteller:
- helfen teilweise die Verkleinerung der Handys
- das Verzichten auf besonders umweltschädliche Stoffe
- die Verwendung recycelter und recycelbarer Materialien
- Anpassen des Designs für lange Haltbarkeit einerseits und einfacheres Demontieren für Recycling andererseits (siehe mehr dazu Kap. 2.9.4)

Der Trend zu immer kleineren Handys ist dabei zweischneidig: Einerseits hat dies einen geringeren Rohstoffverbrauch und damit im Endeffekt weniger Abfall zur Folge. Es führt andererseits zum Erkunden und dem Einsatz neuer Rohstoffe, die den hohen technischen Ansprüchen genügen müssen (Umweltbelastung, Ausbeutung)

Allerdings kann die Technik von Handys auch umweltschonend eingesetzt werden und somit den Ressourcenverbrauch wieder aufwiegen, z.B. indem IKT-Anwendungen Reisen vermeiden (z.B. durch Videokonferenzen) oder das Verbraucherverhalten beeinflussen (diverse Umwelt-Apps auf dem Handy).

Laut einer Studie könnte die Einsparungen der weltweiten CO_2 Gesamtemissionen mit Hilfe moderner IKT-Lösungen im Jahr 2020 bei ca. 15 Prozent liegen. Mehr zu Projekten dieses Themenbereichs auf: http://www.dialogprozess-konsum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=43&Itemid=76

2.9.2. Recycling Allgemein – gesetzliche Vorgaben

Das Recycling in den EU-Staaten ist gesetzlich geregelt und basiert auf dem **Basler Abkommen**. Das Basler Abkommen (Basler Übereinkommen, Basler Konvention) ist ein weltweites Umweltabkommen, dem mittlerweile etwa 170 Staaten angehören. Es ist 1992 in Kraft getreten und soll die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung kontrollieren.
Mit dieser Konvention wurden erstmals weltweit geltende Regelungen über Zulässigkeit, Genehmigung und Kontrolle von Exporten gefährlicher Abfälle getroffen. Grenzüberschreitende Abfallverbringungen benötigen die Genehmigung des Ausfuhrlandes, die Genehmigung sämtlicher Durchfuhrländer sowie die Genehmigung des Einfuhrlandes (BMU Deutschland). Insbesondere sollen hierdurch Staaten geschützt werden, die nicht über die notwendigen technischen Voraussetzungen für den Umgang mit gefährlichen Abfällen verfügen. Auf den verschiedenen Konferenzen der Vertragsparteien wurden Erweiterungen des Abkommens getroffen. Ein Überblick über diese Konferenzen findet sich z.B. auf http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/internationales/basler_uebereinkommen/doc/3577.php#2

Die Vorgaben der Basler Konvention sind u.a. durch zwei Richtlinien des Europäischen Parlaments in die Gesetzgebung eingeflossen, die für die Verwendung von Substanzen und das Recycling dieser besonders von Bedeutung sind: Die EG-Richtlinie **2002/95/EG** („RoHS") und die EG-Richtlinie **2002/96/EG** („WEEE-Direktive") http://ec.europa.eu/environment/waste/shipments/index.htm

RoHS
(engl.: Restriction of (the use of certain) Hazardous Substances; deutsch: „Beschränkung (der Verwendung bestimmter) gefährlicher Stoffe")
Dies ist die verwendete Abkürzung für die nationale Umsetzung der EG-Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten sowie zur Verwendung von Gefahrstoffen in Geräten und Bauteilen (seit 1. Juli 2006 in Kraft).

Einige Substanzen der Elektronik gelten wegen ihrer Toxizität und ihrer Rückstände (z.B. Schwermetalle) als umweltschädigend und sollen durch die RoHS aus den Produkten verbannt werden. Davon betroffen sind durch Artikel 4 (1)

- Quecksilber
- Cadmium
- Blei
- sechswertiges Chrom
- Polybromierte Biphenyle (PBB)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Siehe das deutschsprachige Amtsblatt auf http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:de:PDf

Da das absolute Verbot schwer durchzusetzen war, gab es 2005 eine Anpassung des Artikels mit der Festsetzung von nicht zu überschreitenden Grenzwerten. Diese liegen bei homogenen Stoffen für Cadmium bei 0,01 Gewichtsprozent und 0,1 Gewichtsprozent für die übrigen genannten Stoffe. Siehe http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/oj/2005/l_214/l_21420050819en00650065.pdf

Diese nun stark eingeschränkten Stoffe fanden sich in Handys unter anderem

- im **Akku** (früher Blei und Cadmium)
- auf der **Leiterplatine**: früher flammenhemmende Substanzen auf Basis chromierter oder bromierter Verbindungen (teilweise auch im Gehäuse); bleihaltiges Lötzinn; Quecksilberschaltungen

und mussten somit durch andere Stoffe ersetzt werden oder zumindest stark eingeschränkt werden (z.B. haben Handys heutzutage meist Li-Ionen oder Li-Polymer-Akkus).

WEEE

(engl.: Waste Electrical and Electronic Equipment; deutsch: Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall)

Diese Abkürzung steht für die EG-Richtlinie 2002/96/EG zur Reduktion der zunehmenden Menge an Elektronikschrott aus nicht mehr benutzten Elektro- und Elektronikgeräten. Verschiedene Zielvorgaben sollen erreicht werden, siehe das deutschsprachige Amtsblatt http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:DE:PDF. Die österreichische Umsetzung der europäischen WEEE erfolgte am 13. August 2005 mit Inkrafttreten der EAG-VO (ElektroAltgerät eVerordnung), VO des BMLF, BGBl. II Nr. 121/2005, § 1, siehe auch http://www.lebensministerium.at/umwelt/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/eagvo.html

Das Ziel der WEEE-Direktive ist das Vermeiden und Verringern von Elektronikschrott sowie eine umweltverträgliche Entsorgung von anfallenden Mengen. Im Allgemeinen wird unterschieden zwischen Elektro- und Elektronikgeräten (EEG) und Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG).

Zusammengefasst vom Umweltbundesamt beinhalten die Zielvorgaben der WEE-Direktive:

- die kostenlose Rückgabe von EAG durch private Haushalte
- ein Sammelziel von 4 kg EAG/EinwohnerIn und Jahr bis Ende 2006
- die Verankerung der Produzentenverantwortung: Hersteller und Importeure sind für Sammlung, Transport und die sachgerechte Verwertung und Entsorgung verantwortlich (d.h. der Restmüll aus privaten Haushalten unterliegt nicht mehr dem freien Warenverkehr)
- Verwertungsquoten in Abhängigkeit von der Gerätekategorie, die bis Ende 2006 zu erreichen sind, z.B. wurden diese für IT- und Telekommunikations-geräte auf mindestens 75 % des durchschnittlichen Gewichts je Gerät angesetzt (Artikel 7 (2) b)
- Kennzeichnungspflichten für EEG
- Informations- und Berichtspflichten

Eine deutschsprachige Zusammenfassungen und mehr Informationen zu beiden Richtlinien finden sich auf: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l21210_de.htm (Anmerkung: im engl. Gesetzestext steht bei den Richtlinien als letztes Kürzel EC (European Commission) statt EG (Europäische Gemeinschaft))

Die Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle Austria GmbH (EAK) wurde im Zuge des Inkrafttretens der EAG-VO im Jahr 2005 gegründet: Nähere Informationen siehe auch www.eak-austria.at.

Die WEEE-Direktive von EAG führte einerseits zur Inbetriebnahme neuer **Behandlungsanlagen**, z.B von Anlagen zur maschinellen Schadstoffentfrachtung von Kleingeräten, andererseits stellten auch Betriebe die Behandlung von EAG ein.

Weitere Probleme des Allgemeinen Recycelns/Transport in Schwellenländer:

In diesem Punkt sei angemerkt, dass es bei dem oben beschrieben um ein idealisiertes System handelt, das in der Realität leider nicht immer umgesetzt werden kann. Es gibt immer wieder Berichte, die besagen, dass recycelbare Wertstoffe illegal aus der EU transportiert werden und dort unsachgemäß entsorgt werden. In den Medien finden sich oft Bilder von Schrotthalden in Schwellenländern, wo teilweise Kinder über kleinen Flammen die Metalle herauslösen, um diese zu verkaufen. Dabei atmen sie die giftigen Dämpfe ein und die toxischen Schlacken gelangen ins Ökosystem. Unter der Baseler Konvention gibt es seit 2008 ein E-Waste-Projekt in Afrika mit dem Titel: Where are WEEE in Africa? Westafrika sieht sich mit einem stark anwachsenden Berg an Elektroschrott konfrontiert, der gemäß der UNEP zum Großteil (bis zu 85%) auf den zunehmenden Inlandsverbrauch neuer sowie gebrauchter Elektro- und Elektronikgerät zurückgeht. Viele Geräte gelangen noch funktionstüchtig dorthin und werden nach dem Gebrauch nicht sachgemäß entsorgt. Diese Studie zeigt, dass besonders Entwicklungs- und Schwellenländer es versäumen, Elektrogeräte zu recyceln. Dadurch gehen ihnen zunehmend wertvolle Rohstoffe verloren. Auch sind die Ausbeuten aus nicht optimierten Recyclinganlagen längst nicht so effektiv wie die von speziellen Anlagen. China hat 2007 alleine in Handys 1600 Kilogramm Gold und 630.000 Kilogramm Kupfer verschrottet (Hagelüken 2010). Dennoch sollten sich auch die Industrieländer nicht aus der Verantwortung für die richtige Verwertung ziehen. Sowohl die illegalen Transporte finden statt (in nicht nachweisbaren Mengen) als auch der Weiterverkauf alter Geräte, die den Industrieländern zu unmodern geworden sind – dies hat zwar einen ursprünglich sinnvollen Charakter, aber was danach mit den Altgeräten passiert, die in großen Mengen aus den Industrieländern kommen, sollte auch die Herkunftsländer interessieren, da das aufwändige Recycling bekanntermaßen sehr teuer und technisch aufwändig ist. Mehr dazu auf der Webseite des Projektes: http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/EWaste/EwasteAfricaProject/tabid/2546/Default.aspx

2.9.3. Kurzüberblick über die Schadstoffe in Handys

- **Akku**: früher Blei, Cadmium und Nickel; heute immer noch andere Schwermetalle, muss als gefährlicher Abfall entsorgt werden (in einem alten Nickel-Cadmium Akku können bis zu 26% Cadmium enthalten sein, nach Reller 2009)
- **Displays:** In den Flüssigkristallen (LCD) des Displays sind oft Benzolverbindungen (Azobenzol wird oft zum Einfärben der Pixel verwendet) enthalten. Diese gelten als Umweltgifte, die krebserregend und erbgutschädigend sein können. LCD-Displays werden wenn möglich demontiert, gesammelt und über die Sonderabfall-Verbrennungsanlage der Fernwärme Wien „entsorgt" (verbrannt zur Strom- und Wärmeerzeugung). Dennoch ist der Gehalt der Flüssigkristalle in den Displays sehr gering: generell ca. 0,5 mg/cm² LCD-Fläche, z. B. im Handy finden sich ca. 5 mg (Bayerisches Landesamt).
- In den Kunststoff-Folien der **Tastatur** können umweltschädliche Weichmacher enthalten sein
- **Leiterplatine**: in Altgeräten findet sich Blei (Lötzinn), Chrom VI und Brom (Flammenhemmer) und Quecksilber (Schaltungen); Beryllium kann als gut legierbarer Stoff in **Leiterplatten** enthalten sein und sich beim Verbrennen in den Dämpfen finden, die Tumore bilden können; **Mikrochips** enthalten teilweise giftige Gallium-Arsenide; Elektrolytkondensatoren können schadstoffhaltig sein, Kondensatoren werden i.d.R. ausschließlich thermisch als gefährlicher Abfall in der Verbrennungsanlage der Fernwärme Wien behandelt.
- Giftige Dioxine und Furane können beim unsachgemäßen Verbrennen einiger Kunststoffe entstehen.

Laut einer Information der Praxis Umweltbildung Deutschland sind Leiterplatine und Display für 98% der Umweltbelastung des Handys bei Produktion und Recycling verantwortlich. Sie enthalten langlebige giftige Chemikalien, die als umwelt- und gesundheitsschädlich gelten, auch bei der Produktion werden bereits Chemikalien verwendet. Vom Bayerischen Landesamt für Umwelt gibt es Informationen für eine Einstufung, Verwertung und Entsorgung von LCD-Bildschirmen auf:
http://www.izu.bayern.de/praxis/detail_praxis.php?pid=0201010100298

2.9.4. Ablauf der Verwertung/Entsorgung von Handys

(Zusammengefasst u.a. nach Umweltbundesamt und EAK)

Zuallererst sollte stets die **Weiterverwendung** stehen: Wenn das Handy noch gebrauchsfähig ist, kann es an Freunde, Familienmitglieder oder Bekannte verschenkt oder verkauft werden.
Nicht mehr benutzbare Altgeräte können direkt bei Verkaufsstellen kostenfrei zurückgegeben werden. Wer ein Gerät herstellt oder verkauft, muss gesetzlich vorgegeben auch die Altgeräte zurücknehmen.
Es gibt auch verschiedene Sammel- und Spendenaktionen, z.B.:

- Das Jane Gooddall-Institut hat mit der Firma Mobile Collect eine Kampagne zum Handysammeln ins Leben gerufen, http://www.janegoodall.at/handyrecyclingkampagne und bietet auf der Webseite viele Infos an, es gibt auch Schulbewerbe http://www.janegoodall.at/schulbewerb

- Auch die Aktion „Ö3-Wundertüte" (unter anderem gesponsert von Hitradio Ö3, Caritas, und Post) sammelt alte Handys und sortiert diese: funktionstüchtige Handys gehen an Entwicklungsprojekte, kaputte Handys werden fachgerecht entsorgt. Die Ö3-Wundertüte stellt Sammelboxen für Handys mittlerweile auch in Schulen auf, Infos unter http://www.wundertuete-macht-schule.at/
  Seit dem Start im Jahr 2005 sind auf diesem Weg mehr als 2,5 Millionen alte Handys gesammelt und zu fast 4 Millionen Euro Spendengeld für Familien in Not in Österreich verwandelt geworden (Auskunft von Ö3)

Handys können generell auch bei den Problemstoff-Sammelstellen abgebeben werden. Dort werden sie oft getrennt erfasst, wenn möglich durch Fachpersonal repariert (oder an Reparaturstellen weitergegeben) um es gemeinnützigen Zwecken zukommen zu lassen oder auf Flohmärkten zu verkaufen. Kaputte Geräte landen in den Recyclinganlagen. Die Recyclinganlagen unterscheiden sich in ihren Verfahren, allgemein erfolgt die Verarbeitung an den Spezialsammelstellen in etwa wie folgt:

- **Schadstoffentfrachtung**: Entfernung schadstoffhaltiger Bauteile durch Demontage: entweder manuelle Vorsortierung auf Sortiertisch oder mechanische Vorzerkleinerung und dann manuelles Ausklauben der schadstoffhaltigen Bauteile (z.B. Entfernung von Akkus)

- **Abtrennung** meist in LCD-Displays, Leiterplatinen und eine Restfraktion (v. a. Gehäuse - Kunststoffe). Dies erfolgt meist händisch. Eine Anlage Österreichs verfügt sogar über eine halbautomatische Demontageeinheit für Mobiltelefone: durch Einlesen des Codes am Mobiltelefon wird die Positionierung der Schrauben registriert, so können die Handys durch Fräsen und Schraubstationen halbautomatisch zerlegt werden.

- LCD-Displays werden meist über die Sonderabfall-Verbrennungsanlage der Fernwärme Wien „entsorgt" (verbrannt zur Strom- und Wärmeerzeugung).

- **Zerkleinerung** des restl. Gemischs in einer Shredderanlage.

- Überbandmagnete entfernen die Eisenmetalle.

- Der restliche Elektroschrott besteht nun hauptsächlich aus Nichteisenmetallen und Kunststoffen. Die Abscheidung der übrigen Metalle erfolgt z.B. durch das Wirbelstromverfahren (Separierung unmagnetischer, elektrisch leitfähiger Stoffe von Nichtleitern)

- Die Metalle können nun durch verschiedene Trennverfahren (z.B. metallurgische oder Dichtetrennverfahren etc.), wie Siebmaschinen, Trenntische, Sink-Schwimm-Verfahren, Setztische, Nichteisen-Scheideanlagen, Windsichter, Mikrosortanlagen, und optische Trennanlagen sortenrein getrennt werden.

- Kunststoffe werden meist in bestimmten thermischen Anlagen (z. B. Fernwärme Wien) entsorgt.

- Bei vielen nicht sortenrein getrennten Anlagen können Kunststoffe auch beabsichtigt als Hitzequelle und reduzierende Reagenzien für die Metalle wirken. Dafür sind Spezialverbrennungsanlagen nötig, da das Verbrennen der Kunststoffe und Halogene (Chlor, Brom) zur Bildung von hochgiftigen Dioxinen und Furanen führen kann (USGS).

- Dank innovativer Technologien können heute bis zu 80 % des Materialwertes eines Handys wiederverwendet werden, größtenteils durch die Metallverwertung (laut Informationszentrum Mobilfunk).

Metallrecycling:
Ein Vorteil des Metallrecyclings ist, dass Metalle i.a. immer wiederverwendbar sind und keine Qualitätseinbüßen haben. Andererseits benötigt das Recycling von Metallen spezielle und hochentwickelte Technologien: In einem Erz kann z. B. Kupfer und wenige andere Metalle enthalten sein, die extrahiert werden müssen. Im Handy stecken aber bis zu 30 Metalle gleichzeitig – ein sehr komplexes Gemisch, welches erst chemisch aufgetrennt werden muss. Gewisse Verluste sind daher unvermeidbar. Daher werden vor allem die Metalle recycelt, die den größten Wert liefern: Gold, Kupfer, Silber, Platin. Durch einige technischen Verfahren (z.B. Elektrolyse; bei den Edelmetallen und Kupfer z.B. Kollektion durch Nickelsulfid) gehen die „Gewürzmetalle" wie Tantal, Seltene Erden etc. in die Schlacken, aus denen sie nicht mehr wirtschaftlich herausgeholt werden können. **Der Wert der Gewürzmetalle pro Mobiltelefon beträgt wenige Cent, derjenige der Edelmetalle dagegen rund € 1,–** (siehe dazu Übung Arbeitsbogen 4). Europaweit können wahrscheinlich nur 4–5 spezialisierte Fabriken die Metallrückgewinnung wirtschaftlich gestalten, es müssen langjährige Planungen vorausgehen (Armin Reller, ORF-Interview 2010).

Das Silizium-Recycling ist nach Angaben des USGS derzeit noch bedeutungslos.
Dr. Christian Hagelüken von der Firma Umicore (belgische Firma mit einem Schwerpunkt auf Recycling von Metallen) gibt in einem Zeitungsartikel an, aus Handys und Computern bereits folgendes zurückzugewinnen: „Aus Handys und Leiterplatten werden stofflich alle Edelmetalle zurückgewonnen, sowie die Basismetalle Kupfer, Blei, Nickel und Zinn sowie eine Reihe von Sondermetallen wie Indium und Antimon, zusätzlich noch Kobalt aus den Akkus. Bei den meisten verarbeiteten Komponenten werden dadurch über 90 Prozent des Metallanteils zurückgewonnen, bei Gold und anderen Edelmetallen sogar 95 Prozent und mehr. Die Qualität der recycelten Metalle ist dabei identisch mit der Qualität von Primärmaterial." (aus: http://www.germanwatch.org/zeitung/2009-1-int.htm)
Eisen und Aluminium werden aus Handys nach seinen Angaben nicht direkt wiedergewonnen.
Weitere Informationen von Dr. Hagelüken finden sich z.B. in einem weiteren Interview auf http://www.janegoodall.at/sites/default/files/files/projekte/handyrecycling-kampagne/interview-hagel%C3%BCken.pdf

Batterie-Recycling:
Aus Batterien kann je nach Batterie-Typ und Wiedergewinnungsprozess mittlerweile Eisen, Aluminium, Kupfer, Nickel, Kobalt und Cadmium rückgewonnen werden (nach UNEP), wobei Cadmium wie erwähnt in Neugeräten verboten ist. Diese so genannten Sekundärrohstoffe werden der Industrie zugeführt. Restbestandteile werden als Schlacke in Deponien abgelagert.
Das Recycling von Lithiumbatterien kann so ablaufen, dass Lithiumbatterien unter einer kontrollierten Atmosphäre aufgebrochen werden und das Lithium mittels einer Gasbehandlung neutralisiert und damit für die Umwelt unschädlich gemacht wird.

Kunststoffrecycling
Seit 2006 fordert die EU Recyclingquoten für Elektrogeräte, die je nach Gerätekategorie zwischen 50 % und 75 % liegen. Mit den bisherigen Technologien, die sich im Wesentlichen auf die Metallrückgewinnung beschränkten, waren die Quoten kaum oder gar nicht zu erfüllen. Daher wird das Recyceln der Kunststoffe immer notwendiger. Bis 2015 wird die erforderliche Recyclingquote auf 85 % erhöht. Diese kann nur mit der Kombination von Kunststoff- und Metallrecycling erreicht werden. Seit 2006 gibt es die erste Anlage in Österreich zur Aufbereitung von gemischten Kunststoffen, um die verbindlichen Quoten der stofflichen Verwertung gemäß EAG-VO zu erreichen.
Die Trennung der verschiedenen Kunststoffe in den Mobiltelefonen (Gehäuse) ist derzeit allerdings meist noch nicht rentabel. Bereits 2002 wurde die Mobiltelefonpartnerschaftsinitiative **MPPI** (Mobile Phone Partnership Initiative) vom Baseler Übereinkommen der UNEP zusammen mit der Industrie gebildet, 2009 wurde ein adaptierte Wegweiser herausgegeben. Nach UNEP sollten die Handyhersteller darauf hinarbeiten, die Kunststoffgehäuse der Mobiltelefone so zu verarbeiten, dass eine Wiederverwendung besser möglich ist (und diese nicht wie derzeit oft nur als Verbrennungsmaterial und Energiequelle genutzt wird: Der Heizwert von einem Kilogramm Kunststoff entspricht in etwa dem von einem Liter Heizöl). Dazu gehört z.B. die Verwendung von Pigmenten statt Farben, damit das Material wieder aufbereitet werden kann. Kunststoff-Gehäuse mit verschiedenen Pigmenten (aber nicht Farben) können z.B. gemischt werden und als schwarzer Kunststoff wiederverwendet werden. Idealerweise sollten die Firmen hier zusammenarbeiten und gleiche Materialien verwenden um diese Prozesse zu erleichtern

(UNEP). Einerseits muss durch Verbesserungen beim Design die Demontage- und Recyclingfähigkeit von Geräten weiter gesteigert werden. Darüber hinaus müssen die Recyclingketten weiter optimiert und an neue Materialzusammensetzungen angepasst werden. Mehr dazu siehe den Leitfaden der UNEP: http://wm.epa.gov.tw/web/mobile/Guideline20090325.pdf
Für die Produktion einer Tonne Kunststoff benötigt man 900 Liter Erdöl und hat einen Energieverbrauch von 14.000 kWh. Für eine Tonne Kunststoff aus Recyclingmaterial benötigt man zwei Tonnen Abfall und nur 950 kWh Energie (Umweltbundesamt). Aus zwei Tonnen Kunststoff-Abfall lässt sich demnach eine Tonne Kunststoff produzieren. Dadurch können 900 Liter Erdöl und 90 Prozent Energie eingespart werden.

2.10. Handy und Gesundheit: Strahlung – schädlich oder nicht?

Die wissenschaftliche Forschung konnte bisher die Befürchtungen von Gesundheitsschäden durch Handynutzung nicht bestätigen. Das Gesundheitsrisiko wird als eher gering eingeschätzt, auch wenn Langzeitstudien insbesondere bei Kindern noch ausstehen. Es gibt aber einige Tipps, wie man die Strahlung minimieren kann, dazu gehört u.a. das Kaufen von Handys mit einem niedrigen SAR-Wert, das Vermeiden von langen Telefongesprächen etc. Weitere Tipps gibt z.B. das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/unterrichtsmaterial/mobilfunk/Ordner_Mobilfunk.html

SAR-Wert

Die Strahlung wird angegeben in der Einheit **SAR:** Spezifische Absorptions Rate. Das ist die Menge der Radio Frequenz (RF), die vom Körper absorbiert wird. Die Maßeinheit ist Watt pro Kilogramm (W/Kg) (nach UNEP).
Jedes Handy gibt beim Telefonieren elektromagnetische Strahlung ab. Der SAR-Wert gibt (in W/kg = Watt pro Kilogramm Körpergewicht) an, wie viel dieser Strahlung der menschlichen Körper als Wärme bei stärkster Sendeleistung aufnimmt. Auch wenn die Nutzung von Mobiltelefonen nach heutigem Wissensstand unbedenklich ist, wird empfohlen, die Strahlung bei Mobiltelefonen möglichst gering zu halten. In der EU verlangt der Gesetzgeber von den Herstellern einen SAR-Wert von maximal 2,0 W/kg. Den Blauen Engel verleiht die Jury für Umweltzeichen an Handys mit einem SAR-Wert bis max. 0,6 W/kg (nach Österreichischer Energieagentur).
Mehr dazu z. B. vom Informationszentrum Mobilfunk e.V. (IZMF) http://www.izmf.de/de/content/was-sind-elektromagnetische-felder

2.11. Zusammenfassung, Shortfacts

Inhalt des Handys

- Im Handy können über 45 verschiedene Elemente vorkommen, davon stellen die Metalle über 30!
- Die sog. Gewürzmetalle wie Indium und Tantal machen nur sehr wenig Gewichtsprozent im Handy aus. Sie sorgen u. a. dafür, dass Handys klein, schnell und leistungsstark sind.
- Der Wert der Gewürzmetalle pro Mobiltelefon beträgt wenige Cent, derjenige der Edelmetalle dagegen rund 1 €.
- In einem Handy finden sich ca. 9 g Kupfer, 0,25 g Silber, 0,025 g Gold, 0,009 g Palladium und im Akku 3,8 g Kobalt
- In 41 Handys steckt etwa ein Gramm Gold, dafür benötigt man etwa 200 kg bis zu einer Tonne erträgliches Golderz (welches erst noch abgebaut, transportiert und herausgelöst werden muss).
- Eine „Tonne Mobiltelefone" enthält rund 250–350 g Gold, eine Tonne erträgliches Golderz rund 5 g Gold, d. h. in den Handys steckt rund 50 mal so viel Gold wie in einem Golderz!
- Noch vor einigen Jahren hätte man für alle Schaltungen, die heute in einem Handy untergebracht sind, eine Leiterplatine mit der Größe einer Schreibtischplatte benötigt.

Rohstoffe

- Alle unsere Rohstoffe stammen „aus der Erde" und werden für unsere Zwecke weiterverarbeitet, z. B. werden Metalle aus Erzen gewonnen.
- Rohstoffpolitik und Umweltfaktoren: Einige der importierten Rohstoffe kommen aus politisch instabilen Gegenden, in anderen Ländern wird beim Abbau wenig auf die Umwelt geachtet (gefährliche Chemikalien gelangen in den Kreislauf)
- Österreich muss rund 90 % der Rohstoffe importieren

Recycling von Handys

- Handys können direkt beim Hersteller zurückgegeben werden, gespendet werden oder der Wertstoffsammlung zugeführt werden. Sie gehören NICHT in den Hausmüll!
- In Österreich werden rund 4 % der Handys in den Restmüll geworfen und nur 3 % dem Recycling zugeführt (Info Jane Gooddall Institut).
- Das größte Problem ist, dass viele ihr Handy in die Schublade stecken anstatt es dem Recycling zuzuführen: In Österreich liegen ca. 11 Millionen unbenutzte Handys in den Schubladen, in der Schweiz ca. 8 Millionen, in Deutschland bis zu 60 Millionen!
- Das Recycling von Handys ist wichtig, denn:
  - ☐ die Herstellung der Handys kostet Energie und beeinflusst die Umwelt (Abbau, Transport, Umwandlung, CO_2-Austoss, etc.). Es werden oft schädliche Stoffe verwendet, um die Metalle aus dem Gestein herauszulösen (z.B. Zyanid bei Gold) – durch Wiederverwendung wird die Neuproduktion vermindert, Ressourcen bewahrt und die Umwelt geschont.
  - ☐ im Handy sind viele toxische Materialien enthalten (Blei, Arsen etc.) die ohne Recycling in der Natur landen, daher müssen diese extra entsorgt werden (Schäden durch Nicht-Recycling)
- Recycling bewahrt diese wichtigen, teuren und nur endlich vorkommende Materialien und vermindert den Abfall und die Verschmutzung der Umwelt!

- Geopolitische Abhängigkeiten (Bsp. Coltan) können durch Wiederverwendung gemindert werden. Generell ist eine ethische Versorgungskette erstrebenswert.

- Etwa 80 % des Materialwertes eines Handys können recycelt werden (größtenteils durch die Metallverwertung). Das Recycling der Materialien ist noch in der Entwicklungsstufe, die Probleme hierbei sind: Kombination aus Wert- und Schadstoffen, komplexe Materialverbünde (Trennen der verschiedenen Komponenten voneinander) und starke Verdünnung im Endprodukt (viele Stoffe wie z.B. Tantal treten nur in sehr geringen Mengen auf)

2.12. Glossar und Definitionen

Gesteine sind vielkörnige Mineralaggregate (selten natürliche Gläser), d. h. sie bestehen aus Mineralen. Im Unterschied zu Mineralen sind sie von Natur aus heterogen. Die große Mehrzahl der Gesteine wird aus mehreren Mineralarten aufgebaut.
Auch Aggregate aus *Mineraloiden* können den Gesteinen zugerechnet werden (z.B. Kohlen).
Neben den *Festgesteinen* werden auch *Lockergesteine* wie Sande oder gar Schlämme zu den Gesteinen gezählt. Nach der Art der Entstehung unterscheidet man *Magmatite (Plutonite, Vulkanite), Sedimente* und *Metamorphite*.

Minerale sind chemisch und physikalisch homogene (einheitliche), natürliche Festkörper, die (von wenigen Ausnahmen abgesehen) anorganisch und kristallisiert sind. Minerale sind begrifflich zu trennen von Mineralstoffen (Spurenelemente) wie Eisen, Kalium etc., die sich im Körper finden.

Magma besteht aus flüssigem Material (Schmelze) plus festen Bestandteilen und evtl. einer fluiden Phase (Blasen). Die meisten Magmen sind silikatisch; in seltenen Fällen treten sulfidische oder karbonatische Magmen auf.

Magmatit: Erstarrungsgestein; magmatisch: aus Magma, d. h. aus flüssigem Gestein, das sich unter der Erdoberfläche befindet, durch Abkühlung entstanden

Sedimentgestein: Ablagerungsgestein; durch Verwitterung, Abtragung etc. aus dem Gesteinsverband gelöste Minerale und Gesteinsbrocken werden als Locker-Sediment abgelagert; aus diesem entsteht durch Diagenese (Verfestigung) ein Sedimentgestein.

Metamorphit: Umwandlungsgestein; durch hohen Druck und hohe Temperaturen verändertes Gestein, dies kann davor sowohl ein Magmatit, ein Sedimentgestein als auch bereits ein Metamorphit gewesen sein. Die nötigen Drücke und Temperaturen zur Umwandlung der Gesteine herrschen meist ab ca. 50 km Tiefe, aber in bestimmten Regionen können diese Gegebenheiten auch knapper unter der Erdoberfläche vorkommen.

3. Didaktische Informationen

Sicherheitshinweise

Generell sind keine der Materialien gefährlich, strahlend oder gesundheitsschädigend. Dennoch beachten Sie für den Gebrauch bitte folgende Hinweise:

- Bitte Vorsicht mit dem polykristallinen Silizium (Nr. 2) und dem Ölschiefer (Nr. 6): Diese können sehr scharfkantig sein! Nur mit Handschuhen anfassen!
- Die Wafer können brechen und dann splittern – Schneidegefahr!
- Bitte sorgen Sie dafür, dass die Schüler die Granulate (Nr. 11) NICHT in den Mund nehmen oder essen! Auch die anderen Rohstoffe sollten nicht in den Mund genommen werden.
- Bitte stets nach dem Gebrauch die Hände waschen lassen!
- Das Naturhistorische Museum Wien übernimmt keine Haftung für entstandene Schäden bei Gebrauch der Materialien.
- Das Urheberrecht des Materialkoffers liegt beim Naturhistorischen Museum Wien.
- Evtl. können Sie sich überlegen, ob Sie die Tonmineralen (Nr. 7) zukleben. Gerne können Sie Ihre SchülerInnen diese aber auch anfassen lassen, bedenken Sie aber, dass diese sehr schnell minimiert werden falls sie verschüttet werden! Das Goldfläschchen (Nr. 8) sollte nicht geöffnet werden.
- Falls die Nummern von den Mineralen/Gesteinen abgehen, können Sie diese mit Tipp-Ex und Folienschreiber erneuern.

3.1. Lernziele und Kompetenzen

Hier sind einige mögliche Lernziele kurz aufgelistet, je nach Ihrem Schulfach kann die Vertiefungsmöglichkeit aber woanders liegen:

SchülerInnen sollen

- Basiswissen über ein Handy und dessen Aufbau erlernen und verstehen, dass es aus verschiedenen Rohstoffen besteht
- den Begriff Rohstoff kennenlernen und erläutern können
- erkennen, dass die Rohstoffe im Handy auf der Erde nur endlich sind und wertvoll sind (Umweltwissen)
- verstehen, dass die Materialien unseres alltäglichen Lebens allesamt von Rohstoffen abhängen (Zusammenhang zwischen Rohstoffen und Alltagsgegenständen erkennen)
- sich mit der „politischen Herkunft" (Abbauland) einiger Rohstoffe auseinander setzen und die sozialen, ökologischen und ökonomischen Folgen diskutieren
- Bewusstsein für die Schonung von Ressourcen bilden (Umwelteinstellung)
- die rechtlichen Grundlagen für das Recycling in Österreich kennenlernen
- den richtigen Umgang mit ausgedienten Handys erlernen (Recycling) – Umwelthandeln

3.2. Unterrichtsmethoden – Vorschläge für den Verlauf

Hier finden Sie übersichtlich kurze Vorschläge für den Einsatz im Unterricht, die zugehörigen Arbeitsbögen siehe Appendix 5 und die Lösungen Appendix 6. Die Arbeitsbögen können direkt kopiert und im Unterricht verwendet werden. Lediglich Arbeitsbogen 4, das **Bestimmungsspiel**, benötigt eine kurze Vorbereitung (Laminieren und auf buntes Papier kopieren), das Spiel ist diesen Mehraufwand aber deutlich wert. Zum Abschluss des Handy-Moduls, nach der Behandlung des Rohstoffkoffers bietet sich die letzte Seite: Inhalt-Rohstoffkoffer Lösung als Kopie für die SchülerInnen an.

- Als Einstieg in das Thema können die Fragen von **Arbeitsbogen 1** verwendet werden, diese können z.B. vor dem Modul als Kurzabfrage zur Aktivierung des Vorwissens verwendet werden, oder einzelne Fragen als Think-Pair Share, Debatte oder Worldcafé für Kurzdiskussionen verwendet werden o.ä. Auch als Wissensabfrage nach dem Modul lässt es sich einsetzen.

- Mit **Arbeitsbogen 2** können Sie eine Aktivität mit den SchülerInnen durchlaufen, in der die Handys vorsichtig auseinander gebaut werden und die einzelnen Bauteile und mögliche Bestandteile untersucht und aufgelistet werden. Dies bietet sich als Gruppenarbeitsphase für 3-5 SchülerInnen an. Auch eine Überlegung zur Einteilung der Rohstoffe kann hier bereits angeregt werden (Frage 3: z.B. Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe).

- Um die Rohstoffe des Materialkoffers mineralogisch genauer zu untersuchen eignet sich **Arbeitsbogen 3**. Hier sollen die SchülerInnen explizit jeden Rohstoff in die Hand nehmen, diesen beschreibend untersuchen und Vermutungen anstellen, was im Handy daraus hergestellt sein könnte.

- **Arbeitsbogen 4** (bietet sich alternativ statt Arbeitsbogen 3 an): Das **Bestimmungsspiel** besteht aus drei Seiten: dem Arbeitsbogen als fertige Kopie für die SchülerInnen mit der Aufgabenstellung, dem (bunten) Spielfeld und einer Tabelle (Lösungskarten). Das Spielfeld soll im Kopierer auf DIN A3 vergrößert werden und dann laminiert werden, da es sonst sehr schnell zerkratzt. Für jeden Rohstoffkoffer benötigen Sie ein laminiertes Exemplar des Spiels. Die dritte Seite, die Tabelle, sollten Sie auf ein farbliches Papier kopieren, idealerweise die erste Spalte auf einer anderen Papierfarbe als die zweite. Die farblichen Kopien sollten ebenfalls laminiert werden und dann ausgeschnitten werden, sie dienen als Kärtchen, damit die SchülerInnen dem jeweiligen Mineral/Gestein den richtigen Rohstoff und die Anwendung im Handy zuordnen können und so aktiv die Stoffe einander zuordnen. Auch eine Internetrecherche bietet sich hier an (z.B. „Google Lepidolith und schau, wofür er verwendet werden kann!). Siehe Arbeitsaufgaben für eine Kurzbeschreibung. Als Lösung dient hier ebenfalls die letzte Seite: Inhalt-Rohstoffkoffer Lösung als Kopie für die SchülerInnen.

- Das Periodensystem der Elemente und die Arbeitsaufgabe auf **Arbeitsbogen 4** bietet sich an für eine Übersicht über die Elemente im Handy und einen Bezug zur Chemie.

- Der **Arbeitsbogen 5** „Rohstoffpreise" eignet sich sehr gut für eine Internetrecherche in Gruppenarbeit, und die Diskussion, welche wertvollen Stoffe im Handy stecken.

- **Arbeitsbogen 6** beschäftigt sich mit dem Recycling von Handys, dieser kann entweder als Einstieg in das Thema verwendet werden (z.B. mit zugehöriger Recherche), als Gruppendiskussionsarbeit, oder als Abfrage nach der Themenbehandlung.

Praktische Hinweise

Vorbereitung:

Wie als Unterrichtsmethodik für Arbeitsbogen 2 vorgeschlagen sollten die SchülerInnen damit beginnen, ein Handy zu zerlegen, bevor Sie den Rohstoffkoffer heranziehen, um sich die Rohstoffe genauer anzuschauen.

- Bitte geben Sie Ihren SchülerInnen daher 1–2 Wochen vorher Bescheid, dass sie ihr altes Handy mitbringen sollen (Achtung: Die Handys werden nach dem Zerlegen nicht mehr funktionieren!).
- Auch sollten Sie die Schüler bitten, Schraubensets mitzubringen. Sie werden je nach Handymodell kleine Kreuz- und Schlitz Schraubendreher und Torx-Sechsrund („Sternschraubendreher") benötigen.
- Für das Bestimmungsspiel (Arbeitsbogen 4) planen Sie bitte eine einmalige kurze Vorbereitungszeit (15 Minuten, laminieren und ausschneiden) ein, die weiteren Arbeitsbögen können direkt kopiert und eingesetzt werden.

Zum Zerlegen der Handys:

- Unbedingt Zeit einplanen, es kann manchmal sehr lange dauern, die Handys zu zerlegen!
- Immer zuerst den Akku entnehmen bevor etwas geschraubt wird!
- Sie sollten dies Ihre SchülerInnen machen lassen. Sie kennen Ihre SchülerInnen am besten, ob Sie es Ihnen zutrauen können, der Spaß und Lernfaktor ist deutlich positiv zu bewerten. Achten Sie darauf, dass die Handys nicht mit Gewalt geöffnet werden, nach dem Entfernen der Schrauben lassen sich die Handys normalerweise ohne zu zerbrechen öffnen.
- Ausnahme: IPhones lassen sich so gut wie nicht ohne Gewaltanwendung öffnen – es bleibt Ihnen überlassen, ob Sie sich heranwagen falls Sie solch ein Modell erhalten.
- Als Tipp: Geben Sie den SchülerInnen die Aufgabe, dass die Handys nachher wieder zusammengebaut werden sollen (ohne die Schrauben) – so vermindern Sie die Gewaltanwendung an den Bauteilen und können die Handys mit anderen Klassen mehrfach im Unterricht wieder auseinanderbauen lassen.
- Die Alu-Abdeckungen auf der Leiterplatine sind manchmal festgelötet. Diese können Sie nur sehr vorsichtig hochhebeln, Vorsicht: Abrutschgefahr! Bitte dies nicht die SchülerInnen machen lassen.

3.3. Weiterführende Projektmöglichkeiten

!!Bitte beachten Sie hierzu besonders Kapitel 4.1: Nützliche Webseiten für Videos und Unterrichtspläne, dort finden Sie bereits viele Tipps und Ideen auf den genannten Webseiten!!

- **Exkursion zu einem Zerlegebetrieb oder Müllverbrennungsanlage**

Besuch oder Kontakt der Sonderverwertungsanlagen, eine Auflistung findet sich z.B. beim Umweltbundesamt in der Broschüre http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/abfall/behandlung/recycling/eag/

- **Diskussion zu kulturellen und umwelttechnischen Gesichtspunkten von IKT-Geräten**

Einerseits der tagtägliche Gebrauch von Handy, Computer, Internet etc (CO2-Ausstoss so hoch wie Luftfahrt). – andererseits das Einsparen durch technische Möglichkeiten, Energieeffizienz etc., Diskussion-Anregungen z.B. unter Projektbeschreibung :„Energieeffizienz dank IKT" http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=523856&dstid=6155&titel=Was%2CIT%2Calles%2Ckann

Umweltbundesamt Dt., Broschüre Computer, Internet und Co - Geld sparen und Klima schützen http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3725.pdf

Green-IT Wegweiser http://www.green-it-wegweiser.de/

Mensch - Umwelt - Technik e.V., Webseite Green IT - Nachhaltige Informationstechnik http://www.umwelt.org/green-it

Recherchen im Internet:

Diskussion über wissenschaftliche Neutralität und das Erlangen von verlässlichen Daten aus dem Internet (z.B. Von wem sind die Daten? Wie verlässlich ist die Quelle? Wie neutral, nachvollziehbar, wissenschaftlich korrekt sind die Daten? etc.)

Thema Strahlung in Handys

Mit Vorsicht zu genießen (aber sehr humorvoll als Teaser für Ihre Schüler) sind die Infos über SAR-Werte und ein Scherzvideo mit Popcorn, das aufgrund der Handystrahlung „gar" wird: http://www.handystrahlung.ch/ Dies z.B. als Anregung zur Diskussion über Strahlenwerte und die Schwierigkeit, aus Daten unabhängige Folgerungen zu ziehen genommen werden. Ein „seriöser" Text über das Thema Strahlung ist auch hier zu finden: http://www.connect.de/ratgeber/alles-ueber-handy-strahlung-374582,945.html Bitte diese Webseiten als Diskussionsanregung anzusehen, SchülerInnen können noch mehr Infos heraussuchen – Aber die wissenschaftlichen Beweise über Strahlungsschäden sind nicht immer eindeutig, dies sollte von den SchülerInnen auch dementsprechend diskutiert werden.

4. Literaturverzeichnis

4.1. Nützliche Webseiten für Unterrichtspläne und Videos

Webseiten mit teilweise vorgefertigten Unterrichtsmodulen/Arbeitsbögen
(nach Empfehlungsgrad und Relevanz sortiert)

Umweltbildungszentrum Steiermark: HANDY & CO, Elektro- und Elektronikschrott für die Schule
http://www.ubz-stmk.at/upload/documents/cms/308/E-Schrott.pdf

Schweizer Umweltforum mit SWICO (Swiss Association for Information, Communications and Organization Technology): Eine Fülle von Ideen und Arbeitsbögen über Handys zu verschiedenen Themenbereichen: http://www.swicorecycling.ch/d/information_handydays_unterrichtsdossier.asp

Forum Rohstoffe Unterrichtsmaterialien:
http://www.forumrohstoffe.at/NACHH_Texte/NH_SO_Unterricht.html

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Handreichung „Lernort Geologie" tolle Unterrichtsmaterialien (Lehrer- und Schülerhandreichungen) zu verschiedenen geol. Schwerpunkten: http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/lernort_geologie/

Auf dem Österreichischen Schulportal finden sich viele Links und Materialien:
http://www.schule.at/index.php?url=kategorien&kthid=6142 und
http://www.schule.at/gegenstand/geographie/index.php?TITEL=Themen&artikel=1&kthid=1513

Dt. Bundesamt für Strahlenschutz, hier gibt es auch Unterrichts-Unterlagen zum Handygebrauch und Strahlenschutz: http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/unterrichtsmaterial/mobilfunk/Ordner_Mobilfunk.html

IPN Kiel, Horst Bayrhuber; Sylke Hlawatsch (Hrsg., 2005): System Erde. Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II. Geowissenschaften im Schulunterricht. In: Praxis Geographie, 36.
Download unter http://www.systemerde.ipn.uni-kiel.de/materialien_Sek2.html
Modul 11: Rohstoffe und Recycling (allerdings sehr auf Deutschland bezogen, aber gute Tipps für mögliche Recherche-Übungen) ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/SystemErde/11_Begleittext_oL.pdf

Planet Schule hat einige interessante Videos und Unterrichtsunterlagen zu verschiedenen geologischen (und anderen) Themen: http://www.planet-schule.de/sf/faecher-wissenspool.php

Die Deutsche Mineralogische Gesellschaft bietet geol. Lehrmaterialien an:
http://www.dmg-home.de/lehrmaterialien.html

Didaktisch aufbereitete Informationen zur Chemie, zu Mineralien, ausdruckbares Periodensystem etc. Filme, Experimente, Bilder etc., nicht alles kostenfrei erhältlich http://www.seilnacht.com

Pusch, eine Schweizer Stiftung für Umweltschutz, stellt einige Infos zusammen, die auch für Österreich nützlich sein können: http://www.umweltschutz.ch/index.php?pid=745

Einige geol. Unterrichtspläne von LehrerInnen für LehrerInnen finden ich auch auf: http://www.lehrer-online.de/422136.php

DUH (Deutsche Umwelthilfe), 2006: Was ist drin – in Handy, Waschmaschine und Co.? Broschüre. Download unter http://www.duh.de/uploads/media/Schule_EAG.pdf

ChemgaPedia der FIZ Chemie (Fachinformationszentrum Chemie GmbH) http://www.chemgapedia.de/vsengine/topics/de/vlu/index.html

Planet Schule hat einige interessante Videos und Unterrichtsunterlagen zu verschiedenen geologischen (und anderen) Themen: http://www.planet-schule.de/sf/faecher-wissenspool.php

Teilweise direkt im Unterricht einsetzbar

(nach Relevanz sortiert)

IRIS Online: Großartiges Interaktives Rohstoff-Informationssystem auf: http://geomap.geolba.ac.at/IRIS/einstieg.html Hier kann interaktiv auf Karten nach verschiedenen Roh- und Wertstoffen gesucht werden, diese wurden zusammen mit der Geologischen Bundesanstalt erstellt http://www.geologie.ac.at

Online Footprint Rechner, Plattform zur Berechnung des ökologischen Lebensstils, unterstützt von u.a. Greenpeace CEE, WWF Österreich, Klimabündnis Österreich etc.: http://www.mein-fussabdruck.at

CO_2-Rechner des Forum Umweltbildung http://www.umweltbildung.at/cgi-bin/cms/af.pl?contentid=1499

Jane-Goodall-Institut: Viele Infos und Daten auf der Webseite der Kampagne des Jane-Goodall-Instituts sind direkt verwendbar: http://www.janegoodall.at/handyrecyclingkampagne

Österreichische Akademie der Wissenschaften, Poster Rohstoffe http://www.oeaw.ac.at/rohstoff/post02.pdf

Geologie ist Alles: Vom Österreichischen Nationalkomitee für Geowissenschaften (ÖNKG) erstellt anlässlich des „Internationalen Jahres des Planeten Erde", das von der UNO für 2008 ausgerufen wurde, viele Infos über Geologie im Alltag: http://www.geologie-ist-alles.at auch tolle Tipps für Exkursionen

World Mining Data: WELT-BERGBAU-DATEN, L. Weber, G. Zsak, C. Reichl, M. Schatz, Heft 26, Wien 2011. Hier finden sich großartige Datensätze zu Rohstoffen: Produktionsländern, Politische Stabilität der Produzentenländer, Marktkonzentration der Produzentenländer u.a. Download unter http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/WMD2011%20mit%20Grafiken.pdf

Bergbauinformationssystem – BergIS: Bergbauberechtigte und Übersichtskarten http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/BergIS/Seiten/default.aspx http://www.oeaw.ac.at/rohstoff/post02.pdf – Poster über Rohstoffe – kurze Übersicht und Informationen über Anwendungen

Mineraleigenschaften generell „populärwissenschaftlich" zusammengefasst von Dr. Robert Krickl: http://www.uibk.ac.at/mineralogie/oemg/bd_151/151_131-145.pdf

Universum Sonderheft 2010, zusammengefasst von E-M Gruber: http://www.baustoffindustrie.at/forum/PDF_Forum/Univ-SoHe_2010.pdf

AuF: Fakultät Werkstofftechnik an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg; Erläuterungen mit Abbildungen zu Lagerstätten findet sich z.B. auf http://www.ohm-hochschule.de/seitenbaum/fakultaeten/werkstofftechnik/startseite/fachgebiete/metalle/genese-und-prozesse/lagerstaetten/page.html

„Rohstoffroulette" auf Spiegel Online (dt. Nachrichtenmagazin): trotz des reißerischen Titels einigermaßen brauchbare interaktiv aufbereitete Weltkarte mit Flash-Animation zu Produktion, Verbrauch und Preisentwicklung einiger Rohstoffe: http://www.spiegel.de/flash/flash-25259.html

Videos

(nach Relevanz sortiert)

Dokumentation Blood in the Mobile von Frank Poulsen (engl.), bitte erst prüfen ob für Ihre Klasse geeignet! http://www.planet-schule.de/sf/php/02_sen01.php?reihe=1137

ARD: Die Story im Ersten, vom 10.09.12, 45 min: Sklavenarbeit für unseren Fortschritt, http://programm.ard.de/TV/daserste/sklavenarbeit-f-r-unseren-fortschritt/eid_281068549749274

Video über die Grundlagen des EAG-Recyclings von der Abfallwirtschaft Steiermark: http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/11346759/372200/ auf direkte Anfrage dort ist die DVD auch kostenlos für Schulen erhältlich!

Planet Schule: http://www.planet-schule.de/sf/faecher-wissenspool.php

ProSieben, Galileo: sehr populärwissenschaftlich daher mögliche Fakten bitte mit Vorsicht verwenden: http://www.prosieben.at/tv/galileo/videos/clip/32432-der-weg-des-alten-handys-1.2068878/

Ähnliches aus dem Schweizer Fernsehen http://www.videoportal.sf.tv/video?id=ef429728-0072-42b8-b320-8275e4b538ff

Filme von Wacker über Silizium und dessen Anwendungen http://www.wacker.com/cms/de/press_media/press_service/filmmaterial/filmmaterial-overview.jsp

RWTH Aachen: Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling (IME) http://www.metallurgie.rwth-aachen.de/src/index2.php?lang=1 – links bei Forschung auf Medien klicken, dann gelangen Sie zu einem Video über Li-Ionen-Batterien am Bsp. für Elektroautos.

Kurzfilme zu einigen Chemie-Versuchen gibt es auf http://www.seilnacht.com unter Experimente

ARA (Altstoff Recycling Austria), Firmenwebseite daher bitte Fakten differenziert betrachten, z.B. ARA (Altstoff-Recycling Austria): Firmen-Kurzfilme über Metall- und Kunststoffverwertung: http://www.ara.at/d/konsumenten/verwertungskino.html

Englische Webseiten

Für englischsprachige Übungen und Recherchen können folgende Webseiten verwendet werden, sortiert nach Anwenderfreundlichkeit im Unterricht:

Den Footprint Rechner gibt es (engl.) auch für Wasser: http://www.waterfootprint.org

EPA (Environmental Protection Agency) der USA: life cycle of a cell phone poster und Übungen http://www.epa.gov/osw/education/pdfs/life-cell.pdf

Interaktive Webseite der Firma Borealis GmbH mit tollen Spielen und Wissenstests zu Kunststoffen (auf Englisch) http://www.borealisgroup.com/explorer/index.htm

USGS Poster (engl.): Minerals in Our Environment http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of00-144/of00-144.pdf

UNEP (United Nations Environment Programm): Viele Informationen zu weltweiten Aktionen und Hintergründen (engl.) direkt auf http://www.unep.org

Minerals and their uses, auf ScieneViews: http://www.scienceviews.com/geology/minerals.html

UNEP/MPPI (United Nations Environment Programm /Mobile Phone Partnership Initiative) Leitfaden der Baseler Konvention mit einer Fülle von Informationen zum Recycling von Handys: http://wm.epa.gov.tw/web/mobile/Guideline20090325.pdf

European Commission: Raw Materials – defining critical raw materials: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm

Alternativ zu den WorldMining Data kann man auch direkt die engl. Daten des US Geological Survey verwenden, hier gibt es eine Fülle von Informationen zu Anwendung, Preisänderungen etc.:

http://minerals.usgs.gov/minerals/ Den Namen des Rohstoffs eingeben und die PDF's anschauen, dort finden sich Infos über weltweiten Abbau etc.

Geologie Basics: http://3dparks.wr.usgs.gov/nyc/common/geologicbasics.htm

Folgende Webseiten sind unter vorsichtiger Abwägung des Neutralitätsfaktors der jeweiligen Webseitenbetreiber (z.B. nach vorheriger Diskussion der SchülerInnen und Recherche, wer dahinter steckt) zu verwenden:

Urban Mining: http://urbanmining.org/2012/03/12/ewaste-recycling-phones-gold/
Electronic Recyclers International Inc.: http://electronicrecyclers.com/
Coalition for American Electronics Recycling: http://www.americanerecycling.org/

Englische Videos

Planetgreen: http://planetgreen.discovery.com/tech-transport/ever-wondered-whats-really-in-your-cell-phone-wonder-no-more.html engl. Comic, auch mit Untertiteln einstellbar. Das Video ist zwar eher für jüngere Kinder, aber vom Informationsgehalt recht gut aufbereitet, insbesondere zum Ende hin!

Auf der Seite HowStuffWorks kann man sich populärwissenschaftliche Videos zu Handys (Strahlung, Netzbetrieb, Funktion etc.) anschauen, z.B. http://electronics.howstuffworks.com/cell-phone6.htm

IFixit bietet Videos und Manuals über Handys (engl.) z.B. zum Reparieren eigener Geräte an: http://www.ifixit.com/Guide

4.2. Verwendete Literatur

Es wurde versucht, die Recherche für PädagogInnen so nachvollziehbar und aktuell wie möglich zu halten, daher wurden möglichst viele Webseiten verwendet. Alle Webseiten waren am 10. Oktober 2012 noch abrufbar. So weit möglich wurden seriöse, wissenschaftliche, neutrale und vertrauenswürdige Webseiten verwendet, auch wenn sich z.B. bei den Videos auch Links von Firmen o.ä. finden können. Die Autorin übernimmt keine Verantwortung für jegliche Inhalte und Weblinks.

Ein Großteil der Informationen ist aus folgenden Veröffentlichungen zusammengetragen:

- Blass et al. (2006): End-of-Life management of cell phones in the United States. Santa Barbara, University of California downloadbar http://www.bren.ucsb.edu/research/documents/cellphonethesis.pdf
- Europäische Kommission: http://ec.europa.eu/dgs/environment/index_en.htm Direktiven, Daten und Fakten zu Umwelt, Rohstoffen etc., siehe auch genaue Links weiter unten
- Nokia Studie (2005): Integrated Product Policy Pilot Project: Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones. http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/nokia_mobile_05_04.pdf
- Reller et al. (2009): The Mobile Phone: Powerful Communicator and Potential Metal Dissipator" „GAIA – Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft", download unter http://www.ingentaconnect.com/content/oekom/gaia/2009/00000018/00000002/art00010
- Umweltbundesamt Wien, Broschüre „Elektroaltgerätebehandlung in Österreich" unter http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/abfall/behandlung/recycling/eag/
- UNEP/MPPI: Mobile Phone Partnership Initiative-Leitfaden der UNEP (United Nations Environment Programm) des Baseler Übereinkommens, 2008: http://archive.basel.int/meetings/oewg/oewg7/docs/oewg07-inf07.pdf
- USGS (US Geological Survey), Mineral- und Commodity-Webseiten des USGS unter www.usgs.org – Minerale oder Schlagwörter in die Suche eingeben
- World Mining Data (2011): WELT-BERGBAU-DATEN, L. Weber, G. Zsak, C. Reichl, M. Schatz, Heft 26, Wien 2011, Download unter http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/WMD2011%20mit%20Grafiken.pdf

Zusätzlich wurden verwendet:

Kapitel 2.1:

Teltarif- Telekommunikationsmagazin, Beschreibung Handynetze
http://www.teltarif.de/mobilfunk/gsm.html

Kapitel 2.2:

Übersicht und Infos angepasst und verändert aus:
Umweltbildungszentrum Steiermark: HANDY & CO, Elektro- und Elektronikschrott für die Schule
http://www.ubz-stmk.at/upload/documents/cms/308/E-Schrott.pdf

Deutsche Umwelthilfe: Was ist drin im Handy, Download unter
http://www.duh.de/uploads/media/Schule_EAG.pdf

SWICO (Swiss Association for Information, Communications and Organization Technology):
http://www.swicorecycling.ch/d/information_handydays_unterrichtsdossier.asp

Mikroelektronik allgemein:
H. Lohninger (2004): Angewandte Mikroelektronik. Epina, Pressbaum.
Teile des eBooks downloadbar unter http://www.vias.org/mikroelektronik/

Displays: Teltarif http://www.teltarif.ch/handy/display.html?page=2 und Firmeninfo Netzsch: http://www.netzsch-grinding.com/de/branchen-applikationen/nanoanwendungen/fluessigkristallbildschirme-lcd.html

Für eine sehr vereinfachte Erläuterung der verschiedenen Touchscreens siehe auch
http://www.physikfuerkids.de/wiewas/touch/

Kondensatoren:
Elektronik-Bauelemente-Beschreibungen:
http://www.elektronik-bauelemente.info/kondensator/keramikkondensator.html

Abb. und Beschreibungen auf ITWissen (OnlineLexikon) unter:
http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Kondensator-capacitor.html

Prozessor:
Brown, Jeffery (2005). „Application-customized CPU design". IBM developerWorks, download
http://www.ibm.com/developerworks/power/library/pa-fpfxbox/?ca=dgr-lnxw07XBoxDesign

Firma Intel: Beschreibung eines Mikroprozessors
http://www.intel.com/cd/corporate/pressroom/emea/deu/424190.htm

Ratgeber Connect Zeitschrift: http://www.connect.de/ratgeber/das-herz-des-handys-375345.html

Akku/Batterien:
IT Wissen online http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Lithiumionen-Akku-LiIon-lithium-ion.html

Firmenwebseiten dazu:
Thermo Analytics http://www.thermoanalytics.com/support/publications/batterytypesdoc.html

Cell phone battery guide http://www.cellular.co.za/cellbattery.htm

Kapitel 2.3: Definitionen Rohstoffe

BMWFJ (Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend)
http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Seiten/default.aspx und Rücksprache mit Prof. Weber

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Deutschland www.bgr.de

USGS USGS (US Geological Survey), Definitionen www.usgs.org

Kapitel 2.4: Die Rohstoffe eines Mobiltelefons

Angaben Metalle im Handy:
Hagelüken: Wir brauchen ein globale Recyclingwirtschaft, aus einem Vortrag 2010 in Wien, downloadbar http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/events/20101011_rohstoffversorgung_christian_hagelueken.pdf

Hagelüken (2010) in Reuscher, Plötz, Yemetz, Zweck (2011): Mehr Wohlstand – weniger Ressourcen. Instrumente für mehr Ressourceneffizienz in Wirtschaft und Gesellschaft. Hrsg. Zukünftige Technologien VDI Technologiezentrum, Düsseldorf. Studie zur Ressourceneffizienz. Nach Registrierung kostenlos downloadbar unter: http://www.zukuenftigetechnologien.de/zt-consulting/download.php?s=2

USGS Fact Sheet 2006-3097: Recycled Cell Phones http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3097/

UNEP Webseite, Cécile Marin (2006): Inhalt Mobiltelefon, graphisch dargestellt http://maps.grida.no/go/graphic/cell_phone_composition

Kapitel 2.5: Die Rohstoffe dieses Materialkoffers

Für alle Unterkapitel von 2.5 gilt:
chemische Formeln, Darstellungen, Nachweise:
Holleman, Wiberg (2007): Lehrbuch der anorganischen Chemie. 102. Auflage. De Gruyter Verlag

Riedel, Janiak: Anorganische Chemie. 2011. Verlag de Gruyter. u.a. mit Mineralabbildungen. http://chemie.degruyter.de/riedel

Geologie, Mineralogie, Lagerstätten:
BGR: Diverse Infos zu Rohstoffen (z.B. Seltene Erden, etc.) von der BGR Hannover: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/produkte_node.html

Matthes, S.: Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde (Springer-Lehrbuch, 8. Auflage, 2009).

US Geological Survey: http://minerals.usgs.gov/minerals/
(Fülle von Infos, z.B. auch mit Welt-Abbau-Daten u.a.)

Mineralogical Society of America: http://www.handbookofmineralogy.org/ (online PDFs zu Mineralen)

Mineralogie-Datenbanken (frei zugängliche Online-Datenbanken):
Mindat http://www.mindat.org (u.a. mit interaktiven Karten von Fundorten der Mineralien)

Webmineral http://webmineral.com

H.-G. Stosch: Einführung in die Gesteins- und Lagerstättenkunde, Institut für Mineralogie und Geochemie, Universität Karlsruhe. Vorlesungsskriptum, downloadbar bei AKLEON (Akadem. Lehrmaterial Online) unter http://www.akleon.de/einfuhrung-in-die-gesteins-und-lagerstattenkunde-2

Selley at al (2005): Encyclopedia of Geology. Verlag Elsevier.

Zusätzlich dazu in Kapitel 2.5.2 verwendete Literatur:

Kunststoffe:
FCIO – Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs. Webseite mit vielen Informationen über Kunststoffe, deren Verwertung etc. http://www.fcio.at/DE/kunststoffe.fcio.at/Wissenswertes%20%C3%BCber%20Kunststoff/Kunststoffe%20allgemein/Was%20sind%20Kunststoffe/Was+sind+Kunststoffe.aspx

Ölschiefer:
Ölschiefer Definition BGR: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Steine_Erden/11-Sonst_Rohstoffe/113-Oelschiefer/1131-Definition/1131_aktuelle_version.html

USGS, 2005: Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits (Dyni, J). Scientific Investigations Report. http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5294/pdf/sir5294_508.pdf

Tonminerale:
Bentonit-Anwendungen zur Wasserreinigung mit Methylenblauabsorption,
z.B. http://www.bentonit.de/anwendungen/wasserbehandlung/versuche.html

Tonminerale bauen http://pubpages.unh.edu/~harter/crystal.htm

Tantal:
Australian Government. Geosciences Australia. Angaben über Tantal und andere abgebaute Rohstoffe. Hier kann man sich auch interaktiv Karten mit Minen anschauen etc.:
http://www.ga.gov.au/minerals/mineral-resources.html

BGR Fingerprinting Methode: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Projekte/Rohstoff-Forschung-abgeschlossen/LF_Herkunftsnachweis_COLTAN.html?nn=1546396 und Rücksprache mit Dr. Frank Melcher

ICE (Inventory of Conflict & Environment) Berichterstattung/ case study:
Ware, N (2001): Kongo war and the role of coltan: http://www1.american.edu/ted/ice/congo-coltan.htm

ICE – Berichterstattung: Huy, Liedtke, Melcher, Graupner (2011), auf der Seite der Geologischen Gesellschaft zum Dodd-Frank-Act, download http://www.dgg.de/cms/upload/pdf2011/CTN_Nr_37_-_Der_Dodd-Frank-Act_und_seine_Auswirkungen_auf_den_Tantalmarkt.pdf

Lohninger, H. (2004): Angewandte Mikroelektronik. Epina, Pressbaum.
Teile des eBooks downloadbar unter http://www.vias.org/mikroelektronik/capacitors_types.html

Kapitel 2.6: Andere wichtige Rohstoffe im Handy

Holleman, Wiberg (2007): Lehrbuch der anorganischen Chemie. 102. Auflage. De Gruyter Verlag

US Geological Survey: http://minerals.usgs.gov/minerals/

Einige Direktlinks der bekannten Seiten auf BGR und USGS:
BGR Commodity Top News Nr.32, Liedtke und Elsner (2009): Seltene Erden
http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/31_erden.pdf?__blob=publicationFile&v=2

BGR Commodity Top News Nr. 33: Elsner, Melcher, Schwarz-Schampera, Buchholz (2010): Elektronikmetalle – zukünftig steigender Bedarf bei unzureichender Versorgungslage?
http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/33_elektronikmetalle.html?nn=1542306

USGS http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/
http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5094/pdf/sir2011-5094.pdf (Broschüre, u.a. Anwendung in Keramik)

USGS SEE facts http://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/
http://www.molycorp.com/GreenElements/TheRareEarthElements/Neodymium.aspx

Kapitel 2.7: Rohstoffe Österreichs

BMWFJ (Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend), verschiedene Infos:
http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/MineralischeRohstoffe/Seiten/default.aspx

World Mining Data: http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/WMD2011%20mit%20Grafiken.pdf

Rohstoffplan: http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Rohstoffplan/Seiten/default.aspx

Broschüre Schätze im Berg: http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/Sch%C3%A4tze%20im%20Berg.pdf

Forum mineralische Rohstoffe (Vereinigung Fachverband Steine-Keramik, der Bundesinnung der Bauhilfsgewerbe und der Landesinnungen der Bauhilfsgewerbe): Verwendung mineralischer Rohstoffe: http://www.baustoffindustrie.at/forum/

Imagebroschüre Forum Rohstoffe: http://www.baustoffindustrie.at/forum/PUB_Texte/PUB_Imagefolder.html

Zahlen, Daten, Fakten: http://www.forumrohstoffe.at/FORUM_Texte/Zahlen-Fakten.html

Österreichische Akademie der Wissenschaften, Poster Rohstoffe http://www.oeaw.ac.at/rohstoff/post02.pdf

Kapitel 2.8: Rohstoffknappheit

Weber, L (2010): Die geologische und tatsächliche Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen für künftige Energietechnologien. Präsentation Prof. L. Weber download unter http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/events/20101011_rohstoffversorgung_leopold_weber.pdf hier auch zusammengefasste Daten über Seltene Erden des USGS auf Deutsch aufbereitet!

Europäische Kommission: Kritische Rohstoffe, Defining Critical Raw Materials for the EU: A Report from the Raw Materials Supply Group. 2010: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_de.htm andere Referenzdokumente http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/documents/index_de.htm

Madrid raw materials declaration http://www.euromines.org/downloads/Madrid_Conference_Industry_Statement_june_2010.pdf

Rat für nachhaltige Entwicklung http://www.nachhaltigkeitsrat.de/nachhaltigkeit/

Kapitel 2.9: Recycling

AuF: Fakultät Werkstofftechnik an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg; Metall-Recycling http://www.ohm-hochschule.de/seitenbaum/fakultaeten/werkstofftechnik/startseite/fachgebiete/metalle/genese-und-prozesse/recycling/page.html

AEA Österreichische Energieagentur: Unter dem Titel www.topprodukte.at findet sich ein Programm von klima:aktiv, der Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums. Die Österreichische Energieagentur ist mit dem Management der Informationsplattform beauftragt, Kooperationspartner ist der WWF Österreich. Initiator und Auftraggeber ist das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt

Borderstep Institut: Broschüre Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland,Trends und Einsparpotenziale bis 2013 des BITKOM (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.) http://www.bitkom.org/ http://www.bitkom.org/files/documents/Energieeinsparpotenziale_von_Rechenzentren_in_Deutschland.pdf

Dialogprozess Konsum des Deutschen Bundesministerium für Umwelt, Schwerpunkt IKT: Dokumente und Publikationen: http://www.dialogprozess-konsum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=43&Itemid=76

EAK Austria Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle, http://www.eak-austria.at/ u.a. EAK Infofolder Recycling Elektrogeräte: http://www.eak-austria.at/presse/EAK_Infofolder_EAG_Batt.pdf

EC, Europäische Kommission, rechtliche Regelungen: Wiederverwertung und Ressourceneffizienz http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/resource-efficiency-recycling/index_de.htm und link zur Europa-2020-Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa"

WEEE Directive:
http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm
Zusammenfassungen der EU-Gesetzgebung: Richtlinien und Geltungsbereiche – Abfallentsorgung
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l21210_de.htm

Encyclopedia of Earth: Cell Phone Recycling, etwas veraltete Angaben
http://www.eoearth.org/article/Cell_phone_recycling?topic=49558

Environmental Literacy Council: http://www.enviroliteracy.org/article.php/1119.php

EPA USA, E-waste info http://www.epa.gov/osw/conserve/materials/ecycling/faq.htm

Fraunhofer Institut IZM und ISI, Broschüre „Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft" unter http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=305306.html

Greenpeace über Polybromierte Flammschutzmittel, unter Abwägung der Neutralität zu verwenden
http://www.greenpeace.org/austria/Global/austria/dokumente/Factsheets/umweltgifte_polybromierte_flammschutzmittel.pdf

Hagelüken, 2010: Wir brauchen eine globale Recyclingwirtschaft, aus einem Vortrag in Wien,
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/events/20101011_rohstoffversorgung_christian_hagelueken.pdf

Hagelüken, C.: Edelmetallrecycling Status und Entwicklungen
http://www.preciousmetals.umicore.com/PMR/Media/sustainability/show_Edelmetallrecycling.pdf

IZMF (Informationszentrum Mobilfunk e.V.) Deutschland http://www.izmf.de

IW Köln, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung:
http://www.iwkoeln.de/de/infodienste/iwd/archiv/beitrag/30215?highlight=Urban%252BMining

Lexikon der Nachhaltigkeit, Online-Lexikon der Aachener Stiftung Kathy Beys
http://www.nachhaltigkeit.info

Reller,A. 2010, ORF Interview http://science.orf.at/stories/1649809/

RREUSE (Reuse and Recycling European Union Social Enterprises) Netzwerk sozialwirtschaftlicher Akteure, das im Bereich Wiederverwendung und Recycling tätig ist: http://www.rreuse.org/t3/
Gute Übersicht über Direktiven etc. z.B. direkt auf
http://www.rreuse.org/t3/public-area/environmental-policy/waste-electrical-and-electronic-equipment/

Schluep, M. et. al. 2009, Recycling – From e-waste to resources. UNEP and STEP (Solving the E-Waster Problem): http://www.unep.org/PDF/PressReleases/E-Waste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf

SWICO Recycling (Swiss Association for Information, Communications and Organization Technology) Factsheets http://www.swicorecycling.ch/pdf/SWICO_Recycling_Factsheet_Handy_Recycling.pdf

UMTEC: Institut für Umwelt und Verfahrenstechnik, Hochschule für Technik, Ostschweiz
http://www.umtec.ch/Sortierung.5148.0.html

Umweltbundesamt: Broschüre Elektroaltgerätebehandlung in Österreich, Zustandsbericht 2008; 262 Seiten, download unter http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0199.pdf

Umweltdatenbank, Online-Lexikon http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekobilanz.htm

UNEP/GRIDArsenal Informationen: Waste Management Europa (engl.)
http://maps.grida.no/go/graphic/packaging_waste_production_per_capita_in_europe
http://maps.grida.no/go/graphic/about_the_difficulties_of_classifying_waste_and_counting_it

UNEP/MPPI (Mobiltelefonpartnerschaftsinitiative) der Baseler Konvention mit der Industrie.
Kurzzusammenfassung http://www.informinc.org/mppi.pdf,
adaptierter Bericht und Guidelines von 2009: http://wm.epa.gov.tw/web/mobile/Guideline20090325.pdf
und Webseite mit vielen Links zur Enttstehung des Berichts... http://archive.basel.int/industry/mppi.html

UNEP-Projekt "Where are WEEE in Africa?" Unter der Baseler Convention: http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/EWaste/EwasteAfricaProject/tabid/2546/Default.aspx

UNEP Müllentsorgung Beispiel Deutschland
http://maps.grida.no/go/graphic/export_of_waste_as_reported_by_germany_in_tonnes_2001

USGS: Metallrecycling in den USA: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/recycle/ und http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/recycle/myb1-2009-recyc.pdf

USGS Fact Sheet 2006-3097 (tw. etwas veraltete Daten): Recycled Cell Phones
http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3097/

Wirtschaftskammer Österreich, Projekt Energieeffizienz dank IKT: http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=523856&dstid=6155&titel=Was%2CIT%2Calles%2Ckann

Kap. 2.10: Handy und Gesundheit

Bundesamt für Strahlenschutz Deutschland,
hier gibt es auch Unterrichts-Unterlagen zum Handygebrauch und Strahlenschutz:
http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/unterrichtsmaterial/mobilfunk/Ordner_Mobilfunk.html

WHO Factsheet No 193 (2011): Electromagnetic fields and public health: mobile phones
http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html

5. Danksagung

Ich möchte mich bei all den Personen bedanken, die mir helfend zur Seite standen, sei es mit Rat und/oder Tat. Ich bitte um Verzeihung, falls ich jemanden vergessen haben sollte!

StR. Wilfried Bookhagen

Dr. Maurus de la Rosa

Dr. Vera Hammer

Univ.-Prof. Dr. Christian Köberl

Dr. Uwe Kolitsch

Mag. Agnes Mair

Mag. Kurt Maurer

Mag. Monika Müller

Wilhelm Niemetz

Gundula Prinz, M.A.

Dr. Benjamin Sames

Mag. Gertrude Schaller

Univ.-Prof. Dr. Christoph Spötl

Dr. Herbert Summesberger

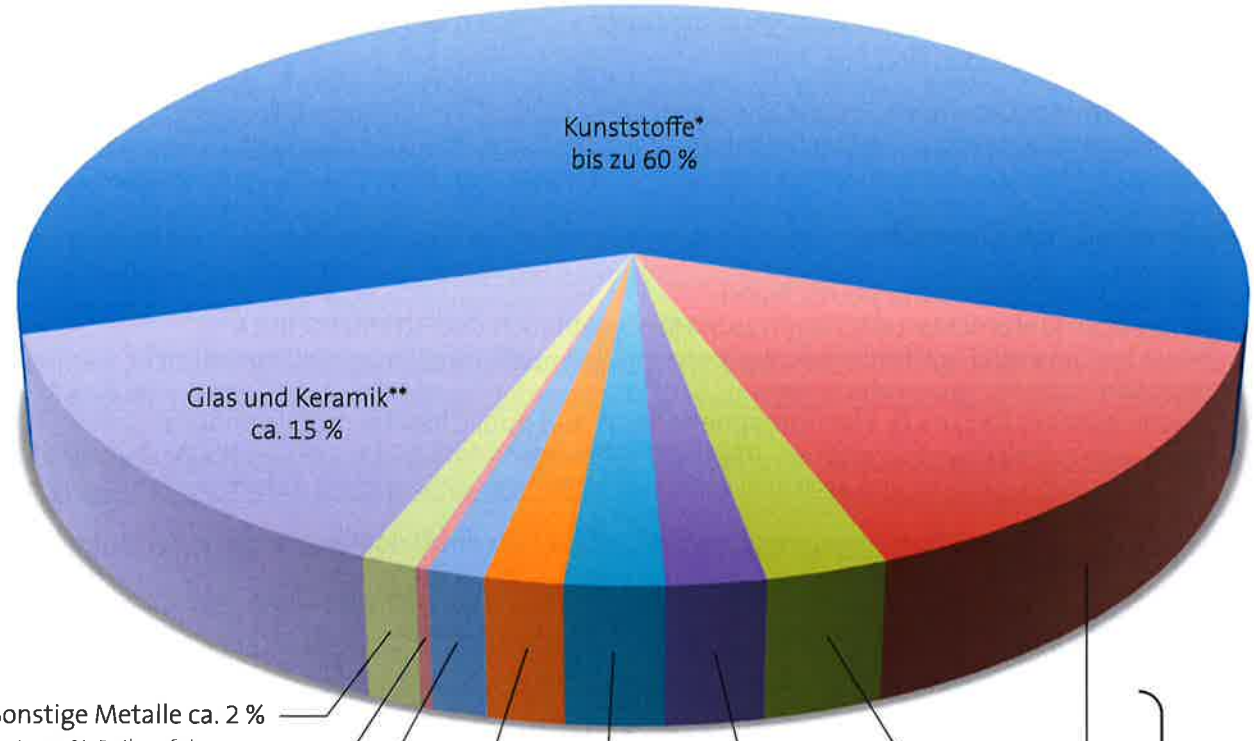
Von den Firmen Wacker und Siltronic bei Angelika Bader, Manfred Bucher, Judith Klier, Günter Sachs und Dr. Wolfgang Storm

Prof. Dr. Leopold Weber

Appendix 1

Vorkommen der Rohstoffe im Handy

Durchschnittswerte, in Gewichtsprozent des gesamten Handy inkl. Akku. Werte zusammengefasst nach UNEP 2008, Blass 2006, Reller 2009. Erläuterungen siehe Kapitel 2.4.



Sonstige Metalle ca. 2 %
unter 1 %, Reihenfolge nicht nach Anteil: Platin, Tantal, Gold, Palladium, Silber, Chrom, Titan, Wolfram, Zink, Mangan, Brom, Magnesium, Bismut, Beryllium, Barium, Zirkonium, Ruthenium, Strontium, Halbmetalle (Antimon, Arsen, Gallium).

Zinn ca. 1 %

Nickel ca. 2 %

Kobalt ca. 2–3 %

Eisen ca. 3 %

Aluminium ca. 3 %

Lithium ca. 3–4 %

Kupfer ca. 15 %

Metalle mind. 25 %

* Kunststoffe: Herstellung größtenteils aus Erdöl, bis zu etwa 10 % aus Silizium

** Glas und Keramik: Herstellung hauptsächlich aus Quarz und Tonmineralien

Häufigkeit einiger Elemente, Weltjahresproduktion und Hauptproduzenten

Element/ Rohstoff	**Häufigkeit* in Erdkruste in Gewichtsprozent**	**Weltjahresproduktion in Tonnen** (USGS, 2007; WMD 2011)	**Hauptproduzenten** (Prozentanteile gerundet) (USGS, 2007; World Mining Data, 2011)
Silizium	28	5.400.000 (USGS, 2009)	China, Russland, Brasilien (k.A.)
Aluminium	8	37.137.023	China (35 %), Russland ®®(9 %), Kanada (8 %), Australien (5 %), USA (5 %)
Eisen	6	1.125.473.907	China (25 %), Australien (22 %), Brasilien (17 %), Indien (13 %)
Kupfer	0,0068 12.000x mehr als Gold	15.618.328	Chile (35 %), Peru (8 %), USA (8 %), China (7 %), Australien (6 %)
Cer	0,006	132.375	China (97 %), Russland®® (2 %), Brasilien (< 1 %)
Lanthan	0,0034		
Lithium	0,0017	34.000 (USGS 2011)	Chile (35 %), Australien (28 %), Argentinien (14 %), USA (9 %)
Blei	0,0012	3.844.695	China (42 %), Australien (15 %), USA (10 %), Peru (8 %)
Tantal	0,0002	ca. 1400, Daten von 2011:790	Brasilien (25 %), Mosambik (15 %), Ruanda (13 %), Australien
Indium	$1{,}6\times10^{-5}$ (0.05 ppm USGS)	600 (USGS)	China (53 %), Korea (15 %), Kanada (19 %)
Silber	8×10^{-6} 18x mehr als Gold	22.100	Peru (17 %), Mexiko (16 %), China (13 %), Australien (7 %)
Platin	$3{,}7\times10^{-6}$	185	Rep. S-Afrika (78 %), Russland ®(8 %)
Palladium	6×10^{-7}	190	Russland (44 %), Rep. S-Afrika (39 %), USA (7 %)
Gold	3×10^{-7}	2.418	China(13 %), Australien (9 %), USA (9 %), Rep.S-Afrika (8 %)
Industrieminerale und Rohstoffe			
Bentonit		13.590.814	USA (30 %), China (25 %), Griechenland (6 %)
Erdöl	Element Kohlenstoff 0,02	3.648.848.648	Saudi Arabien (13 %), Russland ®®(12 %), USA (9 %), Iran (6 %), China (5 %)
Ölschiefer		14.010.442	Estland (90 %), Russland®® (8 %), Deutschland, Frankreich, Österreich
Bauxit		184.933.642	Australien (35 %), China (16 %), Brasilien (14 %)

* Schätzwerte; Werte weichen stark voneinander ab, je nach Quelle und Messmethode; Angaben zusammengefasst nach: www.usgs.org, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1995; Hollemann-Wiberg 2007; Matthes Mineralogie 2007; www.periodictable.com; World Mining Data 2011

Russland: ® asiat. Teil ®®europ. Teil

Vergleich Leiterplatine Handy und Smartphone

Kondensatoren
(z.B. Tantal- und Keramik-
kondensatoren

Mikrochips
(Silizium)

Leiterplatine
(faserverstäkter
Kunstoff, Kupfer)

Kupfer- und Golddrähte,
Silberlegierungen,
Platinverbindungen
etc.

Appendix 2

Mineralogie der Rohstoffe des Materialkoffers und praktische Übungen

Mineralogie Chalkopyrit	$CuFeS_2$
Farbe	Messingfarben mit schimmerndem Stich von grün-blau-violett
Strich* und Glanz	grünschwarz bis schwarz; Metallglanz
Härte** und Dichte	3,5–4 (Mohs); 4,1–4,3 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	undeutlich; Bruch muschelig, uneben, spröde
Kristallsystem und Formen	tetragonales System; oft massig, derb, trauben- oder nierenförmig

Mineralogie Polysilizium	Si
Farbe	hellgrau bis bläulich schimmernd
Strich* und Glanz	anthrazit; metallisch glänzend
Härte** und Dichte	6,5; 2,3 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	Keine; muschelig
Kristallsystem und Formen	

Mineralogie Magnetit	Fe_3O_4
Farbe	schwarz metallisch, bräunlich, undurchsichtig
Strich* und Glanz	Schwarz bis schwarzbraun; Metallglanz, matt
Härte** und Dichte	5½–6½; 5–5,2 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	undeutlich; Bruch muschelig, spröde
Kristallsystem und Formen	kubisch; Oktaeder; auch derbe und dichte Massen.

Mineralogie Bauxit	Sedimentgestein aus Gibbsit $Al(OH)_3$, Böhmit und Diaspor (beide AlOOH)
Farbe	Eigentlich farblos, durch beigemengte Fe-Mineralien meist rötlich
Strich* und Glanz	nicht spezifisch da Gestein verschiedener Mineralien; tw. rötlich durch Einbau von Eisenmineralien
Härte** und Dichte	nicht spezifisch da Gestein verschiedener Mineralien, je nachdem welches man ritzt (Gibbsit 2,5–3; Böhmit 3,5; Diaspor 6,5–7)
Spaltbarkeit und Bruch	nicht spezifisch
Kristallsystem und Formen	nicht spezifisch

Mineralogie Lepidolith	$K(Li,Al)_3[(F,OH)_2](Si,Al)_4O_{10}]$
Farbe	rosa, violett, rötlichgrau, weiß; Farbe durch einen geringen Gehalt an Mn^{2+} verursacht
Strich* und Glanz	weiß; Perlmuttglanz
Härte** und Dichte	2–3; 2,8 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	Vollkommen; Bruch blättrig
Kristallsystem und Formen	monoklin, tafelige Kristalle, schuppige, blättrige oder halbkugelige Aggregate

Mineralogie Ölschiefer	
Farbe	unverwittert schwarz oder braun, bei Verwitterung bilden sich weiße Krusten
Strich* und Glanz	braun; stumpf, ölig
Härte** und Dichte	Härte 3–4; Dichte: 1–2 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	nicht spezifisch da Gestein; sehr kompakt und splittert stark
Kristallsystem und Formen	nicht spezifisch da Gestein

Mineralogie Montmorillonit	$(Al, Mg)_2 [(OH)_2/(Si_4O_{10})](Na, Ca) (H_2O)$
Farbe	In reiner Form weiß, durch Fremdmineralien wie Eisenoxide gelblich bis rötlich, grünlich oder bläulich
Strich* und Glanz	Strichfarbe immer weiß; Glanz matt oder derb
Härte** und Dichte	Härte 1–2; Dichte 2-3g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	perfekte Spaltbarkeit; irregulärer Bruch bzw. nicht vorhanden
Kristallsystem und Formen	monoklin; mikroskopisch kleine, plättchenförmige Kristalle

Mineralogie Quarz	SiO_2
Farbe	farblos, gräulich, durchsichtig; durch Fremdeinlagerungen z.B. gelb (Citrin), Violett (Amethyst), braun (Rauchquarz)
Strich* und Glanz	weiß; Glasglanz, auf Bruchflächen Fettglanz
Härte** und Dichte	Härte 7; Dichte 2,6 g/cm³
Spaltbarkeit; Bruch	keine; muscheliger Bruch, Aggregate körnig, splitterig
Kristallsystem und Formen	trigonales System, als Prismen, Rhomboeder, Dipyramiden, auch verzwillingt; oft in Drusen/Geoden

Mineralogie Niobit-Tantalit („Coltan")	$(Fe, Mn)\ (Nb, Ta)_2O_6$
Farbe	undurchsichtig, meist dunkelrotbraun bis schwarz
Strich* und Glanz	rötlich bis schwarz; Glanz porzellanartig
Härte** und Dichte	Härte 6–6½ ; Dichte 6–8 g/cm³
Spaltbarkeit und Bruch	gut; irregulärer Bruch, muschlig bis spröde
Kristallsystem und Formen	Orthorhombisch; prismatisch bis tafelig

Anmerkungen:

* Strichfarbe: auf unglasiertem Porzellan (z.B. im GEOLAB zu finden)

** Härte: nach Mohs-Skala

Da das Blattgold in den Flaschen verschlossen ist, ist die Mineralogie hier nicht weiter erläutert.

Rohstoff	praktische Übungen
Chalkopyrit (Kupfererz) $CuFeS_2$	Kann beim Anschlag mit dem Hammer Funken versprühen; Chalkopyrit kann in Salpetersäure gelöst werden, Salzsäure greift die Oberfläche an, wobei er Regenbogenfarbig anlaufen kann. Mit einer offenen Flamme (Bunsenbrenner) verfärbt er sich grünlich.
Polykristallines **Silizium** (Bruch)	Vergleichen mit der Dichte von Magnetit: beide Materialien wiegen, Volumen berechnen (Wasserverdrängung) und Dichte errechnen. Vergleich mit Ritzhärte von Niobit-Tantalit: ritzt Glas schneller bei leichterem Druck als Niobit-Tantalit
Magnetit (Eisenoxid) Fe_3O_4	Zeigt Eigenmagnetismus: Feine Eisenspäne aufstreuen, erzeugt Muster der Magnetfeldlinien. Strichfarbe vergleichen mit der von Columbit-Tantalit
Bauxit (Aluminiumerz) (Sedimentgestein aus verschiedenen Aluminium- und Eisenerzen)	
Lepidolith $K(Li,Al)_3[(F,OH)_2](Si,Al)_4O_{10}]$	Rosa Farbe durch Einbau von Mangan, schmilzt leicht, färbt die Flamme karminrot (Lithium); in Säuren nur schwer löslich
Ölschiefer (Sedimentgestein)	mit Messer anritzen, stinkt nach H_2S und Kohlenwasserstoffen (Bitumen)! Zündet man Ölschiefer mit einem Feuerzeug an, verbreitet es einen starken Schwefelgeruch, auch das Klopfen oder Ritzen mit einem Hammer verursacht einen typischen Ölgeruch
Tonmineral **Montmorillonit** $(Al, Mg)_2\ [(OH)_2/(Si_4O_{10})](Na, Ca)\ (H_2O)$	Pulver zwischen den Fingern reiben: fühlt sich an wie Seife, Körnchen bleiben Wassertropfen kleben (Wasseraufnahme).
Quarz (Siliziumdioxid) SiO_2	Strichfarbe vergleichen mit der von Magnetit und Lepidolith Härte vergleichen: Glas kratzen
Tantalerz „Coltan" (**Niobit-Tantalit**) $(Fe, Mn)\ (Nb, Ta)_2O_6$	Strichfarbe; Härtevergleich siehe Silizium

Appendix 3

Exkurs: Produktion von Silizium-Einkristallen

Hochreine Silizium-Einkristalle, die zur Herstellung von Wafern z.B. für die Chipherstellung benötigt werden, werden u.a. über folgende Zwischenschritte hergestellt:

1. Gewinnung des Rohsiliziums aus Quarz
2. Herstellung des Polysiliziums über Trichlorsilan
3. Züchtung des hochreinen Einkristalls durch Tiegelziehverfahren

Im Folgenden sind die Schritte detailliert beschrieben:

1. Gewinnung des Rohsiliziums aus Quarz:

Das Rohsilizium wird aus Quarz gewonnen. Hierbei wird Quarzkies mit einer mittleren Körnung von 16–60 mm verwendet (eine zu kleine Körnung (z.B. Quarzsand) ist eher ungünstig, da nicht genug Hohlräume für das Durchströmen des entstehenden gasförmigen Siliziumoxids vorhanden sind). Das Mineral Quarz besteht aus Siliziumdioxid (SiO_2). Ein reiner Quarzkies steigert daher die Effizienz der großtechnischen Herstellung von Rohsilizium. Silizium (Si) kommt wie z.B. Eisen in der Erdkruste nur in gebundener Form vor, d.h. es tritt nur in Verbindungen auf – als Siliziumdioxid (SiO_2) in Quarz oder in den Silikatmineralen ($SiO_2 * H_2O$) als stabile SiO_4-Tetraeder (Eisen kommt z.B. ebenfalls als Oxid (z.B. Fe_2O_3) oder auch als Sulfid (Pyrit, FeS) vor). Wie die Eisenherstellung findet auch die Siliziumherstellung in einem energieintensiven hochofenartigen Prozess statt, im Lichtbogenreduktionsofen bei Temperaturen von ca. 1600–2000 °C in der Gegenwart von Koks (elementarem Kohlenstoff). Die chemische Umsetzung erfolgt unter anderem unter der Anwendung des Boudouard Gleichgewichts gemäß den folgenden Formeln:

(1)	$C + CO_2$	$2\ CO$	(Boudouard Gleichgewicht)
(2)	$SiO_2 + CO$	$SiO + CO_2$	(1. Reduktionsschritt)
(3)	$SiO + 2C$	SiC (Siliziumcarbid) $+CO$	(2. Reduktionsschritt)
(4)	$2SiC + SiO_2$	$3\ Si + 2CO$	(Komproportionierung)

Abb. 1:

Quarzkies + Koks Lichtbogenofen = Rohsilizium

(Abb. aus www.euroquarz.de/herstellung_von_silizium.html)

Das entstandene Produkt wird als Rohsilizium oder auch als technisches Silizium oder metallurgisches Silizium bezeichnet und besitzt einen Siliziumanteil von ca. 98 %.

2. Herstellung des Polysiliziums, meist über Trichlorsilan

Da das metallurgische Silizium mit ca. 98 % noch zu stark verunreinigt ist, muss es in Polysilizium umgewandelt werden. Polysilizium besitzt den zur Herstellung nötigen Reinheitsgrad von ca. 10 ppt (parts per trillion), d.h. auf 100 Milliarden Siliziumatome kommt ein Nicht-Siliziumatom.

Die Umsetzung erfolgt überwiegend nach dem **Siemens-Verfahren**, das vor rund 50 Jahren entwickelt wurde und seither stark modifiziert wurde:

(1) $Si + 3HCl \rightarrow HSiCl_3 (g) + H2$ (Trichlorsilan)

(2) $HSiCl_3 + H2 \rightarrow Si + 3HCl$ (1000 °C) (Abscheidung von Polysilizium)

Nach der Umsetzung des metallurgischen Siliziums mit gasförmigen Chlorwasserstoff bei einer Temperatur von 1000 °C bildet sich im Wirbelschichtofen das flüssige Trichlorsilan (Siedepunkt 32 °C).

Anschließend wird das hochreine Silizium in einem Glockenreaktor an Dünnstäben abgeschieden. Dabei wird eine Mischung aus Trichlorsilan und Wasserstoff in den Reaktor geleitet. Bei der hohen Temperatur im Reaktor zersetzt sich das Trichlorsilan und setzt Si-Atome frei, die sich auf dem vorher eingebrachten Dünnstab abscheiden. Der Dünnstab wächst also zu dickeren Polysilizium-Säulen heran.

Zur Herstellung des Granulats erfolgt auch die Zersetzung des Trichlorsilans in einem Wirbelschichtreaktor, in dem dann kleingemahlene Siliziumkörner die Rolle der Keime anstelle der Dünnstäbe spielen.

Nach Beendigung des Prozesses wird größte der Teil der Polysilizium-Stäbe gebrochen („Polybruch") und unter Reinraumbedingungen weiterverarbeitet (aus einem kleineren Teil werden neue Dünnstäbe hergestellt). Reinraumbedingungen bedeutet, dass nur wenige Staubpartikel pro Kubikmeter Luft vorkommen dürfen. Jede Verunreinigung des Polysiliziums stellt eine Gefahr für die optimale Herstellung des Einkristalls dar. Es folgt im Anschluss das sog. Ziehen des **Einkristalls**.

Im polykristallinen Silizium gibt es – anders als im Einkristall – keine perfekte kristalline Ordnung, sondern es grenzen viele kleine Kristalle aneinander. Im Einkristall dagegen herrscht eine perfekte Ordnung, das Kristallgitter ist homogen in alle Richtungen.

Der eigentliche Effekt des Siemens-Verfahrens soll hier nochmal hervorgehoben werden, denn es hat einen Grund, warum festes Silizium (metallurgisches mit 98–99 % Reinheit) erst in Trichlorsilan umgewandelt wird und dann wieder als festes Silizium abgeschieden wird. Die Antwort ist, dass das flüssige Trichlorsilan großtechnisch hervorragend durch Destillation gereinigt werden kann. So kann aus hochreinem Trichlorsilan hochreines Polysilizium abgeschieden werden. Nur um das großtechnisch beste aller Reinigungsverfahren (Destillation) überhaupt anwenden zu können, wird der „Aufwand" betrieben, Silizium erst in eine Flüssigkeit umzuwandeln, um nach der Reinigung dann wieder festes Silizium abzuscheiden.

3. Herstellung des hochreinen Einkristalls durch Tiegelzieh-Verfahren.

Es gilt auch hier, dass jede Verunreinigung auf atomarer Ebene die Qualität des Produktes, den Einkristall, und damit später den Chip, gefährdet, denn Unregelmäßigkeiten des Kristallgitters beeinträchtigen die Funktionsweise:

Der sehr reine Polybruch wird in spezielle, hochreine ca. 50–500 kg fassende Quarztiegel gegeben, die nur einmal verwendet werden können. Hier wird das Silizium bei 1420 °C geschmolzen. Hier besteht die Möglichkeit durch die Zugabe von z.B. Phosphor oder Bor zu „dotieren" (gezieltes Einbringen von Fremdatomen), damit der spätere Wafer bestimmte elektrische Eigenschaften erhält. In die Schmelze wird von oben ein kleiner Siliziumimpfkristall eingebracht. Langsam lagert sich nun Siliziumatom nach Siliziumatom an das gewünschte, vom Impfkristall vorgegebene Kristallgitter ab. So wird das Kristallgitter des Impfkristalls Atom für Atom „weitergebaut". Verunreinigungen lagern sich schlechter an das Si-Kristallgitter an und verbleiben damit vorrangig in der Schmelze. Es entsteht ein hochreiner Einkristall (siehe Abb. 4c) mit einem Gewicht von bis zu 500 kg, 2 m Länge und einem variablen Durchmesser (Gewicht und Durchmesser werden durch Vorgaben vom Kunden bestimmt). 200 mm und 300 mm Durchmesser sind mittlerweile Standard. Die Industrie arbeitet bereits am nächstgrößeren Durchmesser 450 mm, nennenswerte Mengen werden wohl erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts eingesetzt werden.

Die Einkristallzucht kann mehrere Tage dauern, währenddessen wird der Tiegel ständig langsam gedreht und der Impfkristall langsam nach oben gezogen, daher der Name des Verfahrens (Anmerkung: Es existiert auch das Verfahren des Zonenschmelzens. Hier macht man sich denselben Effekt zu Nutze: Verunreinigungen (Fremdatome) verbleiben aus enegetischen Gründen eher in der Schmelze da ihr „störender" Einbau in das Kristallgitter bindungsenergetisch aufwendiger ist).

Der Einkristall besitzt eine Reinheit von mindestens 99,9999999 % (1 ppb). Im Prinzip wäre das durch das modifizierte Siemens-Verfahren erzeugte Polysilizium bereits in seiner Reinheit für alle folgenden Prozesse absolut ausreichend. Das Kristallziehen dient vor allem den Zweck, polykristallines Silizium in einen Einkristall zu überführen und damit die kristallographischen Eigenschaften (Einkristall) sowie darüber hinaus die elektrischen Eigenschaften über die Dotierung einzustellen. Ein Einkristall ist z.B. nötig, damit sich die Ladungsträger im Kristall freier bewegen können und nicht an den Korngrenzen der kleinen Kristallite im Polykristallin „hängen" bleiben.

Einerseits findet zwar beim Einkristallziehen eine gewisse Aufreinigung des Rohmaterials statt, weil metallische Verunreinigungen in der Restschmelze verbleiben. Andererseits kommen auch gezielt Verunreinigungen in den Kristall (Sauerstoff aus dem Quarztiegel, Kohlenstoff aus dem Graphittiegel, der den Quarztiegel hält, und natürlich die Dotierstoffe). Somit ist das Kristallziehen teilweise eine Aufreinigung und teilweise eine Kontaminierung des Siliziums, wobei letztere zum Teil gewünscht ist. Das am meisten verwendete Czochralski-Ziehverfahren (siehe Abb. 4) liefert somit einen Einkristall, der relativ gesehen eher „schmutziger" ist als das Polysilizium-Ausgangsmaterial. Aber natürlich ist auch der CZ-Einkristall nach wie vor extrem rein!

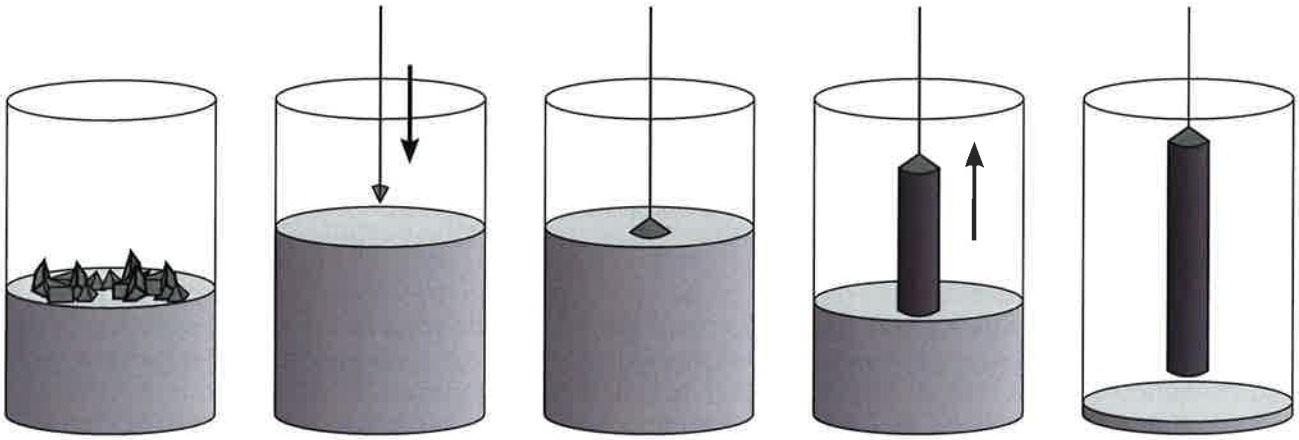


Abb. 4a: aus www.de.wikipedia.org/wiki/Czochralski-Verfahren

Abb. 4a und b: Schematische Darstellung des Tiegelziehens und des Kristallwachstums unter Schutzgas. **c.** Geöffneter Tiegel am Ende des Prozesses. Unten im Bild ist der Tiegel zu sehen, oben der Tiegeldeckel, an dem der Siliziumeinkristall „hängt". Links ist die Hebevorrichtung zu sehen, die den bis zu mehreren 100kg schweren Einkristall zieht. Der Prozess findet unter Reinraumbedingen statt (siehe Arbeitskleidung).

Abb. 4b: www.microchemicals.de/wafer.html

Abb. 4c: aus www.euroquarz.de/herstellung_von_silizium.html

Wichtigste Anwendungsbereiche von Polysilizium

Polysilizium ist das weltweit reinste Material, welches großtechnisch hergestellt wird.

Ein wichtiger Anwendungsbereich für Polysilizium ist die Elektronik- und Halbleiterindustrie: Die Silizium-Produktionsstätten der Halbleiterindustrie produzieren pro Jahr knapp 20.000 Tonnen polykristallines Silizium, damit daraus Silizium-Einkristalle gefertigt werden, aus denen man wiederum die Scheiben (Wafer) für die Mikrochips sägt. (Quelle: Auszug aus http://www.sfv.de/lokal/mails/sj/silizium.htm). Das Silizium muss dabei höchste Reinheitsgrade aufweisen, denn es darf im Wafer unter 100 Milliarden Siliziumatomen höchstens ein einziges Metallatom geben!

Silizium-Granulat ist darüber hinaus ein wichtiger Grundstoff für die Solarindustrie. Für Anwendungen in diesem Bereich entwickelte die Firma Wacker Chemie AG einen kontinuierlichen Prozess zur Herstellung von Silizium-Granulat, welches Sie als Nr. 11 in Ihrem Materialkoffer finden.

Produktionsmengen:

Bei den produzierten Polysiliziummengen ist inzwischen der Solarmarkt bei weitem dominierend (> 80 %, Anteil weiter steigend). Die Mengen für die Halbleiterindustrie sind inzwischen sehr klein im Vergleich dazu. Die Menge an produziertem metallurgischen Silizium (Rohsilizium) ist viel größer als die Menge an Polysilizium. Tatsächlich wird viel mehr metallurgisches Silizium in Silikonverbindungen umgewandelt oder in der Aluminiumindustrie eingesetzt, als in Polysilizium umgewandelt wird.

Die weltweite Menge an Polysilizium lag im Jahr 2010 bei etwa 150.000 Tonnen, die für metallurgisches Silizium bei etwa 6 Millionen Tonnen (dies sind nur grobe Schätzwerte!).

Kurzfilme über die Produktion von Wafern können auf der Webseite von Wacker direkt angeschaut werden unter: http://www.wacker.com/cms/de/press_media/press_service/filmmaterial/filmmaterial-overview.jsp

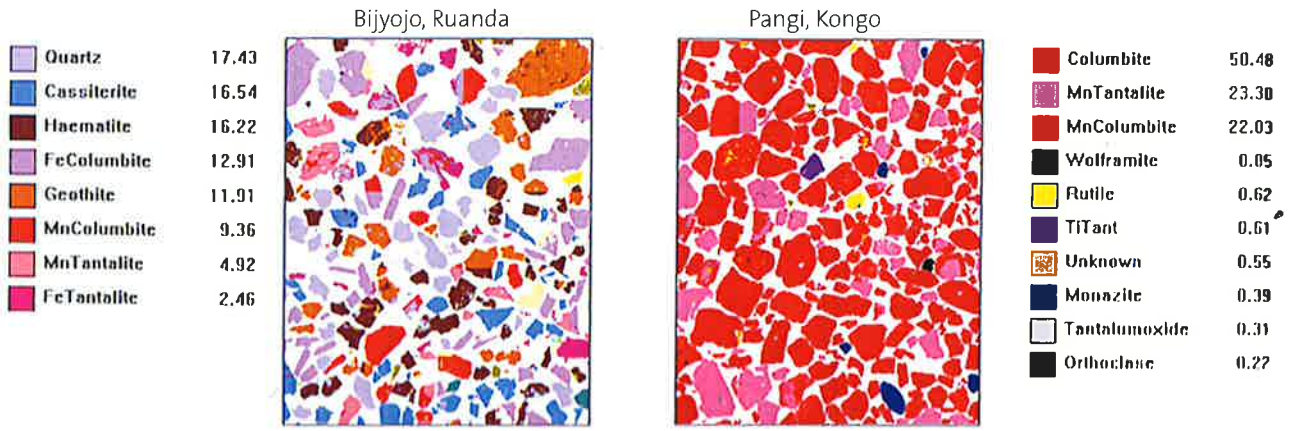
Appendix 4

Exkurs Fingerprint-Methode

Coltan hat in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit in den Medien erhalten und wurde dort auch als „Konfliktmineral" oder „Blut-Mineral" bezeichnet. Der damalige Hauptabbau im Kongo erfolgte unter sehr schlechten Bedingungen (Kinderarbeit) und mit dem Gewinn wurde jahrelang der Bürgerkrieg mitfinanziert. Medial aufmerksam wurde man insbesondere durch die Reportage von Frank Poulsen „Blood in the Mobile", www.bloodinthemobile.org oder auch abrufbar unter z.B. http://www.planet-schule.de/sf/php/02_sen01.php?reihe=1137

Der Film behandelt die rohstoffpolitische Problematik. Auf Nachfrage von Frank Poulsen konnten viele Handyhersteller nicht angeben, woher sie das Coltan bezogen.
Viele technisch wichtige Rohstoffe stammen aus Krisenregionen (z.B. DR Kongo). Um nachvollziehbar zu machen, ob gehandelte Rohstoffe aus Krisengebieten stammen, hat die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) in Hannover einen Analytischen Herkunftsnachweis entwickelt, die sog. Fingerprint-Methode. Diese Methode wird in Zukunft im Rahmen der regionalen Rohstoffzertifizierung zur unabhängigen Überprüfung der Herkunft von Erzlieferungen angewandt.

Die BGR-Wissenschaftler entwickelten einen forensischen Nachweis, bei dem an Hand gemessener chemischer und mineralogischer Parameter die Herkunftslagerstätten von gehandelten Tantalerzkonzentraten eindeutig lokalisiert und somit auch illegale Lieferungen aus möglichen Konfliktregionen identifiziert werden können. Um den Herkunftsnachweis führen zu können, untersuchten die BGR-Wissenschaftler ausgewählte Abbaugebiete und belegten das Erz jeweils mit einer Herkunftssignatur. Gleichzeitig wurden bei industriellen Abnehmern weltweit Referenzproben des begehrten mineralischen Rohstoffes genommen. Eine umfangreiche Datenbank half beim Abgleich der Informationen. Sie enthält insgesamt 25.000 Datensätze aus 200 verschiedenen Lagerstätten. In den BGR-Laboren wurden die Proben in einem aufwendigen Verfahren unter Einsatz verschiedener hochempfindlicher Geräte (Raster-Elektronenmikroskop, Laser-Ablation-ICP-Massenspektrometer) analysiert und die chemisch-mineralogische Zusammensetzung des Minerals definiert. Somit können Coltan-Proben einem bestimmten Vorkommen und damit dem Liefergebiet zugeordnet werden (siehe Abb.)



Elektronenmikroskopische Aufnahmen zweier Tantalerzkonzentrate mit MLA (Mineral Liberation Analysis). Der Mineralbestand von Konzentraten ist herkunftsspezifisch. Quelle: BGR, mit Genehmigung von Frank Melcher.

Mehr über das Projekt können Sie hier nachlesen:
http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Projekte/Rohstoff-Forschung-abgeschlossen/LF_Herkunftrsnachweis_COLTAN_Newsletter01-2010.html

Appendix 5: Unterrichtsmaterialien

Arbeitsbogen 1

1. Welche Rohstoffe kennst du? Schreibe alle Begriffe auf, die du diesem Begriff zuordnest.

2. Nenne einige Rohstoffe, die deiner Meinung nach in Mobiltelefonen enthalten sein könnten.

3. Glaubst du, dass Österreich alle Rohstoffe selber produzieren kann?

4. Woraus wird Kunststoff hergestellt?

5. Was meinst du: Warum sollte man Handys recyceln?

6. Welche Bauteile des Handys sind besonders sorgfältig zu entsorgen und warum?

7. Nenne einige giftige Stoffe, die im Handy stecken können.

Arbeitsbogen 2: Baue das Handy bitte vorsichtig auseinander, ohne etwas zu zerbrechen. Aber merke dir, wie du es auseinandergebaut hast, du musst es später wieder zusammensetzen!

1) Welche Bauteile findest du im Handy?
2) Woraus, aus welchen Stoffen, könnten diese Bauteile bestehen?

Bauteil	Bestandteil(e)/Stoffe

3) Wie könnte man diese Bestandteile oder Stoffe einfach unterteilen oder mit Gruppennamen belegen?

Arbeitsbogen 3: Untersuche die Rohstoffe des Materialkoffers. Beschreibe in Stichpunkten jeweils folgende Ansätze:

a) Welche Farbe hat der Rohstoff? Wie würdest du den Rohstoff vielleicht noch beschreiben?
b) Wie schätzt du die Dichte ein: Ist der Rohstoff verhältnismäßig leicht oder schwer?
c) Was glaubst du: Gewinnt man aus dem Rohstoff ein Metall oder ein Nichtmetall?
d) Ritzt der Rohstoff deinen Fingernagel (härter als 2–3), ein Messer (Härte ≥ 5) oder ritzt er sogar Glas (Härte ≥ 7)?
e) Was könnte das für ein Mineral sein bzw. welcher Rohstoff wird draus gewonnen? Kennst du vielleicht den Namen?
f) Welches Bauteil im Handy könnte aus dem Rohstoff hergestellt sein? Lege das passende Bauteil des Handys neben den Rohstoff.

Rohstoff	a) Farbe?	b) rel. Dichte?	c) Metall/Nichtmetall?	d) Härte?	e) Name?	f) Welches Bauteil im Handy?
Nr. 1						
Nr. 2						
Nr. 3						
Nr. 4						
Nr. 5						
Nr. 6						
Nr. 7						
Nr. 8						
Nr. 9						
Nr. 10						
Nr. 11						

Arbeitsbogen 4: Bestimmungsspiel

1. Teil

Arbeitsaufgabe: Benenne alle Rohstoffe mit dem richtigen Namen!

Ziel: Alle Rohstoffe sollen ganz rechts auf dem Spielfeld neben dem passenden Namen liegen.

Beschreibung:

Die Spielrichtung des Bestimmungsspiels ist von links nach rechts. Zu Beginn werden alle elf Rohstoffe auf das Spielfeld gelegt und in Punkt 1 farblich sortiert in die zwei Gruppen eingeteilt: oben Gruppe 1 (hell oder farblich-bunt) und unten Gruppe 2 (grau oder braun-schwarz).

Die Rohstoffe müssen nun die weiteren Identifikationsfragen durchlaufen. Trifft eine Beschreibung zu, ist der identifizierte Rohstoff neben den Namen zu legen (auf dem Spielfeld ganz rechts). Trifft die Beschreibung nicht zu („anders" oder „Nein"), rückt der Rohstoff weiter zur nächsten Identifikationsfrage. Für Frage (3) wird die Magnetlupe verwendet, für Frage (5) ein weißes Blatt Papier (hier muss der Rohstoff evtl. solange gedreht werden, bis eine passende Stelle für den Strich gefunden wird). Für die Frage nach der Härte (6) wird der zu untersuchende Rohstoff in die Hand genommen und versucht, ob dieser den anderen zu bestimmenden Rohstoff ritzen kann (so dass er einen sichtbaren Kratzer hinterlässt). Bleibt ein Kratzer, ist der kratzende Rohstoff härter, sonst das Kratzen andersherum versuchen. Bitte nur einmal ritzen und nicht den ganzen Rohstoff zerkratzen!

2. Teil

Arbeitsaufgabe: Finde die passenden Kärtchen zum Rohstoff!

Ziel: Jeder Rohstoff erhält ein zugehöriges gelbes Kärtchen (Element/Rohstoff) und ein blaues Kärtchen (Anwendung im Handy).

Beschreibung:

Es soll herausgefunden werden, welcher Stoff aus den Mineralien/Gesteinen gewonnen werden kann (gelbe Kärtchen) und wofür dieser im Handy verwendet wird (blaue Kärtchen). Überlege, wie die Kärtchen zusammen passen könnten und ordne sie dem richtigen Rohstoff zu. Du kannst auch im Internet nachschauen.

Arbeitsbogen 4: Bestimme die Rohstoffe:

1. Farbe Ordne die Rohstoffe anhand der Farbe den Gruppen zu!	2. Form Welche Gestalt hat der Rohstoff?	3. Magnetismus Ist der Rohstoff magnetisch?	4. Geruch Riecht der Roshtoff (mit Fingernagel kratzen) nach Öl?	5. Strich (auf Porzellan oder Papier)	6. Härte Ritzt der Rohstoff den anderen (hinterlässt einen Kratzer)?	Name
Gruppe 1: **hell oder farblich-bunt** **(lege diese Rohstoffe hierher!)**	Puder					Ton
	Dünne Blättchen					Gold
	anders	Nein	Nein	rötlich		Bauxit
				grau-grünlich		Chalkopyrit
				weiß/farblos	härter (ritzt den anderen)	Quarz
					weicher (wird geritzt)	Lepidolith
Gruppe 2: **grau oder dunkelbraun-schwarz** **(lege diese Rohstoffe hierher!)**	Granulat					Silizium
	anders	Ja				Magnetit
		Nein	Ja			Ölschiefer
			anders		ritzt den anderen	Silizium
					weicher (wird geritzt)	„Coltan“

Zu Arbeitsbogen 4 (Bestimmungsspiel)

Arbeitsbogen 4: Rohstoffkärtchen für das Bestimmungsspiel zum Ausschneiden

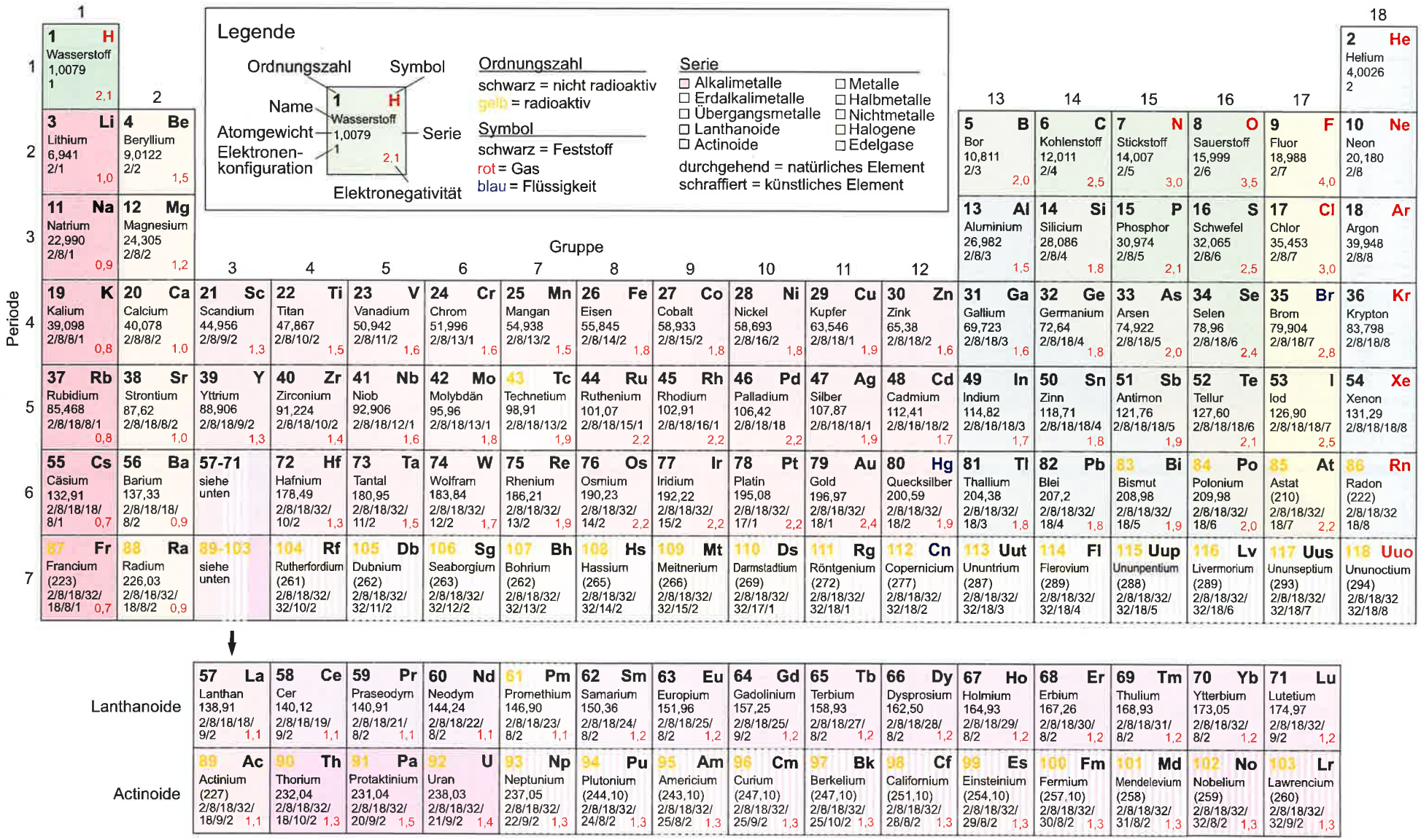
Element bzw. Rohstoff	Anwendung im Handy
Kupfer (Cu)	Leiterplatine, diverse Drähte und Verbindungen
Silizium (Si)	Mikrochips, Prozessoren und Display (Glas)
Eisen (Fe)	Schrauben und Federn
Aluminium (Al)	Alu-Abdeckungen
Lithium (Li)	Akku
Erdöl (Kunststoffherstellung)	Gehäuse
Tonmineral	Isolatoren
Gold (Au)	Kontakte
Tantal (Ta)	Kondensatoren

Zu Arbeitsbogen 4 (Bestimmungsspiel)

Arbeitsbogen 5:

Periodensystem der Elemente: Kreuze alle Elemente an, die sich im Handy finden könnten!

Aus: Wikipedia.de/pse



Arbeitsbogen 6: Rohstoffpreise

Hier findest du als Beispiel einige Metalle eines Mobiltelefons, welches 100 g wiegt, in Gewichtsprozent:

Metall	**Anteil im Handy** (Gewichtsprozent)	**1) Recherchierte Rohstoffpreise**	**2) Errechneter Materialpreis pro Handy**
Kupfer	15 %		
Lithium	3,5 %		
Aluminium	3 %		
Eisen	3 %		
Kobalt	2,5 %		
Nickel	2 %		
Zinn	1 %		
Silber	0,25 %		
Gold	0,025 %		
Platin	0,00034 %		
Tantal	0,004 %		
Palladium	0,015 %		
Indium	0,002 %		
		GESAMTWERT:	

1) Recherchiere im Internet: Suche die aktuellen Rohstoffpreise und trage sie in die Tabelle ein (achte auf die Maßeinheiten z.B. Dollar oder Euro, Gramm, Tonne, Feinunze (ca. 31 g), lb (ca. 453 g), etc. verwende am besten einheitlich Gramm!).

2) Errechne, wie hoch der reine Materialwert dieser Metalle für dieses Handy ist und ergänze die Tabelle! Beachte, dass bei 100 g Gesamtgewicht (Masse) ein Prozent einem Gramm entspricht.

Arbeitsbogen 7:

Recycling von Handys

Was solltest du mit deinem ausgedienten Handy tun?

Wenn es funktionert, dann _____

Wenn es kaputt ist, dann _____

Inhaltsstoffe

Welche Wertstoffe stecken im Handy? _____

Welche Bestandteile sind besonders schadstoffhaltig und warum? _____

Aufbereitung:

Wie werden Handys in der Recyclinganlage aufbereitet?

_____

_____

Verwertung/Entsorgung

Welche Stoffgruppen werden wie verwertet?

_____

_____

Appendix 6: Unterrichtsmaterialien – Lösung

Lösung Arbeitsbogen 1:

1. Welche Rohstoffe kennst du? Schreibe alle Begriffe auf, die du diesem Begriff zuordnest.

Hier geht es nur um die Einschätzung, was Schüler als Rohstoffe ansehen

2. Nenne einige Rohstoffe, die deiner Meinung nach in Mobiltelefonen enthalten sein könnten.

3. Glaubst du, dass Österreich alle Rohstoffe selber produzieren kann?

Nein!

4. Woraus wird Kunststoff hergestellt?

Größtenteils aus Erdöl. Es gibt auch bestimmte Kunststoffe, die aus Silizium hergestellte werden, sogenannte Silikone

5. Was meinst du: Warum sollte man Handys recyceln?

a) wegen der giftigen Inhaltstoffe, die nicht in den Hausmüll dürfen. b) wegen der wichtigen, nur endlichen Rohstoffe, die sonst verloren gehen (Gold, Platin etc.). und die wiederverwertet werden sollten. So kann man den ökologischen Fußabdruck verbessern

6. Welche Bauteile des Handys sind besonders sorgfältig zu entsorgen und warum?

Akku (Schwermetalle, insbesondere ältere Akkus!), Leiterplatine (Schwermetalle, kann noch Blei enthalten)

7. Nenne einige giftige Stoffe, die im Handy stecken können.

in alten Handys (vor 2006): Blei, Cadmium, Quecksilber in neuen Handys:

Lösung Arbeitsbogen 2: Baue das Handy bitte vorsichtig auseinander, ohne etwas zu zerbrechen. Aber merke dir, wie du es auseinandergebaut hast, du musst es später wieder zusammensetzen!

1) Welche Bauteile findest du im Handy?
2) Woraus, aus welchen Stoffen, könnten diese Bauteile bestehen?

Bauteil (Bsp.)	Bestandteil(e)/Stoffe (Bsp.)
Display	Glas (SiO_2); bei LCDs Indium, Flüssigkristalle
Akku	Lithium
Leiterplatine	Platine: Aus faserverstärktem Kunststoff; mit Loten (z.B. Löt-Legierung aus Zinn, Zink, Silber, Kupfer und grünem Lötstopplack) Auf Platine viele Metalle, z.B. Gold (Bond-Verbindungen), Kupfer (Drähte, Verbindungen), Silizium (Halbmetall: Microchips, Schwingquarz), Tantal (Kondensatoren), Eisen (Schrauben, Federn), Keramik (Vielschichtkondensatoren) etc.
Abdeckungen (z.B. der Mikrochips)	Aluminium
Gehäuse	Kunststoffe
Tastatur	Gummi/Kunststoff

3) Wie könnte man diese Bestandteile oder Stoffe einfach unterteilen oder mit Gruppennamen belegen?

z.B.in Metalle und Nichtmetalle, Nichtleiter etc.

Lösung Arbeitsbogen 3: Untersuche die Rohstoffe des Materialkoffers. Beschreibe in Stichpunkten jeweils folgende Ansätze:

a) Welche Farbe hat der Rohstoff? Wie würdest du den Rohstoff vielleicht noch beschreiben?

b) Wie schätzt du die Dichte ein: Ist der Rohstoff verhältnismäßig leicht oder schwer? relative Schätzung, nur Gefühl; Werte hier angegeben zum Vergleich. Kann auch experimentell errechnet werden: Dichte = Gewicht des Minerals / Volumen des Minerals

c) Was glaubst du: Gewinnt man aus dem Rohstoff ein Metall oder ein Nichtmetall? Ebenfalls nur zur Schätzung gedacht

d) Ritzt der Rohstoff deinen Fingernagel (härter als 2–3), ein Messer (Härte ≥ 5) oder ritzt er sogar Glas (Härte ≥ 7)? Einteilung auch durch Ritzen der Minerale untereinander

e) Was könnte das für ein Mineral sein bzw. welcher Rohstoff wird draus gewonnen? Kennst du vielleicht den Namen?

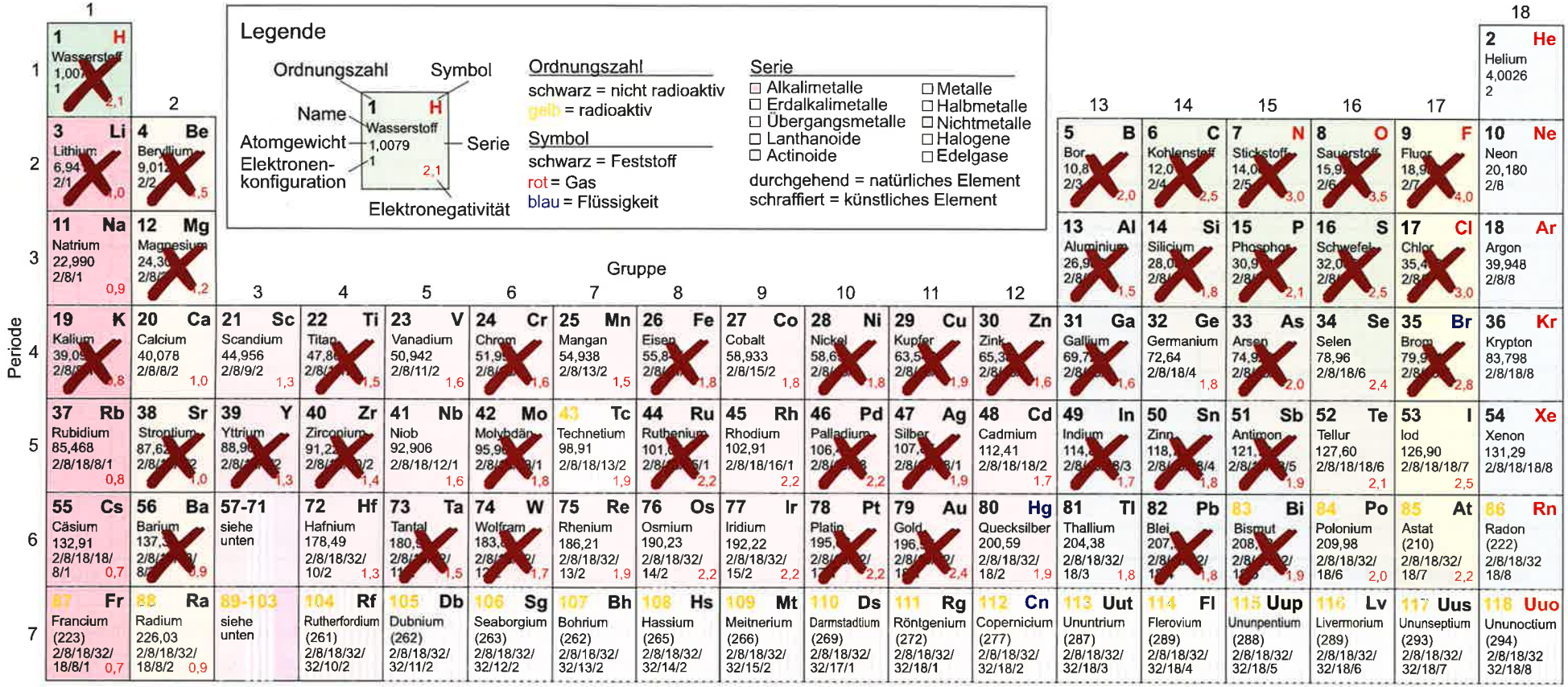
f) Welches Bauteil im Handy könnte aus dem Rohstoff hergestellt sein? Lege das passende Bauteil des Handys neben den Rohstoff.

Rohstoff	a) Farbe?	b) rel. Dichte?	c) Metall/Nichtmetall?	d) Härte?	e) Name?	f) Welches Bauteil im Handy?
Nr. 1	messingfarben mit buntem Stich	schwer: 4 g/cm³	Metall	< 5	Chalkopyrit, Kupfererz	Drähte, Leitungen
Nr. 2	hellgrau bis bläulich	leicht: 2,3 g/cm³	Halbmetall	< 2	Silizium	Mikrochips, Prozessoren, Silikon
Nr. 3	schwarz-braun	schwer: 5 g/cm³	Metall	≥ 5	Magnetit, Eisenerz	Federn, Schrauben
Nr. 4	rotbraun	leicht	Metall		Bauxit, Aluminiumerz	Abdeckungen
Nr. 5	rosa-glitzernd	leicht: 2–2,5 g/cm³	Metall	2–3	Lepidolith, Lithiumerz	Akku
Nr. 6	braun oder schwarz	leicht: 1–2 g/cm³	Nichtmetall		Ölschiefer/ Kunststoff	Gehäuse, Kleinteile
Nr. 7	grünlich	leicht: 2–3 g/cm³	Nichtmetall (nach Brennen Keramik)	Pulver	Tonmineral/ Keramik	Isolator, z.B. in Kondensatoren
Nr. 8						
Nr. 9	farblos, durchsichtig	leicht: 2–3 g/cm³	Halbmetall	7 (7)	Quarz/Glas	Glas, Display, Schwingquarz
Nr. 10	braunschwarz	schwer: 7 g/cm³	Metall	< 7 (6)	Tantalerz/„Coltan“	Kondensatoren
Nr. 11	grau	leicht: 2,3 g/cm³	Halbmetall	< 7 (6,5)	Silizium	Mikrochips, Prozessoren

Lösung Arbeitsbogen 5:

Periodensystem der Elemente: Kreuze alle Elemente an, die sich im Handy finden könnten!

Aus: Wikipedia.de/pse



Lösung: H, Li, Be, B, C, N, O, F, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Sr, Y, Zr, Mo, Ru, Pd, Ag, In, Sn, Sb, Ba, Ta, W, Pt, Au, Pb, Bi

Lösung Arbeitsbogen 6: Rohstoffpreise

Hier findest du als Beispiel einige Metalle eines Mobiltelefons, welches 100 g wiegt, in Gewichtsprozent:

Metall	Anteil im Handy (Gewichtsprozent)	1) Recherchierte Rohstoffpreise (März 2012) Angaben ohne Gewähr	2) Errechneter Materialpreis pro Handy
Kupfer	15 %	8480 $ pro 1.000.000 g	0,1272 $
Lithium	3,5 %	57 $ pro 1000 g	0,1995 $
Aluminium	3 %	2130 $ pro 1.000.000 g	0,00639 $
Eisen	3 %	Stahl: 40 $ pro 1.000.000 g	0,00012 $
Kobalt	2,5 %	3 $ pro 1000 g	0,0075 $
Nickel	2 %	18 187 $ pro 1.000.000 g	0,03637 $
Zinn	1 %	23 224 $ pro 1.000.000 g	0,023224 $
Silber	0,25 %	32 $ pro 32 g	0,25 $
Gold	0,025 %	1673 $ pro 32 g ≙ 52,28 $ pro 1 g	1,307 $
Platin	0,00034 %	1656 $ pro 32g ≙ 51,75 $ pro 1 g	0,017595 $
Tantal	0,004 %	110 $ pro 1000 g	0,00044 $
Palladium	0,015 %	660 $ pro 32g ≙ 20,625 $ pro 1 g	0,309375 $
Indium	0,002 %	550 $ pro 1.000 g	0,0011 $
		GESAMTWERT:	2,26 $ ≙ **1,70 €**

1) Recherchiere im Internet: Suche die aktuellen Rohstoffpreise und trage sie in die Tabelle ein (achte auf die Maßeinheiten z.B. Dollar oder Euro, Gramm, Tonne, Feinunze (ca. 31 g), lb (ca. 453 g), etc. verwende am besten einheitlich Gramm!).
Literatur z.B. www.finanzen.net/rohstoffe, www.lme.com/dataprices.asp, www.minormetals.com/, www.stahlbroker.de, www.amm.com, www.metalprices.com

2) Errechne, wie hoch der reine Materialwert dieser Metalle für dieses Handy ist und ergänze die Tabelle! Beachte, dass bei 100 g Gesamtgewicht (Masse) ein Prozent einem Gramm entspricht.

Lösung Arbeitsbogen 7:

Recycling von Handys

Was solltest du mit deinem ausgedienten Handy tun?

Wenn es funktionert, dann kann ich es tauschen, verschenken, verkaufen, spenden (Handy-Sammelboxen z.B. von der Ö3-Wundertüte, Jane Gooddall-Kampagne oder vom Roten Kreuz)

Wenn es kaputt ist, dann kann ich es im Verkaufsladen zurückgeben, in eine der vielen Handy-Sammelboxen geben, oder direkt zur kommunalen Altstoffsammlung bringen

Inhaltsstoffe

Welche Wertstoffe stecken im Handy? z.B. Aluminium, Kupfer, Edelmetalle, Kunststoffe

Welche Bestandteile sind besonders schadstoffhaltig und warum? Akkus (Schwermetalle), (insbes. alte) Displays, Platinen, Kondensatoren

Aufbereitung:

Wie werden Handys in der Recyclinganlage aufbereitet?

Schadstoffentfrachtung: meist manuelles Aussortieren der Akkus, Displays, Platinen;

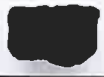
Shreddern; **Stofftrennung** (Trennverfahren für Metalle und Nichtmetalle, z.B. Magnetabscheider, Wirbelstromverfahren

Verwertung/Entsorgung

Welche Stoffgruppen werden wie verwertet? **Metalle:** stoffliche Verwertung (Verhüttung, Trennung z.B. durch Elektrolyse); dann Wiederverwendung. **Mischkunststoffe:** thermische Verwertung (Fernwärme Wien). **Restmüll:** Entsorgung in einer Müllverbrennungsanlage. **Schadstoffhaltige Bauteile:** Deponie-Lagerung; teilweise hochthermische Verbrennung

Appendix 7

Inhalt Rohstoffkoffer – Lösung

Material		Element bzw. Rohstoff	Anwendung im Mobiltelefon
Chalkopyrit	1	Kupfer (Cu)	Kupferkabel und -verbindungen; Bestandteil der Platine
Polykristallines Silizium	2	Silizium (Si)	Mikrochips und Prozessoren (zum Züchten von Silizium-Einkristallen für Wafer: diese sind Hauptbestandteil integrierter Schaltkreise)
Magnetit	 3	Eisen (Fe)	Schrauben und Haltebolzen
Bauxit (Aluminiumerz)	4	Aluminium (Al)	Aluminiumabdeckungen
Lepidolith („Lithiumglimmer“)	5	Lithium (Li)	Akku
Ölschiefer	6	Erdöl	Kunststoff-Herstellung: Gehäuse, Leichtbauteile
Tonmineral Montmorillonit	7	Tonminerale	Isolatoren, Keramikkondensatoren
Gold	8	Gold (Au)	Kontakte
Quarz (Siliziumdioxid)	9	Silizium (Si)	Glas für Display; Schwingquarz; Mikrochips und Prozessoren
Tantalerz „Coltan“ (Columbit-Tantalit)	10	Tantal (Ta)	kleine, leistungsfähige Kondensatoren und Widerstände
Polykristallines Silizium (Granulat)	11	Silizium (Si)	Mikrochips und Prozessoren
		Wafer: „Grundplatte“ für elektronische Bauelemente wie Mikrochips etc.; hergestellt aus Silizium-Einkristallen, sponsored by WACKER	