



# Modul 11

## Rohstoffe und Recycling

### Begleittext für Lehrkräfte

**Ulf Baumann, Gregor Borg, Peter Gerling,  
Ulf Neubert und Frank Siemer**

Dieser Text steht zusammen mit den Texten der 10 weiteren Module des Projektes „Forschungsdialog: System Erde“ auf der CD-ROM „System Erde“ als Hypertext bzw. die Materialien als pdf-Dateien, Videos, Interaktionen, Animationen usw. über ein komfortables Navigationssystem mit Suchfunktion zur Verfügung.

Mit der CD-ROM können auch eigene Materialien erstellt werden. Außerdem kann aus der CD-ROM eine Schülerversion, die für das selbst organisierte Lernen vorgesehen ist - und keine didaktischen Informationen enthält - erstellt werden.



Das Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) ist eine interdisziplinär arbeitende Forschungseinrichtung mit überregionaler, gesamtstaatlicher Aufgabenstellung. Auftrag des Instituts ist es, durch seine Forschungen die Pädagogik der Naturwissenschaften weiter zu entwickeln und zu fördern. Das IPN gliedert sich in die vier Fachabteilungen Biologie-, Chemie-, Physikdidaktik und Erziehungswissenschaften (mit Pädagogisch-Psychologischer Methodenlehre). Das IPN ist Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft. Enge Beziehungen bestehen zur Kieler Universität.

Weitere Informationen: <http://www.ipn.uni-kiel.de>

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte IPN-Projekt „Forschungsdialog: System Erde“ dient dem Ziel, das Verständnis des Planeten Erde zu fördern. Auf der Basis soliden Wissens soll die Beschäftigung und Auseinandersetzung mit der nachhaltigen Entwicklung der Erde angeregt werden. Die Materialien zum Thema „System Erde“ wurden vom IPN in enger Kooperation mit Geowissenschaftlerinnen und Geowissenschaftlern sowie Lehrkräften entwickelt und anschließend im Schulunterricht erprobt und evaluiert. Für den Unterricht in der Sekundarstufe II steht eine umfangreiche CD-ROM zur Verfügung, die u. a. Animationen, Simulationen, Informationstexte und Arbeitsblätter zu insgesamt 11 Modulen des Themas System Erde enthält. Der vorliegende Text ist Teil dieser CD-ROM, die beim IPN erhältlich ist. Für den Unterricht in der Grundschule wurde ein Sachbuch und eine beiliegende CD-ROM mit Computerspielen entwickelt. Unterrichtsmaterialien für die Hand der Lehrkräfte sind im Internet erhältlich (<http://Systemerde.ipn.uni-kiel.de>).

© 2005  
Alle Rechte beim  
Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN)  
Olshausenstraße 62, D-24098 Kiel.



## Forschungsdialog: System Erde

### Kontakt:

Ulrike Gessner  
Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften an der Universität Kiel  
Olshausenstr. 62  
24098 Kiel

Tel: ++49 (0431) 880-3121  
E-Mail: [gessner@ipn.uni-kiel.de](mailto:gessner@ipn.uni-kiel.de)  
<http://systemerde.ipn.uni-kiel.de>

Auf verschiedenen Seiten befinden sich Verweise (Links) auf Internet-Adressen. Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Sollten Sie bei dem angegebenen Inhalt des Anbieters dieser Seite auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

### Autoren dieses Moduls:

Ulf Baumann (Materialien), Prof. Dr. Gregor Borg, (Begleittext), Dr. Peter Gerling (Begleittext), Dr. Frank Siemer (Begleittext), Ulf Neubert (Begleittext und Materialien)

### Geowissenschaftliche Beratung:

Prof. Dr. Gregor Borg, (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), Dr. Peter Gerling (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR)

### Multimediaumsetzung, Grafik und Layout:

CD-ROM, Rahmenlayout, Grafiken: MMCD GmbH interactive in science (Düsseldorf)  
Texte: Päivi Taskinen (IPN)

### Herausgeber:

Prof. Dr. Horst Bayrhuber, Dr. Sylke Hlawatsch



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Zielsetzung und Begründung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sachinformation</b> .....	<b>4</b>
2.1	Mineralische Rohstoffe.....	5
2.1.1	Mineralische Rohstoffe als Wirtschaftsfaktoren.....	9
2.2	Fossile Energierohstoffe .....	15
<b>3</b>	<b>Didaktische Information</b> .....	<b>21</b>
3.1	Lernziele.....	21
3.2	Hinweise zu den Lernvoraussetzungen .....	23
3.3	Hinweise zu horizontalen und vertikalen Verknüpfungen .....	23
3.4	Erläuterung und Nutzungshinweise zu den Materialien.....	25
<b>4</b>	<b>Vorschläge für den Unterrichtsverlauf</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Unterrichtsmaterialien</b> .....	<b>29</b>

### Anhang:

Unterrichtsmaterialien

Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

Baustein 2: Energierohstoffe und Recycling

## 1 Allgemeine Zielsetzung und Begründung

Das Modul „Rohstoffe und Recycling“ ermöglicht eine Einführung in die Thematik der Rohstoffsuche, der Gewinnung von Rohstoffen sowie der Zeitspanne der Verfügbarkeit (Lebensdauer) mineralischer Rohstoffe und Energierohstoffe. Ohne Rohstoffe würden die industriellen Betriebe auf der gesamten Welt binnen kurzer Zeit nicht mehr produzieren können. So stecken in den Produkten der modernen Gesellschaft in einer großen Anzahl und Vielfalt Rohstoffe, die aus der Erde gewonnen wurden, ob Autos oder Kosmetika, Weichspüler oder Elektrogeräte. Ohne die abgebauten Rohstoffe könnten diese Produkte nicht hergestellt werden. Besonders im rohstoffarmen Deutschland hat das Aufspüren von Rohstoffen in aller Welt daher eine große Bedeutung.

Die Schüler/innen sollen in dieser Unterrichtseinheit die Wechselbeziehungen zwischen Rohstoffpreisen, Ausgaben für Erkundung neuer Lagerstätten, Förderung von Rohstoffen und ihrer Wiederverwertung sowie der jeweiligen Lebensdauer erkennen. Dabei wird auch die Diskrepanz zwischen dem Vorkommen vieler Rohstoffe in wenigen, oft ärmeren Ländern und der Weiterverarbeitung und dem Verbrauch in den reicheren Industrienationen thematisiert.

## 2 Sachinformation

Geogene Rohstoffe, wie die Bodenschätze der Erde auch genannt werden, umfassen weit mehr als nur die Erze metallischer Rohstoffe, welche in Deutschland weitgehend aus dem Bewusstsein der Bevölkerung verschwunden sind. Im Vergleich zu den metallischen Rohstoffen ist die Gruppe der Energierohstoffe derzeit vom erheblich größeren öffentlichen Interesse, sind doch die ökonomischen Schwankungen dieses Sektors von jedermann erfahrbar, so z. B. am Benzinpreis. Zu den Energierohstoffen zählen Erdöl und Erdgas, Steinkohle und Braunkohle, Atomenergierohstoffe, zunehmend die Erdwärme und andere erneuerbare Energien (s. Abb. 1) und möglicherweise in Zukunft auch Gashydrate vom Meeresboden.

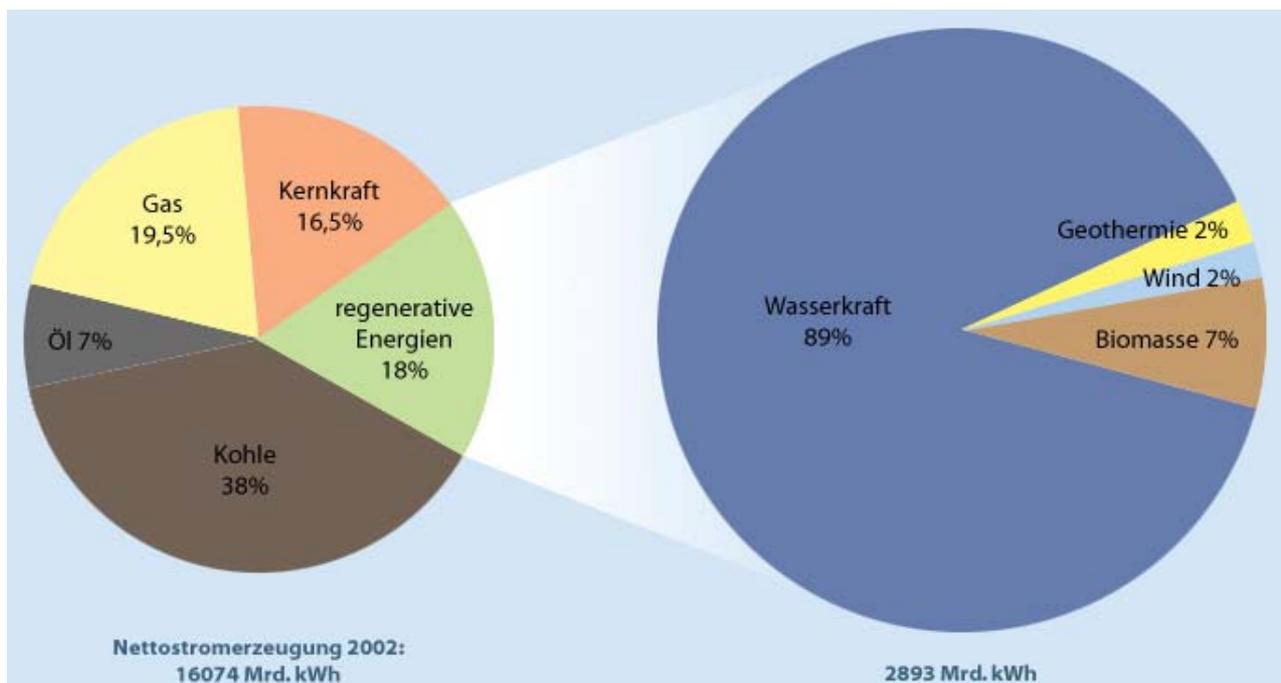


Abbildung 1: Anteile verschiedener Energiequellen an der weltweiten Stromerzeugung im Jahr 2002. Nachkommastellen sind gerundet, daher ergeben sich in der Summe unter Umständen nicht exakt 100 % (nach IEA 2004).

Neben der Produktion von Stein- und Braunkohle spielt auch die Förderung von Erdöl und Erdgas in Deutschland noch immer eine durchaus bedeutende Rolle (s. Abb. 2).

Im Bereich der Steinsalz- und Kalisalzgewinnung ist Deutschland sogar einer der führenden Weltproduzenten. Eine weitere bedeutende Gruppe mineralischer Rohstoffe ist die Gruppe der so genannten Steine und Erden bzw. Industrierohstoffe. Deren Gewinnung vollzieht sich nach wie vor auch in Deutschland und ist von größter wirtschaftlicher Bedeutung. Die Bauindustrie ist nahezu vollständig abhängig von diesem Zweig der Rohstoffindustrie, die Güter wie Ziegeleiten, Sand, Kies, Zementrohstoffe, Glassande, Schotter, Bruchstein oder Dachschiefer produziert. Deutlich spezialisierter sind die Industriemineralien, welche als Bestandteile alltäglicher Gebrauchsgüter wie Kosmetika, Schall- und Wärmedämmungsmaterialien, Autoreifen, Farben, Weichspüler, Wasserenthärter, Schleif- und Poliermittel etc. benötigt werden.

	Produktion	Reserven	Beschäftigte
<b>Energierohstoffe</b>			
<b>Steinkohle</b>	33,59 Mio. t	24 Mrd. t	51700
<b>Braunkohle</b>	167,70 Mio. t	43 Mrd. t	21287
<b>Erdöl</b>	3,12 Mio. t	49,7 Mio. t	} zusammen 6494
<b>Erdgas</b>	21,58 Mio. t	377 Mrd. m <sup>3</sup>	
<b>Salze</b>			
<b>Kalisalze</b>	3,59 Mio. t	rund 200 Jahre	7185
<b>Steinsalz, Siedesalz, Sole</b>	12,57 Mio. t	unbegrenzt	2800
<b>Industrierohstoffe</b>			
<b>Flußspat</b>	76886 t	} nicht verfügbar	} zusammen 1592
<b>Feldspat</b>	500000 t		
<b>Schwerspat</b>	186950 t		
<b>Kaolin</b>	3,50 Mio. t		

Abbildung 2: Tabellarische Auflistung der volkswirtschaftlich relevanten Eckdaten der Rohstoffwirtschaft in Deutschland im Jahr 2000 (nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2001).

## 2.1 Mineralische Rohstoffe

### Geschichte

Mineralische Rohstoffe bzw. deren Aufsuchung (Exploration) und bergbauliche Gewinnung, stehen bereits seit langer Zeit in enger Verbindung sowohl zur Mineralogie, Geologie und Lagerstättenkunde als auch zur Ökonomie (s. Abb. 3).

Aus der anfänglichen Suche nach technisch verwertbaren Gesteinen und Metallen haben sich in prähistorischer und historischer Zeit Vorläufer der heutigen Mineralogie, Geologie und Lagerstättenkunde entwickelt (s. Abb. 3). Steinbeile aus der Steinzeit stellen eines der frühesten Beispiele für erfolgreiche Exploration und den Bergbau dar, wobei die Rohstoffe, Feuerstein, Obsidian und Quarzit exploriert und zum

Teil bereits unter Tage abgebaut wurden. Deutschland blickt spätestens seit dem Mittelalter auf eine gut dokumentierte Explorations- und Bergbautradition zurück, eine Tradition, die noch heute besonders in den Landschaften des Erzgebirges, des Harzes und des Siegerlandes museal gut belegt und wieder zu entdecken ist.

### Rohstoffe kann man doch kaufen!

Die derzeitige öffentliche Wahrnehmung von Bergbau in Deutschland ist geprägt durch die Debatten um Subventionierung des defizitären deutschen Steinkohlebergbaus, die Schließung von ostdeutschen Kupfer-, Kali- und Braunkohlegruben nach der deutschen Wiedervereinigung sowie durch den öffentlichen und politischen Widerstand gegen neue Tagebauvorhaben wie Garzweiler II. Auf regionaler Ebene setzt sich dieser Konflikt um die Nutzung von

Naturräumen bei der Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe wie Sand und Kies fort. Die Erschöpfung bekannter metallischer Rohstoffvorräte in Deutschland sowie die geschwundene Akzeptanz für negative Begleiterscheinungen des Bergbaus haben dazu geführt, dass Deutschland so genannte hochpreisige mineralische Rohstoffe, wie z. B. metallische Primärrohstoffe, zu 100 % importiert (s. Abb. 4).



Abbildung 3: Antike Darstellung der Explorationstätigkeit bei Georg AGRICOLA (1556). De Re Metallica Libri XII, Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen.

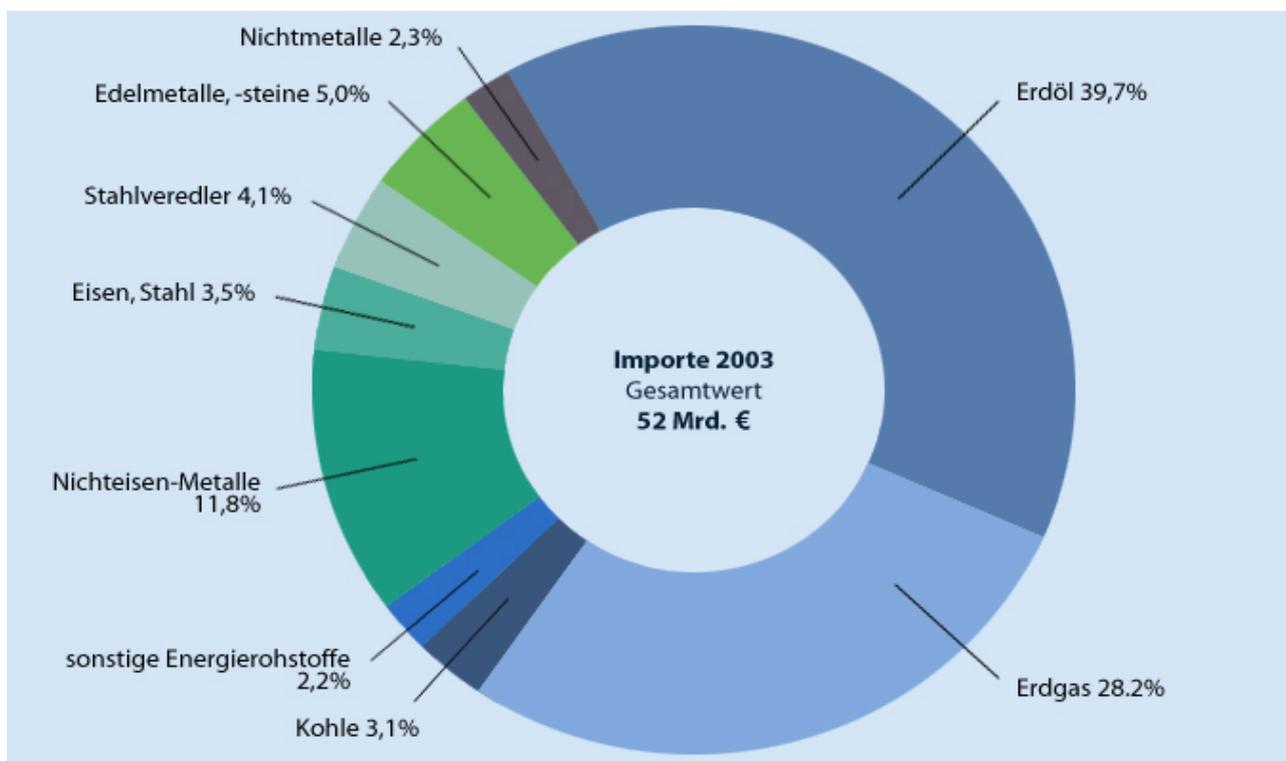


Abbildung 4: Struktur der deutschen Rohstoffeinfuhren 2003; Anteile am Gesamteinfuhrwert in % (nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2004). Nachkommastellen sind gerundet, daher ergeben sich in der Summe unter Umständen nicht exakt 100 %.

Neben diesen durch Bergbau im Ausland gewonnen metallischen Rohstoffen wird allerdings inzwischen ein bedeutender Teil des deutschen Metallbedarfs durch Recycling gewonnen. Die Recyclingraten metallischer und mineralischer Rohstoffe (z. B. Glas) konnten insbesondere in den neunziger Jahren drastisch gesteigert werden (s. Abb. 5).

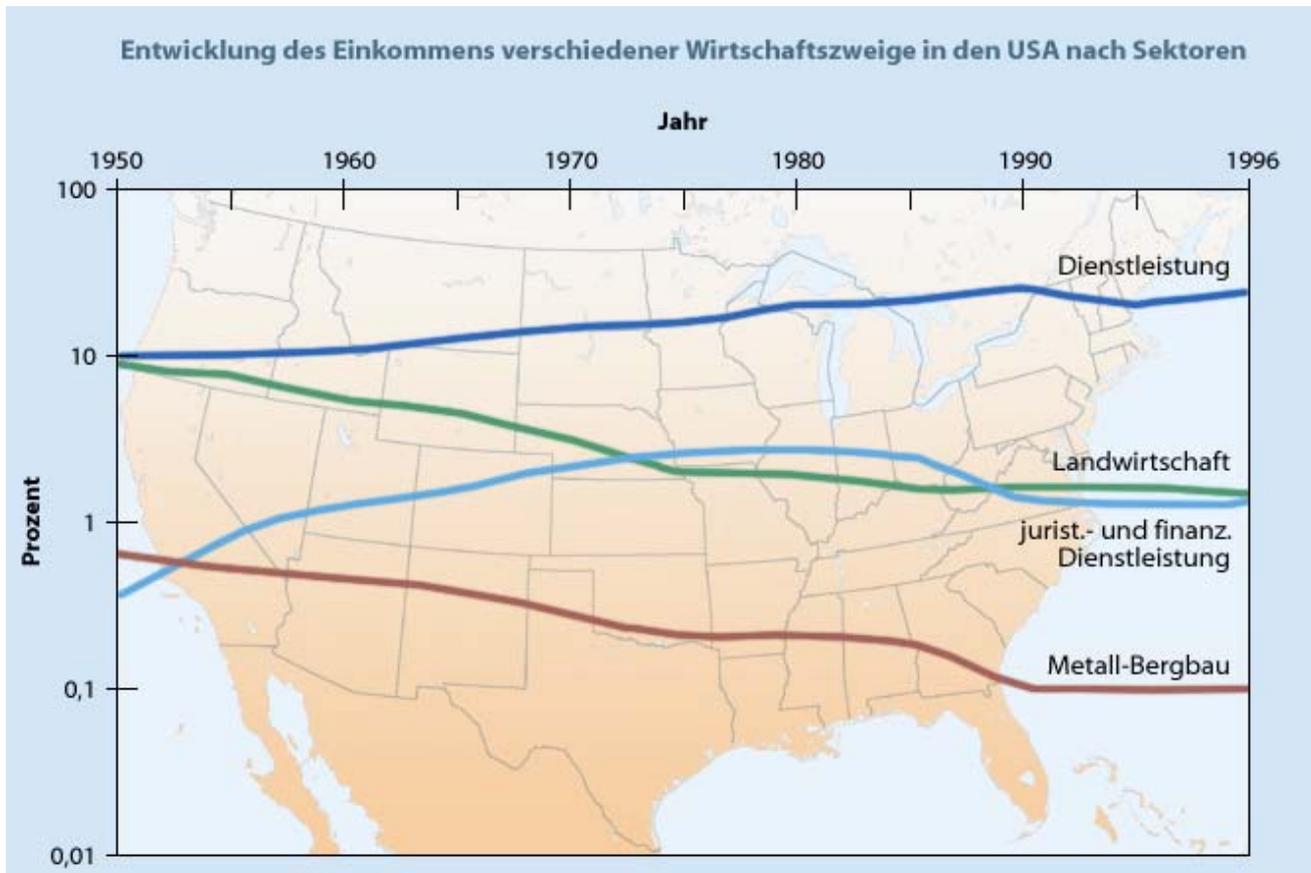
	0 - 5 %	5 - 10 %	10 - 30 %	30 - 50 %	> 50 %
<b>Aluminium</b>				x	
<b>Kupfer</b>				x	
<b>Blei</b>					x
<b>Zink</b>			x		
<b>Zinn</b>		x			
<b>Antimon</b>			x		
<b>Stahl</b>				x	
<b>Chrom</b>			x		
<b>Titan</b>		x			
<b>Kobalt</b>			x		
<b>Mangan</b>			x		
<b>Molybdän</b>			x		
<b>Nickel</b>			x		
<b>Niob</b>		x			
<b>Tantal</b>		x			
<b>Wolfram</b>				x	
<b>Gold</b>				x	
<b>Silber</b>				x	
<b>Platin</b>				x	
<b>Paladium</b>				x	

Abbildung 5: Anteil des durch Recycling gewonnenen Sekundärmaterials am Gesamtverbrauch ausgewählter Metalle in der BRD (nach BGR 2004).

Diese Steigerungsraten lassen sich allerdings nicht in die Zukunft extrapolieren, da viele der technischen Recyclingverfahren nur noch geringfügig optimiert werden können, sodass vergleichbare Zuwächse in Zukunft nur in Einzelfällen oder sektoral erreicht werden können.

Beim Recycling mineralischer und metallischer Rohstoffe bzw. Produkte ist außerdem zu berücksichtigen, dass einige, wie z. B. Beton, nur zu geringen Teilen wieder verwendet werden können. Andere Stoffe hingegen, wie etwa Metalle, können beliebig oft metallurgisch wiedergewonnen werden. So weist z. B. Kupfermetall auch nach beliebig häufigem Recycling identische chemische und physikalische Eigenschaften auf.

Die gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Entwicklung, weg von der Rohstoffgewinnung, hin zur Rohstoffveredlung bzw. –verarbeitung und in einem weiteren Schritt bis hin zur Dienstleistungsgesellschaft, ist keineswegs nur ein deutsches oder westeuropäisches Phänomen, sondern ebenfalls in den USA, Kanada und inzwischen auch in Australien zu beobachten. So wiesen die Sektoren Metallbergbau und Landwirtschaft in den USA zwischen 1950 und 1996 ein stetig sinkendes, die Dienstleistungssektoren jedoch ein umso deutlicher steigendes Einkommen auf (s. Abb. 6).



**Abbildung 6:** Gegenläufiger Trend der Einkommen aus Metall-Bergbau und Landwirtschaft gegenüber dem Dienstleistungssektor in den USA zwischen 1950 und 1996. Bei der Auswertung ist zu beachten, dass es sich bei der y-Achse um eine logarithmische Skala handelt (nach JUHAS & SNOW 2000).

Spielen also für uns Bergbau und die dazu nötige Exploration mineralischer Rohstoffe heute keine Rolle mehr? Die erheblich divergierenden Trends zwischen Produktion und Verbrauch für Deutschland zeigen eine deutliche Diskrepanz, die derzeit durch aktiven bzw. verstärkten Bergbau in anderen Regionen der Welt geschlossen wird.

Die extreme Trennung in Rohstoffproduzenten und Rohstoffveredler lässt sich anschaulich am Beispiel der Verteilung von Kupferbergwerken und Kupferhütten in Westeuropa und den südamerikanischen Anden belegen (s. Abb. 7). Während Westeuropa eine sehr hohe Dichte an Kupferschmelzhütten und Kupferraffinerien aufweist, findet sich in der selben Region heute nur ein einziges Kupferbergwerk. Im Gegensatz dazu ballen sich in den südamerikanischen Anden eine Vielzahl von Kupferbergwerken aber nur wenige Kupferschmelzhütten und Kupferraffinerien. Dies führt u. a. dazu, dass nach wie vor ein großer Teil der maßgeblichen Wertschöpfung nicht in den Regionen erfolgt, in denen die Förderung und der eigentliche Verbrauch der geogenen Ressourcen geschieht.

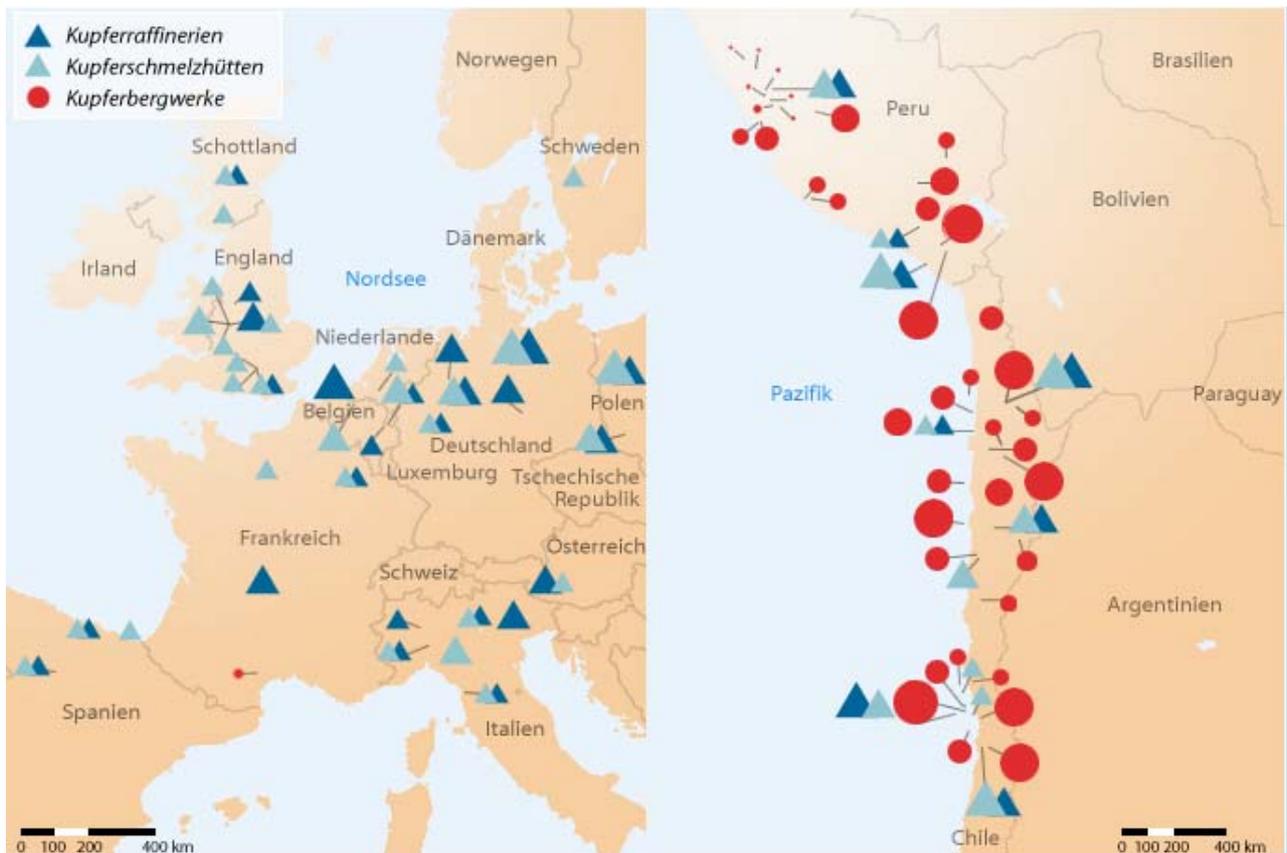


Abbildung 7: Übersichtskarten Mitteleuropas und der südamerikanischen Anden (nach METALLGESELLSCHAFT 1993). Mitteleuropa weist eine Vielzahl von Kupferschmelzhütten (hellblaue Dreiecke) und Kupferraffinerien (dunkelblaue Dreiecke), jedoch nur ein einziges Kupferbergwerk auf. In Südamerika gibt es eine Vielzahl von Kupferbergwerken (rote Kreise) jedoch nur wenige Kupferschmelzhütten und –raffinerien.

### 2.1.1 Mineralische Rohstoffe als Wirtschaftsfaktoren

#### Explorationsausgaben als Indikatoren zukünftiger Bergbautrends

Einen äußerst sensitiven Indikator zukünftiger Bergbauaktivitäten stellen die Explorationsausgaben (Ausgaben für Erforschung bzw. Nachweis von Rohstoffvorkommen) internationaler Rohstoffkonzerne dar. Die weltweiten Gesamtausgaben für die Exploration metallischer Rohstoffe lagen in den 1990er Jahren jährlich zwischen 1 Milliarde und fast 4 Milliarden US \$ (s. Abb. 8)! Dabei ist zu berücksichtigen, dass statistisch gesehen lediglich 2 % aller Explorationsprojekte tatsächlich zum Bau eines Bergwerks führen, es handelt sich also bei Explorationsen nach wie vor um notwendige, aber finanziell höchst risikoreiche Unternehmungen.

Dabei wird deutlich, dass es Regionen gibt, welche die mittlere globale Steigerung der Explorationsausgaben deutlich übertreffen (s. Abb. 9), also Exploration und Bergbau verstärkt anziehen, aber auch solche Regionen, die erkennbar hinter dieser globalen Steigerung zurückbleiben. Hier spiegelt sich der Trend wider, dass Exploration und Bergbau in den „hoch entwickelten“ Ländern zunehmend unerwünscht ist und sich daher in Länder verlagert, wo wirtschaftliche Not, eine liberale oder noch unterentwickelte Gesetzgebung, finanzielle und steuerliche Anreize, sowie weite, dünn besiedelte Landstriche die Rohstoffgewinnung einfacher erscheinen lassen.

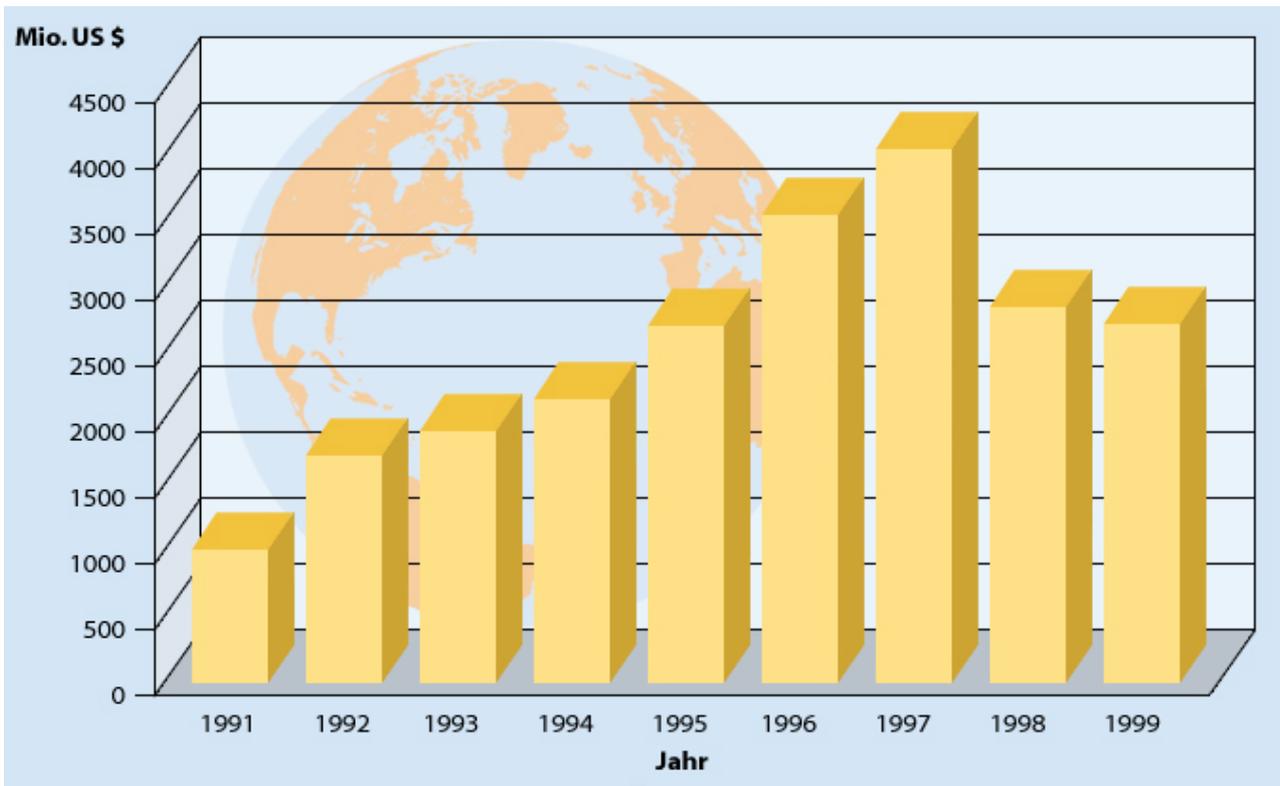


Abbildung 8: Globale Gesamtausgaben für die Exploration metallischer Rohstoffe zwischen 1991 und 1999 (aktualisiert nach BORG 1998).

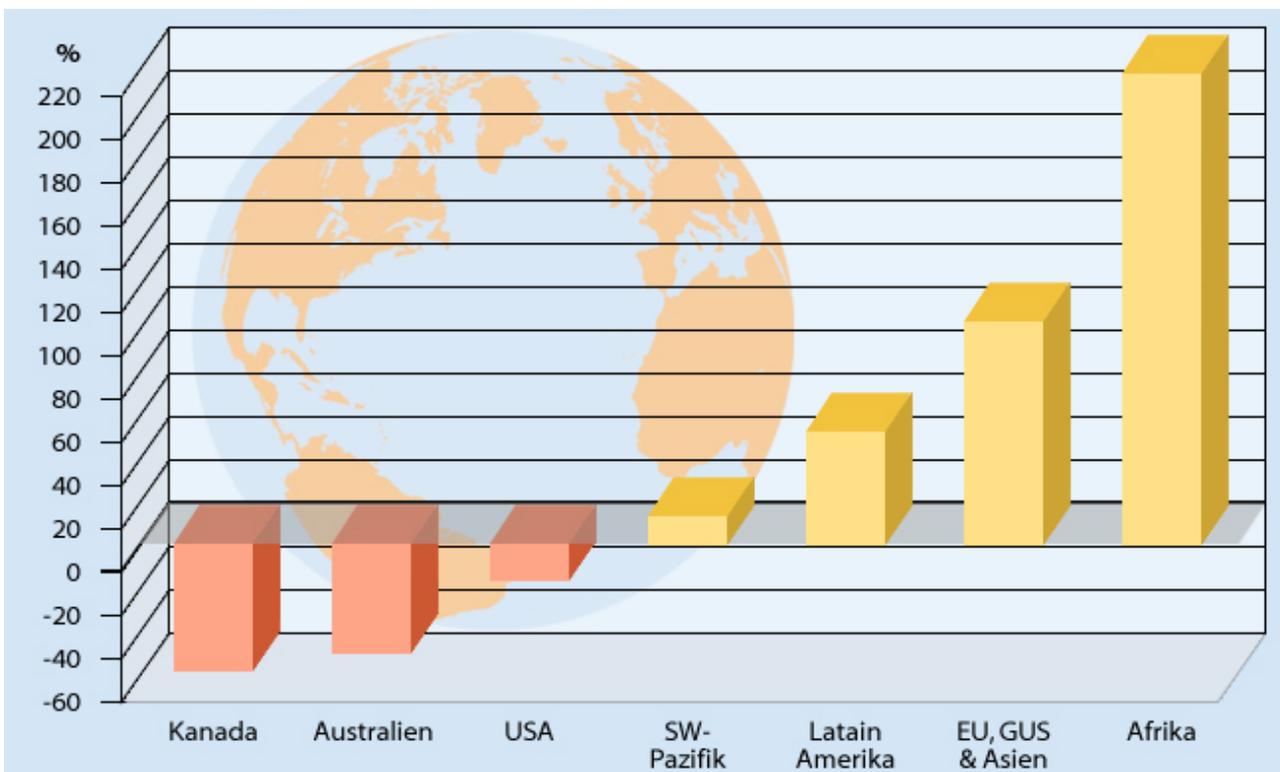


Abbildung 9: Relative Veränderung (in %) des Anteils an den globalen Explorationsausgaben in verschiedenen Regionen der Welt zwischen 1991 und 1999 (nach BORG 1998).



Es zeigt sich deutlich, dass insbesondere in Kanada, Australien und den USA eine Abwanderung von Explorationsprojekten (und infolgedessen in Zukunft vermutlich auch von Bergbauaktivitäten) zu verzeichnen ist. Südamerika, Afrika sowie die GUS und Asien sind Regionen, in die sich die Explorationsaktivitäten bzw. zukünftiger Bergbau verlagern wird. Aber auch in Westeuropa wird in vielen Ländern sehr aktiv und z. T. wieder deutlich zunehmend Exploration und Bergbau metallischer Rohstoffe betrieben. Dazu zählen beispielsweise Länder wie Irland (Blei-Zink), Portugal und Spanien (Kupfer-Blei-Zink und Gold), Italien (Gold), Griechenland (Gold), Norwegen, Finnland (Nickel-Kupfer-Platin-Gruppen-Metalle) und Schweden (Kupfer-Blei-Zink) sowie Polen (Kupfer-Blei-Zink).

Die Annahme, dass Exploration und Gewinnung (metallischer) Rohstoffe für Deutschland kein Thema mehr darstellen, da alle Ansprüche über den Markt geregelt werden können, wäre sowohl in Deutschland aber auch für Europa fatal. Unsere näheren europäischen Nachbarn wie auch weiter entfernte Länder und Kontinente sind sehr aktiv mit der Aufsuchung und Gewinnung mineralischer Rohstoffe befasst, und die derzeitigen umfassenden Veränderungen haben weitreichende Auswirkungen auf nationale und globale Rohstoff-, Finanz- und auch Arbeitsmärkte sowie voraussichtlich auf regionale und globale Ökosysteme.

### Die Lebensdauer mineralischer Rohstoffvorräte

Immer wieder werden öffentlich Angaben zur Lebensdauer der verbleibenden Rohstoffreserven gemacht. Die Prognosen zur Verfügbarkeit von Erdöl werden seit Jahren diskutiert. Dabei fällt auf, dass diese Angaben oft höchst unterschiedlich ausfallen und immer wieder Anlass für Missverständnisse und Konflikte sind. Ein Paukenschlag mit nachhaltig sensibilisierender Wirkung war sicherlich der Bericht des CLUB OF ROME aus den 1960er Jahren mit dem Titel „Die Grenzen des Wachstums“ (MEADOWS 1998). Dieser Bericht postulierte das Ende der Vorräte verschiedener mineralischer und Energierohstoffe in naher Zukunft, mit „dead-lines“ die in vielen Fällen heute bereits deutlich überschritten worden sind, ohne dass eine spürbare Verknappung der entsprechenden Rohstoffe eingetreten wäre.

Der Umkehrschluss, geogene Rohstoffe seien unerschöpflich und eine völlige Entwarnung sei daher gerechtfertigt, ist allerdings ebenso falsch wie die voreiligen Cassandra-Rufe. Die große Komplexität der Zusammenhänge von Faktoren, welche die Lebensdauer eines Rohstoffs bestimmen, eignet sich nicht für derartige Simplifizierungen. Im Folgenden soll versucht werden, einige der für die Lebensdauer eines Rohstoffs relevanten Faktoren zu benennen und aufzuzeigen, dass eine Prognose der tatsächlichen Lebensdauer eines verbleibenden Rohstoffvorrats nur sehr schwer bzw. gar nicht möglich ist.

Eine Vielzahl verschiedener Faktoren, wie Weltmarktpreise, Recyclingraten, verändertes Verbraucherverhalten, neue technische Gewinnungsverfahren oder die Einführung von Ersatzstoffen wirken zusammen und verhindern die Bestimmung der tatsächlichen Lebensdauer, sodass man die Begriffe der „**statischen Lebensdauer**“ bzw. „**dynamischen Lebensdauer**“ eingeführt hat (WELLMER und BECKER-PLATEN 1999) um zumindest die relativen Unterschiede in der Verfügbarkeit verschiedener Rohstoffe veranschaulichen zu können. Bei beiden Begriffen geht man ausschließlich von den heute bekannten Vorräten des jeweiligen Rohstoffs aus und dividiert diese entweder durch den heutigen Verbrauch desselben Rohstoffs (dies ergibt die statische Lebensdauer) oder durch einen dynamisch wachsenden Verbrauch (ergibt die dynamische Lebensdauer). Es ist offensichtlich, dass weder der heutige Erkenntnisstand über den Umfang der tatsächlichen Vorräte, noch das Wissen über zukünftige Verbrauchszahlen eine abschließende Einschätzung zulassen. Trotzdem zeigen sich bei einer Auflistung der statischen Lebensdauer ausgewählter mineralischer Rohstoffe deutliche Unterschiede (s. Abb. 10). Wodurch werden diese Unterschiede verursacht? Die wesentlichen Prinzipien sollen beispielhaft an den „langlebigen“

Rohstoffgruppen Salz und Chromit einerseits und den scheinbar „kurzlebigen“ Stoffen Baryt, Zink und Blei andererseits aufgezeigt werden.

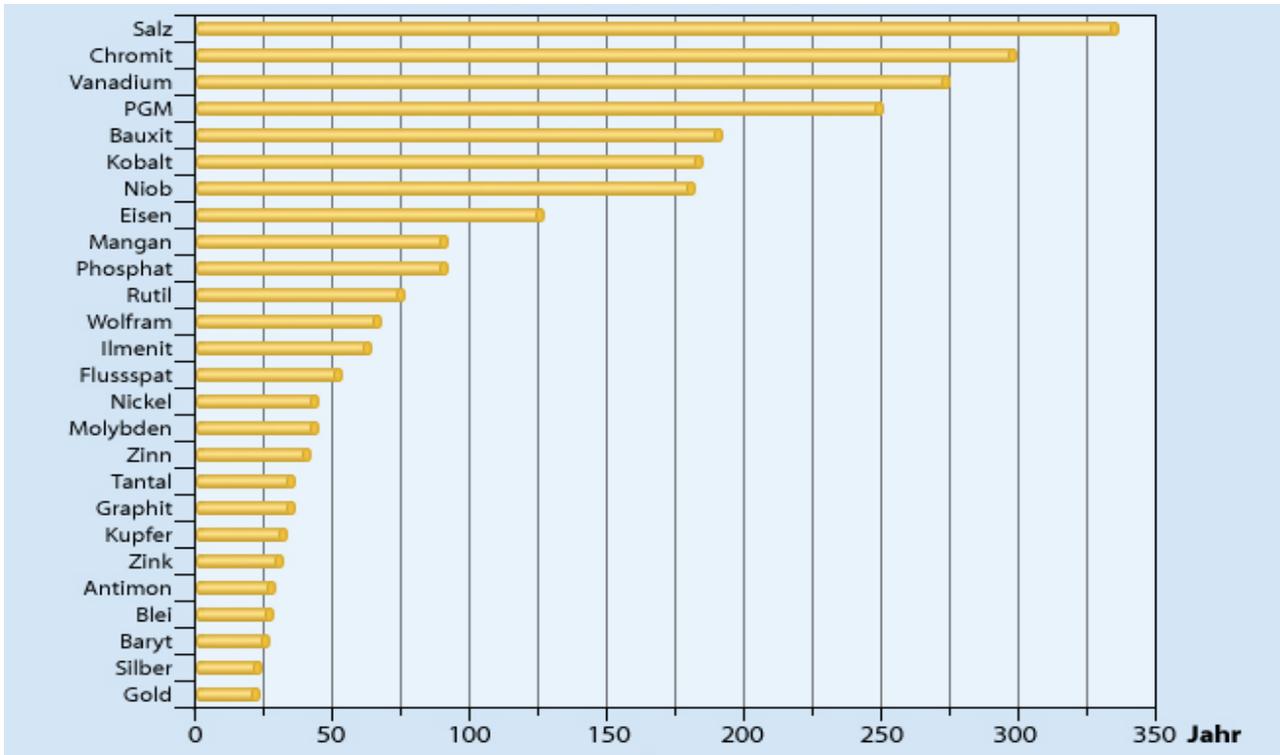


Abbildung 10: Die statische Lebensdauer ausgewählter Rohstoffe. Die statische Lebensdauer eines Rohstoffs errechnet sich aus den derzeit bekannten Vorräten, dividiert durch den derzeitigen Verbrauch (nach WELLMER und DAHLHEIMER 2000).

Mineralische Rohstoffe kommen in sehr unterschiedlichen geologischen Situationen, d. h. in unterschiedlichen Lagerstättentypen vor. Diese Lagerstättentypen unterscheiden sich neben ihrer Bildungsgeschichte auch hinsichtlich ihrer Vorräte, Gehalte, Verzugsstile, mineralogischer und physikalischer Eigenschaften sowie ihrer Geometrie und räumlichen Erstreckung der Erzkörper. Diese Lagerstätteneigenschaften führten bei einigen Rohstoffen zu einem besonders hohen Erforschungs- bzw. Nachweisstand; dies trifft für die erstgenannte Gruppe (Salz, Chromit) zu.

Die im Vergleich zu den umgebenden Gesteinen geringe Dichte des Salzes ist eine relativ gut messbare (geo)physikalische Eigenschaft. Dieselbe Eigenschaft hat zudem dazu geführt, dass Salz (Steinsalz und Kalisalze) als Reaktion auf die Auflast überlagernder relativ schwerer Gesteinsschichten in Form von Diapiren, Kissen oder Walzen aufsteigt und so mehrere hundert Meter durchmessende, ballon-ähnliche Salzstöcke unter der Erdoberfläche bildet, die relativ leicht mithilfe geophysikalischer Methoden (Gravimetrie) zu orten sind. Hieraus ergibt sich der sehr hohe Erkundungsgrad der Salzreserven, d. h., es sind relativ umfangreiche Vorräte bekannt, sodass sich eine statische Lebensdauer von fast 350 Jahren ergibt (s. Abb. 10).

Die Lagerstätten der „kurzlebigen“ Gruppe Baryt, Zink und Blei kommen meist in vergleichsweise kleinen Erzkörpern vor, die jedoch in vielen Fällen innerhalb eines Lagerstättendistriktes gehäuft auftreten. Zudem weisen diese Erzkörper häufig recht komplexe und unregelmäßige Formen auf, die nur mit größerem Aufwand erkundet werden können. Stark schwankende Metallpreise haben dazu geführt, dass die Bergbauunternehmen in vielen Fällen zufrieden sind, wenn Vorräte für die jeweils kommenden sieben bis zehn Jahre nachgewiesen sind, solange diese durch eine den Abbau begleitende Exploration fortlaufend

ergänzt werden können. Man könnte dieses Verhalten als ein Beispiel des aus dem Handel und der industriellen Produktion bekannten Just-in-time-Prinzips betrachten, welches hier auf die Exploration angewandt wird. Die geologischen Rahmenbedingungen der Lagerstätten dieser zweiten Gruppe und das soeben beschriebene Just-in-time-Explorationsprinzip erklären, warum Rohstoffe kurzer Lebensdauer einen erheblich höheren Explorationsbedarf und somit Innovationsbedarf haben als Rohstoffe mit vergleichsweise langer Lebensdauer. Im Hinblick auf Rohstoffe kurzer Lebensdauer sind kontinuierliche Explorationsanstrengungen und –erfolge notwendig, um erschöpfte, d. h. abgebaute, Lagerstätten durch neu entdeckte zu ersetzen.

### Regelkreise der Rohstoffversorgung - der menschliche Faktor

Die Lebensdauer mineralischer Rohstoffe unterliegt neben geologischen Rahmenbedingungen auch einem Regelkreis (Wirkungskreise mit negativer Rückkopplung). In diesem Regelkreis ist eine Vielzahl ökonomischer und technischer Faktoren wirksam, die allesamt mögliche Prognosen zur zukünftigen Verfügbarkeit der Rohstoffe erschweren. Die Verknappung eines Rohstoffs kann in der Regel verschiedene Gegenreaktionen ökonomischer und/oder technischer Art auslösen (s. Abb. 11).

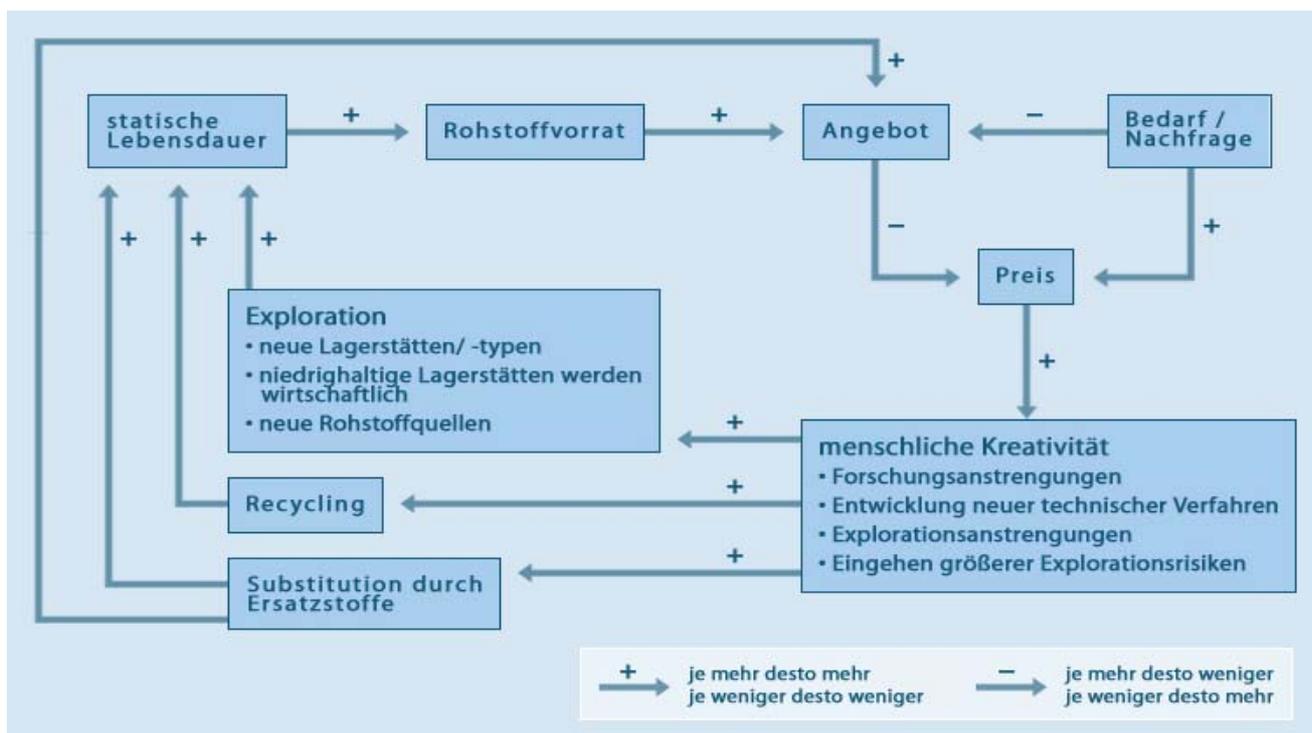


Abbildung 11: Wirkungsdiagramm technischer sowie ökonomischer Faktoren und Reaktionen auf die Verknappung von Rohstoffreserven (nach WELLMER und BECKER-PLATEN 1999). Es liegt ein Regelkreis vor. Die gegenseitige Wirkung des Angebotes auf den Preis stellt die negative Rückkopplung dar.

Die ökonomische Kopplung von Angebot und Nachfrage führt bei erhöhtem Bedarf und/oder verknapptem Angebot eines mineralischen Rohstoffs zunächst zu einem Preisanstieg. Die darauf einsetzenden Folgereaktionen können sehr unterschiedlicher Art sein, sie schließen jedoch meist einen kreativen Beitrag des Menschen ein. Der erhöhte Preis kann beispielsweise zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zu verbesserten Gewinnungs- oder Recyclingverfahren ökonomisch sinnvoll machen, er kann aber auch in verstärkten Explorationsanstrengungen oder dem Abbau niedrighaltigerer Lagerstätten resultieren. Es lässt sich zeigen, dass die deutlichen Preisanstiege für Kupfer in den 1950er und 1960er



Jahren bzw. für Gold in den 1970er Jahren jeweils Phasen verstärkter Buntmetall- bzw. Goldexploration auslösten. Zurzeit lässt sich beobachten, dass die Buntmetalle in den Explorationsportfolios internationaler Rohstoffkonzerne wieder einen bevorzugten Platz einnehmen. Der Explorationsboom nach Gold in den 80er und 90er Jahren hat die Entdeckung umfangreicher neuer Reserven zur Folge gehabt. Dagegen lässt nach Ansicht vieler Rohstoffkonzerne die vernachlässigte Suche nach Buntmetall-Lagerstätten in den letzten 20 Jahren eine zukünftige Verknappung möglich erscheinen. Derartig zyklische Explorations- und Bergbautätigkeiten auf ausgewählte Rohstoffgruppen können sich auch in verfügbarem Firmenwissen oder in veränderten Forschungsschwerpunkten niederschlagen. So hat die international vermehrt auf Goldexploration und die Genese von Goldlagerstätten ausgerichtete Lagerstättenforschung der vergangenen 20 Jahre dazu geführt, dass besonders Firmen mit sehr jungen Explorations- und Forscherteams heute z. T. nicht mehr über das nötige lagerstättenkundliche und explorationstechnische Wissen zur Buntmetallexploration verfügen.

Das Ergebnis optimierten Recyclings wie auch intensiver Exploration ist die gesteigerte Produktion und damit die Erhöhung bekannter Vorräte sowie der statischen Lebensdauer eines Rohstoffs. Hierdurch wird eine Verknappung beseitigt und das Versiegen des Rohstoffs ist bis zur nächsten Verknappung und zum nachfolgenden Explorations- bzw. Innovationsschub des Regelkreises aufgeschoben. Weitere, den Regelkreis stark beeinflussende Faktoren können auch die Erfindung technischer Ersatzrohstoffe sein, z. B. der Einsatz von Palladium statt Platin in der Katalysatortechnik oder von Glasfaserkabeln statt Kupferkabeln. Im gegenteiligen Fall kann die Feststellung toxischer Eigenschaften zur sehr abrupten Abnahme des Verbrauchs eines Rohstoffs und der verstärkten Suche nach Ersatzrohstoffen führen, wie dies z. B. bei Asbest und Cadmium der Fall gewesen ist.

### **Markt und Mine – was das Erz zum Erz macht**

Da die moderne Definition des Begriffs Erz den Aspekt der wirtschaftlichen Gewinnbarkeit beinhaltet, kann man umgekehrt den Schluss ziehen, dass ganze Lagerstätten oder zumindest die randlichen Teile von Lagerstätten durch Schwankungen des Weltmarktpreises ihren Status als Erz verlieren oder wieder gewinnen können. Dies ist in der Tat der Fall und hat dazu geführt, die räumliche Begrenzung von Lagerstätten entweder geologisch oder ökonomisch zu bestimmen.

Die geologisch-mineralogische Grenze einer Lagerstätte ist in seltenen Fällen makroskopisch, sondern meist mikroskopisch oder nur analytisch nachweisbar und trennt mineralisiertes Gestein vom nicht mineralisierten Gestein. Diese mineralogische Grenze wird in der Regel als fest betrachtet. Die ökonomische Grenze einer Lagerstätte wird hingegen durch die Grenze der wirtschaftlichen Gewinnbarkeit festgelegt und schwankt in Abhängigkeit vom Preis des abzubauenen Rohstoffs mehr oder weniger stark. Daraus ergibt sich, dass auch die Vorräte, d.h. die Tonnage einer Lagerstätte, in Abhängigkeit vom Rohstoffpreis schwanken. In der Praxis wird jedes Bergbauunternehmen versuchen, dieses Risiko durch langfristige Verträge abzusichern und damit auch die ökonomische Grenze der abzubauenen Lagerstätte, zumindest für einen bestimmten Zeitraum, möglichst fest zu bestimmen, was jedoch nur selten über große Zeiträume gelingt. Dass ganze Bergwerke unwirtschaftlich und wieder zu profitablen Lagerstätten werden können, zeigt das Beispiel der Silberbergwerke von Idaho und Montana im Coeur d'Alaine-Distrikt (USA). Hier wurden und werden ganze Silberbergwerke, welche wirtschaftlich nur marginal arbeiten, bei fallendem Silberpreis aus der Produktion genommen und durch Abpumpen der Grubenwässer mit Minimalaufwand funktionsfähig gehalten; bei steigendem Silberpreis hingegen wird die Produktion wieder aufgenommen.

Viele Bergwerke reagieren innerhalb ihrer Lagerstätte in ähnlicher Art und Weise auf fluktuierende Marktpreise, indem sie Erze unterschiedlich hoher Metallgehalte in Abhängigkeit vom Preis abbauen bzw.

niedrig gehaltige Erze bei niedrigem Preis auf Halde lagern und nur bei hohem Preis der Erzaufbereitung zuführen. Die Randbereiche eines vererzten Ganges oder einer Erzlinse werden also, jeweils in Abhängigkeit vom Rohstoffpreis, über oder unter dem so genannten **economic cut-off**, d. h. der wirtschaftlichen Bauwürdigkeitsgrenze, liegen (s. Abb. 12).

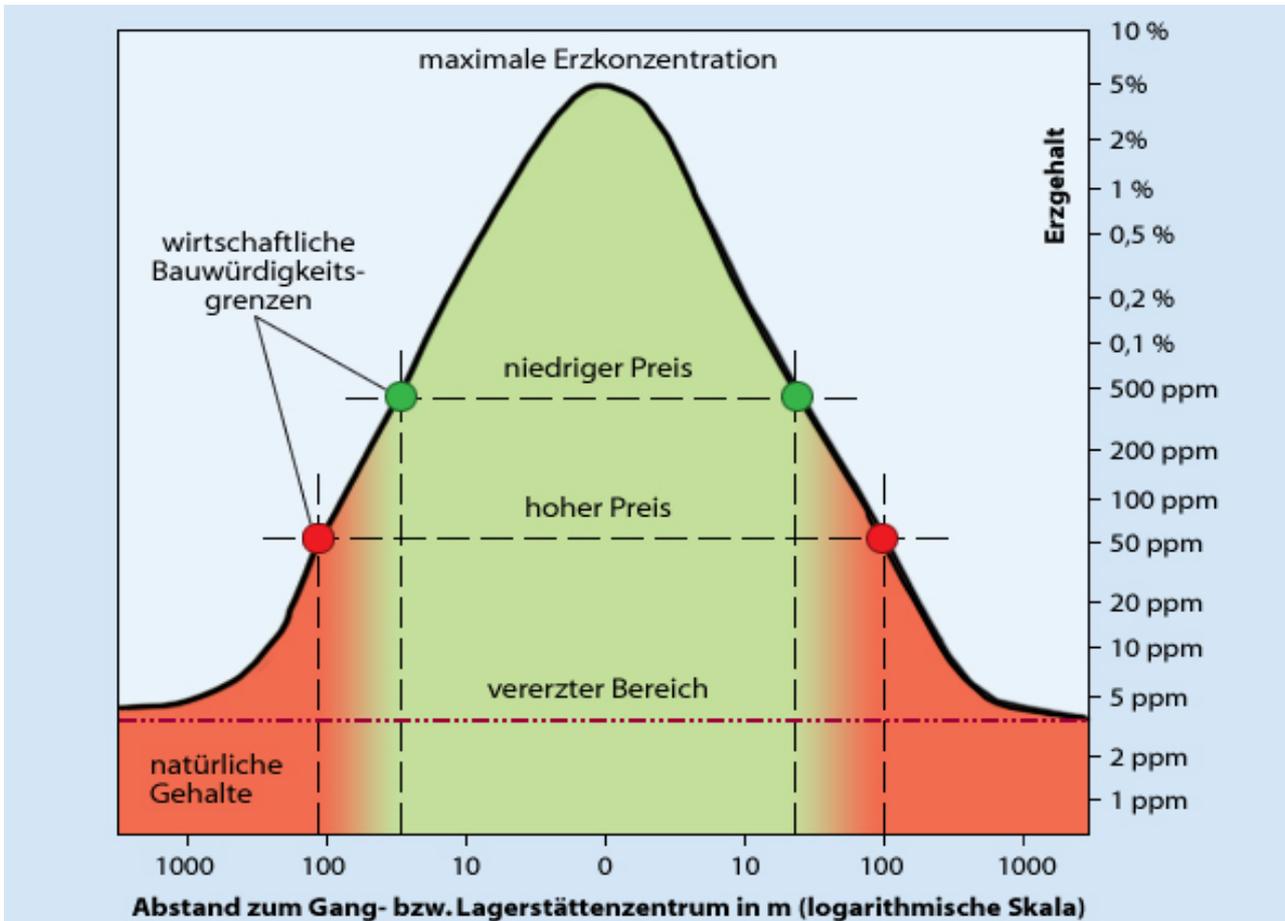


Abbildung 12: Die wirtschaftliche Bauwürdigkeitsgrenze hängt direkt vom Weltmarktpreis eines mineralischen Rohstoffs ab und bedingt in der Praxis, ob ein (marginaler) Teil einer Lagerstätte zum Erz gehört oder nicht (nach BORG 1998).

## 2.2 Fossile Energierohstoffe

### Treibstoff für Alltag und Fortschritt

Ein ganz normaler Morgen: Der Radiowecker klingelt – aufstehen. Eine warme Dusche, dann frühstücken: heißer Kaffee und Toast. Die Wohnung ist angenehm temperiert. So geht es den ganzen Tag weiter. Vom ersten Öffnen der Augen bis zum Einschlafen konsumieren wir Energie. Ganz ehrlich, wer macht sich im alltäglichen Geschehen schon Gedanken darüber, wann wie viel Energie genutzt wird und woher diese Energie stammt? Nehmen wir als Beispiel die Selbstverständlichkeit Kaffee. Nicht nur, dass Energie genutzt wird, um das Wasser zum Kochen zu bringen. Überlegen wir einmal kurz, wie viel Energie alleine aufgewendet wird, um uns den Kaffee ins Haus zu bringen. Denken wir daran, dass Kaffee auf der anderen Seite der Welt wächst, dort geerntet und dann über mehrere Stationen nach Deutschland transportiert wird: LKW, Eisenbahn, Schifftransport, wieder LKW, unser eigener PKW. Und all diese Transportmittel werden von Verbrennungsmotoren angetrieben, die Erdölderivate als Treibstoff verwenden.

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland wurde auch im Jahr 2003 – mit 36,4 % Anteil – vom Erdöl dominiert, gefolgt vom Erdgas mit 22,5 %. Es folgen Steinkohle (13,7 %), Kernenergie (12,6 %) und Braunkohle (11,4 %). Die erneuerbaren Energieträger Wind- und Wasserkraft spielen mit 1,0 % eine untergeordnete Rolle (s. Abb. 13). Im Jahr 2004 nahm der Anteil der Wasser- und Windkraft auf 1,2 % zu (Steigerung um 25 %), und zwar zu Lasten von Steinkohle und Braunkohle.

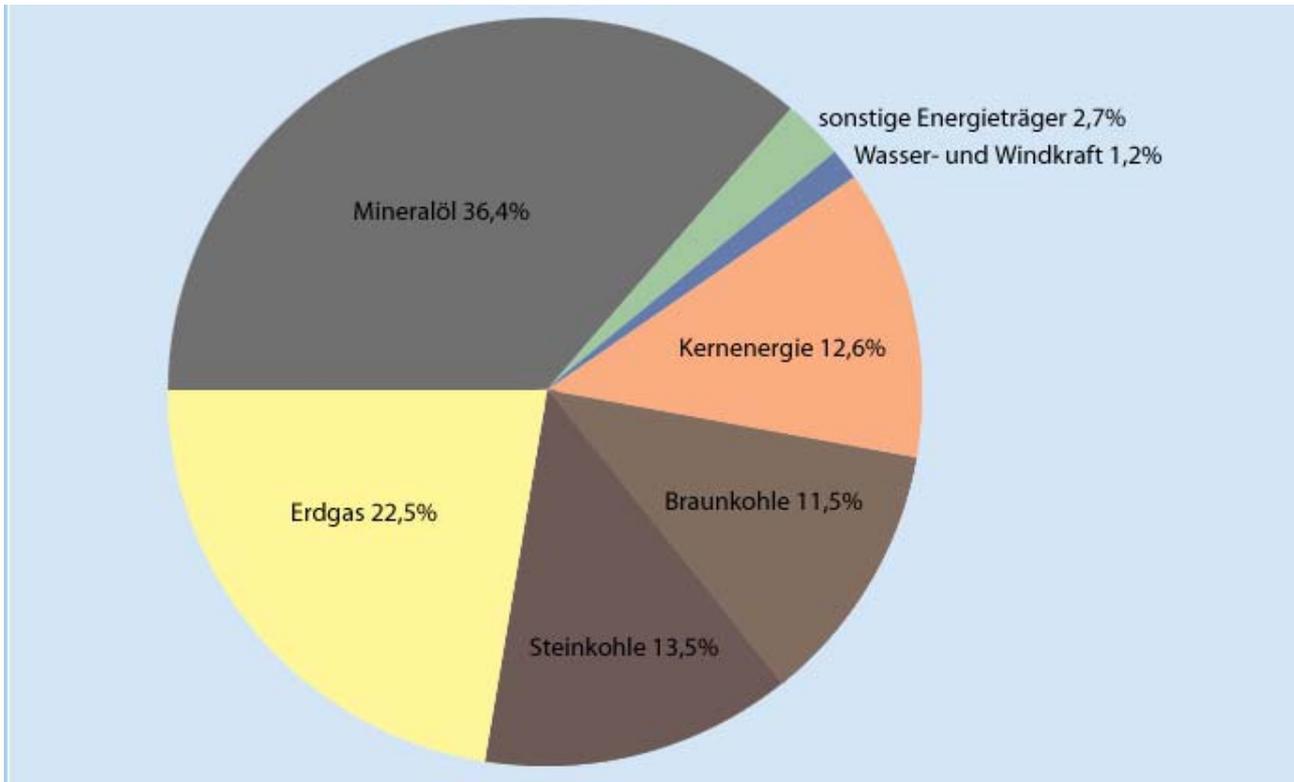


Abbildung 13: Anteil der verschiedenen Energieträger am deutschen Primärenergieverbrauch im Jahr 2003 (ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN 2004).

Erdöl und Erdgas sind die dominierenden Energieträger. Diese Situation wird sich in naher Zukunft auch nicht ändern, wenn Deutschland aus der Kernenergie aussteigt und die Kohle weniger stark subventioniert wird. Insbesondere aber deshalb, weil die erneuerbaren Energien wegen der klimatischen Verhältnisse und des limitierten Raumangebotes in Deutschland nur beschränkte Zuwächse haben können.

Aus der Tatsache, dass Deutschland im Jahr 2000 etwa 52 % seines finanziellen Aufwandes für sämtliche Rohstoffeinfuhren (das entspricht etwa 33 Milliarden Euro) für den Import von Erdöl und Erdgas aufgewendet hat, kann man die Bedeutung dieser Energieträger für unser Land ableiten. Im Vergleich dazu ist das Wissen über die Bildung, die Suche und Gewinnung sowie die Verfügbarkeit in der breiten Öffentlichkeit gering.

### Wie entstehen Erdöl und Erdgas?

Erdöl und Erdgas sind komplexe Gemische aus Kohlenwasserstoff-Molekülen, die in geologischen Zeiten – also Millionen von Jahren – aus tierischen oder pflanzlichen Substanzen gebildet wurden. Kohlenwasserstoffe sind – wie der Name andeutet – Moleküle, die hauptsächlich aus Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) aufgebaut sind. Das mit Abstand häufigste Kohlenwasserstoff-Molekül ist Methan (CH<sub>4</sub>). Die



Bedeutung der Kohlenwasserstoffe als Energiequelle beruht darauf, dass bei ihrer Oxidation beträchtliche Mengen an Energie frei werden.

Der Namen gebende Unterschied zwischen Erdöl und Erdgas besteht darin, dass Erdöl unter den an der Erdoberfläche herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen in flüssiger Form, Erdgas hingegen gasförmig vorliegt. Diese unterschiedlichen Erscheinungsformen ergeben sich aus dem mit der Molekülgröße der Kohlenwasserstoffe zunehmenden Siedepunkt. So enthält das in der Regel aus terrestrischen pflanzlichen Substanzen (Kohle) gebildete Erdgas kleine Kohlenwasserstoff-Moleküle mit bis zu 5 Kohlenstoff-Atomen, das überwiegend aus Algen und Phytoplankton gebildete Erdöl enthält große Moleküle mit bis zu 40 und mehr Kohlenstoff-Atomen. Erdöl ist daher sehr viel zähflüssiger und geht erst bei höheren Temperaturen in den gasförmigen Zustand über. Kohlenstoff zeichnet sich dadurch aus, dass er eine Vielzahl verschiedener Bindungsformen mit anderen Atomen eingehen kann. So ist es nicht verwunderlich, dass mit zunehmender Anzahl von Kohlenstoff-Atomen die strukturelle Vielfalt der Moleküle immer stärker zunimmt. Zur Entstehung von Steinkohle siehe auch Modul „Entstehung und Entwicklung des Lebens“.

### Vorräte und Verbrauch

Wir verbrauchen viel!

Von dem Lebewesen im Meer und dem Wollgras im Moor über die Versenkung in 3, 4 oder 5 Kilometer Tiefe bis zur Bildung der Kohlenwasserstoffe vergehen Zeiträume in der Größenordnung von Dutzenden bis Hunderten von Millionen Jahren. Grobe globale Schätzungen gehen davon aus, dass in der jüngeren geologischen Geschichte im Mittel etwa 2 bis 5 Millionen Tonnen Erdöl pro Jahr gebildet wurden. Derzeit verbrauchen wir etwa 1000-mal so viel Erdöl pro Jahr. Ist der Vorrat erst einmal erschöpft, können wir also nicht davon ausgehen, dass sich die Lagerstätten durch natürliche Vorgänge in den nächsten Generationen wieder auffüllen. Wie wir mit den fossilen Energieträgern umgehen, ist also keine nachhaltige Nutzung, sondern ein Verbrauch. Dieser wird unweigerlich ein Ende haben.

Zukunftsszenarien zur Entwicklung der Weltbevölkerung lassen einen Zuwachs bis auf etwa 9,3 Milliarden Menschen in den nächsten 50 Jahren erwarten. Hiermit geht ein immenser Zuwachs des Bedarfs an Primärenergie einher, denken wir nur einmal an die Länder China und Indien, in denen mit einer schnellen industriellen Entwicklung die Wünsche der Bevölkerung nach wachsendem Lebensstandard und Mobilität wachsen. Dem stehen die Begrenztheit der Reichweite der fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle sowie die Bedrohung des Weltklimas durch zunehmende Emissionen klimaschädlicher Gase aus der Verbrennung dieser Energieträger gegenüber (s. Modul „Klimasystem und Klimageschichte“).

Dennoch können die Zuwächse der weltweiten Energienachfrage auch in den nächsten 20 Jahren faktisch nur durch Erdöl, Erdgas und Kohle gedeckt werden. Erst danach dürften die Technologien zur Erzeugung regenerativer Energien (Windkraft, Wasserkraft, Biomasse, Fotovoltaik) voll wettbewerbsfähig sein.

Angesichts unserer weiterhin existierenden Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas stellt sich die Frage nach der Verfügbarkeit dieser Rohstoffe. Zum Verständnis der Antwort sind vorab einige begriffliche Erläuterungen notwendig (s. Abb. 14).

Einheitlich werden als **Reserven** diejenigen Mengen an Kohlenwasserstoffen bezeichnet, die in einer Lagerstätte nachgewiesen sind und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gefördert werden können. Das sind beim konventionellen Erdöl zwischen 30 und 50 %, bei konventionellem Erdgas zwischen 60 und 90 % der anfänglich in der Lagerstätte vorhandenen Mengen. Als **Ressourcen** werden die Mengen klassifiziert,

die (1.) geologisch nachgewiesen sind, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewonnen werden können sowie (2.) auch die Mengen, die nicht nachgewiesen sind, aber aus geologischen Gründen für das betreffende Gebiet prognostiziert werden. Dabei werden – ebenso wie bei den Reserven – zahlenmäßig nur die tatsächlich gewinnbaren Mengen berücksichtigt. Naturgemäß sind Ressourcenzahlen mit größerer Unsicherheit behaftet. Hinsichtlich der Verfügbarkeit von Kohlenwasserstoffen sind in den folgenden Ausführungen nur das konventionelle Erdöl und Erdgas berücksichtigt. Die nicht-konventionellen Kohlenwasserstoffe (s. Abb. 14) bilden ein bisher nur unvollkommen erforschtes Potenzial für eine Verlängerung der Reichweiten.

Erdöl		Erdgas	
konventionell	nicht-konventionell	konventionell	nicht-konventionell
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erdöl (mit einer Dichte von 0,8 – 0,934 g/cm<sup>3</sup>)</li> <li>- NGL – Natural Gas Liquids (&lt; 0,8 g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schweröl (0,934 – 1,0 g/cm<sup>3</sup>)</li> <li>- Schwerstöl (&lt; 1,0 g/cm<sup>3</sup>)</li> <li>- Ölsande</li> <li>- Ölschiefer</li> <li>- synthetisches Erdöl (aus Erdgas oder Kohle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- freies Erdgas</li> <li>- Erdölgas (im Erdöl gelöstes Gas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flözgas (in Kohleflözen sorbiertes Gas)</li> <li>- Aquifergas (im Formationswasser gelöstes Gas)</li> <li>- Erdgas in dichten Speichergesteinen (tight gas)</li> <li>- Gashydrate</li> </ul>

Abbildung 14: Klassifikationsschema für Erdöl und Erdgas (nach BGR 2003a).

Für das konventionelle Erdöl weisen die Schätzungen unterschiedlicher Autoren zum Gesamtpotenzial (=bisher geförderte Menge + Reserven + Ressourcen) seit 1940 bis zum Anfang der 80er Jahre eine stetige Höherbewertung aus. Seitdem pendeln sich die Schätzungen zwischen 200 und 400 Milliarden Tonnen ein, wobei sich nach Meinung der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) für das Jahr 2003 ein aktueller Wert von 377 Milliarden Tonnen abzeichnet. Hiervon sind bisher bereits ca. 35 % gefördert und verbraucht. Da die Geowissenschaftler/innen nahezu alle Sedimentbecken weltweit relativ gut kennen, sind signifikante Zuwächse nur noch durch verbesserte Fördertechnologien (höhere Ausbringungsraten) oder infolge drastischer Veränderungen des Preisniveaus zu erwarten. Daraus folgt, dass bei gleich bleibender bzw. steigender Jahresförderung in den kommenden 10 – 30 Jahren der Zeitpunkt erreicht sein wird, an dem etwa die Hälfte des konventionellen Erdöls gefördert ist – der so genannte **depletion mid point**. Dieser Zeitpunkt stellt einen wesentlichen Einschnitt bei der Förderung dar, da nach dessen Überschreiten die Fördermenge sukzessive abnimmt.

Die von verschiedenen Autoren vorgenommenen Gesamtpotenzialabschätzungen für das konventionelle Erdgas liegen zwischen 350 und 500 Milliarden m<sup>3</sup>. Nach Berechnung der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE liegt der Wert für das Jahr 2003 bei 454 Milliarden m<sup>3</sup>, von denen bisher etwa 15 % gefördert sind. Zuwächse seit 1980 resultieren aus Erhöhungen der Reserven und Ressourcen, sind aber auch eine Konsequenz der infolge vorausgegangener Ölpreiserhöhungen vermehrten Exploration auf Erdgas. Sicherlich haben auch die weltweit verstärkten Bemühungen um Umweltschonung und Diversifizierung der Primärenergiequellen ihren Einfluss gehabt. Jedenfalls zeichnet sich – abweichend vom Erdöl – noch kein Plateau bei den Gesamtpotenzialabschätzungen ab. Mit anderen Worten – die weltweite Exploration auf Erdgas ist im Vergleich zum Erdöl bisher weniger weit fortgeschritten.

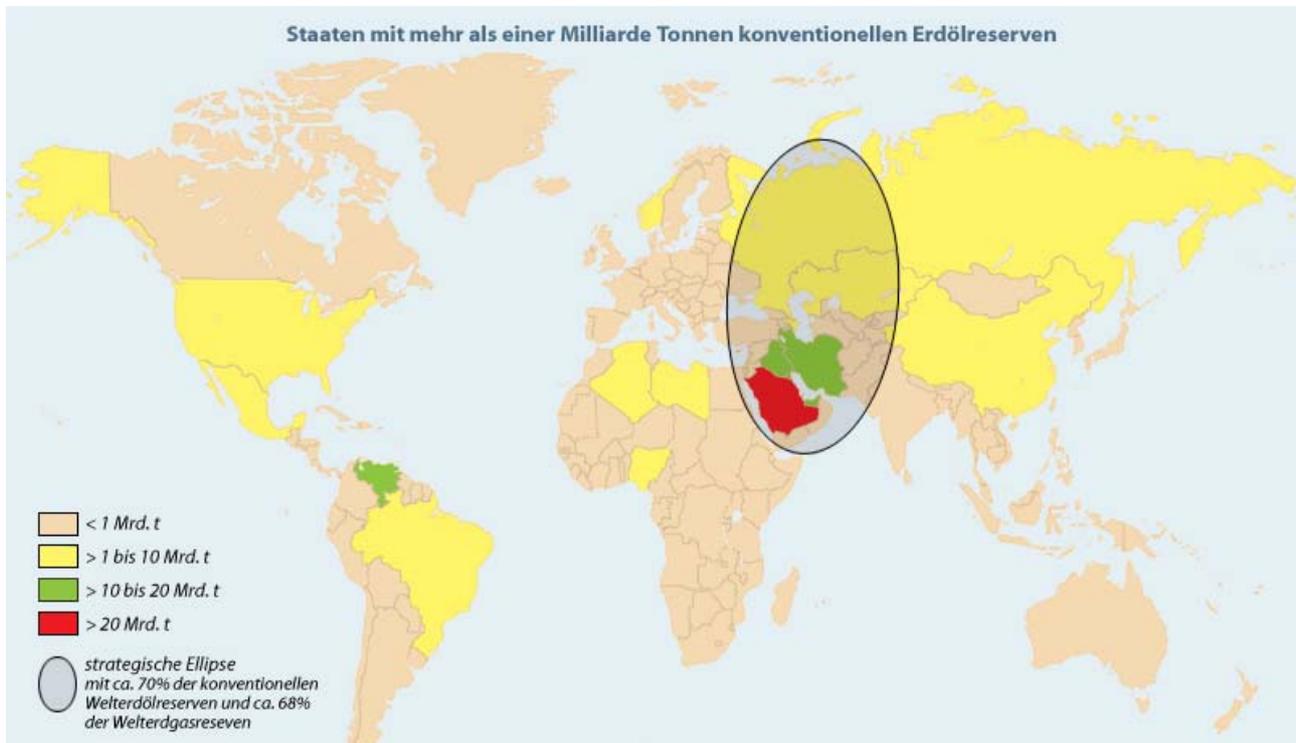


Abbildung 15: Staaten mit mehr als 1 Milliarde Tonnen konventionellen Erdöls, Stand 2002 (nach BGR 2003a).



Abbildung 16: Plattform zur Förderung von Erdöl und Erdgas über dem Norwegischen Kontinentalschelf in der Nordsee (Bild: [www.statoil.com](http://www.statoil.com)).

Erdöl- und Erdgaspotenziale sind ungleichmäßig verteilt. Der Nahe Osten verfügt über das größte Erdölgesamtpotenzial, gefolgt von der GUS und Nordamerika. Bei konventionellem Erdgas verfügt die GUS



über das größte Gesamtpotenzial, gefolgt vom Nahen Osten und Nordamerika. Es ist auch wichtig zu wissen, dass Nordamerika bereits mehr als die Hälfte seiner Potenziale gefördert hat. Gegenwärtig sind die Länder mit den größten Erdöl- und Erdgasreserven innerhalb einer „strategischen Ellipse“ (s. Abb. 15) vom Nahen Osten über den Kaspiraum bis nach Westsibirien konzentriert. Innerhalb dieser Ellipse befinden sich 70 % der bekannten Erdöl- und 68 % der Welterdgasreserven. Während beim Erdöl Saudi Arabien eindeutig dominiert, fällt diese Rolle beim Erdgas den Ländern Russland und Iran zu. Westeuropa verfügt insgesamt über deutlich geringere Mengen. Lediglich in der Nordsee werden Erdöl und Erdgas in größeren Mengen gefördert (s. Abb. 16).

### Ein Blick auf Deutschland

Deutschland hat eine lange währende Kohlenwasserstoffexplorationstradition; Erdöl ist seit dem 15. Jahrhundert bekannt. 1858 wurde in Wietze bei Celle die erste Bohrung niedergebracht. Sie traf Erdöl in bescheidener Menge an. Im Jahr 1876 konnte die systematische Produktion in Wietze aufgenommen werden. Bis 1938 stieg infolge weiterer Funde an anderen Orten die Förderung in Deutschland nahezu kontinuierlich bis auf über 500.000 Tonnen pro Jahr. 1940 überstieg die Jahresförderung erstmals die 1-Millionen-Tonnen Grenze und konnte bis zum Jahre 1968 (für Gesamtdeutschland) bis auf über 8 Millionen Tonnen gesteigert werden.

Die natürliche Erschöpfung der Erdölfelder hat seitdem zu einem sukzessiven Rückgang der Jahresförderung geführt. Im Jahre 2003 belief sich die Produktion auf 3,8 Millionen Tonnen, die verbleibenden Reserven liegen bei 54 Millionen Tonnen. Zur Deckung des deutschen Mineralölverbrauchs mussten im Jahr 2003 etwa 105 Millionen Tonnen Rohöl importiert werden, die größten Anteile stammen aus Russland (30,2 %), Norwegen (21,3 %) und Großbritannien (11 %). Erst in den sechziger Jahren nahm die Bedeutung der Erdgasgewinnung für die deutsche Energieversorgung zu. Schnell wuchs (für Gesamtdeutschland) die jährliche Förderung auf über 20 Milliarden m<sup>3</sup> (1972), erreichte im Jahr 1984 über 30 Milliarden m<sup>3</sup> und beträgt seit 1990 etwa 20 Milliarden m<sup>3</sup> pro Jahr. Im Jahre 2003 wurden in Deutschland 20,9 Milliarden m<sup>3</sup> gefördert, bei ca. 293 Milliarden m<sup>3</sup> verbleibenden Reserven. Die Förderung deckt 21,8 % unseres inländischen Bedarfs. Zudem wird Erdgas aus Russland (35,8 %), Norwegen (20,6 %), den Niederlanden (18,6 %), Großbritannien (3,2 %) und Dänemark (2,6 %) importiert.

### Ein Blick nach vorne

Kohlenwasserstoffe sind endliche Rohstoffe. Eine exakte Angabe zur Verfügbarkeit ist im Prinzip unmöglich, denn alle in der Öffentlichkeit präsentierten Zahlen stellen Momentaufnahmen eines dynamischen Systems dar. Reserven- und Ressourcenzahlen verändern sich ständig infolge fortschreitender Exploration, neuer Fördertechnologien sowie sich verändernder Preise, Märkte und politischer Konstellationen. Insofern ist der Term statische Reichweite – der Quotient aus letzter Jahresförderung und derzeitigen Reserven – mit Vorsicht zu verwenden. Dennoch gibt der Begriff uns den aktuellen Kenntnisstand in einem dynamischen System. Dem gemäß errechnet sich – auf die Reserven bezogen – ein verbleibendes Potenzial von ca. 45 Jahren für konventionelles Erdöl sowie von ca. 67 Jahren für konventionelles Erdgas.

Nicht-konventionelles Erdöl und Erdgas können – wenngleich sie nach bisherigen Abschätzungen die Quantität der konventionellen Kohlenwasserstoffe übersteigen – die entstehenden Förderminderungen nur teilweise ersetzen. Ursachen hierfür sind u. a. höhere Gewinnungskosten, offene technologische Herausforderungen und Umweltprobleme. Bedenkenswert ist ebenso, dass die Welt beim Erdöl zukünftig noch stärker von den OPEC-Ländern, und hier insbesondere von denjenigen aus dem Nahen Osten,



abhängig sein wird. Bereits 2010 wird laut der INTERNATIONALEN ENERGIE AGENTUR (IEA) der OPEC-Anteil am Welterdölmarkt die 50%-Marke überschreiten. Neben die Befürchtung über eine baldige Verknappung fossiler Energievorkommen sind mittlerweile Sorgen über ihre ökologischen Auswirkungen getreten (Stichwort: CO<sub>2</sub>-Emissionen, s. Modul „Klimasystem und Klimageschichte“). Da bei der Verbrennung von Erdgas bei gleicher erzeugter Energiemenge eine geringere Menge CO<sub>2</sub> anfällt als beim Erdöl, wächst die Nachfrage nach Erdgas heute doppelt so schnell wie diejenige nach Erdöl. Generell gewinnen aufgrund ihrer ökologischen Vorteile die wasserstoffreicheren Produkte an Bedeutung.

### 3 Didaktische Information

#### 3.1 Lernziele

Die Schüler/innen sollen

- die Begriffe Ressourcen und Rohstoffe in ihrer Bedeutung erfassen und den Zusammenhang zwischen beiden Begriffen verstehen;
- erkennen, dass auch nichtstoffliche Ressourcen (z. B. Wissen) existieren und diese in einer postindustriellen Dienstleistungsgesellschaft an Bedeutung gewinnen;
- sich einen Überblick über die globalen Vorkommen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe erarbeiten;
- die Diskrepanz zwischen den Vorkommen mineralischer Rohstoffe in wenigen, oft ärmeren Ländern und der Weiterverarbeitung und dem Verbrauch in den reicheren Industrienationen erkennen;
- die Abhängigkeit einiger Entwicklungsländer vom Export weniger Rohstoffe nachvollziehen und die damit einhergehenden wirtschaftlichen und politischen Gefahren begreifen;
- die Rohstoffabhängigkeit Deutschlands erkennen und beurteilen;
- die Rohstoffabhängigkeit Deutschlands von anderen Ländern verstehen und mögliche Probleme dieser Abhängigkeit nachvollziehen;
- begreifen, dass eine Gewinnung und eine Aufarbeitung der Erze zur Herstellung von Fertigprodukten notwendig ist;
- erkennen, dass die im Atlas beschriebenen Rohstoffe in ihren Erzen - mit Ausnahme der Edelmetalle Gold, Platin und Silber - nicht gediegen, d. h. elementar vorkommen, sondern an andere Elemente gebunden sind und in diesen Verbindungen stark verunreinigt in der Natur vorkommen;
- die Diskrepanz erkennen zwischen dem Preisverfall eines Rohstoffes trotz eines begrenzten Vorkommens dieses Rohstoffes;
- die „Spinnennetztheorie“ nach GUTMAN (1983) kennen lernen und verstehen;
- die Preisbestimmung durch Angebot und Nachfrage in der Marktwirtschaft und somit auch die Preisgestaltung für Rohstoffe auf dem Weltmarkt nachvollziehen können;
- die Markttheorie der Preisbestimmung durch Angebot und Nachfrage auf das Beispiel der Stahl- und Kokspreisentwicklung übertragen können;



- den Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Stahl (als Beispiel eines mineralischen Rohstoffes) und von Koks (als Beispiel eines Energierohstoffes) im Produktionsprozess der Stahlherstellung verstehen;
- verstehen, dass die Entstehung der Kohle aus abgestorbenen Pflanzen unter Luftabschluss und bei hohem Druck (Kompaktion der organischen Substanz, Entwässerung) und insbesondere einer erhöhten Temperatur (notwendig zur chemischen Umwandlung der organischen Substanz = Inkohlung) geschieht;
- den Zusammenhang zwischen Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit als Abfolge von Umwandlungsprozessen begreifen, die über einen Zeitraum von bis zu 300 Millionen Jahren stattgefunden haben;
- nachvollziehen, wie das im Vergleich zum Gestein spezifisch leichtere Erdöl und Erdgas aufsteigt und sich unter gewölbten, undurchlässigen Schichten sammelt (sog. „Erdölfallen“);
- erkennen, dass nur bei entsprechender zeitlicher Verzahnung von Kohlenwasserstoffbildung, Migrationsmöglichkeit und Existenz einer Fangstruktur mit einer undurchlässigen abdeckenden Schicht die Entstehung eines Erdöl/Erdgasfeldes möglich ist;
- einen Überblick über die globalen Vorkommen der Energierohstoffe erhalten;
- die Diskrepanz zwischen den Vorkommen der Energierohstoffe und deren Verbrauch in den Industrienationen erkennen;
- verstehen, dass wenige Länder größere Mengen an Erdöl besitzen, noch weniger Länder aber den größten Anteil verbrauchen;
- die Abhängigkeit vom Import der Energierohstoffe durch die Industrienationen nachvollziehen können;
- überlegen, welche Konsequenzen für die Lebensdauer der Energierohstoffe eine Angleichung der Lebensverhältnisse ärmerer bzw. bevölkerungsreicher Länder an den Lebensstandard der Industrienationen hätte;
- erkennen, dass insbesondere viele afrikanische Staaten weder über Energierohstoffe noch über mineralische Rohstoffe verfügen und daher gegenwärtig nur geringe Möglichkeiten der Entwicklung besitzen;
- verstehen, dass Energierohstoffe nur begrenzt zur Verfügung stehen und zur Förderung mineralischer Rohstoffe ein größerer Aufwand als für Energierohstoffe betrieben werden muss, wodurch dementsprechend höhere Kosten entstehen;
- erkennen, dass Statistiken über die Lebensdauer von Rohstoffen und somit Vorhersagen, wann alle Quellen eines Rohstoffes erschöpft sind, sehr problematisch sind und von vielen Faktoren beeinflusst werden;
- einen Zusammenhang erkennen zwischen der Markttheorie von Angebot und Nachfrage und der Suche nach Rohstoffen;
- verstehen, dass durch eine intensiviertere Suche, eine Nutzung von ehemals minderwertigen Erzen sowie durch Recycling die statische Lebensdauer von Rohstoffen erhöht werden kann;
- verstehen, dass andere Faktoren wie z. B. erhöhte Nachfrage oder verminderte Rohstoffsuche sich gegenteilig auf die statische Lebensdauer auswirken können;



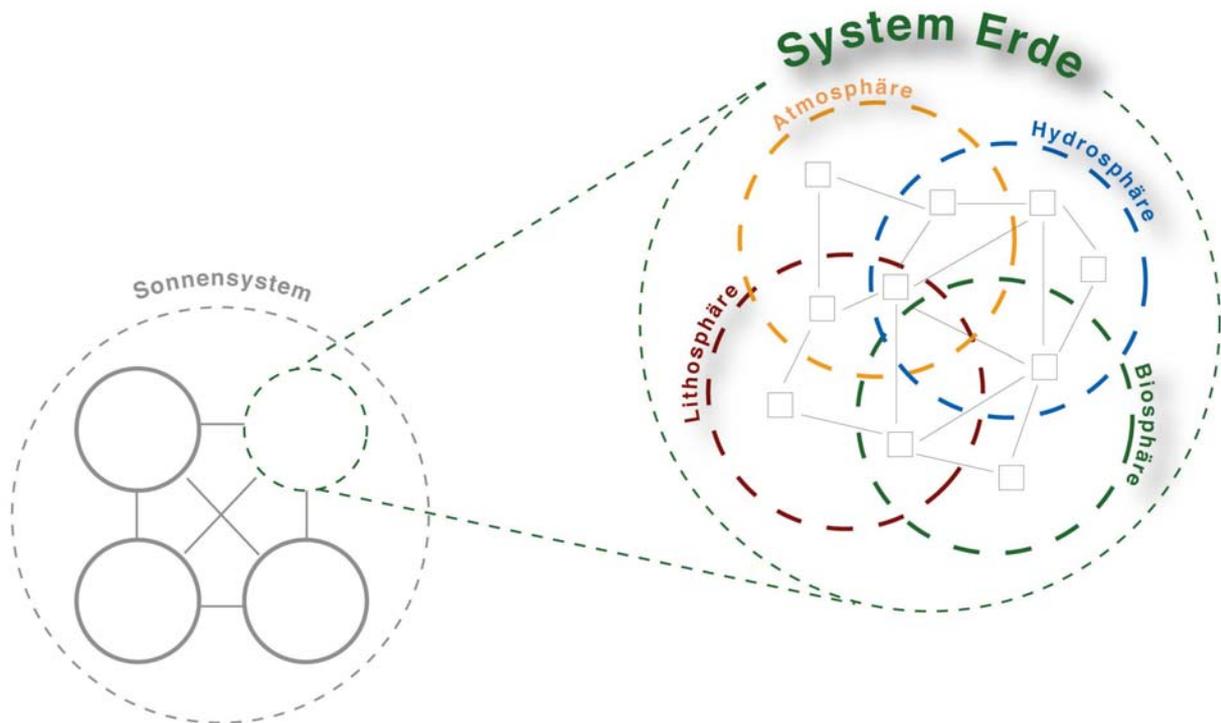
- ein Wirkungsdiagramm erstellen können zur Lebensdauer von Rohstoffen und zu den Faktoren, die diese beeinflussen;
- Recycling als Möglichkeit erkennen, die statische Lebensdauer von Rohstoffen z. T. erheblich zu verlängern;
- erkennen, dass sich Energierohstoffe, die verbrannt werden, nicht recyceln lassen;
- verstehen, dass alle Stoffe in der Natur in Stoffkreisläufe eingebunden sind, der Mensch der Natur aber Stoffe entnimmt und sie verändert und sie somit für einen natürlichen Kreislauf unbrauchbar macht bzw. diesen verändert;
- im Recycling den Versuch sehen, die entnommenen Rohstoffe neuen Kreisläufen zuzuführen;
- in einem Diagramm den Weg eines Getränkekartons von seiner Herstellung bis zum recycelten Produkt darstellen;
- erkennen, dass unter Umständen Recycling umweltschädlicher sein kann als eine thermische Nutzung (Müllverbrennung) des Rohstoffs.

### **3.2 Hinweise zu den Lernvoraussetzungen**

Es sind keine besonderen Lernvoraussetzungen erforderlich. Zum Thema Recycling sollten Vorkenntnisse aus der Sekundarstufe 1 vorhanden sein.

### **3.3 Hinweise zu horizontalen und vertikalen Verknüpfungen**

Das vorliegende Modul „Rohstoffe und Recycling“ baut auf dem Modul „System Erde - Die Grundlagen“ auf (s. Abb. 18). Rohstoffe entstehen durch Prozesse in der Lithosphäre, indem Pflanzen und Tiere (Biosphäre) versteinern bzw. Stoffe aus Lithosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre aufgrund von Verwitterungs- und Transportprozessen an Orten in Form von Lagerstätten anreichern. Es sind also alle übergeordneten Teilsysteme (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre) an den beschriebenen Prozessen beteiligt (s. Abb. 17).



**Abbildung 17: Das Modul Rohstoffe und Recycling im Kontext System Erde. In diesem Modul wird die Lithosphäre schwerpunktmäßig behandelt.**

Für fächerverbindenden oder fachübergreifenden Unterricht ergeben sich im vorliegenden Modul eine Vielzahl von Anknüpfungspunkte (s. Abb. 18).

Besonders die Entstehung von Energierohstoffen kann mithilfe von Materialien aus dem Modul „Kohlenstoffkreislauf“ vertiefend behandelt werden. Im Erdzeitalter Karbon wurde der Atmosphäre und der Hydrosphäre sehr viel Kohlenstoff entzogen, indem sich Kohlelagerstätten und Kalksteine bildeten (s. Modul „Entstehung und Entwicklung des Lebens“). Dieser Kohlenstoff kann für mehrere Millionen von Jahren im Erdinneren lagern. Durch plattentektonische Prozesse können kohlenstoffhaltige Gesteine an die Erdoberfläche gelangen und dort verwittern, sodass Kohlenstoff an die Atmosphäre abgegeben wird (s. Modul: „Plattentektonik und Vulkanismus“). Dieser Prozess der Zersetzung und Freigabe wird durch die menschliche Nutzung kohlenstoffhaltiger Ressourcen (Kohle, Öl usw.) stark beschleunigt. Zu einer vertieften Erarbeitung der Entstehung verschiedener mineralischer Rohstoffe kann das Modul „Gesteinskreislauf: Gesteine als Dokumente der Erdgeschichte“ dienen. Im Zusammenhang mit den Überlegungen zur nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bietet sich die Beschäftigung mit den Modulen „Physik und Chemie der Atmosphäre“ und „Klimasystem und Klimageschichte“ an. Das letztere Modul bietet zudem die Möglichkeit, sich grundsätzlich mit der interdisziplinären Arbeitsweise von Geowissenschaftler/innen zu befassen.

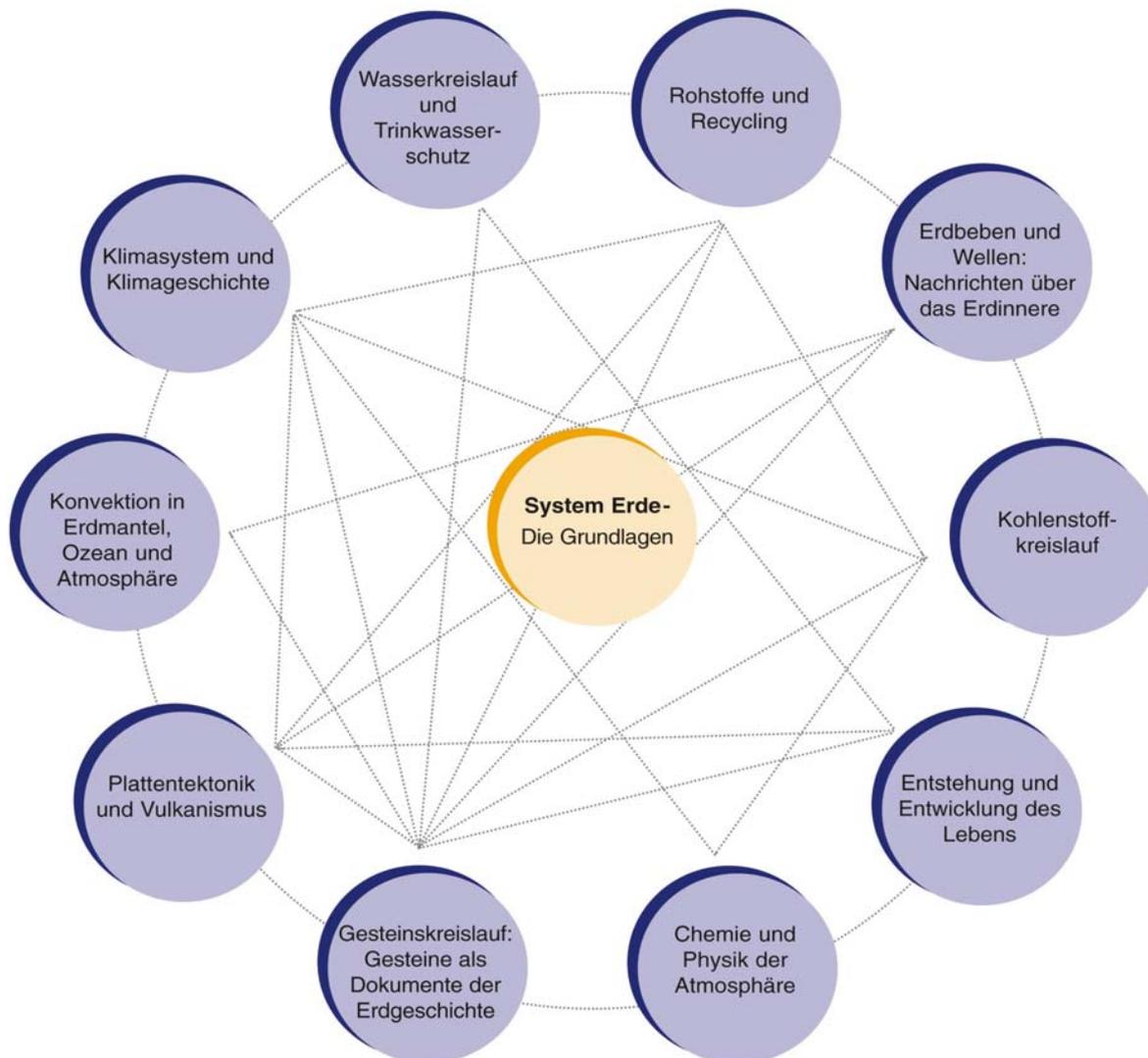


Abbildung 18: Die Verknüpfungen des Moduls „Rohstoffe und Recycling“ mit den anderen Modulen des Projektes „Forschungsdialog: System Erde“. Realisiert werden diese Verknüpfungen insbesondere durch eine Verlinkung der Hypertexte. Dies soll den fächerverbindenden Charakter geowissenschaftlicher Themen aufzeigen und die Planung eines fächerverbindenden Unterrichts erleichtern. Eine Sonderstellung nimmt das Modul 1 „System Erde – Die Grundlagen“ ein. Es legt die Basis für die Methode der Systemanalyse, die in fast allen weiteren Modulen vertieft wird. Einen Vorschlag für einen fächerverbindenden Kurs nach dem Konzept „Forschungsdialog: System Erde“ enthält Modul 10, Baustein 9. In diesem Kurs trainieren die Schüler/innen selbst organisiertes Lernen und führen schließlich ein Projekt durch, das sich mit der nachhaltigen Entwicklung des Planeten Erde mit dem Schwerpunkt Klimasystem befasst.

### 3.4 Erläuterung und Nutzungshinweise zu den Materialien

Das Modul enthält zwei Bausteine, die verschiedene Aspekte der Erkundung und des Rohstoffabbaus thematisieren. Im Zentrum des **Bausteins 1 „Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten“** (Material 1) stehen die Begriffe Rohstoffe und Ressourcen, sowie die geografische Verteilung mineralischer Rohstoffe, mit den sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Konsequenzen. Der **Baustein 2**



„**Energierohstoffe und Recycling**“ (Material 1) nimmt die fossilen Energierohstoffe und Recycling in den Blick.

Lehrkräfte ohne eine naturwissenschaftliche Ausbildung können gegebenenfalls bei der Durchführung des Demonstrationsexperimentes in Baustein 1, Material 5 ihre Chemiekolleg/innen um Unterstützung bitten.

## 4 Vorschläge für den Unterrichtsverlauf

### Baustein 1 „Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten“ (Material 1)

Die erste Stunde (Material 3 „Zeichnen einer Begriffslandkarte zum Thema Rohstoffe und Ressourcen“) dient der Einführung in die Thematik „Rohstoffe und Ressourcen“. Ziel ist eine Sammlung von Vorstellungen der Schüler/innen durch Mindmapping, die im Verlauf der Unterrichtseinheit berücksichtigt und ausdifferenziert werden.

Der Einstieg in die zweite Stunde (Material 4 „Mineralische Rohstoffvorkommen und –abhängigkeiten“) der Unterrichtseinheit erfolgt über originäre Gegenstände, welche die Schüler/innen zur Wiederholung des Unterrichtsgegenstandes der ersten Stunde in die erstellte Systematik einordnen sollen. Mithilfe des Atlas werden anschließend die Vorkommen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe heraus gearbeitet. Dabei wird die Diskrepanz zwischen dem Vorkommen in wenigen, oft ärmeren Ländern und der Weiterverarbeitung und dem Verbrauch in den reicheren Industrienationen behandelt.

Material 5 „Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Metallerzen“ thematisiert, dass die im Atlas beschriebenen Rohstoffe in ihren Erzen (mit Ausnahme der Edelmetalle Gold, Platin und Silber) in der Natur nicht gediegen, d. h. als Elemente, sondern an andere Elemente gebunden und in diesen Verbindungen stark verunreinigt vorkommen. Es wird deutlich, dass daher eine Gewinnung und eine Aufarbeitung zur Herstellung von Fertigprodukten notwendig ist. Die Schüler/innen sollen arbeitsteilig Steckbriefe zu verschiedenen Metallen erstellen.

Im Material 6 „Angebot und Nachfrage – das Gesetz des Marktes“ wird die Preisbestimmung durch Angebot und Nachfrage näher untersucht. Über die Frage, wodurch der Preis eines frei gehandelten Gutes bestimmt wird, erfolgt die Überleitung in die Markttheorie. Anhand eines fiktiven Szenarios sollen die Schüler/innen die Theorie selbstständig anwenden.

Die in der vorigen Stunde eingeführten Faktoren der Beeinflussung des Weltmarktes und der weltweit gehandelten Rohstoffpreise werden im Material 7 „Die „neue Stahlkrise“ – Beispiel einer Rohstoffverknappung“ an dem sehr aktuellen Beispiel erarbeitet, wie durch die wirtschaftliche Entwicklung Chinas der Bedarf an Stahl stark gestiegen ist und zu Engpässen und großen Preisanstiegen auf dem Weltmarkt sowohl für Eisenerz und Eisen als auch für Steinkohle und Koks geführt hat. An diesem Beispiel lässt sich zudem gut der Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von mineralischen Rohstoffen und Energierohstoffen aufzeigen.

### Baustein 2 „Energierohstoffe und Recycling“ (Material 1)

Im Material 3 „Entstehung der fossilen Energiestoffe“ und im Material 4 „Energierohstoffvorkommen und –abhängigkeiten“ wird der Schwerpunkt vertiefend auf die fossilen Energieträger gelegt. Analog zur Untersuchung der mineralischen Rohstoffvorkommen – wird die Verteilung der Energierohstoffe, deren Verbrauch und die Abhängigkeit vieler Industriestaaten vom Import von Energierohstoffen in Material 4 behandelt. Diese beiden Materialien können bei Zeitmangel problemlos aus dem Unterrichtsgang ausgegliedert werden.



In den bisherigen Stunden wurden die Vorkommen, Gewinnung, Verwendung und Verbrauch von mineralischen Rohstoffen und Energierohstoffen betrachtet. Im Material 5 „Die Grenzen des Wachstums“ wird die endliche Verfügbarkeit dieser Rohstoffe näher behandelt. Gleichzeitig wird die Problematik der Vorhersagen zur statischen Lebensdauer näher beleuchtet.

Im Material 6 „Recycling = Rohstoffsparen“ wird aufbauend auf Vorwissen aus der Sekundarstufe 1 auf das Thema „Recycling“ eingegangen, wobei sich an die Lerneinheit eine Exkursion in einen Recyclinghof oder einen Betrieb des „Dualen Systems“ anbietet.

Als abschließendes Produkt des Moduls können die Schüler/innen eine Wandzeitung erstellen. Dabei kann die Lerngruppe arbeitsteilig vorgehen und entsprechend den Stundenthemen die Ergebnisse in Ausstellungsform aufbereiten. Darüber hinaus kann sich eine Gruppe selbstständig um das Thema „Energierohstoffe – erneuerbare Energien“ bemühen und in Eigenarbeit ein Produkt erstellen.

## 5 Literatur

AGRICOLA, G. (1556): De Re Metallica Libri XII. Neuübersetzung in 5. Auflage (1978): Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. VDI-Verlag, Düsseldorf

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2004): Mitteilungen zum Primärenergieverbrauch. In: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de) (letzter Aufruf 07.06.05)

BERIÈ, E. et al. (1998): Der Fischer Weltalmanach. Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt am Main.

BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2004): Bundesrepublik Deutschland – Rohstoffsituation 2003. In: BGR (Hrsg.) Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien XXXII. Schweizerbart Verlag, Stuttgart

BGR (2003a): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft XXVIII. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

BGR (2003b): Bundesrepublik Deutschland - Rohstoffsituation 2002. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft XXXI. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

BORG, G. (1998) The nineties as a decade of change in African and global exploration patterns. Society of Geology Applied to Mineral Deposits (SGA), Newsletter, 6, 1-10.

BÜTOW, M. et al. (1999): Seydlitz Geographie S II Band 2. Schroedel Verlag, Hannover

DGMK: <http://www.dgmk.de> (letzter Aufruf 07.06.05)

EVANS, A. E. (1993): Ore Geology and Industrial Minerals – an Introduction. 3. Auflage, Blackwell Scientific Publications, Oxford

FALBE, J. und REGITZ, M. (1995): Römpp Chemie Lexikon. Thieme Verlag, Stuttgart

GINSBERG, H. (1962): Aluminium. Enke Verlag, Stuttgart

HAUPT, P. (1996): Die Chemie im Spiegel einer Tageszeitung. BIS Universität Oldenburg

HOLLEMANN, A. F. und WIBERG, E. (1995): Lehrbuch der Anorganischen Chemie. De Gruyter Verlag, Berlin

HUNT, J. M. (1996): Petroleum, Geochemistry and Geology. 2. Auflage, W. H. Freeman and Company, New York.



- IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY) (2004): World Energy Outlook. In: [www.iea.org](http://www.iea.org) (letzter Aufruf 07.06.05)
- JUHAS, A. P. und SNOW, G. G. (2000): Economic Geologists and the Biological Imperative. Society of Economic Geology (SEG), Newsletter 42, S. 21 - 27
- MEADOWS, D. (1998): Die Grenzen des Wachstums. 15. Auflage, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- METALLGESELLSCHAFT (1993): Die Welt der Metalle – Kupfer. Geographie, Bergbau, Verhüttung, Handel. Metallgesellschaft, Frankfurt/M.
- MINING JOURNAL (diverse Jahrgänge): The Mining Journal, London: [www.mining-journal.com](http://www.mining-journal.com) (letzter Aufruf 07.06.05)
- NLFB (2004): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2003. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover. In: [http://www.nlfb.de/rohstoffe/downloads/jahresbericht\\_2003.pdf](http://www.nlfb.de/rohstoffe/downloads/jahresbericht_2003.pdf) (letzter Aufruf 07.06.05)
- RIEDEL, E. (1990): Anorganische Chemie. De Gruyter Verlag, Berlin
- RUMPF, H. et al. (1976): Technologische Entwicklung, Band 2. Otto Schwartz Verlag, Göttingen
- STAHLZENTRUM (2004): [www.stahl-online.de](http://www.stahl-online.de) (letzter Aufruf 07.06.05)
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2004): Fachserie 7, Reihe 2, Außenhandel nach Waren und Ländern (Spezialhandel). Wiesbaden
- STATOIL (2005): [www.statoil.com](http://www.statoil.com) (letzter Aufruf 07.06.05)
- TAUSCH, M. (1998): Chemie S II. Buchner Verlag, Bamberg
- UNITED NATIONS (2003): UNCTAD Handbook of Statistics 2003. News York, Genf
- WELLMER, F. – W. et al. (1994): Gewinnung mineralischer Rohstoffe und IDNDR. In: Geographische Rundschau Jg. 46, H. 7-8, S. 450 - 456
- WELLMER, F. – W. & BECKER-PLATEN, J.D. (Hrsg.) (1999): Mit der Erde leben. Springer-Verlag, Heidelberg
- WELLMER, F. – W. & DALHEIMER, M. (2000): Rohstoffe und Energie – Auswirkungen der Globalisierung auf die Versorgungssicherheit Deutschlands. Erzmetall, 53, 6, S. 385-397.
- WINKELMANN, H. (1971): Der Bergbau in der Kunst. Verlag Glückauf, Essen
- ZEMANN, J. (1998): Energievorräte und mineralische Rohstoffe: Wie lange noch? Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien



## 6 Unterrichtsmaterialien

Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten



Material 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten (Information)



Material 2: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten (Foliensatz)



Material 3: Zeichnen einer Begriffslandkarte zum Thema Rohstoffe und Ressourcen (Arbeitsbogen)



Material 4: Mineralische Rohstoffvorkommen und -abhängigkeiten (Arbeitsbogen)



Material 5: Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Metallerzen (Arbeitsbogen)



Material 6: Angebot und Nachfrage – das Gesetz des Marktes (Arbeitsbogen)



Material 7: Die „neue Stahlkrise“ – Beispiel einer Rohstoffverknappung (Arbeitsbogen)

Baustein 2: Energierohstoffe und Recycling



Material 1: Energierohstoffe und Recycling (Information)



Material 2: Energierohstoffe und Recycling (Foliensatz)



Material 3: Entstehung der fossilen Energiestoffe (Arbeitsbogen)



Material 4: Energierohstoffvorkommen und –abhängigkeiten (Arbeitsbogen)



Material 5: Die Grenzen des Wachstums (Arbeitsbogen)



Material 6: Recycling = Rohstoffsparen (Arbeitsbogen)

# Darstellung von Rohstoffsuche und -gewinnung bei Georg AGRICOLA 1556



*Auffuchen der Gänge mit der Wünschelrute und durch Schürfgräben.  
Die Wünschelrute A. Ein Schürfgraben B.*

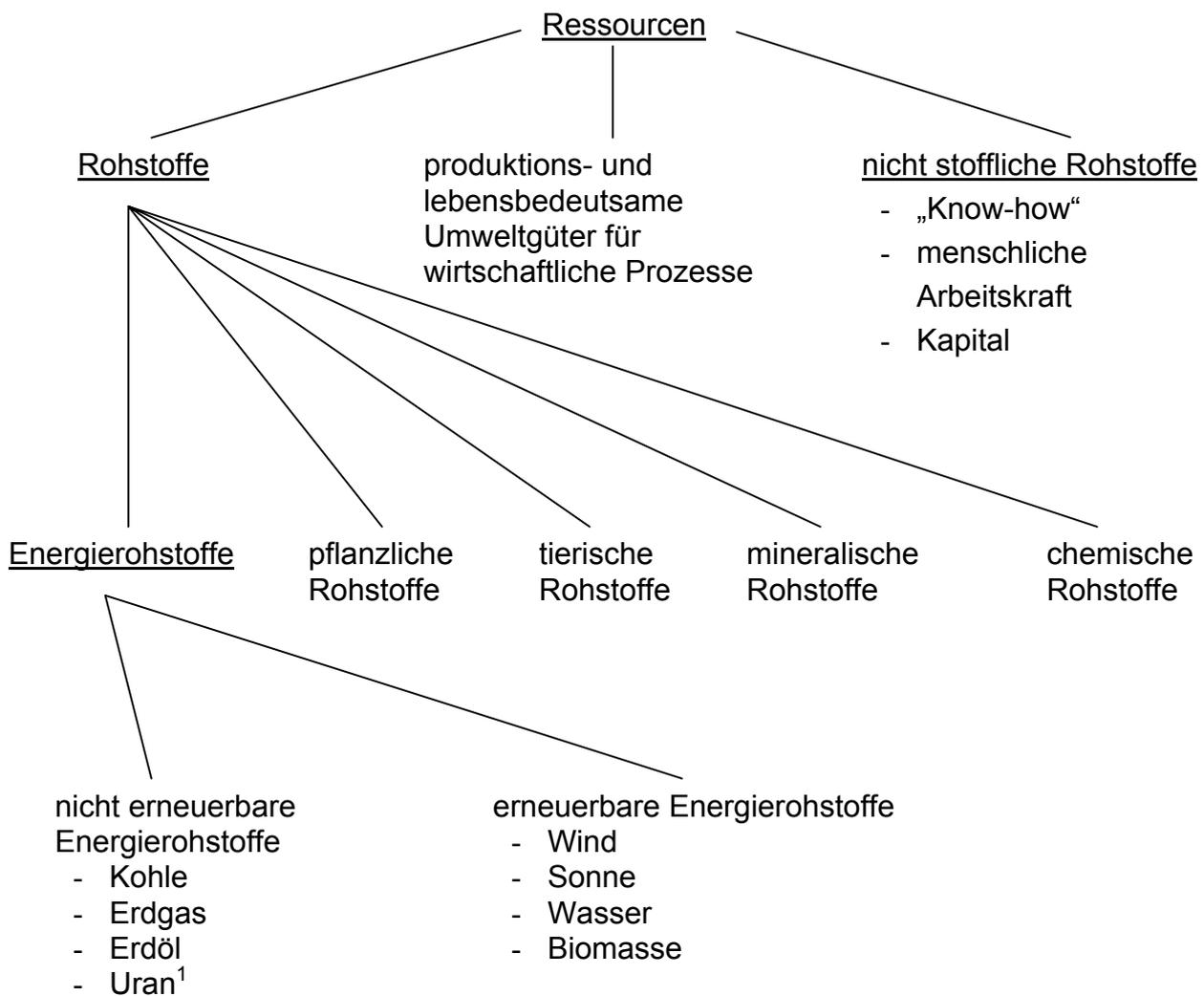
(Quelle: GEORG AGRICOLA (1556) De Re Metallica Libri XII)

# Schaubild zur Systematisierung von Rohstoffen und Ressourcen

## Rohstoffe und Ressourcen

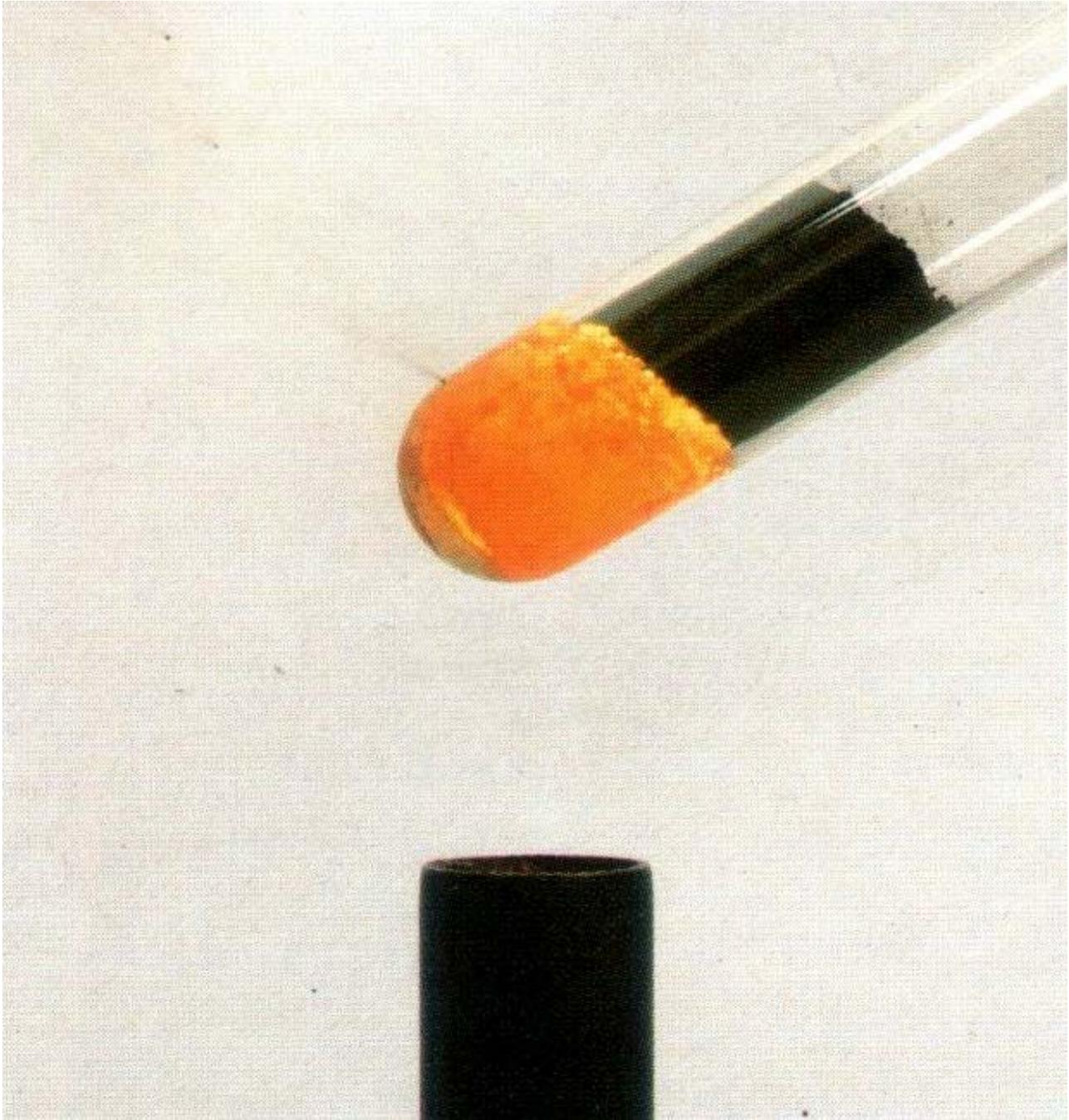
**Rohstoff:** Nicht aufbereitete oder verarbeitete natürliche Grundsubstanz

**Ressource:** Alle natürlichen Produktionsmittel und Hilfsquellen

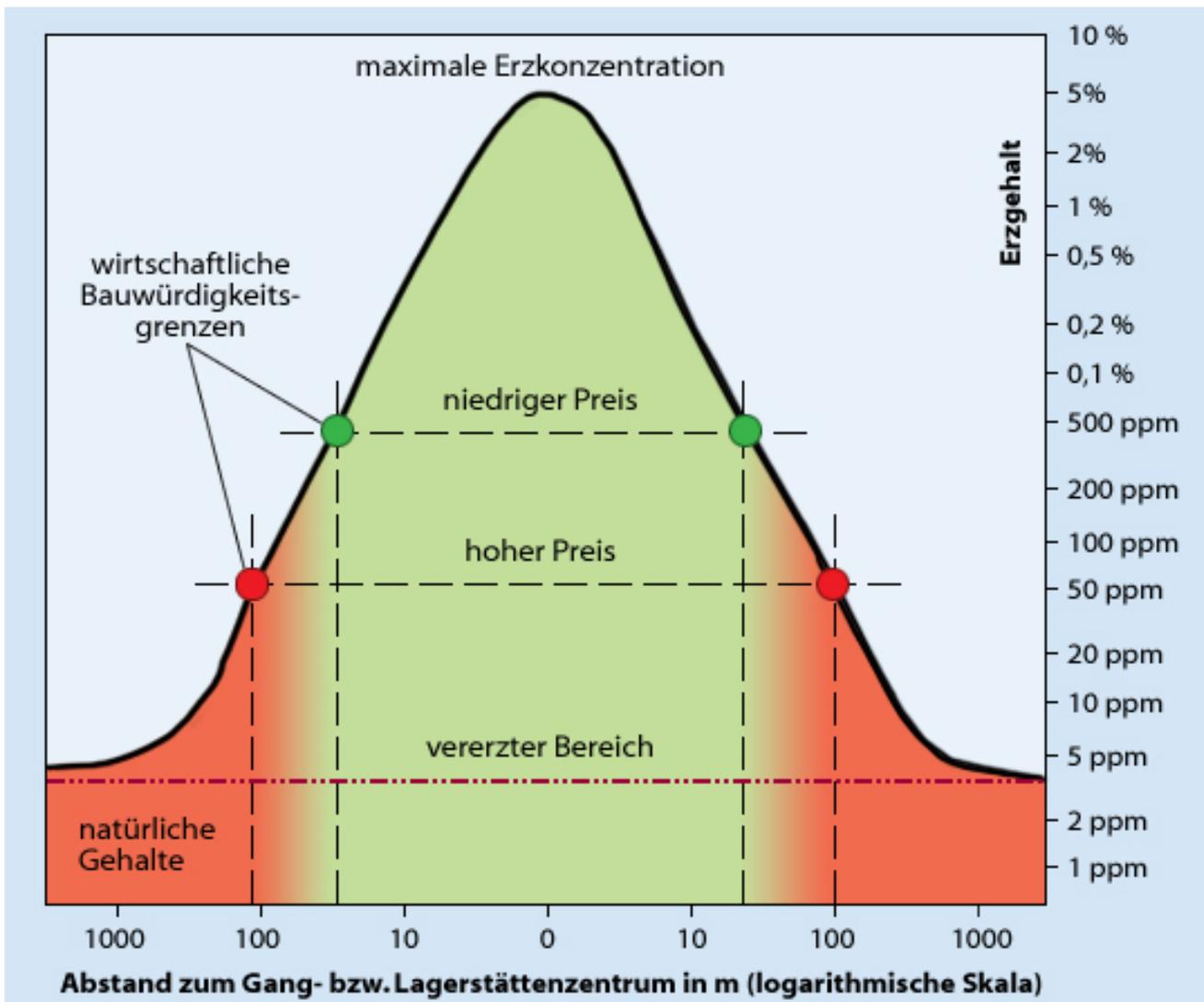


<sup>1</sup> zählt als Uranerz auch zu den mineralischen Rohstoffen

# Reaktion von Kupferoxid mit Kohlenstoff

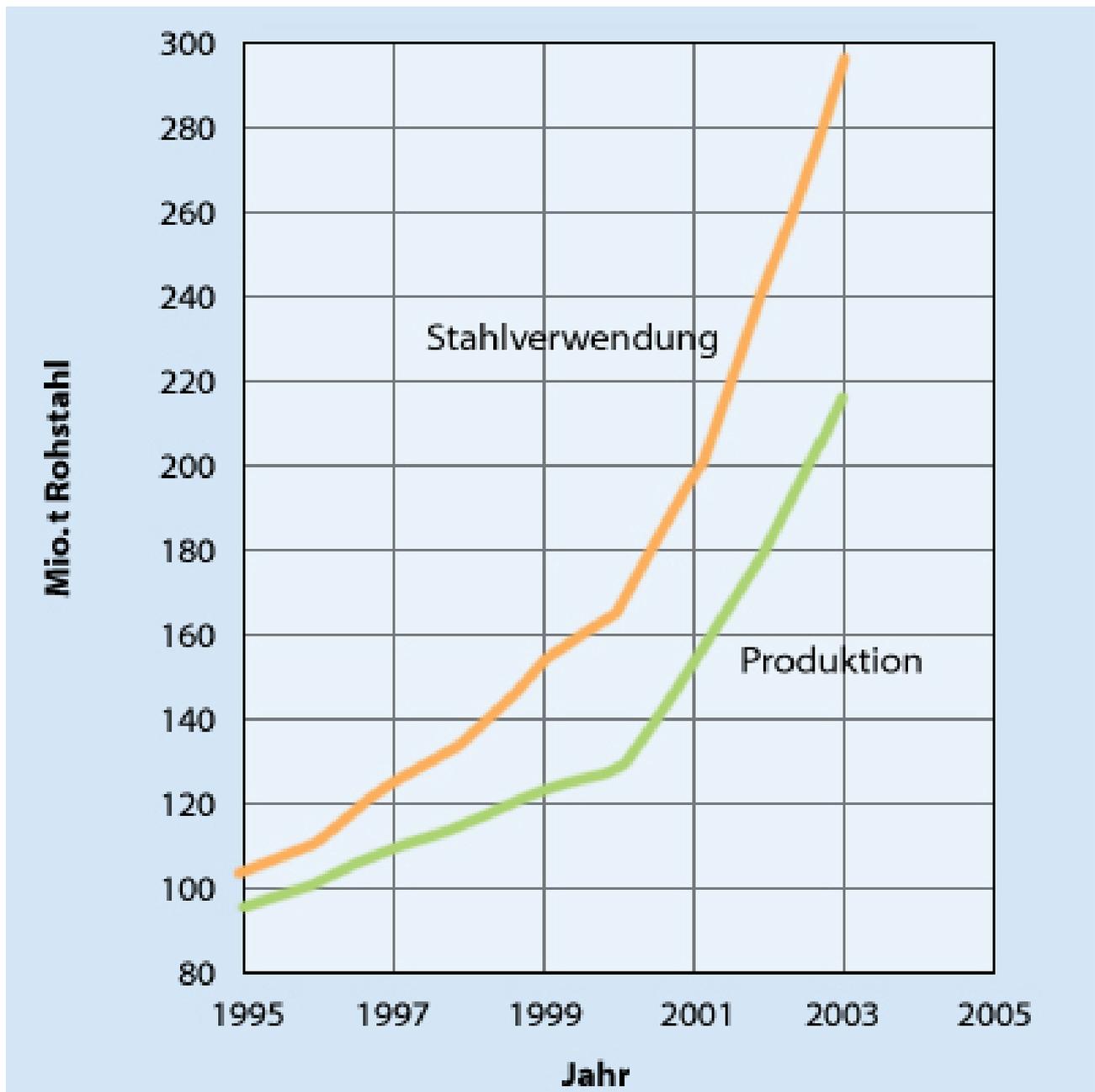


# Die wirtschaftliche Bauwürdigkeitsgrenze mineralischer Rohstoffe



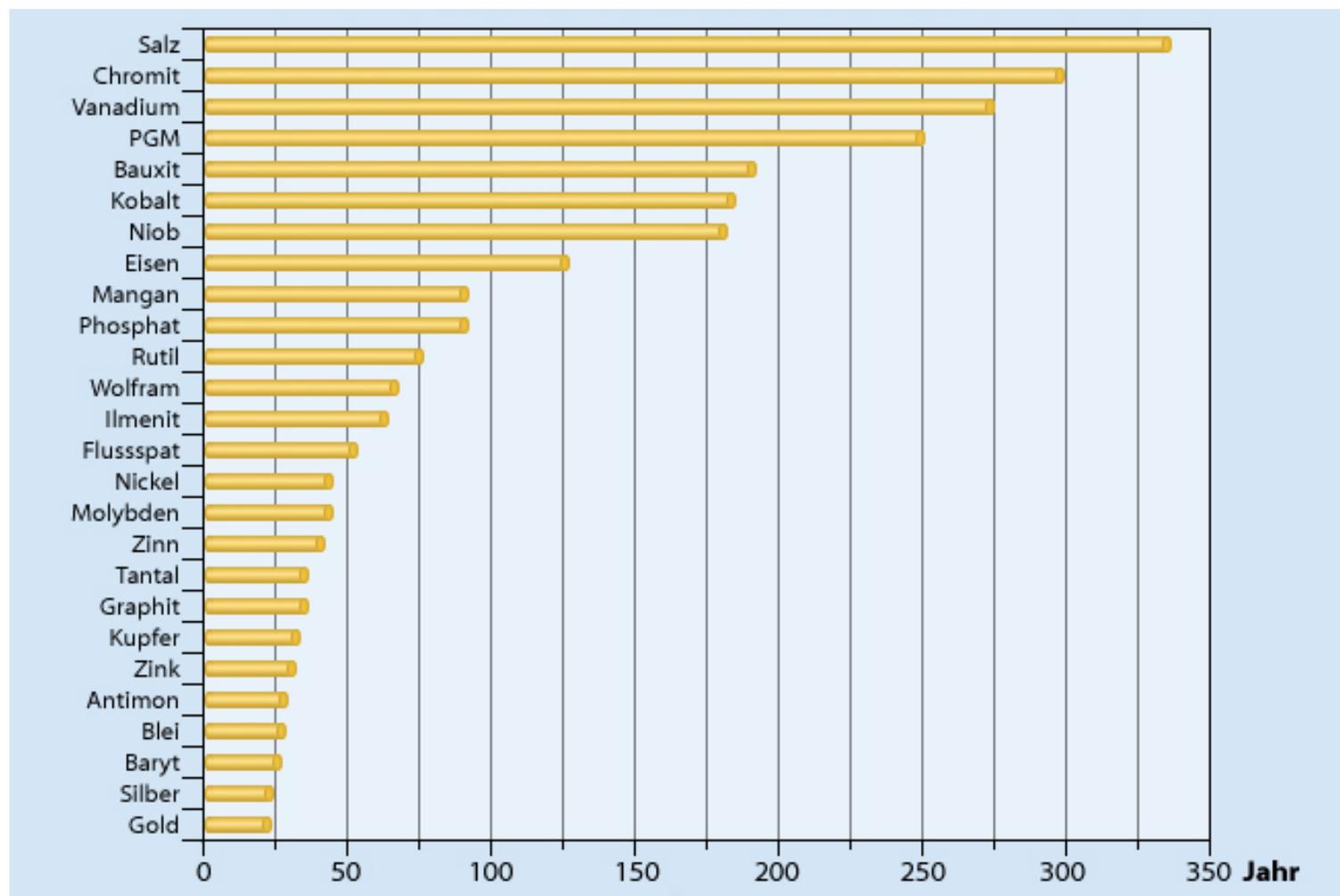
(nach BORG 1998)

# Stahlverwendung und – produktion in China



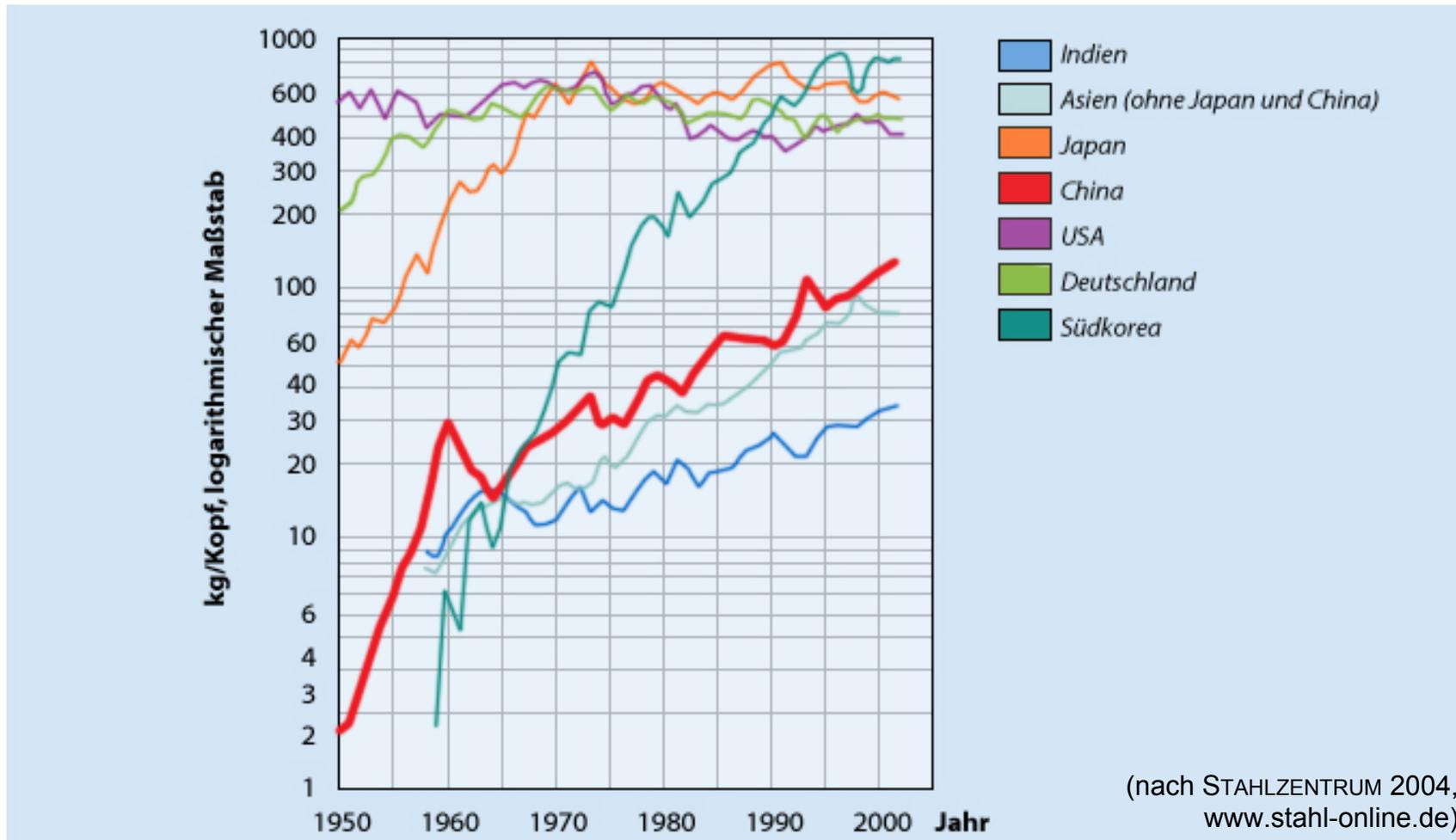
(nach STAHLZENTRUM 2004, [www.stahl-online.de](http://www.stahl-online.de))

# Statische Lebensdauer von Rohstoffen



(nach WELLMER und DAHLHEIMER 2000)

# Marktversorgung mit Rohstahl (Vergleich ausgewählter Länder)





## Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

### Zeichnen einer Begriffslandkarte zum Thema Rohstoffe und Ressourcen

#### ❶ Materialien:

- mehrere DIN - A5-Zettel oder Klebezettel (z. B. Post-its) und Schreibgerät
- großes Papier (etwa DIN - A0, alternativ Flip Chart oder Tafel)
- dicker Faserstift (z. B. Edding)

#### ❷ Aufgabe:

- 1) Zeichnen Sie in Ihrer Gruppe eine Begriffslandkarte (Mind-Map) zum Thema „Rohstoffe und Ressourcen“!

Gehen Sie dabei in folgenden Schritten vor:

- I. Notieren Sie (jede/r Schüler/in) jeweils mindestens drei Begriffe zum Begriff „Rohstoffe und Ressourcen“ auf je einen kleinen Zettel.
- II. Schreiben Sie die Ausgangsbegriffe „Rohstoffe und Ressourcen“ in die Mitte eines großen Bogens Papier.
- III. Nun werden die beschrifteten Zettel aller Schüler/innen auf dem Papier verteilt. Legen Sie diejenigen Begriffe enger zusammen, zwischen denen ein Zusammenhang besteht. Sortieren Sie doppelt genannte Begriffe aus.
- IV. Diskutieren Sie die Beziehungen zwischen den Begriffen „Rohstoffe und Ressourcen“ mit den von Ihnen assoziierten Begriffen.
- V. Stellen Sie diese Beziehungen in Form von Linien („Hauptästen“), die vom Zentrum ausgehen, dar.
- VI. Die Hauptäste können in Nebenästen weitergeführt werden. Das Mind-Map kann nun an jeder beliebigen Stelle ergänzt und erweitert werden.
- VII. Versehen Sie die Verbindungslinien wenn nötig mit Kommentaren.

**Hinweis: Es gibt nicht eine allein richtige Begriffslandkarte. Je nach Auswahl der Begriffe kann es zu verschiedenen Ergebnissen kommen.**



## Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

### Mineralische Rohstoffvorkommen und -abhängigkeiten

#### ❶ Materialien:

- Diercke Weltatlas (5. Auflage 2002, Westermann Verlag), S. 231: Erde – Welthandel, Karte „Metallische Rohstoffe / Rohstoffabhängigkeit“
- Diercke Weltatlas (5. Auflage 2002, Westermann Verlag), S. 232: Erde – Welthandel, Karte „Deutschland – Rohstoffabhängigkeit“

#### ❷ Aufgaben:

- 1) Beschreiben Sie die Karte „Metallische Rohstoffe / Rohstoffabhängigkeit“ im Diercke Weltatlas S. 231. Werten Sie die Karte unter folgenden Fragestellungen aus:
  - Welche Länder / welche Kontinente sind besonders reich an Vorkommen von Bunt- und Edelmetallen?
  - Welche Länder haben große Vorkommen an Eisen und Stahlveredlern?
  - In welchen Ländern wird Stahl produziert? In welchen Ländern besteht ein großer Rohstahlverbrauch?
- 2) Vergleichen Sie die Vorkommen von Eisen- und Stahlveredlern in der EU, Japan und den USA mit deren Stahlproduktion und Rohstahlverbrauch. Bewerten Sie Ihre Ergebnisse in Bezug auf eventuelle Importabhängigkeiten.
- 3) Vergleichen Sie mit der Karte auf Seite 231 des Diercke Weltatlas die Tabellen 1 und 2 des Arbeitsbogens. Erklären Sie die Abhängigkeit der Entwicklungsländer von Rohstoffexporten.
- 4) Erläutern Sie die Probleme, welche die in Tabelle 2 aufgeführten Staaten aufgrund dieser Abhängigkeit haben oder bekommen könnten. Beziehen Sie dabei auch mögliche Folgen von Preisschwankungen der gehandelten Rohstoffe in Ihre Überlegungen ein.
- 5) Beschreiben Sie mithilfe der Karte „Deutschland – Rohstoffabhängigkeit“ im Diercke Weltatlas S. 232 und der Tabelle 3 die Rohstoffabhängigkeit Deutschlands. Zählen Sie die wichtigsten Handelspartner Deutschlands im Bereich des mineralischen Rohstoffhandels auf.
- 6) Diskutieren Sie, welche Gefahren die Rohstoffabhängigkeit für die Bundesrepublik Deutschland bergen kann.

**Tabelle 1: Prozentuale Anteile der Entwicklungsländer und Chinas an der Weltförderung ausgewählter Rohstoffe, 2003**

Rohstoff	Entwicklungsländer	Länder mit Anteilen > 3 % an den Gesamteinfuhren
Zinn	93,2	Indonesien (31,9); China, VR (25,3); Peru (18,3); Brasilien (6,5); Bolivien (6,0)
Niob	87,3	Brasilien (86,7)
Manganerz*	74,1	Südafrika, Rep. (17,5); Brasilien (16,2); China, VR (11,2); Gabun (10,1); Indien (7,9); Kasachstan (5,5); Ghana (4,5)
Kupfer	70,7	Chile (35,7); Indonesien (7,3); Peru (6,1); China, VR (4,4); Kasachstan (3,5)
Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60,8	Marokko (17,7); China, VR (16,9); Tunesien (5,3); Jordanien (5,1); Brasilien (4,6)
Kobalt*	59,5	Kongo, DR (26,4); Sambia (13,3); Kuba (7,2); Kongo, Rep. (4,7)
Bauxit	57,4	Brasilien (11,2); China, VR (6,6); Guinea (11,1); Indien (6,6); Jamaika (8,9); Kasachstan (3,1); Venezuela (3,4)
Eisenerz*	55,7	Brasilien (21,1); China, VR (12,9); Indien (8,6); Südafrika, Rep. (3,9)
Diamanten	54,5	Botswana (20,2); Kongo, DR (17,9); Südafrika, Rep. (8,4); Angola (3,5)
Erdöl**	52,7	Saudi-Arabien (11,0); China, VR (4,9); Iran (4,8); Mexiko (4,6); Nigeria (3,3); Irak (3,1)
Zink	50,0	China, VR (18,7); Peru (12,6); Mexiko (3,8); Kasachstan (3,6)
Nickel	39,0	Indonesien (10,5); Kolumbien (5,2); Kuba (5,2); China, VR (4,5); Südafrika, Rep. (3,1)

Quelle: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR), Rohstoffdatenbank

\* Werte von 2002; \*\* Werte von 2001

**Tabelle 2: Anteil mineralischer Rohstoffe an den Exporterlösen von Entwicklungsländern, 2001**

Land	Mio. US \$	Anteile (in %) an den Exporterlösen		
		Energie	Erze u.a.	Rohstoffe
Saudi-Arabien	72 216	90,0	0,2	Erdöl, Erdgas
Sambia	985	1,7	64,0	Kupfer, Kobalt
Papua-Neuguinea**	2 407	28,8	51,3	Kupfer, Gold
Botswana	5 411	0,1	5,5	Diamanten
Chile	18 745	1,5	40,7	Kupfer
Mauretanien*	483	0,5	40,4	Eisenerz
Peru	6 826	6,1	30,7	Erze, Kupfer
Togo	220	0,4	20,5	Phosphat
Kongo, DR (Zaire)*	1 090	87,6	0,3	Diamanten, Kobalt, Kupfer

Quelle: UNCTAD Handbook of Statistics 2003, UNITED NATIONS, News York und Genf, 2003

\* Werte von 1995; \*\* Werte von 2000

**Tabelle 3: Deutschlands Importe ausgewählter mineralischer Rohstoffe (2003); Lieferanteile der Entwicklungsländer in %**

Rohstoff	Entwicklungsländer	Länder mit Anteilen > 3 % an den Gesamteinfuhren
Chromerz	96,9	Südafrika, Rep. (71,7); Türkei (24,9)
Zinn-Metall	85,1	China, VR (27,6); Peru (23,6); Indonesien (20,2); Thailand (7,7); Bolivien (3,6)
Bauxit (Aluminiumerz)	84,4	Guinea (82,0)
Kupfererz	75,4	Chile (30,3); Argentinien (14,4); Peru (11,7); Indonesien (9,7); Papua-Neuguinea (7,8)
Eisenerz	61,7	Brasilien (52,5); Südafrika, Rep. (4,6); Mauretanien (4,2)
Kupfermetall	45,8	Peru (29,2); Chile (11,6); Armenien (4,9)
Aluminiumoxid (Tonerde)	44,5	Jamaika (44,5)
Manganerz	24,2	Marokko (14,6); Brasilien (8,7)
Erdöl	24	Syrien (5,9); Kasachstan (5,6); Saudi-Arabien (3,6); Algerien (3,3)
Phosphat	0,1	-

Quelle: STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, Fachserie 7, Reihe 2, Außenhandel nach Waren und Ländern (Spezialhandel), lfd. Jg.

## Baustein 1 Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

### Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Metallerzen

#### ❶ Materialien:

- Reagenzglas und passender Gummistopfen zum Verschließen
- Reagenzglasklammer
- Bunsenbrenner
- 2 g Kupfer(II)oxid (CuO)
- 0,2 g Holzkohlepulver
- Waage
- Schutzbrille

**Achtung!** Es ist eine Schutzbrille zu tragen! Kupferoxid ist gesundheitsschädlich: Kontakt mit Haut und Augen vermeiden.

**Entsorgung:** Alle Reste können nach dem Abkühlen problemlos mit dem Hausmüll entsorgt werden.

#### ❷ Versuchsdurchführung:

- I. Wiegen Sie 2 g Kupfer(II)oxid und 0,2 g Holzkohlepulver ab.
- II. Beschreiben Sie das Aussehen beider Substanzen.
- III. Geben Sie dann das Kohlepulver und das Kupferoxid in ein Reagenzglas, verschließen Sie das Reagenzglas mit dem Gummistopfen und mischen Sie die Substanzen durch intensives Schütteln.
- IV. Entfernen Sie anschließend den Stopfen und erhitzen Sie das Gemisch mit starker Brennerflamme unter Umschwenken des Glases, bis das Gemisch aufglüht.
- V. Nachdem das Gemisch durchgeglüht ist, lassen Sie es abkühlen. Beschreiben Sie nach der Reaktion das Aussehen des Reaktionsproduktes.



Abbildung 1: Versuchsaufbau.



### ③ Aufgaben:

- 1) Beschreiben Sie das Aussehen von Kupfer(II)oxid und Holzkohlepulver.
- 2) Beschreiben Sie das Versuchsergebnis.
- 3) Stellen Sie den beobachteten Prozess in einer Reaktionsgleichung dar.
- 4) Erarbeiten Sie in Ihrer Gruppe einen Steckbrief zu einem der folgenden Metalle:

Eisen, Chrom, Kupfer, Blei, Zink, Aluminium, Gold, Mangan, Zinn, Barium und Silber.

Der Steckbrief sollte folgende Inhalte in kurzer Form aufweisen: Vorkommen, Gewinnung aus den Erzen (Abbau), Verwendung, weltweite jährliche Produktion, Besonderheiten.

Der Umfang der Ausarbeitung zu einem Metall sollte nicht mehr als zwei DIN A 4 – Seiten betragen.

Ergänzen Sie Ihren Steckbrief z. B. mit Fotomaterial von den entsprechenden Erzen, Fertigmetallen oder Fertigprodukten. Die fertigen Steckbriefe sollen in Form einer Ausstellung präsentiert werden.

## Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

### Angebot und Nachfrage – das Gesetz des Marktes

#### 1 Statische Lebensdauer von Rohstoffen und Produktion:



Abbildung 1: Zeitungsartikel aus der Nord-West-Zeitung vom 22. 06. 1993



Abbildung 2: Die statische Lebensdauer ausgewählter Rohstoffe. Die statische Lebensdauer eines Rohstoffs errechnet sich aus den derzeit bekannten Vorräten, dividiert durch den derzeitigen Verbrauch. Sie ist also kein absoluter Wert, sondern kann sich verändern, wenn z. B. neue Lagerstätten entdeckt werden oder sich der Verbrauch eines Rohstoffes wandelt.

## 2 Die Spinnennetztheorie:

In der Abbildung 3 ist ein Kurvenverlauf für das Angebot an und die Nachfrage nach einem Gut in Abhängigkeit vom Preis und der produzierten Menge dargestellt. Wir beginnen beim Punkt  $A_1$ , bei dem Nachfrage und Angebot ausgeglichen sind und einer Nachfrage  $Q_1$  ein Preis  $P_1$  gegenübersteht. Angenommen, es droht ein Streik der Arbeiter bei einem großen Produzenten, so befürchten die Verbraucher einen Engpass in der Versorgung. Der Preis steigt auf  $P_2$ . Bei diesem Preis kann das Angebot  $Q_2$  produziert und verkauft werden (gegen den Trend wird mehr produziert); ein derartig hohes Angebot kann aber nur zu einem niedrigeren Preis  $P_3$  abgesetzt werden. Der Preis verfällt daher. Beim Preis  $P_3$  kann jedoch nur die Menge  $Q_3$  produziert werden. Diese geringere Menge bewirkt eine Verknappung des Angebotes und einen höheren Preis, nämlich  $P_4$ . Dieser Preis führt zu einem Angebot  $Q_4$ , das immer noch über der Nachfrage liegt und zu einer Preissenkung auf  $P_5$  führt, usw.

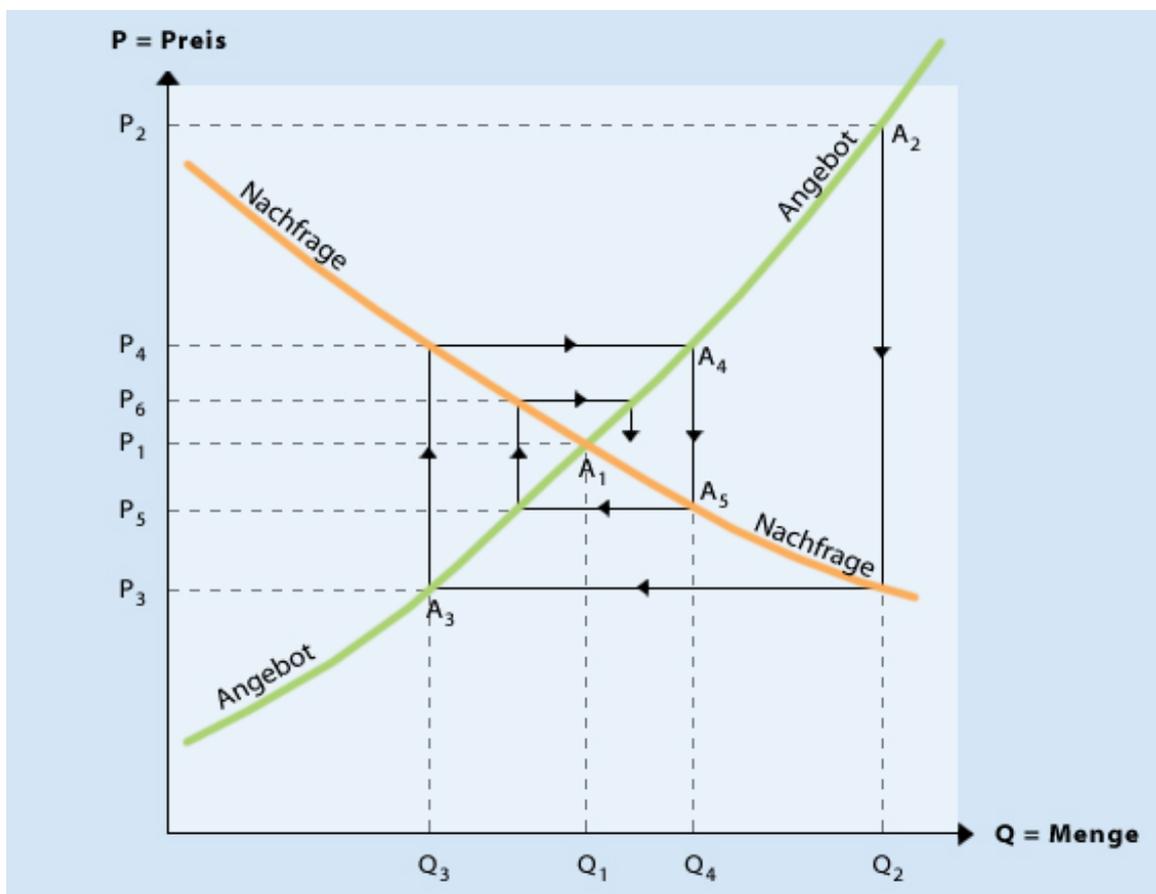


Abbildung 3: Die Spinnennetztheorie (nach GUTMAN, G., 1983: Cyclical characteristics of the mining Industry, Australian Mining Industry Council, Canberra)

## 3 Szenario

Nachdem aufgedeckt wurde, dass das Land Plumbum, das mit 38 % der weltweiten Bleiereserven über die größten Vorräte verfügt, terroristische Anschläge in anderen Ländern unterstützt und chemische und biologische Waffen produziert, haben die Vereinten Nationen ein Embargo verhängt, das bedeutet, dass kein Land mehr Blei aus Plumbum importieren darf.



#### 4 Aufgaben:

- 1) Überlegen Sie anhand von Abbildung 1 und Abbildung 2, warum Produkte (in diesem Fall Blei) billiger werden können, obwohl ihre statische Lebensdauer begrenzt ist? Welche Kräfte bestimmen den Preis?
- 2) Lesen Sie den Text „Die Spinnentheorie“ unter Punkt 2 und beantworten Sie die folgenden Fragen zum unter Punkt 3 beschriebenen Szenario.
- 3) Wie reagiert der Weltmarkt auf das Embargo, auf das in dem Szenario Bezug genommen wird?
- 4) Überlegen Sie,
  - a) welche sonstigen politischen Ereignisse bzw. Entscheidungen und
  - b) welche technischen Fortschritte bzw. Veränderungen den Weltmarktpreis für mineralische Rohstoffe beeinflussen können.
- 5) Nennen Sie Beispiele aus Ihrem Alltag, bei denen durch äußere Umstände eine Verteuerung oder Vergünstigung einer Ware entstand? Hat sich Ihr Kaufverhalten in Folge verändert?



## Baustein 1: Rohstoffe: Vorkommen, Ausbeutung und Abhängigkeiten

### Die „neue Stahlkrise“ – Beispiel einer Rohstoffverknappung

#### ❶ Rohstoffe: Kostbar wie Goldstaub<sup>1</sup>:

Den deutschen Stahlwerken droht der Stillstand: Es fehlt ihnen an Koks. Den exportierten bisher die Chinesen, doch die brauchen ihre Kohle jetzt selbst. Sorgfältig zerlegen 267 Chinesen in Blaumännern und Schutzhelmen den einstigen Stolz der deutschen Kohleindustrie: die Dortmunder Kokerei Kaiserstuhl. Bis vor drei Jahren wurde hier Kokskohle zu selleriegroßen Klumpen gebacken, die dann Hochöfen befeuerten. Jedes der 2 bis 2,5 Millionen Teile wird nummeriert, abmontiert - und in Kisten verpackt. Bis Oktober ist die einst modernste Anlage der Welt in 4500 Containern verstaut. Dann wird sie nach China verschifft und in der Provinz Shandong neu aufgebaut.

Schön für China: Das Land boomt und braucht dringend Koks. Pech für die deutsche Stahlindustrie: Ihr geht die Kohle für die Hochöfen aus. Denn die chinesische Industrie wächst so stark, dass sie die Erzeugnisse ihrer Kokereien nicht mehr ausführt, sondern selbst verbraucht.

Der Wirtschaftssenator des Stadtstaates Bremen, Hartmut PERSCHAU (CDU), schrieb bereits einen Alarmbrief an den Staatssekretär im Bundeswirtschaftsministerium, Georg Wilhelm ADAMOWITSCH (SPD). Die Knappheit habe „für die Existenz der Bremer Stahlwerke eine substantielle Bedeutung“, heißt es da. Gleichzeitig wandte sich der Oberbürgermeister der Stadt, Henning SCHERF (SPD), Hilfe suchend an Wirtschaftsminister Wolfgang CLEMENT.

Allein die BREMER STAHLWERKE beschäftigen 4500 Mitarbeiter, doch auch andere Hochöfen sind in Gefahr. Besorgt bat der saarländische Ministerpräsident Peter MÜLLER (CDU) bei der DEUTSCHEN STEINKOHLE AG, einer Tochter des Energie- und Chemiekonzerns RAG, um höhere Rationen für den rar gewordenen Rohstoff.

Während es Steinkohle für Elektrizitätswerke nach wie vor in rauen Mengen gibt, ist das Spezialprodukt Kokskohle, „vor allem in der zu Koks weiterverarbeiteten Form mittlerweile kostbar wie Goldstaub“, sagt Jürgen SCHMIDT von der EKO STAHL GMBH. Künftige Produktionsengpässe kann er nicht ausschließen.

Der Weltmarktpreis für Koks ist geradezu explodiert. Die Stahlkocher kommen deshalb in Bedrängnis - und mit ihnen der Aufschwung. Denn sie schlagen die Kosten auf ihre Produkte, der Stahlpreis notiert nahe an seinem Zehnjahreshoch.

Jetzt rächt sich, dass die deutschen Stahlwerke 1999 den Hüttenvertrag mit dem Steinkohlebergbau, der ihnen 30 Jahre lang die Kohlebelieferung sicherte, auslaufen ließen. Deutsche Kohle war zu teuer. Sie deckten sich verstärkt am Weltmarkt mit Koks ein - was kurzfristig problemlos war: Polen, Südafrika und vor allem China lieferten das schwarze Gold für rund 60 Dollar pro Tonne, aus heutiger Sicht ein Spottpreis.

Die RAG war gezwungen, Kokskohle-Flöze stillzulegen und Kokereien, wie beispielsweise den Kaiserstuhl, zu verkaufen. Denn allein die Instandhaltung einer Kohlegrube kostet 400 Millionen Euro im Jahr - auch wenn dort kein Kumpel mehr zum Bergbau einfährt.

---

<sup>1</sup> Von WOLFGANG REUTER, DER SPIEGEL 13/2004 - 22. März 2004. In: <http://www.spiegel.de>

Die deutsche Produktion des Hochofenbrennstoffs sank von rund 26 Millionen Tonnen Anfang der achtziger Jahre auf 10,3 Millionen Tonnen 1998. Und seit Auslaufen des Hüttenvertrages ging sie noch einmal um 30 Prozent auf klägliche 7,2 Millionen Tonnen zurück.

Die Sache ging für die Deutschen eine Weile gut, doch dann begann Chinas Aufstieg, und der Stahlbedarf des Landes wuchs unaufhaltsam. Im vergangenen Jahr erzeugte der bevölkerungsreichste Staat der Erde 220 Millionen Tonnen, dieses Jahr werden es mehr als 260 Millionen Tonnen sein. Allein die Steigerung ist größer als die gesamte deutsche Jahresproduktion.

China, das früher den Weltmarkt mit Koks überschüttete, braucht nun seine gesamte Jahresproduktion von 140 Millionen Tonnen selbst. Die Folge: Hochwertiger Koks ist derzeit nicht zu bekommen, die minderwertige Form des Brennstoffs kostet 450 Dollar pro Tonne - und ein Ende der Preisspirale ist nicht abzusehen.

Wohl aber eine steigende Stahlnachfrage in Deutschland. „Momentan hat Volkswagen die Produktion gedrosselt“, sagt der Manager eines Stahlkonzerns, „und darüber ist in der Branche niemand traurig“. Was aber, wenn die Wirtschaft wieder brummt - die deutsche Industrie aber nicht genügend Stahl liefern kann? Im Wirtschaftsministerium in Berlin herrscht Krisenstimmung. Wolfgang CLEMENT habe, so berichten Vertraute des Ministers, schon bei seinem Vorgänger, dem heutigen RAG-Chef Werner MÜLLER, vorgefühlt, ob der Ruhrkonzern nicht eine neue Kokerei in Wilhelmshaven bauen könne. Dort könnte dann importierte Kohle veredelt werden, denn bei Kokskohle ist der Engpass nicht ganz so groß wie bei reinem Koks. Über die rund 700 Millionen Euro teure Investition wird im engsten Beraterkreis des Managers inzwischen nachgedacht. Eine verstärkte Förderung von Kokskohle wäre, trotz der weiter geplanten Zechenstilllegungen für Steinkohle, zwar möglich, steht aber derzeit nicht zur Debatte. „Diese Entscheidung müsste die Politik fällen“, sagte RAG-Chef MÜLLER im kleinen Kreis, schließlich dauere die Öffnung eines stillgelegten Flözes mindestens sieben Jahre. „Und dazu“, so MÜLLER, „brauchen wir langfristige Sicherheiten.“

## ② Daten zur Stahlproduktion und – verwendung



Abbildung 1: Preisentwicklung für Koks chinesischer Herkunft (Datenquelle: DER SPIEGEL 22.03. 2005)

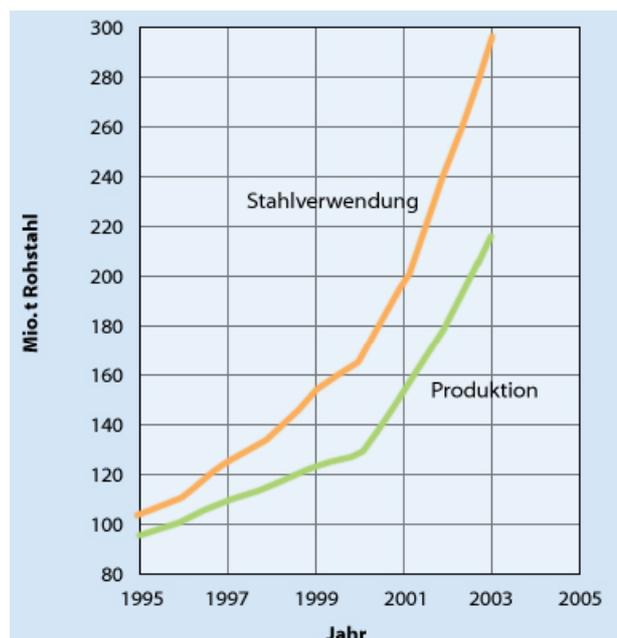


Abbildung 3: Stahlverwendung und – produktion in China (nach STAHLZENTRUM 2004, www.stahl-online.de).

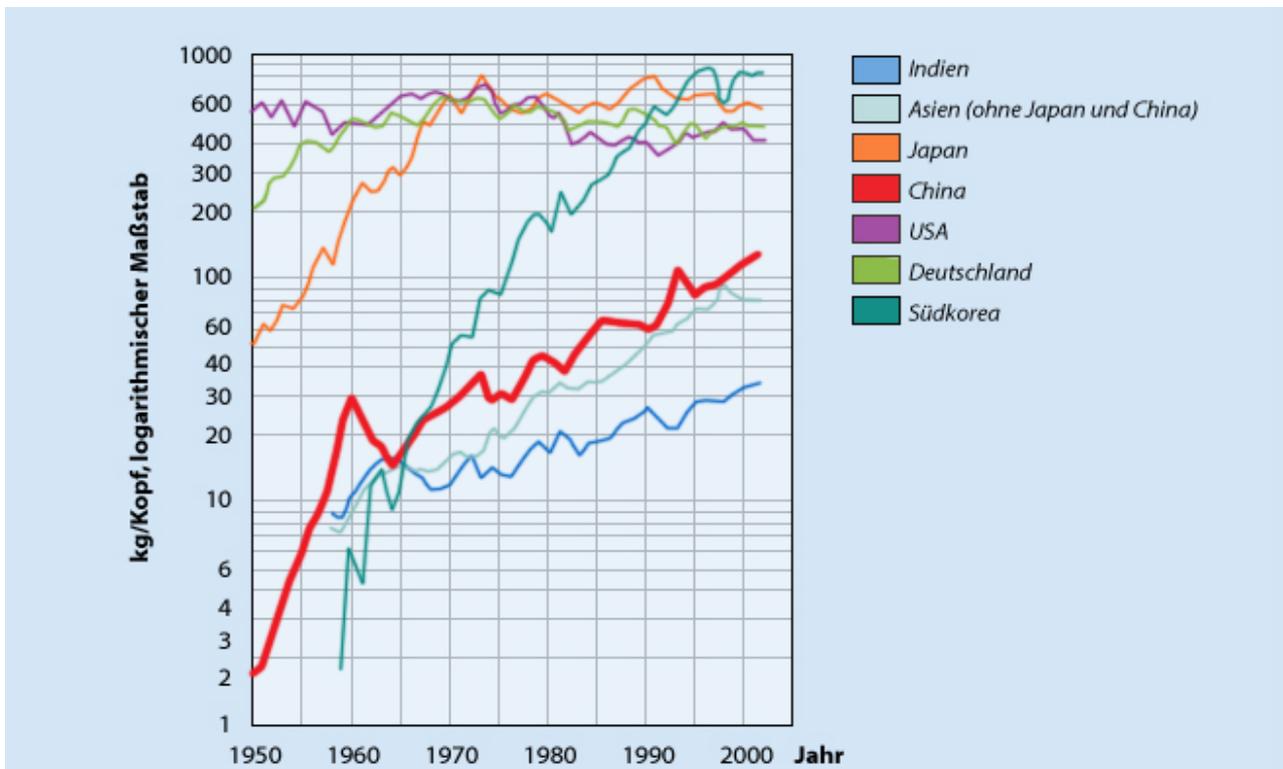


Abbildung 3: Marktversorgung mit Rohstahl pro Kopf 1950 - 2000; Vergleich Chinas mit ausgewählten Ländern (nach STAHLZENTRUM 2004, [www.stahl-online.de](http://www.stahl-online.de)).

### ③ Aufgaben:

- 1) Beschreiben Sie die Preisentwicklung für Kokskohle aus China in den Jahren 2000 – 2004 und begründen Sie diese Entwicklung.
- 2) Beschreiben Sie die Entwicklung der Marktversorgung mit Rohstahl der in Abbildung 3 genannten Länder. Weshalb führt gerade die Entwicklung Chinas zu Engpässen in der Rohstoffversorgung?
- 3) Übertragen und erläutern Sie die Preisentwicklung von Koks nach dem Muster der „Spinnennetztheorie“.
- 4) Erläutern und beurteilen Sie die Strategie der deutschen Stahlwerke bezüglich ihrer Kohle/Koks – Politik in der Vergangenheit. Welche Probleme bestehen dadurch in der Gegenwart?

# Erdölförderplattform in der Nordsee



(Foto: STATOIL, [www.statoil.com](http://www.statoil.com))

# Tabelle zur statischen Lebensdauer auserwählter Rohstoffe, Stand 1972

Rohstoff	a) (Jahre)	b) (Jahre)	c) (Jahre)	d) (Jahre)	
Kupfer	36	21	44	29	a) Nutzungsdauer bei gleichbleibender derzeitiger Nutzungsrate (MEADOWS) b) Nutzungsdauer bei exponentiellem Anstieg der Verbrauchsrate (MEADOWS) c) Verbrauchsanstieg nicht größer als die jährliche neu gefundenen Erzreserven (BUNDESANSTALT FÜR BODENKUNDE) d) Auf der Basis der 1972 bekannten Erzvorräte unter Zugrundelegung des Verbrauchstrends der letzten 10 Jahre (BUNDESANSTALT FÜR BODENKUNDE)
Blei	26	21	22	19	
Zink	23	18	22	14	
Zinn	17	15	18	15	
Bauxit (Aluminium)	100	31		38	
Nickel	150	53		32	
Gold	11	9		20	
Silber	16	13		16	
Platin (-Gruppe)	130	47		32	
Chrom	420	95		101	
Mangan	97	46		86	
Eisen	240	93		75	
Kobalt	110	60		35	
Molybdän	79	34		23	
Wolfram	40	28		18	

(nach RUMPF et al. 1976)

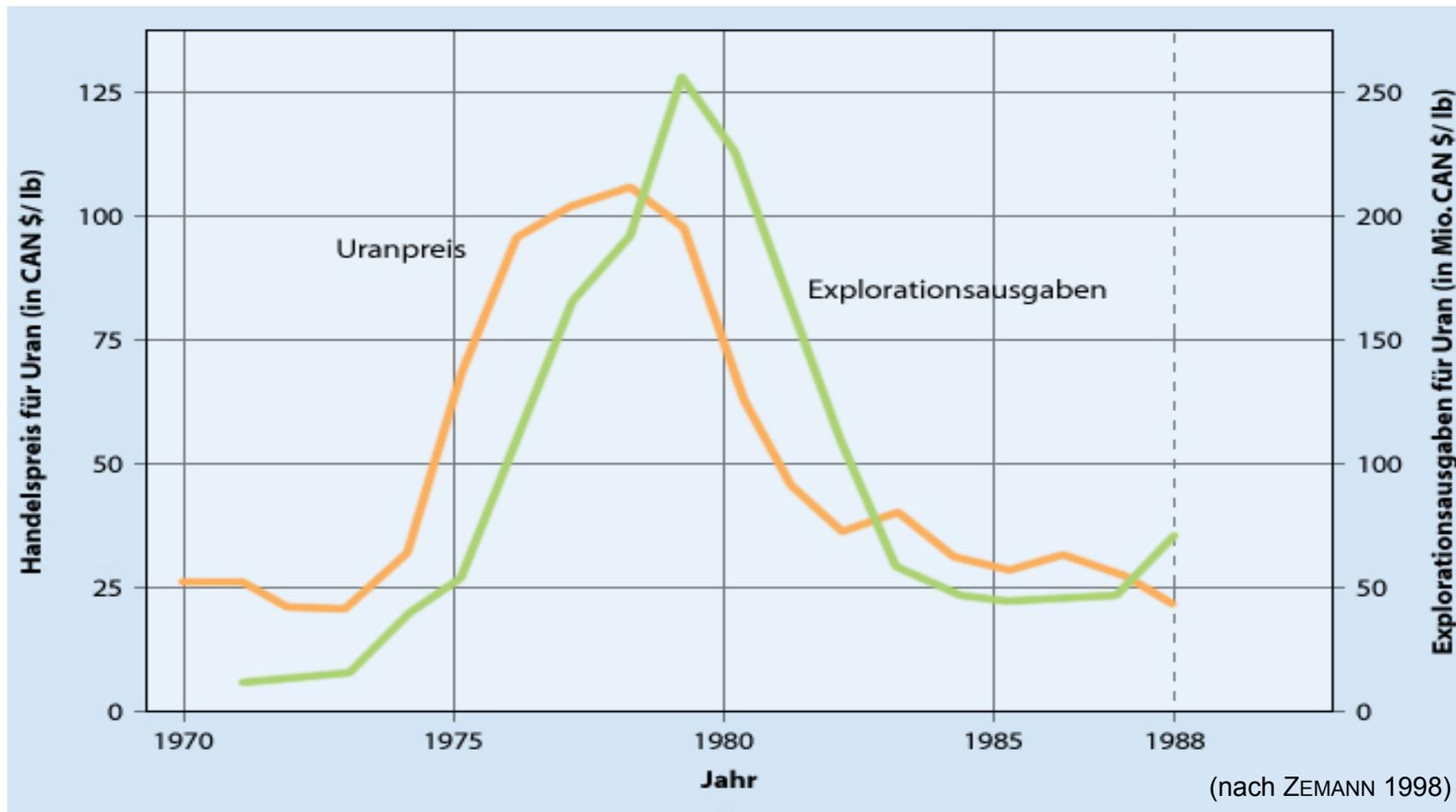
## Tabelle zur statischen Lebensdauer auserwählter Rohstoffe, Stand 2001/02

Chrom	350
Mangan	250
Nickel	160
Zinn	120
Blei	90
Erdöl (einschl. Teersande/ Ölschiefer 120)	45

Eisen	300
Braunkohle	230
Steinkohle	200
Kupfer	90
Erdgas	75
Zink	45
Quecksilber	35

(nach BERIE` et al. 1998)

# Entwicklung von Uranpreis und Explorationsausgaben für Uran in Kanada 1970 - 1988



## Anteil des Sekundärmaterials (durch Recycling) am Gesamtverbrauch ausgewählter Metalle in der BRD

	0 - 5 %	5 - 10 %	10 - 30 %	30 - 50 %	> 50 %
<b>Aluminium</b>				x	
<b>Kupfer</b>				x	
<b>Blei</b>					x
<b>Zink</b>			x		
<b>Zinn</b>		x			
<b>Antimon</b>			x		
<b>Stahl</b>				x	
<b>Chrom</b>			x		
<b>Titan</b>		x			
<b>Kobalt</b>			x		
<b>Mangan</b>			x		
<b>Moybdän</b>			x		
<b>Nickel</b>			x		
<b>Niob</b>		x			
<b>Tantal</b>		x			
<b>Wolfram</b>				x	
<b>Gold</b>				x	
<b>Silber</b>				x	
<b>Platin</b>				x	
<b>Paladium</b>				x	

(nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) 2004)



## Baustein 2 Energierohstoffe und Recycling

### Entstehung der fossilen Energierohstoffe

#### ❶ Material:

- Film: „Entstehung von Bodenschätzen“ FWU 1997, VHS 4202154, 24 min

#### ❷ Aufgaben:

- 1) Beschreiben Sie die Entstehung der Steinkohle.
- 2) Weshalb hat der Abbau der Steinkohle im Ruhrgebiet im südlichen Teil begonnen und ist dann zunehmend in den Norden fortgeschritten?
- 3) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Holz, Braunkohle, Torf und Steinkohle?
- 4) Begründen Sie den höheren Preis für deutsche Steinkohle gegenüber Braunkohle.
- 5) Beschreiben Sie die Entstehung von Erdgas und Erdöl.
- 6) Erläutern Sie, wie sich Erdgas und Erdöl in so genannten „Fallen“ sammelt.

## Baustein 2 Energierohstoffe und Recycling

### Energierohstoffvorkommen und -abhängigkeiten

#### ❶ Aufgaben:

- 1) Schlagen Sie die Seite 231, Karte 1 (Erde - Rohstoffe) im Atlas auf (Diercke – Atlas, 5. Auflage 2002, Westermann – Verlag).

Beschreiben Sie die abgebildete Karte.

Werten Sie die Karte unter folgenden Fragestellungen aus:

- Welche Länder sind besonders reich an Energierohstoffvorkommen? Vergleichen Sie die Energierohstoffvorkommen der EU, Japan und den USA miteinander.
- Welche Rolle spielen die Entwicklungsländer bezüglich Verbrauch und Export von Energierohstoffen? Ziehen Sie zu der Karte 1 auf Seite 231 die Karte 2 hinzu. Zeigen Sie Parallelen und Unterschiede zu den Industrieländern auf.

- 2) Beschreiben Sie die unten stehende Karikatur und halten Sie die Kernaussage fest.

Setzen Sie die Karikatur mit der oben genannten Kartenabbildung in Verbindung. Welche Folgen und Verschiebungen bezüglich der Rohstoffe und ihrer Vorräte gäbe es bei einer Angleichung der Lebensverhältnisse der Entwicklungsländer und Chinas an die der Industrienationen?

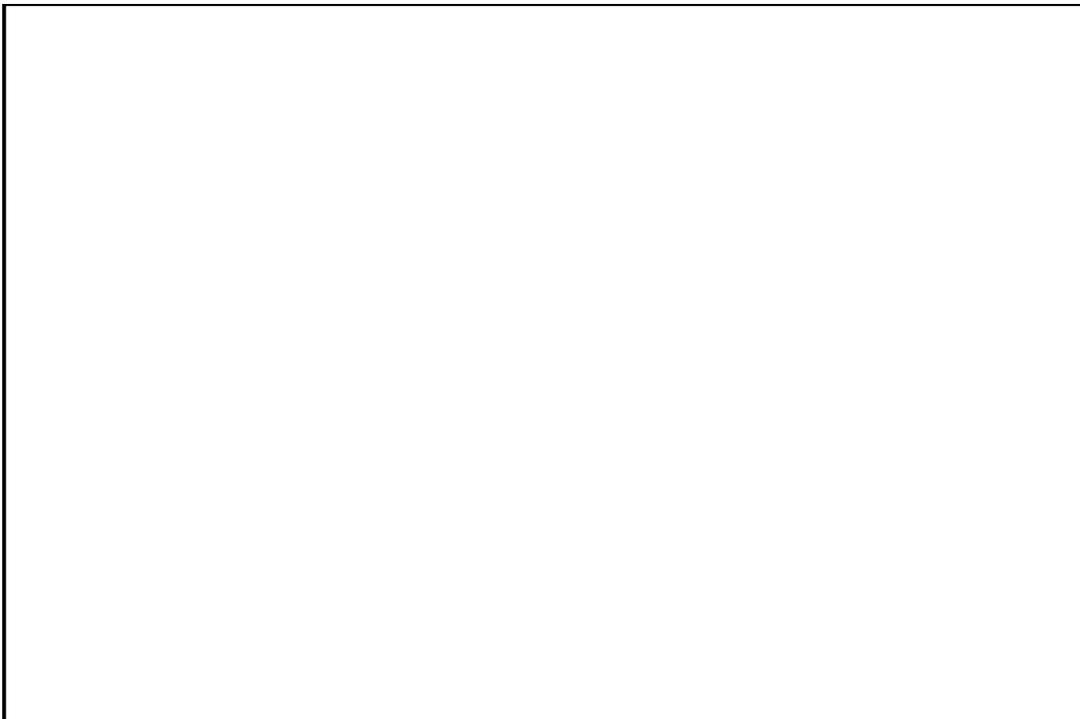


Abbildung 1: Karikatur (Quelle: HAUPT, P. (1996): Die Chemie im Spiegel einer Tageszeitung. BIS Universität Oldenburg).

## Baustein 2: Energierohstoffe und Recycling

### Die Grenzen des Wachstums

#### ❶ Wachstum für alle?

Als der indische Politiker Mahatma GANDHI vor mehr als 50 Jahren gefragt wurde, ob Indien nach seiner Unabhängigkeit den Lebensstandard der früheren Kolonialmacht Großbritannien erreichen werde, antwortete er: „Um zu seinem Wohlstand zu gelangen, verbrauchte Großbritannien die Hälfte der Ressourcen des Planeten; wie viele Planeten wird ein Land wie Indien benötigen?“

Die Erkenntnis, dass sich der Lebensstandard des wohlhabenden Viertels der Erdbevölkerung nicht auf die ärmere Mehrheit übertragen lässt, ist heute aktueller denn je: Auf der Südhalbkugel gibt es inzwischen noch mehr Menschen, im Norden hat sich der Wohlstand erst in den letzten Jahrzehnten besonders ausgeprägt. Wenn alleine China und Indien den gleichen prozentualen Anteil an Automobilen gemessen an der Einwohnerzahl wie Nordamerika hätten, gäbe es ca. 1,5 Milliarden Autos zusätzlich und die Ölreserven wären – trotz eventuell neu entdeckter Ölvorräte – innerhalb weniger Jahre aufgebraucht.

Obst und Gemüse zu günstigen Preisen zu jeder Jahreszeit, im Sommer ein Flug in den Süden, und wenn die Waschmaschine kaputt ist, ist der Kauf eines neuen Gerätes günstiger als die Rechnung des Handwerkers für die Reparatur. Kann diese Lebensweise, die sich derzeit nur wenige Menschen in den Industrienationen - zunehmend aber auch in Ländern, die sich „nach unserem Vorbild entwickeln“ – leisten, unbegrenzt weiter gehen? Diese Frage stellten sich eine Reihe von Wissenschaftler/innen und Industriellen, die sich 1968 in Rom zum „Club of Rome“ zur Ermittlung der materiellen Situation der Menschheit zusammenschlossen.

Da die Grenzen des Wachstums – so der Titel der 1973 vom Club of Rome veröffentlichten Studie – nicht allein durch die Bevölkerungszunahme und die Nahrungsmittelproduktion bestimmt werden, richtet sich das Augenmerk der Wissenschaftler/innen auch auf die nicht erneuerbaren Ressourcen, die Industrieproduktion und die Umweltbelastungen. Seit der ersten Studie wurden vom Club of Rome weitere Studien in Auftrag gegeben: die bekannteste ist die Computersimulation World 3. Das Modell, mit dem Entwicklungsszenarien durchgespielt wurden, besteht aus fünf Sektoren:

- Sich erschöpfende Ressourcen als Quellen, d. h. als Ursprung der Material- und Energieflüsse im System
- Bevölkerungswachstum
- Landwirtschaft (mit Nahrungsmittelerzeugung, Bodenfruchtbarkeit, Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Bodenerosion)
- Andere Sektoren der Wirtschaft (mit Industrie und Dienstleistung)
- Senken als Ende der Material- und Energieflüsse in einem System und zunehmende Umweltbelastung.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen steigt die Bevölkerungszahl in vielen Regionen der Erde weiter an. Mit gleichzeitig hohen Wachstumsraten in bestimmten Regionen vor allem Asiens und Lateinamerikas steigt auch die globale Nachfrage nach nicht erneuerbaren Ressourcen wie Metallen, um Investitions- und Konsumgüter produzieren zu können. Dabei kommen die Metalle nur in äußerst geringen durchschnittlichen Konzentrationen in der Erdkruste vor. Lediglich in bestimmten Gebieten auf der Erde finden sich höhere Konzentrationen dieser Metalle im Erz: Man spricht von Lagerstätten. Den Metallgehalt eines Erzes, der



gerade noch einen wirtschaftlichen, also rentablen Abbau zulässt, nennt man Grenzkonzentration. Die Grenzkonzentration ist kein feststehender Wert, sondern abhängig vom Kapital- und Energieeinsatz, von der angewandten Technologie und vom Metallpreis. Der Metallpreis wird durch Angebot und Nachfrage, aber auch durch die regionale Verteilung der Reserven bestimmt.

Da geogene Rohstoffe bei geologischen Prozessen im Laufe von Jahrmillionen gebildet werden, sind sie in menschlichen Zeiträumen nicht erneuerbar. Mit sinkender Konzentration der Metalle im Erz erhöht sich der Abraum und damit auch der Energieaufwand für die Förderung derart, dass sich ein Abbau nicht mehr lohnt. Wenn die Zahl der Lagerstätten abnimmt, wenn sie entfernter und tiefer liegen und wenn sie eine geringere Metallkonzentration aufweisen, dann steigt der Aufwand zur Metallgewinnung derart, dass Kapital und Ressourcen aus der Konsumgüterproduktion abgezogen werden müssen. Dadurch sinkt letztlich auch der Lebensstandard.

## ② Tabellen zur statischen Lebensdauer ausgewählter Rohstoffe:

**Tabelle 1: Statische Lebensdauer auserwählter Rohstoffe, Stand 1972 (Quelle: RUMPF, H. et al. (1976): Technologische Entwicklung, Band 2. Otto Schwartz Verlag, Göttingen).**

Rohstoff	a) (Jahre)	b) (Jahre)	c) (Jahre)	d) (Jahre)
Kupfer	36	21	44	29
Blei	26	21	22	19
Zink	23	18	22	14
Zinn	17	15	18	15
Bauxit (Aluminium)	100	31		38
Nickel	150	53		32
Gold	11	9		20
Silber	16	13		16
Platin (-Gruppe)	130	47		32
Chrom	420	95		101
Mangan	97	46		86
Eisen	240	93		75
Kobalt	110	60		35
Molybdän	79	34		23
Wolfram	40	28		18
a) Nutzungsdauer bei gleich bleibender derzeitiger Nutzungsrate (MEADOWS) b) Nutzungsdauer bei exponentiellem Anstieg der Verbrauchsrate (MEADOWS) c) Verbrauchsanstieg nicht größer als die jährliche neu gefundenen Erzreserven (BUNDESANSTALT FÜR BODENKUNDE) d) Auf der Basis der 1972 bekannten Erzvorräte unter Zugrundelegung des Verbrauchstrends der letzten 10 Jahre (BUNDESANSTALT FÜR BODENKUNDE)				



**Tabelle 2: Statische Lebensdauer auserwählter Rohstoffe, Stand 2001/02 (Quelle: BERIE, E. et al. (1998): Der Fischer Weltalmanach. Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt am Main).**

Chrom	350	Eisen	300
Mangan	250	Braunkohle	230
Nickel	160	Steinkohle	200
Zinn	120	Kupfer	90
Blei	90	Erdgas	75
Erdöl (einschl. Teersande/ Ölschiefer 120)	45	Zink	45
		Quecksilber	35

### ③ Aufgaben:

- 1) Beschreiben Sie, wie sich ein erhöhter Rohstoffpreis auf die Förderung und den Verbrauch von Rohstoffen auswirkt.
- 2) Finden und erläutern Sie die Widersprüche in den Tabellen 1 und 2.
- 3) Eine Vielzahl von Faktoren hat Einfluss auf die statische Lebensdauer von Rohstoffen. Beispielhaft seien hier nur erhöhte Recyclingraten, erhöhte Forschungsanstrengungen, verstärkte Exploration, geringerer oder höherer Verbrauch, Ersatz des jeweiligen Rohstoffes durch andere Rohstoffe etc. genannt. Fertigen Sie ein Wirkungsdiagramm mit wichtigen Faktoren an, welche die statische Lebensdauer von Rohstoffen beeinflussen. Benutzen Sie hierfür auch die Informationen aus dem Informationstext.

## Baustein 2 Energierohstoffe und Recycling

### Recycling = Rohstoffsparen

#### ❶ Aufgaben zum Film „Recycling – was ist das?“

- 1) Erstellen Sie ein Stoffflussdiagramm, das den Weg eines Getränkekartons von seiner Nutzung bis zum recycelten Produkt darstellt.
- 2) Erläutern Sie die Tabelle in Abb.1 zum Anteil von Sekundärmaterialien am Gesamtmetallverbrauch.

	0 - 5 %	5 - 10 %	10 - 30 %	30 - 50 %	> 50 %
<b>Aluminium</b>				x	
<b>Kupfer</b>				x	
<b>Blei</b>					x
<b>Zink</b>			x		
<b>Zinn</b>		x			
<b>Antimon</b>			x		
<b>Stahl</b>				x	
<b>Chrom</b>			x		
<b>Titan</b>		x			
<b>Kobalt</b>			x		
<b>Mangan</b>			x		
<b>Moybdän</b>			x		
<b>Nickel</b>			x		
<b>Niob</b>		x			
<b>Tantal</b>		x			
<b>Wolfram</b>				x	
<b>Gold</b>				x	
<b>Silber</b>				x	
<b>Platin</b>				x	
<b>Paladium</b>				x	

Abbildung 1: Anteil des Sekundärmaterials (durch Recycling) am Gesamtverbrauch ausgewählter Metalle in der BRD (Datenquelle: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2004).