

Frondel, Manuel et al.

Research Report

Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen: Endbericht. Forschungsprojekt Nr. 09/05 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

RWI Projektberichte

Provided in Cooperation with:

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

Suggested Citation: Frondel, Manuel et al. (2007) : Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen: Endbericht. Forschungsprojekt Nr. 09/05 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), RWI Projektberichte, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/70880>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Fraunhofer



Institut
System- und
Innovationsforschung



Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen),

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI),

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Endbericht

Projektteam:

RWI Essen: Dr. Manuel Frondel (Projektleitung), Peter Grösche, Dirk Huchtemann, Andreas Oberheitmann (Ph. D.), Jörg Peters

ISI: Dr. Gerhard Angerer, Dr. Dr. Christian Sartorius

BGR: Dr. Peter Buchholz, Dr. Simone Röhling, Dr. Markus Wagner

Forschungsprojekt Nr. 09/05 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Danksagung:

Für wertvolle Kommentare und exzellente wissenschaftliche Vorarbeiten ist das Projektteam Frau Sarah Borgloh und insbesondere Herrn Nolan Ritter zu besonderem Dank verpflichtet. Für das sorgfältige Korrekturlesen bedanken wir uns bei Frau Kerstin Koester und Frau Christiane Brüggemann.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Einleitung	7
1 Das globale Angebot an Rohstoffressourcen.....	12
1.1 Die Statische Reichweite	12
1.2 Ressourcenreichweiten bedeutender Rohstoffe.....	17
2 Die Endlichkeit des Rohstoffangebots.....	24
2.1 Die Grenzen des Wachstums	24
2.2 Die Endlichkeit von Rohstoffen.....	27
2.3 Werden Rohstoffe immer teurer?.....	29
3 Die Rohstoffabhängigkeit Deutschlands.....	34
4 Preis-, Angebots- und Nachfragetrends	41
4.1 Entwicklung der Förderung und der realen Preise	41
4.2 Determinanten von Rohstoffpreisen.....	44
4.3 Prognosen bei differenzenstationären Prozessen.....	45
4.4 Stationaritätstests.....	49
4.5 Rohstoffpreise: Deterministische Trends oder Random Walks?	52
4.6 Prognosen für trendstationäre Rohstoffpreise.....	53
4.7 Extrapolation historischer Angebots- und Nachfragetrends	54
4.8 Trendextrapolation und Zeitreihenmodelle.....	57
4.9 Beispiele für Verbrauchsprognosen	59
5 Technischer Wandel und Rohstoffnachfrage	63
5.1 Methodische Vorgehensweise.....	63
5.2 Beispiel Tantal	66
5.3 Zusammenfassung	70
6 Trends bei ausgewählten Rohstoffen: Zusammenfassung	71
6.1 Kupfer	71
6.2 Aluminium.....	73
6.3 Eisen	75
6.4 Zink	78
6.5 Chrom	79
6.6 Germanium	81
6.7 Vanadium.....	83
6.8 Flussspat.....	85
6.9 Tantal	86
6.10 Magnesit	88
6.11 Graphit	89
6.12 Platin.....	90
7 Zusammenfassung und Politikempfehlungen.....	91
7.1 Zusammenfassung	92
7.2 Handlungs- und Politikempfehlungen	96
8 Angebots- und Nachfragetrends bei ausgewählten Rohstoffen....	107
8.1 Kupfer	107
8.2 Aluminium.....	119
8.3 Eisen	133
8.4 Zink	149

8.5	Chrom	163
8.6	Germanium	175
8.7	Vanadium.....	181
8.8	Flussspat.....	188
8.9	Tantal	201
8.10	Magnesit	209
8.11	Graphit	215
8.12	Platin.....	220
9	Chinas Nachfrage nach bedeutenden Rohstoffen	227
9.1	Die wachsende Rohstoffnachfrage Chinas.....	227
9.2	Szenarien der wirtschaftlichen Entwicklung in China	231
9.3	Abschätzung des Rohstoffverbrauchs	231
9.4	Ergebnisse	232
9.5	Chinas Nachfrage nach bedeutenden Metallrohstoffen.....	239
9.6	Die Rohstoffdiplomatie der chinesischen Regierung.....	241
9.7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	244
10	Anhang A: Tabellen	245
11	Anhang B: Eisen- und Stahlerzeugung	250
12	Anhang C: Technischer Wandel bei ausgewählten Rohstoffen.....	253
12.1	Kupfer	253
12.2	Aluminium.....	260
12.3	Eisen	267
12.4	Zink	276
12.5	Chrom	283
12.6	Germanium	289
12.7	Vanadium.....	296
12.8	Flussspat.....	301
12.9	Tantal	304
12.10	Magnesit	313
12.11	Graphit	316
12.12	Platin.....	320
13	Literatur.....	328

Zusammenfassung

Rohstoffe bilden eine unverzichtbare Grundlage des Lebens in modernen Industrie- und Dienstleistungsgesellschaften. Mit dem sich immer weiter vollziehenden Wandel von prosperierenden Entwicklungs- und Schwellenländern hin zu modernen Industrienationen wird die weltweite Bedeutung von Rohstoffen auch zukünftig weiter zunehmen, was jedoch nicht zwingend impliziert, dass dadurch die realen Rohstoffpreise immer weiter steigen werden. Der eminenten Bedeutung von Rohstoffen wird man sich indessen in Zeiten hoher Preise immer besonders gewahr: Nicht zuletzt sind es die Medien, die in den immer wiederkehrenden Hochpreisphasen gerne an die unumstößliche Tatsache erinnern, dass die **Rohstoffausstattung** der Erdkruste **endlich** ist, und daraus schlussfolgern, dass unverzichtbare Rohstoffe bald zur Neige gehen könnten. Darüber hinaus wird oftmals der Eindruck erweckt, dass **Rohstoffe** zwangsläufig immer **knapper und teurer** werden.

Diese Studie möchte durch **eine auf empirischen Fakten beruhende, statistisch-deskriptive Analyse** dazu beitragen, derartige Befürchtungen zu zerstreuen. So besagen zwei der wesentlichen Ergebnisse, dass erstens die realen Preise der meisten Rohstoffe über den Zeitraum von bis zu 100 Jahren und mehr betrachtet gesunken anstatt gestiegen sind und zweitens für die große Mehrheit an Rohstoffen ausreichende geologische Vorkommen vorhanden sind. Darüber hinaus wird deutlich gemacht, dass die Endlichkeit der Rohstoffe eine für die weltwirtschaftliche Entwicklung vollkommen irrelevante Beschränkung darstellt, so dass daraus keinerlei Befürchtungen erwachsen dürften. Die gesamte Ausstattung der Erdkruste mit einem bestimmten Rohstoff ist zu meist millionenfach umfangreicher als dessen Reserven, welche die bei derzeitigen Preisen wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffvorkommen darstellen. Es wird zudem weithin angenommen, dass die Reserven eines Rohstoffs mit dessen zunehmendem Verbrauch immer weiter abnehmen. Diese Vorstellung wird in dieser Studie falsifiziert, indem dargestellt wird, dass die Reserven vieler Rohstoffe im Laufe der Zeit vielmehr zu- anstatt abgenommen haben – vor allem bedingt durch den technologischen Fortschritt.

Kernziel der vorliegenden Studie ist die **Einschätzung der langfristigen Versorgung** der deutschen Wirtschaft mit Rohstof-

Rohstoffe sind unverzichtbar für Industriegesellschaften

Es ist ein empirischer Fakt, dass die Ausstattung der Erdkruste mit bedeutenden nicht-energetischen Rohstoffen millionenfach umfangreicher ist als diejenigen Mengen, die wir jemals benötigen werden

fen. Mit einem **Zeithorizont** der auftragsgemäß bis ins Jahr **2025** reicht, blickt die Studie weit über die gegenwärtige Hochphase der typischerweise zyklisch verlaufenden Rohstoffpreise hinaus. Es ist somit weder Ziel der Studie, kurzfristige Knappheiten und spezifische Probleme bei der Versorgung mit einzelnen Rohstoffen zu bewerten, noch spezielle schnell wirksame Lösungsvorschläge für individuelle Rohstoffe anzubieten.

Vielmehr sollen letztlich **Vorschläge für langfristig effektive Maßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit mit Rohstoffen** gemacht werden. Diese beinhalten insbesondere eine **Verknüpfung der Rohstoff- mit der Außen- bzw. Entwicklungspolitik Deutschlands** und eine **Verbesserung der Markttransparenz**. Diese Maßnahmen zielen auf eine aktive Rolle des Staates ab, ohne dass dieser allerdings selbst als Rohstoffbeschaffer in Erscheinung treten oder mittels einer strategischen nationalen Mindestbestandshaltung für die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen sorgen sollte. Dies ist bestenfalls in planwirtschaftlichen Systemen Aufgabe des Staates, während dieser in einer Marktwirtschaft lediglich die Rahmenbedingungen für funktionierende Rohstoffmärkte zu setzen hat.

Die Studie befasst sich darüber hinaus mit mehreren grundsätzlichen **methodischen Fragestellungen**: Erstens wird eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe diejenigen Rohstoffe identifiziert werden können, die sich langfristig als für Deutschland potentiell kritisch erweisen könnten – diese Aufgabe erfordert zuallererst eine Konkretisierung dessen, was unter potentiell kritischen Rohstoffen zu verstehen ist. Zweitens wird die Frage untersucht, ob Rohstoffpreise überhaupt sinnvoll prognostizierbar sind. Als Ergebnis entsprechender statistischer Tests ergibt sich, dass die Preise der meisten Rohstoffe so genannte Random Walks darstellen, das heißt Außenstehenden wie zufällig erscheinen, obwohl diese sich tatsächlich aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage ergeben. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass ähnlich wie bei Aktienmärkten jegliche verfügbare Information unmittelbar preisrelevant wird.

Drittens werden langfristige Angebots- und Nachfragetrends auf Basis der historischen Zeitreihen extrapoliert, um einen Vergleichsmaßstab für eine detaillierte Abschätzung des Einflusses technologischer Entwicklungen auf die Nachfrage nach Rohstoffen

Die Preisentwicklungen der meisten Rohstoffe erscheinen dem Außenstehenden wie ein Random Walk und sind daher praktisch nicht vorhersagbar

zu gewinnen. Dazu wird die Methode der Technologievorausschau in innovativer Weise auf nichtenergetische Rohstoffe angewandt. Die Methodik orientiert sich an den mitunter für Energieprognosen verwendeten Techniken.

Weitere **wesentliche Ergebnisse der Studie** lauten erstens: China ist der Hauptauslöser der jüngsten, seit etwa 2003 herrschenden Rohstoffhausse, nicht aber die alleinige Ursache dafür. Diese ist auch auf zyklisches Investitionsverhalten zurückzuführen, das zu den für Rohstoffe charakteristischen zyklischen Preisbewegungen führt. Zweitens: Verglichen mit China oder den USA ist die Rohstoffnachfrage Indiens noch immer weit weniger bedeutsam. Dennoch ist es nur eine Frage der Zeit, wann ein ähnlicher Nachfrageschub, wie er derzeit von China ausgelöst wird, von einem anderen, sich vehement entwickelnden Land ausgehen wird. Drittens: Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit wird daher die weltweite Nachfrage nach Rohstoffen wie Eisen und Kupfer immer weiter anwachsen. Viertens: Die gegenwärtig hohen Rohstoffpreise sind nicht das Resultat von Angebotsschocks, sondern Ergebnis einer großen Nachfrage infolge eines starken weltwirtschaftlichen Wachstums, das 2004 mit 5,3 % so hoch war wie seit 30 Jahren nicht mehr. Fünftens: Die gegenwärtige Situation eines starken Wachstums der Nachfrage nach Rohstoffen ist nicht neu und dürfte sich auch in Zukunft wiederholen.

Fazit: Die vorliegende Studie „Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen“ schließt die herrschende Informationslücke hinsichtlich der langfristigen Entwicklung von für Deutschland bedeutsamen nicht-energetischen Rohstoffen, welchen im Allgemeinen sehr viel weniger Aufmerksamkeit zukommt als den Energierohstoffen. So werden regelmäßig Studien und Prognosen zum zukünftigen Verbrauch an Energie wie auch an einzelnen Energierohstoffen von vielen internationalen Institutionen veröffentlicht. Die jährlich erscheinenden Energieausblicke der Internationalen Energieagentur (IEA) der Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (OECD) und der US-amerikanischen Energieinformationsadministration (EIA) sind lediglich zwei prominente Beispiele. Zur **Verbesserung der Markttransparenz bei nicht-energetischen Rohstoffen** wäre es wünschenswert, wenn zumindest in mehrjährigen Abständen entsprechende Studien veröffentlicht würden.

Rohstoffmärkte weisen Zyklen auf. Es spricht nichts dafür, dass dies in Zukunft anders sein wird. Folglich sollten sich die derzeit hohen Rohstoffpreise in Zukunft ebenso wieder abschwächen wie dies nach der Hochpreisphase der 1970er der Fall war

Einleitung

Die deutsche Wirtschaft ist zweifellos abhängig von der Einfuhr von Rohstoffen. Seit geraumer Zeit besteht dabei eine erhebliche oder sogar vollkommene Importabhängigkeit bei metallischen Rohstoffen wie Kupfer- oder Eisenerz oder bei Energierohstoffen wie Erdöl und Erdgas. Diese Abhängigkeit existiert allerdings nicht bei sämtlichen Rohstoffen. So besitzt Deutschland beispielsweise große Mengen an Braunkohle und ist in der Braunkohlenförderung weltweit führend. Deutschlands Reserven an Weichbraunkohle machen nach Angaben der BGR (2005a) mehr als 20 % der weltweiten Vorräte aus. Deutschland hat damit den weltweit größten Anteil an diesem Energierohstoff. Auch einige Industriemineralien wie etwa Kalisalz sind in Deutschland in so großem Umfang vorhanden, dass der überwiegende Teil der Förderung gegenwärtig exportiert wird.

Deutschland verfügt über die weltweit größten Reserven an Braunkohle.

Gerade in Zeiten hoher Energiepreise, welche unter anderem auf die Sorge über politische Unwägbarkeiten in einigen der Länder mit den größten Energierohstoffreserven zurückzuführen sind, rückt die hohe Abhängigkeit von Erdöl, aber auch von Erdgas, besonders in den Mittelpunkt der Diskussion um die Versorgungssicherheit Deutschlands mit Rohstoffen. Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass Energierohstoffe die wirtschaftlich bedeutendsten Rohstoffe darstellen.

Erhebliche Importabhängigkeit Deutschlands bei vielen Rohstoffen

Deutschlands Ausgaben für Rohstoffimporte 2004 (BGR 2005a)

	Importe	Anteile	kumulierte Anteile
Energierohstoffe	43,4 Mrd. €	71,3 %	71,3 %
Metallische Rohstoffe	13,7 Mrd. €	22,5 %	93,8 %
Edelmetalle und Edelsteine	2,6 Mrd. €	4,3 %	98,0 %
Nichtmetalle	1,2 Mrd. €	2,0 %	100,0 %
Insgesamt	60,9 Mrd. €	100,0 %	

Auch die gegenwärtig hohen Preise für viele andere Rohstoffe wie Kupfer oder Nickel geben Anlass zur Sorge über potentielle Versorgungsengpässe, da diese eine unverzichtbare Grundlage des Lebens in modernen Industrie- und Dienstleistungsgesellschaften bilden. Nicht zuletzt sind es die Medien, die in diesen immer wiederkehrenden Hochpreisphasen oftmals den Eindruck erwecken,

dass **Rohstoffe** zwangsläufig immer **knapper und teurer** werden. Es stellt sich die Frage, ob diese Sorgen berechtigt sind, und falls ja, wie mögliche Versorgungsengpässe durch staatliche Maßnahmen gemildert werden könnten. **Diese Studie** möchte durch **eine auf empirischen Fakten beruhende, statistisch-deskriptive Analyse** dazu beitragen, derartige Befürchtungen zu zerstreuen.

Kernziel des Projektes 09/05, „Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen“, ist die Einschätzung der **Sicherheit der langfristigen Rohstoffversorgung** für die deutsche Wirtschaft. Als **Zeithorizont** wurde auftragsgemäß das Jahr **2025** ins Auge gefasst. Im Mittelpunkt steht die **Identifizierung von Rohstoffen**, deren Import sich für Deutschland langfristig als kritisch erweisen könnte. Als kritisch werden dabei diejenigen importierten Rohstoffe angesehen, deren Förderung sich (i) auf einige wenige Länder der Welt konzentriert, die darüber hinaus (ii) als politisch und wirtschaftlich instabil gelten. Ungeachtet der gegenwärtig hohen Ausgaben für Energierohstoffe beschränkt sich die Studie – ebenfalls auftragsgemäß – auf **nicht-energetische Ressourcen** wie metallische Rohstoffe und Industriemineralien.

Vorgehensweise

Die Studie besteht aus drei Teilen: Teil I (Kapitel 1 bis 7) widmet sich methodischen und allgemeinen ressourcenökonomischen Aspekten. Insbesondere wird darin eine Auswahl an Rohstoffen getroffen, deren Import potentiell kritisch sein könnte. Teil I schließt mit Politikempfehlungen und einer kurzen Zusammenfassung, in der die zukünftigen Trends für die ausgewählten Rohstoffe knapp skizziert werden und eine Einschätzung abgegeben wird, ob diese Rohstoffe sich für Deutschland als kritisch erweisen könnten. In Teil II (Kapitel 8) wird diese Einschätzung ausführlich begründet. Im Zentrum von Teil III (Kapitel 9) steht die Nachfrage Chinas nach einigen bedeutenden Rohstoffen wie Stahl und Eisenerz. Die Fokussierung auf China ergibt sich aus der Tatsache, dass das bevölkerungsreichste Land der Erde immer wieder als Hauptverursacher der gegenwärtigen Rohstoffhausse genannt wird.

Unter absoluter
Knappheit eines
Rohstoffs wird die
Erschöpfung
seiner Vorräte
verstanden

In **Kapitel 1** werden die verfügbaren Reserven und Ressourcen der wirtschaftlich bedeutendsten Rohstoffe analysiert, um diejenigen Rohstoffe zu identifizieren, bei denen sich eine potentielle **absolute Knappheit** abzeichnet. Unter absoluter Knappheit wird in der Ressourcenökonomik die Erschöpfung der Vorkommen eines Rohstoffes verstanden (Böske 2005). Diese Dimension des Begriffs Knappheit resultiert aus der Endlichkeit eines jeglichen Rohstoffs, die bei einem einzelnen Rohstoff akuter sein kann als bei anderen. Befürchtungen über die baldige Erschöpfung der weltweiten Erdölvorräte sind das wohl populärste Beispiel.

Im Gegensatz dazu werden mit dem Begriff **relative Knappheit** vorübergehende Engpasssituationen beschrieben, bei denen ein Rohstoff zwar im Prinzip in ausreichender Menge vorhanden ist, das heißt eine absolute Knappheit nicht spürbar ist, aber die Nachfrage danach etwa wegen fehlender Kapazitäten auf der Angebotsseite kurz- bzw. mittelfristig nicht in erforderlichem Maße bedient werden kann. Eine dritte Dimension des Begriffs Knappheit zielt auf die Zuverlässigkeit ab, mit der die Versorgung mit Rohstoffen gewährleistet ist. Diese Dimension umfasst mitunter Lieferunterbrechungen aufgrund der Schadhaftigkeit oder eines Mangels an Transportinfrastruktur. Diese Dimension von Knappheit hat im Kern nichts mit der Knappheit von Rohstoffen im ressourcenökonomischen Sinne zu tun und ist daher nicht Gegenstand dieser Studie.

Unter relativer Knappheit eines Rohstoffs wird ein vorübergehendes Defizit am Angebot eines Rohstoffs verstanden

Um potentielle absolute Knappheiten zu erkennen, werden in dieser Studie die auf den Reserven basierenden **Statischen Reichweiten** sowie die **Ressourcenreichweiten** berechnet und tabelliert. Es wird ausführlich begründet, warum die Statische Reichweite als Früherkennungsindikator für eine absolute Knappheit an Rohstoffen ungeeignet ist. Dies ist der wesentliche Grund dafür, dass die Vorhersagen vieler pessimistischer Studien, die in der Vergangenheit eine baldige Erschöpfung der Vorkommen vieler Rohstoffe auf Basis der Statischen Reichweite vorhergesagt haben, letztlich nicht eingetroffen sind. Das wohl bekannteste Beispiel stellt der Bericht des **Club of Rome** zur Lage der Menschheit dar, der 1972 unter dem Titel „**Die Grenzen des Wachstums**“ herausgegeben wurde (Meadows et al. 1972).

Die entscheidenden Faktoren, warum die Reserven vieler Rohstoffe nicht in erheblichem Maße gesunken sind, geschwei-

ge denn, dass die Vorkommen an Rohstoffen vollständig erschöpft sind, sind der **technologische Fortschritt** und **kontinuierliche Explorationsaktivitäten**. Diese haben tendenziell zu einer fortwährenden Ausweitung der Förderkapazitäten geführt. „Die neuen Grenzen des Wachstums“, welche 1992 erschienen sind, gestehen zwar den Irrtum des Vorgängerberichtes ein, sehen jedoch die neuen Grenzen in den Senken – gemeint ist die Deponierung von Schadstoffen –, nicht in den Rohstoffquellen (Meadows et al. 1992:113). Es ist bemerkenswert, dass die Autoren weiterhin aber die Rolle des technologischen Fortschritts und von Explorationsbemühungen unterschätzen.

Entscheidender Irrtum: Missachtung oder Unterschätzung des technologischen Fortschritts

Kapitel 2 befasst sich mit der **Stichhaltigkeit weiterer**, immer wieder geäußerter **Befürchtungen**, etwa der Sorge um die Endlichkeit der Rohstoffe und dass dies immer teurer werden. So nimmt der Bericht „Global 2000“ an den amerikanischen Präsidenten im Jahr 1980 unter dem Eindruck stark gestiegener Rohstoffpreise an, dass die *realen* Rohstoffpreise bis zum Jahr 2000 um jährlich 5 % steigen. Diese Prognose hat sich als falsch herausgestellt: Tatsächlich sind die realen Preise der in Global 2000 betrachteten Rohstoffe gefallen.

Die realen Preise der meisten Rohstoffe sind in der Vergangenheit gesunken

Ziel von **Kapitel 3** ist die **systematische Identifizierung von Rohstoffen**, die aus der Sicht Deutschlands gegenwärtig als kritisch einzustufen sind bzw. deren Import mit potentiellen Risiken für die Versorgung verbunden ist. Als **kritisch** werden dabei diejenigen **importierten Rohstoffe** angesehen, **deren Förderung sich (i) auf einige wenige Länder der Welt konzentriert, die darüber hinaus (ii) als politisch und wirtschaftlich instabil gelten**. Diese Kriterien bilden die Basis für die Auswahl an Rohstoffen, mit denen sich Teil II dieser Studie intensiv auseinandersetzt. Insbesondere wird die Wirkung des Technischen Wandels auf den Verbrauch dieser Rohstoffe untersucht.

Kapitel 4 belegt durch umfassende empirische Evidenz, dass Rohstoffe keineswegs immer teurer werden. Stattdessen sind die um die Inflation bereinigten, realen Preise der meisten Rohstoffe gefallen. Dennoch sind bei vielen Rohstoffen Phasen feststellbar, in denen die realen Preise über längere Zeiträume von bis zu einem Jahrzehnt und mehr vorübergehend angestiegen sind. Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, inwieweit es möglich ist, die **zukünftigen Preise** von Rohstoffen zu

prognostizieren. Anschließend werden für ausgewählte Rohstoffe die historischen Förder- bzw. Angebotstrends bis 2025 extrapoliert. Mit **Trendextrapolationen** kann abgeschätzt werden, wie sich das Rohstoffangebot zukünftig entwickeln könnte, wenn verschiedene Faktoren wie die Rohstoffnachfrage und der technologische Fortschritt das Rohstoffangebot so beeinflussen, wie dies bereits in der Vergangenheit geschehen ist.

Die **zukünftig geförderten Mengen** an Rohstoffen werden indessen ganz wesentlich durch **neue technologische Entwicklungen** und insbesondere durch **zukünftige Änderungen der Recyclingquoten** bestimmt. Deshalb können Trendextrapolationen den technologischen Fortschritt nur unzureichend berücksichtigen. Der Einfluss des Technischen Wandels auf die Nachfrage nach den zu fördernden Rohstoffmengen ist deshalb Inhalt des Kapitels 5 und des Anhangs C. In **Kapitel 5** wird die hierfür benutzte Methodik am Beispiel Tantal ausführlich erläutert.

Kapitel 6 liefert einen kurzen Abriss der Einschätzung der gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung der in Kapitel 3 ausgewählten Rohstoffe. **Kapitel 7** stellt bereits die wichtigsten Ergebnisse der Studie dar und schlägt entsprechende **Handlungs- und Politikempfehlungen** vor.

In **Teil II** werden die in Kapitel 6 knapp skizzierten Einschätzungen ausführlich begründet. Die in **Kapitel 8** dargestellten detaillierten Beschreibungen und Ergebnisse für die ausgewählten Rohstoffe dienen als Hinweise auf eine potentielle Vulnerabilität Deutschlands bezüglich dieser Rohstoffe. Im Zentrum von **Teil III (Kapitel 9)** steht die zukünftige Nachfrage Chinas nach einigen bedeutenden Rohstoffen wie Eisenerz, Kupfer oder Aluminium und die Rohstoffpolitik der bilateralen Beziehungen Chinas zu ressourcenreichen Ländern, die von den Industrieländern derzeit gemieden werden.

1 Das globale Angebot an Rohstoffressourcen

Ziel dieses Abschnittes ist, zu ermitteln, ob sich aus geologischer Sicht für einige Rohstoffe bereits heute eine absolute Knappheit abzeichnet, das heißt eine Erschöpfung ihrer Vorkommen erkennbar ist. Dazu werden die weltweit verfügbaren Reserven und Ressourcen der wirtschaftlich bedeutendsten Rohstoffe den globalen Fördermengen gegenübergestellt.

Ressourcen sind diejenigen Mengen eines Rohstoffs, die zwar nachgewiesen sind, deren Extraktion jedoch gegenwärtig wirtschaftlich oder technologisch noch nicht angezeigt oder möglich sein muss. Die Reserven bilden jene Teilmenge der Ressourcen, die gegenwärtig bereits wirtschaftlich gewinnbar ist. Sowohl die Ressourcen wie auch die Reserven eines bestimmten Rohstoffs stellen einen geringen Teil der gesamten, fix vorgegebenen Ausstattung („resource endowment“) der Erdkruste mit diesem Rohstoff dar (Endres, Querner 2000:7).

Reserven und Ressourcen sind im Gegensatz zur Ausstattung der Erdkruste mit Rohstoffen nicht fix

Das Verhältnis von Reserven bzw. Ressourcen und der jährlichen Fördermenge wird als Reichweite bezeichnet und sehr häufig dazu benutzt, um abzuschätzen, für wie viele Jahre ein bestimmter Rohstoff noch vorhanden sein wird (Endres, Querner 2000:10). Je geringer die Reichweite, desto dringender erscheint die Notwendigkeit von Investitionen in die Rohstoffexploration.

1.1 Die Statische Reichweite

Die so genannte **Statische Reichweite**, die hier in Abgrenzung zur Ressourcenreichweite auch als Reservenreichweite bezeichnet wird, stellt das **Verhältnis der derzeitigen Reserven eines Rohstoffes und seiner jährlichen Fördermenge** dar (BGR 2003:94). Diese Reichweite wird fälschlicherweise vielfach als Indikator für die absolute Knappheit eines Rohstoffs verwendet, auch deshalb weil er sich durch leichte Berechen- und Vergleichbarkeit auszeichnet. Allerdings ist die Statische Reichweite keineswegs zukunftsorientiert, wie es von einem aussagefähigen Verfügbarkeits- bzw. Knappheitsindikator gemeinhin verlangt wird (Endres, Querner 2000:9). Ein zukunftsorientierter Knappheitsindikator sollte nicht nur anzeigen, wie sich die gegenwärtige Verbrauchs- und

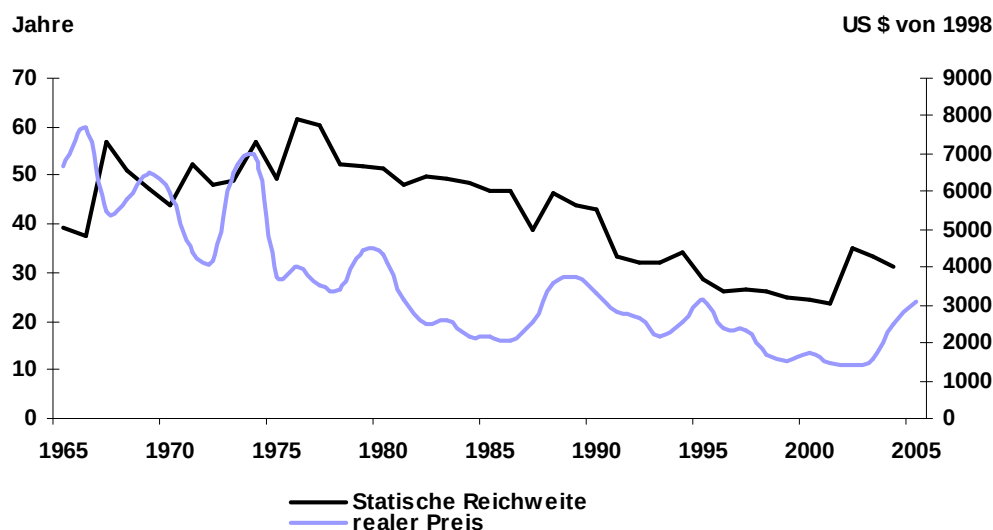
Statische Reichweite: Verhältnis der Reserven zur aktuellen Fördermenge

Reservensituation gestaltet, sondern auch wie drängend das Ressourcenproblem in Zukunft sein wird.

Bei vielen Rohstoffen ist die Statische Reichweite über Jahrzehnte hinweg jedoch kaum gefallen oder mitunter sogar gestiegen. So hat sich die Statische Reichweite für Erdöl seit 1950 mehr als verdoppelt und ist von rund 20 auf über 40 Jahre gestiegen (BGR 2003:96). Auch bei Erdgas liegt der derzeitige Wert dieses Indikators mit rund 70 Jahren deutlich über dem Wert von 1950 (BGR 2003:96). Die Abbildung 1.1 zeigt, dass auch bei Kupfer die Statische Reichweite mit 32 Jahren gegenwärtig noch ähnlich hoch ist wie 1965. Auch die von Meadows et al. (1972:46-49) bezifferten Statischen Reichweiten von Aluminium (100 Jahre), Kobalt (110 Jahre), Gold (11 Jahre), Zinn (17 Jahre) und Platin-Metalle (130 Jahre) lagen damals niedriger als heute, wie dem nächsten Abschnitt zu entnehmen ist. Offenbar zeigt der Indikator Statische Reichweite häufig eine Verknappung an, obwohl diese nicht gegeben ist.

Die Statischen Reichweiten vieler Rohstoffe sind angestiegen anstatt gefallen

Abbildung 1.1: Statische Reichweite und realer Kupferpreis pro t (BGR 2005)



Dies beruht darauf, dass dieser Indikator weniger ein Maß für die absolute Knappheit eines Rohstoffs, sondern vielmehr ein Signalanzeiger für die Notwendigkeit zur Wiederaufnahme oder Verstärkung von Explorationstätigkeiten ist. Ein wesentlicher Grund dafür, dass die **Statische Reichweite** die absolute Knappheit eines Rohstoffs **nicht adäquat** reflektiert, liegt darin, dass diese Größe auf Basis der Reserven berechnet wird, das heißt denjenigen Vorkommen, die bei den gegenwärtigen Preisen wirtschaft-

Statische Reichweiten sagen nichts über den Erschöpfungszeitpunkt eines Rohstoffs aus (BGR 2004:10)

lich gewinnbar sind. **Mit steigenden Preisen**, die sich infolge von Knappheiten ergeben, **nimmt der Umfang der Reserven allerdings zu**. Denn: Bei höheren Preisen wird ein Teil der zuvor nicht wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen für einen Abbau attraktiv, das heißt ein weiterer Teil der Ressourcen wird somit zu Reserven.

Ein über Jahre anhaltendes höheres Preisniveau sorgt zudem für verstärkte Explorationstätigkeiten, die sowohl zur Vergrößerung des Umfangs der Reserven als auch der Ressourcen beitragen. Diese Aktivitäten sind in der Regel sehr kapitalintensiv und werden daher erst durch gute Erfolgsaussichten infolge hoher Preise ausgelöst. Höhere Preise sorgen jedoch nicht nur für eine Zunahme der Reserven, sondern dämpfen gleichzeitig den Verbrauch. In drastischen Fällen, wie bei den Ölpreiskrisen der siebziger Jahre, kann dies sogar zu einem deutlichen Verbrauchsrückgang führen, in dessen Folge sich die Produktion verringert.

Somit steigt die Statische Reichweite in Folge von drastischen Preiserhöhungen für einen Rohstoff aus zwei Gründen an: (1) Der Umfang der Reserven (R) erhöht sich, (2) die Produktion (P) sinkt infolge einer zurückgehenden Nachfrage. Beide Konsequenzen **starker Preisanstiege sorgen für eine Erhöhung der Statischen Reichweite**, welche im Englischen auch „reserves-to-production (R/P) ratio“ genannt wird:

$$\text{Statische Reichweite} = \text{R/P ratio} := \text{R/P.}$$

Den starken Ölpreisanstiegen der vergangenen Jahre ist es insbesondere zu verdanken, dass sich die Weltölreserven seit 2000 um 25 % erhöht und seit 1980 mehr als verdoppelt haben (Schult-Borneman 2005:215). Mit 175,4 Mrd. t im Jahr 2005 reichen die Reserven bei der derzeitigen Förderung nach Berechnungen des Oil & Gas Journal rund 45 Jahre (EID 2006:8). Demnach hat die Statische Reichweite von Erdöl historisch gesehen einen ihrer höchsten Werte erreicht. Fälschlicherweise könnte die Statische Reichweite so den Eindruck vermitteln, Erdöl sei weniger knapp geworden. Hohe Statische Reichweiten können somit die tatsächliche Knappheitssituation unterzeichnen.

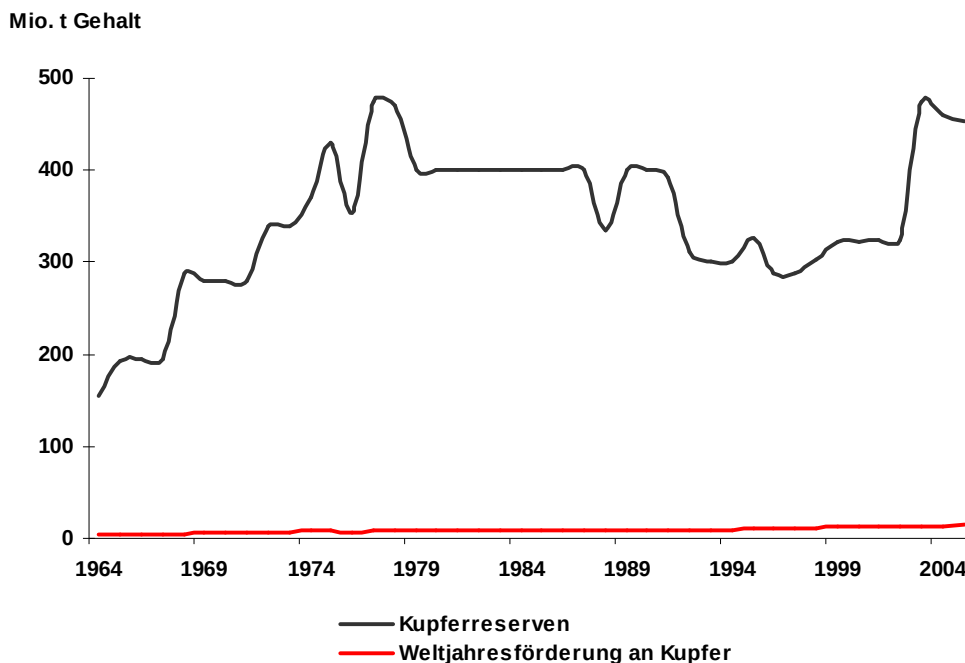
Umgekehrt überzeichnen geringe Statische Reichweiten häufig die tatsächliche Knappheit eines Rohstoffes. Denn: Neben den Folgen von über längere Zeiträume persistent hohen Preisen,

Hohe Preise sind
das beste Mittel
gegen dauerhaft
hohe Preise

Statische Reich-
weiten über-
zeichnen die
Knappheit von
Rohstoffen

zu denen auch der dadurch forcierte technologische Fortschritt bei den Fördermethoden und – technologien gehört, missachtet der Indikator „Statische Reichweite“ Explorationsaktivitäten sowie den autonomen, nicht von Preisen getriebenen technologischen Fortschritt. **Der technologische Fortschritt ist aber ein entscheidender Grund dafür, dass die Reserven vieler Rohstoffe im Laufe der Zeit tendenziell zu- anstatt abgenommen haben**, obwohl deren Verbrauch beständig angestiegen ist, so wie dies etwa beim Kupfer der Fall ist (Abbildung 1.2). Beispielsweise werden durch neue Explorationskonzepte sogar in alten Lagerstätten immer wieder neue Reserven entdeckt (Wellmer 1998:669). Technologischer Fortschritt begünstigt zudem das **Recycling** eines Rohstoffs, mit dessen Hilfe die Reserven bzw. das Angebot an einem Rohstoff ebenfalls erheblich erweitert werden können. Ein Beispiel dafür ist das Altglasrecycling, das 1974 lediglich einen Anteil von 6,5 % an der jährlichen Glasproduktion hatte, während der Anteil 1997 fast 80 % betrug (Wellmer 1998:673).

Abbildung 1.2: Reserven und weltweite jährliche Förderung an Kupfer (BGR 2005)



Darüber hinaus begünstigt der technologische Fortschritt nicht nur die Ausweitung des Angebots an wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffvorkommen, sondern beeinflusst in vielfältiger Weise auch die Nachfrage nach Rohstoffen. So kann die **Substitution**

eines Rohstoffes im Falle eines eklatanten Versorgungsengpasses einen entscheidenden Ausweg darstellen. Beispielsweise führte die 1978 in Folge einer politischen Krise auftretende Kobaltknappheit und die daraus resultierenden Preissteigerungen zu neuen technologischen Entwicklungen wie Ferriten, die Kobalt in Permanentmagneten ersetzen (Wellmer 1998:673). Nicht zuletzt aber verhelfen sowohl der technologische Fortschritt als auch die Bemühungen der Unternehmen um Kosteneinsparungen zu einem **spar-sameren Umgang mit Rohstoffen**. So ist etwa ein Sinken des spezifischen Zinnbedarfs der Weißblechindustrie oder des spezifischen Stahlverbrauchs in der Automobilindustrie festzustellen (Meadows et al. 1992:113).

Summa summarum üben sowohl deutliche Anstiege beim Preis eines Rohstoffs als auch der dadurch induzierte, sowie der autonome technologische Fortschritt einen die Nachfrage dämpfenden oder sogar senkenden Einfluss aus, indem dadurch Recycling, Substitution und ein effizienterer Umgang mit diesem Rohstoff forciert oder gar erst ermöglicht werden. Andererseits sorgen Preise und technologischer Fortschritt dafür, dass das Angebot an einem Rohstoff in Form von Reserven sowie durch verstärktes Recycling tendenziell zunimmt. Beide Faktoren, Preisanstiege und technologischer Fortschritt, können somit für eine Erhöhung der Statischen Reichweite sorgen. Insbesondere der technologische Fortschritt bei der Exploration und Förderung von Rohstoffen hat in der Vergangenheit entscheidend dazu beigetragen, dass die Reserven und damit die Statische Reichweite bei vielen Rohstoffen wie etwa bei Erdöl, Erdgas und Kupfer mit der Zeit sogar zu- anstatt abgenommen haben. So konnte die Offshoreförderung von Erdöl in der Nordsee von 75 auf 400 Meter Wassertiefe gesteigert werden, im Golf von Mexiko ist mittlerweile die Ölförderung in mehr als 1 400 Meter Wassertiefe üblich (Schult-Bornemann 2005:213).

Alternativen zur
Förderung eines
Rohstoffs: Recyc-
ling, Substitution,
und effizienterer
Einsatz

All dies zeigt, dass der Indikator **Statische Reichweite als Frühwarnindikator für die absolute Verknappung eines Rohstoffes ungeeignet** ist. Den wesentlichen Grund dafür bilden die durch Preissignale gesetzten ökonomischen Anreize, die zu einer Verbesserung der Reserven- wie auch der Fördersituation führen und somit der oft befürchteten kontinuierlichen Verringerung der Reserven einerseits und der zunehmenden Verschlechterung der Förderbedingungen andererseits entgegenwirken.

Die Statische Reichweite vermittelt lediglich eine Momentaufnahme, die – vergleichbar dem Lagerhaltungssystem eines Produktionsbetriebes – Rückschlüsse darauf zulässt, wie lange der aktuelle Reservenbestand eines Rohstoffs beim gegenwärtigen Verbrauch noch reichen würde, bevor der Bestand wieder ergänzt werden muss. Und die Rohstoffreserven können wie die Lagerbestände eines Automobilbauers oder der Tank eines Autos wieder „aufgefüllt“ werden, denn diese sind per definitionem abhängig von den jeweiligen ökonomischen Randbedingungen.

Statische Reichweiten erfüllen ähnliche Funktionen wie Tankanzeigen in Autos: Ein niedriger Stand zeigt an, wann es wieder Zeit ist, aufzutanken

1.2 Ressourcenreichweiten bedeutender Rohstoffe

In dieser Studie werden zur Berechnung der Reichweite statt der Reserven die Ressourcen zugrunde gelegt. Die Reserven stellen nur einen Teil der Ressourcen dar, so dass die Ressourcenreichweite grundsätzlich über der Reservenreichweite liegt. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Typen von Reichweiten sind erheblich, wie beispielsweise bei den Basismetallrohstoffen festgestellt werden kann (Tabelle 1.1). Eine eventuelle, durch vergleichsweise geringe Reservenreichweiten von 23 Jahren für Zink und Zinn ausgelöste Besorgnis wird durch die weitaus höheren Ressourcenreichweiten von 198 Jahren für Zink und mehr als 42 Jahre für Zinn sicherlich gelindert.

Bewertung der Rohstoffknappheit mit Hilfe von Ressourcenreichweiten

Tabelle 1.1: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Basismetallrohstoffen 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in Mio. t	in Mio. t		Reserven	Ressourcen
Bauxit	159,0	25 000	>55 000	157	>346
Blei	3,15	67	>1.500	21	>476
Eisenerz	1 340,0	160 000	>800 000	119	>597
Kupfer	14,6	470	>2 300	32	>158
Nickel	1,4	62	140	44	100
Zink	9,4	220	1 900	23	202
Zinn	0,26	6,1	>11	23	>42

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Zink und Zinn sind lediglich zwei Beispiele dafür, dass die Ressourcenreichweite als Indikator tatsächlicher Verknappungstendenzen

viel geeigneter erscheint als die Statische Reichweite. **Daher wird die Frage nach einer potentiellen absoluten Knappheit eines Rohstoffs in diesem Abschnitt mit Hilfe der Ressourcenreichweite beantwortet.** Die hohen Ressourcenreichweiten von Bauxit und Eisenerz, welche für die Aluminium- bzw. Stahlerzeugung von entscheidender Bedeutung sind, reflektieren, dass beide Rohstoffe im Überfluss in der Erdkruste zu finden sind. Dies wird in den „neuen Grenzen des Wachstums“ von Meadows et al. (1992:114) bestätigt: „Von der Quelle her gesehen kann man sie praktisch als unerschöpflich bezeichnen“.

Nicht nur bei den Basismetallrohstoffen, sondern auch bei den zur Stahlveredelung benutzten Rohstoffen, welche in Tabelle 1.2 aufgeführt sind, deuten die langen Ressourcenreichweiten von zum Teil weit über 100 Jahren auf eine hohe physische Verfügbarkeit hin. Tatsächlich sind die Ressourcen einiger dieser Rohstoffe um ein Vielfaches höher als die Reserven, bei Mangan beispielsweise um mehr als den Faktor 13.

Umfangreiche
Ressourcen an
Basismetallen
und Rohstoffen
zur Stahlveredelung

Tabelle 1.2: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von „Stahlveredlern“ 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in 1 000 t	in 1 000 t		Reserven	Ressourcen
Chrom	17 460,0	810 000	12 000 000	46	687
Kobalt	52,4	7 000	15 000	134	286
Mangan	9 350,0	380 000	>5 100 000	41	>545
Molybdän	141,0	8 600	18 400	61	130
Nickel	1 400,0	62 000	>140 000	44	>100
Niob	34,0	4 400	5 200	129	153
Tantal	1,5	43	>150	28	>99
Titan	5 000,0	650 000	2 000 000	130	400
Vanadium	51,3	13 000	>63 000	323	>1 229
Wolfram	73,7	2 900	>6 200	39	>84

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Für einige andere dieser metallischen Rohstoffe scheinen selbst die durch die Reservenreichweiten reflektierten Momentaufnahmen beruhigende Signale auszusenden. So liegen die Statischen Reichweiten von Kobalt, Niob, Titan und Vanadium deutlich über 100 Jahren. Bis auf Tantal und Mangan liegen die Statischen

Reichweiten der übrigen „Stahlveredler“ im Bereich der Reichweite des Erdöls oder sogar darüber.

Während die Reichweiten des Edelmetalls Platin auf keinerlei Engpässe hindeuten, sind die Ressourcenreichweiten von Gold und Silber mit rund 37 bzw. 29 Jahren vergleichsweise kurz (Tabelle 1.3). Dies ist bei Gold jedoch kein Grund zur Besorgnis, da dieses Edelmetall wegen seines hohen spezifischen Wertes in der Geschichte der Menschheit schon immer als Wertaufbewahrungsmittel benutzt wurde und daher davon auszugehen ist, dass von den bislang geförderten Mengen sehr wenig verloren gegangen ist. Beispielsweise horten Zentralbanken mit 33 000 t enorme Mengen an Gold zur Währungsabsicherung. Ebenso wie Platin wird Gold häufig als Krisenwährung bezeichnet.

Daneben hat Gold große Bedeutung durch seine Verwendung für Kunstgegenstände, Schmuck und Münzen. Nicht nur in diesen Formen fungiert Gold als Geldanlage. In der industriellen Produktion findet Gold hingegen nur geringe Verwendung. So beläuft sich in den USA der Einsatz von Gold in elektronischen Geräten auf lediglich 4 % und in der Zahntechnik auf 3 % (USGS 2005a:72-73).

Tabelle 1.3: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Edelmetallen 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in t	in t		Reserven	Ressourcen
Gold	2 430	42 000	>90 000	17	>37
Platinmetalle	402	71 000	100 000	177	249
Silber	19 700	270 000	>570 000	14	>29

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Silber wird in weitaus stärkerem Maße als Gold in der industriellen Produktion verwendet, beispielsweise in der Foto-, Elektro- und Zahntechnik (USGS 2005a:150-1). Der wirtschaftliche Anreiz, der vom vergleichsweise hohen spezifischen Wert des Silbers ausgeht, macht das Recycling von Silber sehr attraktiv. So wird von der deutschen Firma Remondis immer mehr Silber zurückgewonnen. Die jährliche Ausbeute von etwa 150 t macht gegenwärtig nahezu 1 % der weltweiten Förderung an Silber aus (USGS 2006:153).

Bis auf Antimon weisen auch die in Tabelle 1.4 aufgelisteten Legierungsmetalle sehr lange Ressourcenreichweiten von weit über 200 Jahren auf. Antimon findet hauptsächlich als Flammschutzmittel, aber auch in Fernseh- und Computerbildschirmröhren sowie als Antimon-Blei-Legierung in Autobatterien Verwendung (Butterman, Carlin 2004:4). Als Flammschutzmittel steht es in Konkurrenz mit mindestens acht Substituten. Zudem gibt es viele Legierungen, die antimonhaltige Legierungen ersetzen können (Butterman, Carlin 2004:23).

Antimon: Kurze
Reichweiten und
starke Konzentration
auf China

Die Bergwerksproduktion von Antimon ist stark auf China konzentriert, das mit einem Anteil von 85 % den Markt dominiert (Butterman, Carlin 2004:4). Die bis 2000 abgeschlossene Auflösung der strategischen Reserven an Antimon, die in den sechziger Jahren von der US-Regierung aus Verteidigungszwecken bis zu einer Höhe von 50 000 t gehalten wurden (Butterman, Carlin 2004:31), ist indessen ein Anzeichen dafür, dass das Risiko möglicher Versorgungsengpässe oder aber die strategische Bedeutung von Antimon gegenwärtig als sehr gering eingeschätzt wird. Aus Umweltschutzgründen könnte der Einsatz metallischen Antimons in Legierungen mit Blei sogar gesetzlich eingeschränkt werden.

Tabelle 1.4: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Legierungsmetallen 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in 1 000 t	in 1 000 t		Reserven	Ressourcen
Antimon	113,0	1 800	>3 900	16	35
Arsen	49,5	750	11 000	15	222
Beryllium	0,1	k.A.	80	k.A.	702
Magnesium	4 270,0	2 200 000	3 600 000	515	843
Tellur	0,1	21	>47	210	470

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Das bislang bis auf wenige Ausnahmen feststellbare Bild umfangreicher Ressourcen an Rohstoffen lässt sich für die Elektronikmetalle Indium und Germanium nicht zeichnen (Tabelle 1.5). Im Fall von Germanium ist dies weniger auf einen tatsächlichen Mangel an Vorkommen zurückzuführen, sondern nicht zuletzt das Resultat einer mangelhaften statistischen Datengrundlage. Auch bei Indium

Germanium und
Indium: Kurze
Reserven- und
Ressourcen-
reichweiten

gibt es nicht erfasste Ressourcen, die nach Schätzungen der BGR noch weit in die Zukunft reichen.

Germanium war der erste Halbleiter, der in Transistoren verwendet wurde, allerdings wurde es im Laufe der Zeit durch Silizium ersetzt. Inzwischen gewinnt Germanium in der Mikroelektronik wieder zunehmende Bedeutung, etwa in Form von Germanium-Silizium-Transistoren (Butterman, Jorgenson 2005:16). Wie sich in Kapitel 3 herausstellen wird, zählt Germanium wegen der Konzentration der Vorkommen auf wenige instabile Länder zu den für Deutschland potentiell kritischen Rohstoffen.

Für Indium, für das in Zukunft von einer stark wachsenden Nachfrage ausgegangen wird (Wilson 2005), trifft dies hingegen nicht zu. Eine der Hauptursachen für das erwartete Nachfragewachstum ist der Einsatz von Indium in Flüssigkristalldisplays (LCD), die beispielsweise in Mobiltelefonen Verwendung finden. Deshalb sind seit 2003 stark steigende Preise zu beobachten. Im Jahr 2004 stieg der Preis für ein Kilo von 200 auf 1 000 US \$. Davor sind die Preise in Folge eines starken Anstiegs des Recyclings gefallen. Trotz einer zu erwartenden weiteren Steigerung des Recyclings wird wegen einer erheblich steigenden Nachfrage für die nächsten Jahre von einem Angebotsdefizit ausgegangen (Wilson 2005).

Derart kurze Reserven- und Ressourcenreichweiten wie bei Germanium und Indium bilden allerdings die große Ausnahme. Die Ressourcenreichweiten der sonstigen Metalle und der Industriemineralien, die in den beiden folgenden Tabellen aufgelistet sind, deuten auf keine gravierenden Engpässe bei den Vorräten hin.

Tabelle 1.5: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Elektronikmetallen 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in t	in t		Reserven	Ressourcen
Cadmium	18 800	600 000	6 000 000	32	319
Gallium	63	k.A.	1 000 000	k.A.	15 873
Germanium	87	450	>500	5	>6
Indium	405	2 800	>6 000	7	>15
Tantal	1 510	43 000	150 000	38	99

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Summa summarum kann festgehalten werden, dass sich gemessen an der Ressourcenreichweite eine potentielle absolute Knappheit nur bei einigen wenigen der hier betrachteten Rohstoffe andeutet. Eine ähnliche Schlussfolgerung ist auch im Jahresbericht 2005 des Gesamtverbands des deutschen Steinkohlebergbaus (2005:36) zu finden: „Gemessen an den globalen Reserven- und Ressourcenzahlen sind die meisten Industrierohstoffe ... in ausreichender Menge verfügbar“. Matthes und Ziesing (2005:42) kommen für die hier aufgeführten Rohstoffe zu einem entsprechenden Ergebnis: „Insgesamt ist jedoch für keinen der beschriebenen Rohstoffe eine physische Knappheit aus Sicht der Reserven- und Ressourcenverfügbarkeit absehbar“.

Tabelle 1.6: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten sonstiger Metalle 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in 1 000 t	in 1 000 t		Reserven	Ressourcen
Cäsium	<1	70	>110	>70	>110
Lithium	20,2	4 100	>13 760	203	681
Quecksilber	1,34	120	600	90	448
Rhenium	0,04	2,4	11	60	275
Seltene Erden	102,0	88 000	>150 000	863	1 471
Strontium	551,0	6 800	1 000 000	12	1 815
Thallium	0,01	0,38	647	32	64 700
Thorium	<1	1 200	>2 500	>1 200	>2 500
Wismut	5,1	330	>680	65	133

Quelle: USGS (2006), USGS (2005), BGR (2005)

Nach der in diesem Kapitel dargestellten empirischen Evidenz kann man sich diesem Fazit anschließen, auch weil berücksichtigt werden muss, dass die Menge an Ressourcen ebenso wie jene der Reserven nicht unveränderbar vorgegeben ist, sondern sich in Folge von Explorationserfolgen unversehens vergrößern kann. Es ist zwar naturgemäß unsicher, ob diese erzielt werden können. Allerdings steigt die Wahrscheinlichkeit für Erfolge mit den Explorationsbemühungen an und diese wiederum mit der Intensität der relativen Knappheit, die sich in entsprechend hohen Preisen niederschlägt.

Mit wenigen Ausnahmen lange Ressourcenreichweiten

Daneben sagt die Ressourcenreichweite nichts darüber aus, inwieweit ein Rohstoff in Zukunft überhaupt relevant ist. So können Knappheitssituationen, Umwelt- und Gesundheitsbedenken oder technologischer Fortschritt dazu führen, dass ein Rohstoff teilweise oder sogar vollkommen substituiert wird. Asbest, einer der ehemals wichtigsten Industrierohstoffe, ist ein bekanntes Beispiel. Aus Gesundheitsgründen ist Asbest seit 1993 in Deutschland und seit 2005 in der EU verboten.

Tabelle 1.7: Förderung, Reserven und Ressourcen von Industriemineralen 2004

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in 1 000 t	in 1 000 t		Reserven	Ressourcen
Baryt	7 240	200 000	2 000 000	28	276
Bentonit	10 500	umfangreich	extrem groß	lang	sehr lang
Feldspat	11 100	k.A.	umfangreich	lang	sehr lang
Flussspat	5 060	230 000	480 000	45	95
Graphit	985	86 000	>800 000	88	>812
Kalisalz	28 900	8 300 000	250 000 000	287	8 651
Kieselgur	1 930	920 000	umfangreich	477	sehr lang
Magnesit	14 500	2 200 000	>12 000 000	152	>828
Perlit	1 950	700 000	7 700 000	359	3 949
Phosphat	141 000	18 000 000	50 000 000	128	355
Steinsalz	208 000	groß	unbegrenzt	lang	unendlich
Schwefel	64 100	k.A.	unbegrenzt	lang	unendlich
Talk	8 320	groß	groß	lang	lang
Vermikulit	510	>39 000	>180 000	76	353
Zirkon	850	38 000	>60 000	45	71

Quelle: USGS (2005a), USGS (2005), BGR (2005)

Die Endlichkeit eines Rohstoffes spielt wegen der Möglichkeit der Substitution, aber auch des Recyclings oftmals eine viel geringere Rolle als gemeinhin befürchtet wird. Dennoch geben gerade diese Befürchtungen immer wieder Anlass zu Diskussionen über die Versorgung mit Rohstoffen. Daher beschäftigt sich das nächste Kapitel mit dem Gehalt solcher und anderer Befürchtungen, etwa der immer weiter abnehmenden Erzkonzentration in Lagerstätten oder immer weiter ansteigender Preise für Rohstoffe.

2 Die Endlichkeit des Rohstoffangebots

Befürchtungen über zur Neige gehende Rohstoffvorräte wurden nicht erst im Bestseller von Meadows et al. (1972), „Die Grenzen des Wachstums“, geäußert, sondern bereits wesentlich früher. So zeigte sich Jevons (1865) in seiner Monographie „The Coal Question: Can Britain Survive?“ besorgt über das Ausreichen der britischen Vorräte an Kohle, welcher eine entscheidende Rolle im Zeitalter der Industrialisierung zukam. Bereits vor Meadows et al. (1972) stellte der erste Jahresbericht des US-amerikanischen Rates für Umweltqualität 1970 fest: Die gegenwärtigen Vorräte an Platin, Gold, Zink und Blei erscheinen nicht mehr ausreichend, um die Nachfrage zu befriedigen. Bei der gegenwärtigen Expansionsrate können Silber, Zink und Uran selbst bei sehr hohen Preisen noch in diesem Jahrhundert knapp werden (Meadows et al. 1972:45).

Das Ende der Rohstoffvorräte ist eine seit Jahrhunderten währende Sorge

2.1 Die Grenzen des Wachstums

Meadows et al. (1972:54) befanden, dass bei „der gegenwärtigen Verbrauchssteigerung [...] die Rohstoffvorräte für Aluminium nur noch 31 Jahre“ reichen würden. Dementsprechend wären die Aluminiumvorräte bereits 2003 erschöpft gewesen. Die Aussagen von Meadows et al. (1972) beruhen auf dem Begriff der Statischen Reichweite, an welchem die Autoren allerdings kritisierten, dass dabei ein konstanter Verbrauch unterstellt würde. Dies träfe jedoch in Wirklichkeit nicht zu. Stattdessen wäre bei vielen Rohstoffen ein exponentieller Verbrauchsanstieg festzustellen.

Club of Rome, 1972: Mögliche Erschöpfung der Reserven an Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Gold und Silber im 21. Jahrhundert.

Daher modifizierten Meadows et al. (1972) die Berechnung der Statischen Reichweite, indem sie die Reserven anstatt durch die damaligen Produktionsmengen durch eine als exponentiell ansteigend angenommene Fördermenge dividierten. Auf diese Art und Weise ermittelten Meadows et al. (1972:46-49) nicht nur Reichweiten für Aluminium, sondern für viele andere Rohstoffe. Für Wolfram wurde beispielsweise eine Reichweite von 28 Jahren errechnet, für Kupfer und Blei eine Reichweite von 21 Jahren. Die Reichweiten für Zink und Zinn wurden auf 18 bzw. 15 Jahre beziffert, für Silber und Quecksilber auf 13 Jahre und für Gold auf 9 Jahre.

Tatsächlich sind diese Rohstoffe heute noch immer verfügbar - ebenso wie Erdgas und Erdöl, für die Meadows et al. (1972:46-49) Reichweiten von 22 und 20 Jahren berechneten. Offenbar markieren Statische Reichweiten nicht das Ende von Rohstoffvorräten. Der entscheidende Fehler bei den Berechnungen Meadows et al. (1972) liegt in der Annahme begründet, dass die Reserven mit der exponentiellen Zunahme des Rohstoffverbrauchs immer weiter sinken würden.

Sämtliche Rohstoffe sind auch im 21. Jahrhundert noch verfügbar.

Mag die Annahme eines exponentiellen Verbrauchsanstieges als gerechtfertigt erscheinen, so zeigen die im vorigen Kapitel aufgeführten Beispiele von Erdöl, Erdgas und Kupfer, dass die Reserven eines Rohstoffs keineswegs immer mit den Verbrauchsmengen abnehmen, sondern im Gegenteil sogar zunehmen können. Dies trifft auch auf viele der in der folgenden Tabelle 2.1 aufgeführten Basismetallrohstoffe zu. So liegen die Reserven an Zink gegenwärtig bei 220 anstatt bei 123 Mio. t, wie von Meadows et al. (1972:46-49) angegeben wurde, die Zinnreserven betragen heute rund 6,10 anstatt 4,35 Mio. t und die Kupferreserven hatten 2004 einen Umfang von 470 anstatt der 308 Mio. t im Jahr 1972.

Tabelle 2.1: Reserven in Mio. t zu Zeiten Meadows et al. (1972) und 2004

	1972	2004		1972	2004
Bauxit	1 170	23 000	Chrom	775	810
Blei	91	67	Kobalt	2,18	7,00
Eisenerz	100 000	80 000	Mangan	800	380
Kupfer	308	470	Molybdän	4,95	8,60
Zink	123	220	Nickel	66,5	62,0
Zinn	4,35	6,10	Wolfram	1,32	2,90

Quelle: USGS (2005a), Meadows et al. (1972)

Auch die Chrom-, Kobalt-, Molybdän- und Wolframreserven haben zugenommen, wohingegen die Blei-, Nickel-, Eisenerz- und vor allem die Manganreserven seit 1972 geringer geworden sind. Schließlich sind auch die Reserven der Edelmetalle Gold und Silber sowie der Platinmetalle seit 1972 erheblich angestiegen. Wiesen Meadows et al. (1972:46-49) noch 11 000 t an Goldreserven, 170 000 t an Silber- und 13 300 t an Platinmetallreserven aus,

lagen diese 2004 bei 42 000 t, 270 000 t und 71 000 t (USGS 2005a).

Der Anstieg vieler Rohstoffreserven ist indessen nicht unbedingt höheren Preisen geschuldet, denn die realen Preise der Basismetallrohstoffe und einiger „Stahlveredler“ sind seit Anfang der siebziger Jahre gefallen oder zumindest auf etwa demselben Niveau geblieben, wie im Kapitel 4 dargestellt wird. Vielmehr muss der Anstieg der Reserven bei Basismetallrohstoffen auf andere Faktoren zurückgeführt werden, allen voran auf den technologischen Fortschritt, insbesondere bei der Exploration und Gewinnung der entsprechenden Erze.

Tatsächlich wurde gegen den ersten Bericht des *Club of Rome* eingewendet, dass „die Möglichkeiten der Wissenschaft und des technologischen Fortschritts nicht genügend berücksichtigt“ wurden (Meadows et al. 1972:166). Insbesondere wurde kritisiert, dass „die Möglichkeiten, Rohstoffe in heute noch ungenügend untersuchten Gebieten der Erde aufzufinden, größer [seien], als im Modell berücksichtigt“ (Meadows et al. 1972:167). Allerdings gibt es außer neuen Explorationserfolgen und immer besseren Methoden und Techniken zur Rohstoffgewinnung weitere Alternativen, um potentiellen Knappheiten zu begegnen. Diese beruhen ebenfalls ganz wesentlich auf technologischen Fortschritten.

Dazu zählen die effizientere Nutzung von Rohstoffen, die Substitution durch weniger knappe oder erneuerbare Rohstoffe sowie das Recycling von Rohstoffen (Wellmer 1998:663). Die Bedeutung des technologischen Fortschritts zur Linderung potentieller Knappheiten kann denn auch nicht oft genug betont und hoch genug eingeschätzt werden: „We must constantly remember that we create new mines and replenish the inventory of copper. The new „mines“ may be somewhat different from the old ones – recycled metal ..., for example, but the new sources may be better than worse“ (Simon 1996:43).

Selbst wenn nur ein kleiner Bruchteil des bislang produzierten Kupfers, welches theoretisch zu nahezu 100 % wieder verwertbar ist, mittels Recycling wieder gewonnen wird, wird ein beträchtlicher Teil der jährlichen Kupfernachfrage in Zukunft auf diesem Wege gedeckt werden können. Zunehmende Recyclingquoten beweisen, dass Recycling eine ökonomische Alternative zur Pri-

Der Anstieg der Reserven ist nicht auf die Preise, sondern auf den technologischen Fortschritt zurückzuführen

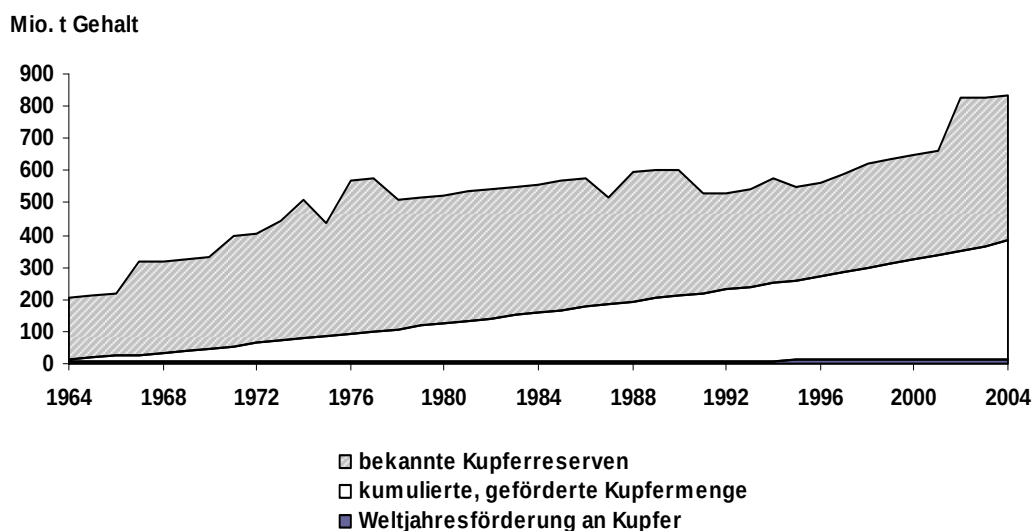
Technologischer Fortschritt trägt zur Linderung von Rohstoffknappheiten bei

Recycling: Alternative zur Primärgewinnung

märgewinnung sein kann. Bei Kupfer ist die Recyclingquote seit 1985 von etwa 35 % auf deutlich über 50 % angestiegen (BGR 2005).

Die Möglichkeit des Recyclings steht im Widerspruch zur Vorstellung, dass jedes Mal, wenn der Erde eine gewisse Menge an Kupfer entnommen wird, weniger für die Zukunft bleibt. Dies wird durch Abbildung 2.1 verdeutlicht. Es zeigt sich, dass erstens die Reserven an Kupfer nicht kleiner geworden sind und zweitens die **Summe aus den Reserven an Kupfer und den bislang geförderten Mengen, die als ursprüngliche Reserven** bezeichnet wird (BGR 2003:414), tendenziell zu- anstatt abgenommen hat.

Abbildung 2.1: Förderung, Reserven und bislang geförderte Menge an Kupfer (BGR 2005)



Sowohl das Recycling als sekundäre Rohstoffquelle als auch das vielfach festzustellende Wachstum der Reserven widerlegen die landläufige Vorstellung, dass mit der Förderung eines Rohstoffes dieser gleichsam verbraucht wird und somit von dessen Reserven bzw. Ressourcen etwas weggenommen wird. Kurzum: Es ist wenig zutreffend, wenn vielfach von noch *verbleibenden* Reserven bzw. Ressourcen gesprochen wird.

2.2 Die Endlichkeit von Rohstoffen

Dass die Reserven eines Rohstoffes immer weiter abnehmen, und damit die Statische Reichweite im Laufe der Zeit kürzer und kürzer wird, bis schließlich von den Reserven des Rohstoffes nichts mehr

vorhanden ist, ist eine in die Irre führende Vorstellung, der nicht nur Meadows et al. (1972) unterlagen. Vielmehr wird von dieser Vorstellung vielfach noch heute ausgegangen. So titelte die Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung am 8. Januar 2006: „In 42 Jahren ist alles vorbei“. Dieser Titel bezog sich auf Aussagen des Hamburger Weltwirtschaftsinstituts (HWWI), das die „reale“ Statische Reichweite für Erdöl mit 22 Jahren bezifferte, für Erdgas mit 42 Jahren. Die historische Entwicklung, die in den vorangehenden Abschnitten für eine Reihe von Rohstoffen inklusive Erdöl und Erdgas skizziert wurde, deutet allerdings darauf hin, dass diese Prognose nicht eintreffen wird – vor allem nicht Dank des technologischen Fortschrittes.

Dennoch verfehlen derartige Aussagen ihre Besorgnis erregende Wirkung ebenso wenig wie die **oftmalige Betonung der Tatsache, dass die gesamten Vorkommen an nicht-erneuerbaren Rohstoffen auf der Erde endlich sind**. Während diese Tatsache sicherlich nicht in Zweifel gezogen werden kann, stellt sich die Frage, ob sie tatsächlich von praktischer Relevanz ist. So ermittelte zum Beispiel Nordhaus (1974) auf Basis des gesamten Bleigehaltes der Erdkruste und der damaligen Jahresförderung eine Reichweite für Blei von 85 Mio. Jahren.

Die Kupfervorkommen, die 0,0068 % der Erdkruste ausmachen, würden theoretische für 83 Mio. Verbrauchsjahre reichen. Zink wäre mit einem Anteil an der Erdkruste von 0,0082 % theoretisch für 169 Mio. Verbrauchsjahre verfügbar (Hille 1995:279). Bei Eisen, das mit einem Anteil von 5,8 % sehr viel reichlicher in der Erdkruste vorhanden ist, würden die Erzvorkommen theoretisch sogar für mehr als 600 Mio. Verbrauchsjahre ausreichen.

Diese scheinbar beruhigenden Befunde dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Betrachtung der unveränderbar vorgegebenen Ausstattung der Erdkruste mit Rohstoffen (resource endowment) aus ressourcenökonomischer Sicht wenig sinnvoll ist. Tatsächlich wird der überwältigende Teil davon niemals wirtschaftlich gefördert werden können. Praktisch und ökonomisch relevant sind stattdessen die wesentlich weniger umfangreichen *ursprünglichen Reserven*, das heißt die *Summe* aus den gegenwärtigen Reserven und den bislang geförderten Mengen eines Rohstoffs. Diese Menge ist nicht fest vorgegeben, sondern wächst tendenziell an,

Endlichkeit der Rohstoffe ist nicht von praktischer Relevanz

Relevante Größe: Summe aus gegenwärtigen Reserven und bislang geförderter Mengen des Rohstoffs

wird aber immer sehr weit von jener Grenze entfernt bleiben, die durch die unveränderbar geologisch vorgegebenen Vorkommen an Rohstoffen auf der Erde besteht.

Der Gehalt an Rohstoffen wie Eisenerz, Kupfer, Zink oder Blei in der Erdkruste stellt somit zwar ein unverrückbares Datum dar. Dennoch bedeutet die Endlichkeit der Rohstoffausstattung in Praxis nicht die geringste Beschränkung, erst recht keine Grenze ökonomischen Wachstums: „Natural resources are not finite in any meaningful economic sense, ... but rather are expanding through human ingenuity“ (Simon 1996:24).

2.3 Werden Rohstoffe immer teurer?

Eine ebenso häufig geäußerte Befürchtung wie die Endlichkeit der Rohstoffausstattung der Erde stellt die Vorstellung immer weiter steigender Rohstoffpreise dar. Für die nominalen Preise trifft dies in vielen Fällen zu. Entscheidend sind jedoch nicht die nominalen Preise eines Produktionsfaktors wie Arbeit oder Rohstoffe, sondern die relativen Preise, das heißt die Preisverhältnisse, die zwischen den Produktionsfaktoren herrschen. Im Vergleich zum Faktor Arbeit sind die Preise vieler Rohstoffe in der Vergangenheit stark gefallen.

So hat sich der Preis für Kupfer im Verhältnis zur Lohnentwicklung seit 1870 um den Faktor 25 reduziert (Brown, Wolk 2000:6). Tabelle 2.2 zeigt, dass die Preise vieler Basismetalle im Vergleich zu den Löhnen in der Vergangenheit stark gesunken sind. Besonders deutlich ist dies im Falle Aluminium.

Löhne sind stärker gestiegen als die Preise von Basismetallen

Tabelle 2.2 Relation der Preise von Basismetallrohstoffen und Löhnen

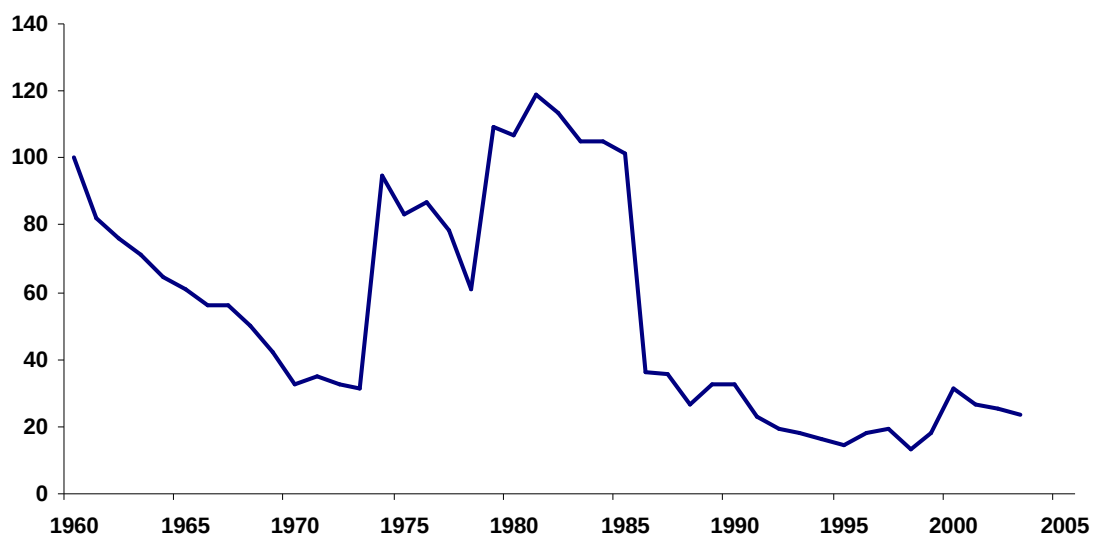
	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1998
Aluminium	100,00	43,37	40,61	30,25	36,88	24,17	17,13
Kupfer	100,00	85,76	81,88	99,19	79,77	65,13	33,33
Blei	100,00	117,26	66,84	59,50	74,19	53,93	42,60
Nickel	100,00	58,94	61,84	72,62	76,81	70,05	29,31
Zinn	100,00	87,91	59,47	68,88	154,24	47,27	36,65
Zink	100,00	101,12	60,29	47,87	53,89	72,18	39,90

Quelle: Brown, Wolk (2000:6)

1998 betrug das Verhältnis von Aluminiumpreis zu Lohnniveau nur noch rund 17 % der Relation von 1940. Auch bei anderen Basismetallen sind die Preise im Vergleich zum Lohn, dem Preis für den Faktor Arbeit, deutlich gefallen. So konnte man mit dem Stundenlohn von 1998 mehr als dreimal so viel Nickel oder Kupfer kaufen, als dies noch 1940 der Fall war, und mehr als doppelt so viel Blei oder Zink.

Das Verhältnis des Preises von Erdöl, dem für Deutschland wertmäßig bedeutendsten Rohstoff, und den Löhnen ist in der Vergangenheit ebenfalls tendenziell gesunken, wie Abbildung 2.2 zeigt.

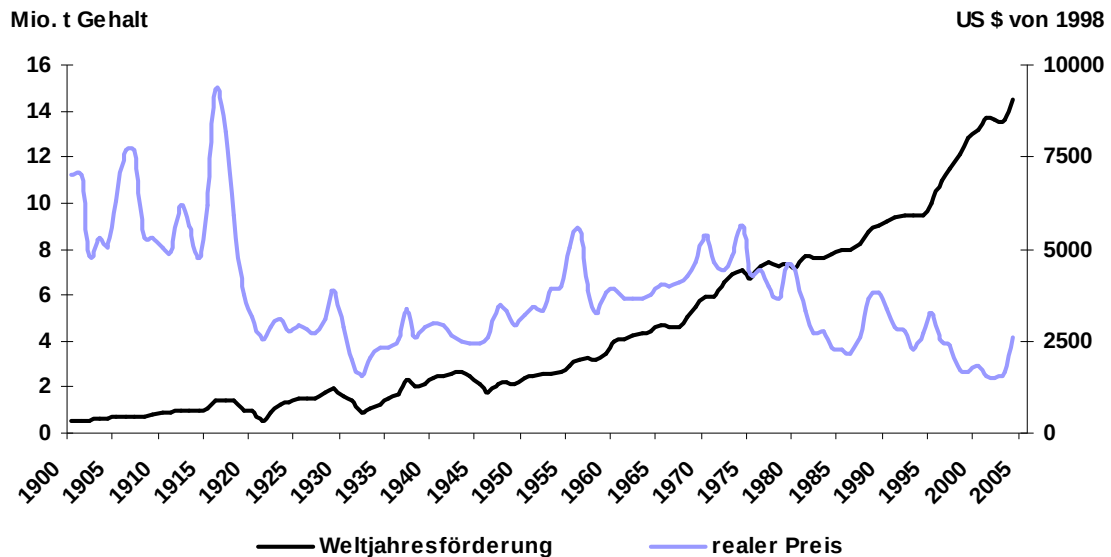
Abbildung 2.2: Index des Verhältnisses von Erdölpreisen und Löhnen (BP 2005, USG 2006)



Auch im Vergleich zu den allgemeinen Lebenshaltungskosten, deren Anstieg üblicherweise mit Hilfe von Verbraucherpreisindizes gemessen wird, sind die Preise vieler Rohstoffe gesunken. So zeigt Abbildung 2.3, dass der reale Kupferpreis, welcher mittels des Preisindex für die Lebenshaltung aus den nominalen Preisen errechnet wurde, seit 1900 in erheblichem Maße gesunken ist — trotz eines stark ansteigenden Verbrauchs. Seit 1975 ist der reale Kupferpreis dabei besonders stark gefallen. Für Aluminium und Zink würden sich sehr ähnliche Bilder ergeben. Damit haben sich die gemessen am Nettoimportwert gegenwärtig für Deutschland bedeutsamsten nichtenergetischen Rohstoffe über Jahrzehnte hinweg betrachtet immer weiter verbilligt — auch wenn es, wie etwa

bei Kupfer, immer wieder längere Phasen geben kann, in denen die realen Preise steigen (Abbildung 2.3). Zwischen 1953 und 1975 hat sich der reale Kupferpreis nahezu verdoppelt.

Abbildung 2.3: Realer Kupferpreis pro t und jährliche Kupferförderung (USGS 2005, USGS 2006)



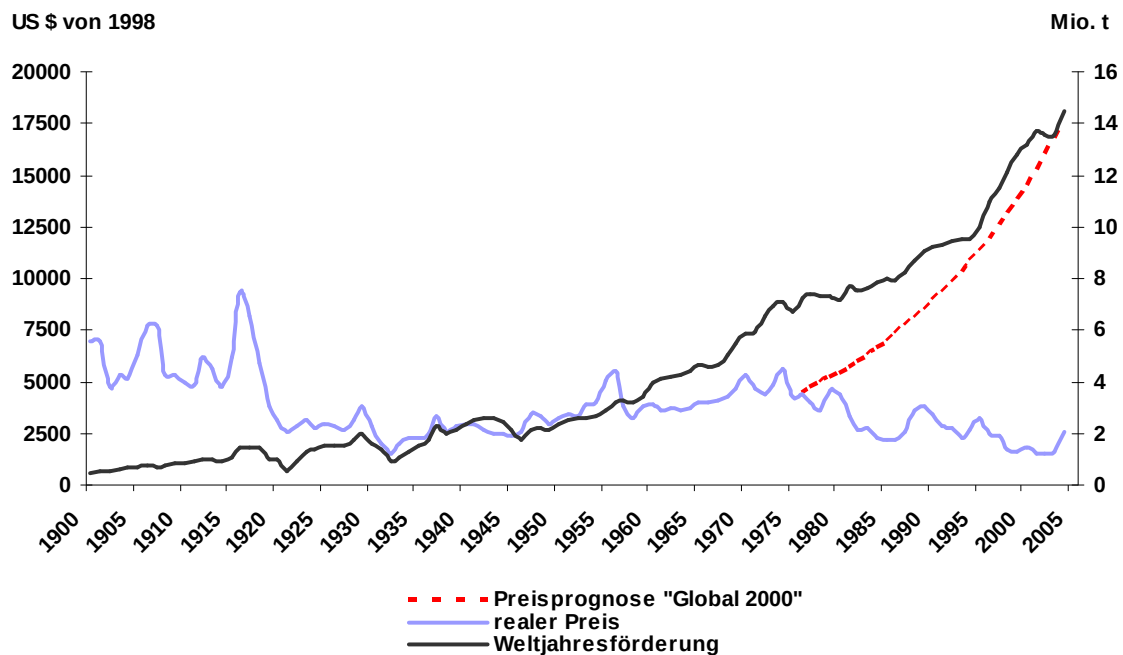
Auf den technologischen Fortschritt, die Kreativität und den Einfallsreichtum der Menschheit wohl vertrauend – Faktoren, die nach Meinung des Ökonomen Julian Simon zu weiter sinkenden Realpreisen bei Rohstoffen führen werden – setzte Simon 10 000 US \$ darauf, dass ein beliebiges, von seinen in dieser Frage pessimistischen Zeitgenossen bestimmtes Rohmaterial 10 Jahre später real im Preis gefallen sein würde. Drei Wissenschaftler von der Stanford University, unter ihnen der bekannte Biologe Paul Ehrlich, nahmen die Wette an und wählten Chrom, Kupfer, Nickel, Zinn und Wolfram.

Im September 1990 waren die realen, das heißt die inflationsbereinigten Preise dieser fünf Rohstoffe gefallen. Im Nachhinein betrachtet erscheint es für Simon einfach gewesen zu sein, die Wette zu gewinnen, hatte er doch mit 1980 recht genau die Spitze einer Rohstoffpreishaussage getroffen. Dennoch geschieht es häufig, dass gerade in Zeiten sehr hoher Rohstoffpreise davon ausgegangen wird, dass diese immer weiter steigen würden.

Ein sehr populäres Beispiel dafür ist die Preisprognose des Berichtes „Global 2000“ an den amerikanischen Präsidenten im Jahr 1980. Unter dem Eindruck der in den siebziger Jahren stark

gestiegenen Rohstoffpreise kommt der Bericht zum Schluss, „dass sich die Preistrends bei nichtenergetischen Mineralien ändern und die realen Preise steigen werden“ (Global 2000:474). Dabei wurde ein Bild gezeichnet, das von der Annahme ausging, dass sämtliche realen Rohstoffpreise zwischen 1976 und 2000 um jährlich 5 % steigen würden. Die Konsequenz dieser Annahme ist für das Beispiel Kupfer in Abbildung 2.4 illustriert. Zwischen 1976 und 2000 hätte sich demnach der reale Preis mehr als verdreifachen müssen, bis 2005 sogar mehr als vervierfachen. Stattdessen ist der Kupferpreis gegenüber 1976 real gesunken.

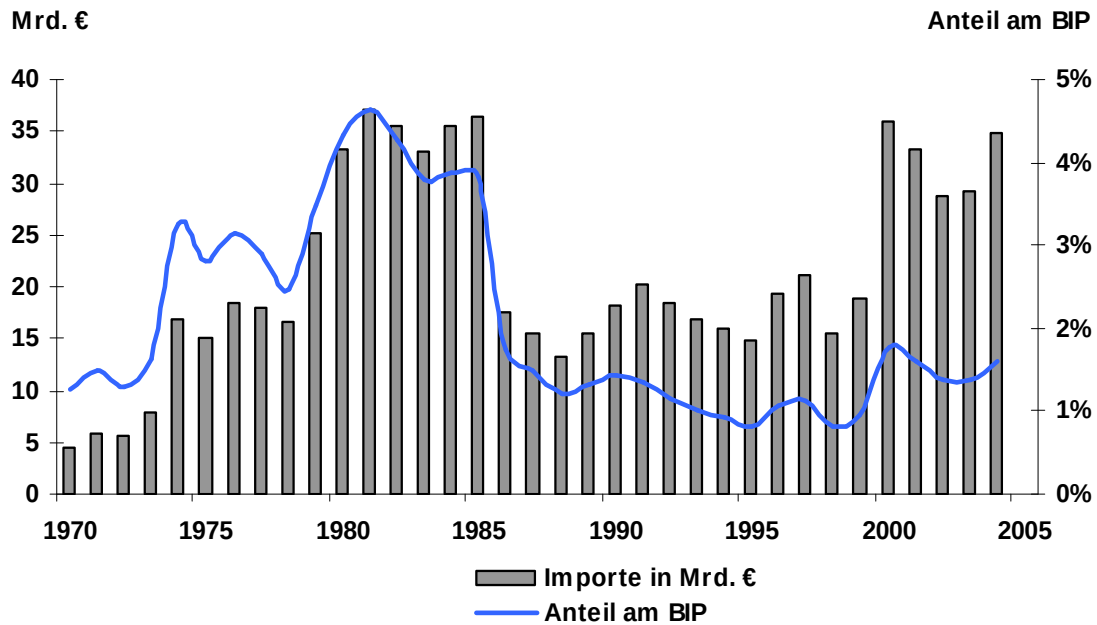
Abbildung 2.4: Realer Kupferpreis pro t, jährliche Kupferproduktion (USGS 2005) und Preisprognose des Berichtes Global 2000



Neben der Inspektion des *realen Preises* eines Rohstoffes zur Beurteilung der wirtschaftlichen Auswirkungen eventueller nominaler Preisanstiege ist die Berechnung der Kostenanteile des Rohstoffs an der Produktion oder des Anteils der Ausgaben für diesen Rohstoff am gesamtwirtschaftlichen Einkommen entscheidend. Beispielsweise sind die Ausgaben für Rohöl und -produkte bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) nur noch etwa halb so hoch wie Mitte der siebziger Jahre und lediglich in etwa so hoch wie vor den Ölpreiskrisen (Abbildung 2.5). Die Auswirkungen der nominalen Rohölverteuerung auf die Kosten der Unternehmen sind demnach

gegenwärtig geringer als dies in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre der Fall war.

Abbildung 2.5: Ausgaben für Importe von Rohöl und -produkten (STABUA 2005, MWV 2004)



3 Die Rohstoffabhängigkeit Deutschlands

Dieses Kapitel dient der **Erstellung einer Rangfolge der für Deutschland gegenwärtig bedeutsamsten importierten mineralischen Rohstoffe** und der **Identifizierung von Rohstoffen, die aus der Sicht Deutschlands als eventuell kritisch einzustufen sind**, weil sich die Förderung dieser Rohstoffe auf einige wenige Länder der Welt konzentriert, welche zudem als politisch und wirtschaftlich instabil gelten.

Nettoimportwert:
Maßstab für die
Bedeutung im-
portierter Roh-
stoffe

Diese Identifizierung soll in möglichst systematischer und objektiver Weise erfolgen. Ob ein Rohstoff gegenwärtig als aus deutscher Sicht kritisch einzustufen ist, wird anhand dreier Kriterien entschieden: (1) Wert des Nettoimports, (2) Konzentration der Förderung, die mit Hilfe des Herfindahlindex gemessen wird, und (3) politisches und wirtschaftliches Risiko der Förderländer, welches mit Hilfe einer Reihe entsprechender Indikatoren der Weltbank quantifiziert wird. Mit dieser Vorgehensweise soll der Versuchung entgegengetreten werden, dass kurzerhand diejenigen Rohstoffe als besonders kritisch eingestuft werden, die wirtschaftlich für Deutschland am bedeutendsten sind.

Die folgende Tabelle 3.1 zeigt die Rangfolge der gemessen am Nettoimportwert für Deutschland wichtigsten importierten Rohstoffe. Zur Einordnung der Bedeutung nicht-energetischer Rohstoffe wie Kupfer wurden auch die Energierohstoffe aufgeführt, obgleich diese nicht Gegenstand dieser Studie sind. Dabei zeigt sich, dass die in der gegenwärtigen öffentlichen Diskussion häufig genannten Rohstoffe wie Eisenerz oder Kupfer und Aluminium für Deutschland von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung sind, auch wenn Erdöl und Erdgas eine dominierende Rolle einnehmen.

Bei der Identifizierung der aus deutscher Perspektive potentiell kritischen Rohstoffe wird schrittweise vorgegangen: Im ersten Schritt werden diejenigen Rohstoffe aus der Menge aller relevanten Rohstoffe aussortiert, deren Nettoimportwert negativ ist. Denn selbst wenn sich die Förderung eines Rohstoffes auf sehr wenige Länder konzentrieren sollte, so wäre dies als unkritisch anzusehen, wenn dieser Rohstoff netto exportiert wird.

Tabelle 3.1: Rangfolge der Rohstoffe nach Nettoimportwerten in 1 000 €

	Nettoimportwert		Nettoimportwert
Erdöl	24 631 807	Industriediamanten	31 583
Erdgas	10 400 237	Diatomit	20 446
Kupfer	2 179 122	Germanium	15 185
Aluminium (Bauxit)	2 033 471	Bentonit	14 409
Steinkohle	1 642 293	Disthen-Gruppe (Sillimanit)	11 501
Nickel	976 210	Baryt	9 618
Eisen	826 781	Wismut	8 866
Molybdän	348 114	Phosphate	8 532
Chrom	277 080	Seltene Erden	7 574
Mangan	274 306	Glimmer	7 469
Zink	272 942	Gallium, Indium, Thallium	6 074
Silizium	211 362	Lithium	6 008
Gold	169 025	Platin	4 903
Titan	141 134	Vermiculit, Perlit	4 467
Zinn	138 372	Borate	2 931
Edelsteindiamanten	104 816	Graphit	1 536
Blei	90 071	Tellur	467
Niob	78 218	Schmirgel, Korund, Granat	366
Magnesit	57 176	Antimon	193
Kobalt	54 293	Kadmium	101
Magnesium	49 269	Kalisalz	24
Palladium	43 505	Asbest	16
Flussspat	40 047	Beryllium	2
Vanadium	37 598		

Quelle: BGR (2005)

Im zweiten Schritt bleiben aus der Menge der nettoimportierten Rohstoffe nur noch diejenigen übrig, bei der sich die Förderung auf relativ wenige Länder konzentriert. Hingegen werden diejenigen Rohstoffe als unkritisch betrachtet, für die der Herfindahlindex der Förderländerkonzentration geringer als 0,15 ist. Diese hier gewählte Grenze ist weit unterhalb des maximalen Wertes von 1, den das Konzentrationsmaß Herfindahlindex dann annähme, wenn sich die gesamte Förderung auf ein einziges Land konzentrieren würde. Die Grenze von 0,15 ist zudem hinreichend unterhalb

des Wertes von 0,25, welcher sich in etwa zur Beschreibung der Unternehmenskonzentration im deutschen Erdgasmarkt durch den Herfindahlindex ergibt.

Im dritten und letzten Schritt werden von den verbleibenden Rohstoffen nur diejenigen ausgewählt, deren Förderung sich nicht nur vergleichsweise konzentriert darstellt, sondern für die die Förderländer darüber hinaus als wirtschaftlich und politisch instabil gelten. Die Operationalisierung dieses Schrittes beruht auf der Mittelung fünf verschiedener Indikatoren der Weltbank, beispielsweise einem Indikator zur Kontrolle von Korruption. Als kritische Grenze für den daraus konstruierten Risikoindikator wird der Wert 0,59 gewählt. Dieser Wert ergibt sich für Südkorea, das somit als Messlatte für das Kriterium „politisches und wirtschaftliches Risiko“ dient. Für sichere Länder wie Deutschland, die Schweiz oder Finnland wurden Werte bis zu 2 ermittelt, während negative Werte eher unsichere Länder kennzeichnen. So weist der Irak einen Wert von -1,96 auf. Der kleinste Wert von -2,24 ergibt sich für Somalia.

Systematische
Identifikation
potentiell kritischer
Rohstoffe

In der folgenden Tabelle 3.2 sind diejenigen Rohstoffe aufgeführt, die netto importiert werden und deren Förderung relativ konzentriert ist. Diese Rohstoffe, die das Ergebnis des zweiten Schrittes des hier verwendeten Identifikationsalgorithmus darstellen, sind mit den Werten für den Herfindahlindex versehen, welche die Länderkonzentration der Förderung quantifizieren. Der konkrete Wert, den der Herfindahlindex H für jeden Rohstoff annimmt, ergibt sich gemäß der Definition des Herfindahlindex als Summe der quadrierten Anteile, die die jeweiligen Förderländer an der Gesamtförderung haben:

$$H := (s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2,$$

wobei s_i den Anteil des Landes i an der gesamten Förderung darstellt. Der Wertebereich, den der Herfindahlindex annehmen kann, reicht von $1/n$ bis 1 . Der Wert $1/n$ ergibt sich für den unwahrscheinlichen Fall, dass sich die Förderung eines Rohstoffs gleichmäßig auf n Länder verteilt. Wenn in diesem Fall die Zahl n der Länder groß ist, liegt die Untergrenze für den Herfindahlindex nahe bei 0.

Es werden diejenigen Rohstoffe als unkritisch betrachtet, für die der Herfindahlindex der Förderländerkonzentration geringer als 0,15 ist. Daher sind in Tabelle 3.2 nur noch diejenigen der in

Tabelle 3.3 aufgelisteten nettoimportierten Rohstoffe enthalten, für die der Herfindahlindex der Förderländerkonzentration die Grenze von 0,15 erreicht oder überschreitet.

Tabelle 3.2: Importierte Rohstoffe mit hoher Länderkonzentration der Förderung

	Herfindahlindex		Herfindahlindex
Leukoxen	1,00	Flussspat	0,27
Sillimanit	0,98	Tellur	0,27
Cyanit	0,81	Zinn	0,25
Andalusit	0,60	Edelsteindiamanten	0,20
Niob	0,52	Molybdän	0,19
Magnesium	0,47	Zink	0,19
Germanium	0,47	Aluminium (Bauxit)	0,18
Chrom	0,45	Blei	0,17
Vanadium	0,38	Industriediamanten	0,17
Palladium	0,34	Magnesit	0,17
Rhenium	0,30	Kupfer	0,16
Rutil	0,30	Ilmenit	0,15
Silizium	0,27		

Quelle: BGR (2005) und eigene Berechnungen

Die Werte in Tabelle 3.2 offenbaren, dass die Förderung einiger Rohstoffe wie Cyanit, Sillimanit auf sehr wenige oder wie bei Leukoxen nur auf ein einziges Land konzentriert ist. Bedauerlicherweise liegen keine umfassenden Informationen für die Konzentration der Förderung eines Rohstoffs auf Unternehmen vor, sondern lediglich Zahlen zur Länderkonzentration. Dies schränkt die Aussagekraft des hier durchgeführten Versuchs einer systematischen Identifizierung von für Deutschland potentiell kritischen Rohstoffen ein. Dennoch dient das Durchexerzieren des Identifikationsalgorithmus nicht nur zur Veranschaulichung einer systematischen Herangehensweise zur Lösung des Problems, die Menge der zukünftig möglicherweise kritischen Rohstoffe zu identifizieren. Das Ergebnis dieser Untersuchung sollte zumindest eine gute Näherung für die Menge der für Deutschland kritischen Rohstoffe darstellen.

Im dritten Schritt werden diejenigen Rohstoffe mit positiven Nettoimportwerten ausgewählt, deren Förderländerkonzentration

den Wert des Herfindahlindex von 0,15 übersteigt und bei denen die Werte des hier konstruierten Risikoindikators größer als 0,59 sind. Das Ergebnis der Auswahl an Rohstoffen, die sich für Deutschland als potentiell problematisch erweisen können, weil sich ihre Förderung auf wenige und zudem politisch und wirtschaftlich unsichere Länder konzentriert, ist in Tabelle 3.3 wiedergegeben. Neben den Rohstoffen sind darin die Werte des hier konstruierten Risikoindikators aufgeführt. Diese sind aufgrund der gewählten Grenze allesamt kleiner als 0,59.

Die Werte basieren auf dem ungewichteten Mittel der Länderwerte von fünf Indikatoren, die von der Weltbank ermittelt werden. Diese Indikatoren messen (1) die Kontrolle von Korruption, (2) die politische Instabilität und Kriminalität, (3) die Effektivität von Behörden, (4) den Grad der Bürokratie und (5) die Rechtsstaatlichkeit, insbesondere die Umsetzung von Gesetzen durch Polizei und Gerichte (Kaufmann et al. 2005:5). Die Mittelwerte der einzelnen Länder sind im Anhang tabelliert (Tabelle A1).

Auswahlkriterien:

1. Nettoimportwert > 0

2. Herfindahlindex ≥ 0.15

3. Risikoindikator < 0.59

Tabelle 3.3: Für Deutschland potentiell risikoreiche Importrohstoffe

	Risikoindikator		Risikoindikator
Kupfer	0,56	Magnesit	0,02
Germanium	0,46	Vanadium	0,01
Zink	0,46	Magnesium	-0,02
Blei	0,46	Industriediamanten	-0,10
Aluminium (Bauxit)	0,35	Flussspat	-0,15
Silizium	0,33	Chrom	-0,23
Niob	0,12	Sillimanit	-0,35
Palladium	0,04	Zinn	-0,46

Quelle: BGR (2005) und eigene Berechnungen

Mit Hilfe der Mittelwerte für die einzelnen Länder wird für jeden Rohstoff ein gewogenes Mittel errechnet, wobei die Anteile der Förderländer an der gesamten Förderung als Gewichte benutzt werden. Der Import von Zinn erscheint demnach unter Risikoaspekten am problematischsten. Die Ursache dafür ist: Zinn stammt hauptsächlich aus drei Ländern: China, Indonesien und Peru. Deren Risikowerte von -0,28, -0,79 und -0,41 weisen allesamt auf nicht unerhebliche Risiken hin (Tabelle A1, Anhang).

Bemerkenswert ist, dass diese Liste an Rohstoffen Germanium beinhaltet, für das in Kapitel 1 vergleichsweise geringe Reserven und Ressourcen festgestellt worden sind. Diese potentielle Knappheit wäre aus deutscher Sicht nicht weiter störend, wenn Germanium hierzulande nur eine geringe Rolle spielen würde. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie am Nettoimportwert von mehr als 15 Mio. € zu erkennen ist (Tabelle 3.1). Erschwerend kommt hinzu, dass die Förderung von Germanium sich auf wenige Länder konzentriert, die zudem als politisch und wirtschaftlich nicht allzu stabil zu bezeichnen sind, wie der Wert von 0,46 in Tabelle 3.3 verrät.

Indium hingegen, das ebenso wie Germanium einer der ganz wenigen Rohstoffe mit im Verhältnis zum gegenwärtigen Verbrauch geringen Reserven und Ressourcen ist, erscheint nicht unter den für Deutschland als kritisch eingestuften Rohstoffen. Dies ist nicht deshalb der Fall, weil es in Deutschland nicht benötigt wird. Zwar ist der Nettoimportwert bei Indium sehr viel kleiner als bei Germanium. Entscheidend ist indessen, dass die Förderung von Indium nicht auf wenige Länder konzentriert ist.

Es mag überraschen, dass die für Deutschland wirtschaftlich so bedeutenden Rohstoffe wie Eisenerz, Nickel, Molybdän oder Mangan nicht in Tabelle 3.3 erscheinen, in welcher die potentiell kritischen Rohstoffe aufgelistet sind. Der Grund, warum sich beispielsweise Eisenerz nicht darunter befindet, liegt in der geringen Konzentration der Eisenerzförderung. Diese verteilt sich auf zahlreiche Länder. Allerdings nimmt die Konzentration der Erzförderung auf Unternehmensebene seit geraumer Zeit beständig zu.

Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass Eisenerz sehr häufig im Mittelpunkt der gegenwärtigen öffentlichen Diskussion um die Rohstoffversorgung in Deutschland steht, weicht diese Studie bei der in Teil II erfolgenden detaillierten Untersuchung von einem Dutzend Rohstoffen von der in Tabelle 3.3 erscheinenden Auswahl ab. Vielmehr wird sich die Untersuchung auf die in Tabelle 3.4 dargestellte Rohstoffauswahl konzentrieren. Diese Auswahl baut im Wesentlichen auf Tabelle 3.3 auf, die kursiv geschriebenen Rohstoffe entstammen jedoch nicht der Liste der als potentiell kritisch identifizierten Rohstoffe. Dazu zählt neben Eisenerz auch Graphit und Tantal, bei dem wegen seiner stark wach-

senden Bedeutung für die Elektronikindustrie zukünftige Engpässe – zumindest kurzfristiger Art – als nicht unrealistisch erscheinen. Auf Graphit wird besonders deshalb Augenmerk gelegt, weil dessen realer Preis sich seit 1970 mehr als verdoppelt hat (Tabelle A3, Anhang).

Tabelle 3.4: Rohstoffauswahl

Aluminium	Zink	Platin
Chrom	Kupfer	Germanium
Flussspat	Magnesit	Vanadium
<i>Tantal</i>	<i>Graphit</i>	<i>Eisenerz</i>

4 Preis-, Angebots- und Nachfragetrends

Primäres Ziel dieses Kapitels ist es, umfassende empirische Evidenz dafür zusammenzutragen, dass die realen Preise vieler Rohstoffe derzeit erheblich geringer sind als in der Vergangenheit. Folglich werden Rohstoffe nicht generell immer teurer. Eine Diskussion um die Determinanten von Rohstoffpreisen zeigt, dass diese Preisrückgänge sehr wesentlich auf den technologischen Fortschritt und die daraus resultierenden Kostenreduzierungen bei der Förderung dieser Rohstoffe zurückzuführen sein müssen.

Darüber hinaus wird die Frage diskutiert, inwieweit es möglich ist, Prognosen für die zukünftigen Preise von Rohstoffen zu stellen. Die Antwort auf diese Frage ist eng damit verknüpft, ob die empirischen Zeitreihen von Ressourcenpreisen trend- oder differenzenstationär sind (Ahrens, Sharma 1997). Bei differenzenstationären Zeitreihen, welche oft auch Random Walks genannt werden, wächst die mit einer Prognose verbundene Unsicherheit mit zunehmendem Zeithorizont ins Unermessliche. Bei trendstationären Zeitreihen gibt es hingegen eine obere Schranke für die Prognoseunsicherheit.

Auf Basis der verfügbaren Zeitreihendaten einer Vielzahl von Rohstoffen wird daher mit Hilfe ökonometrischer Tests zunächst geprüft, ob es sich um trend- oder differenzenstationäre Reihen handelt. Nur für diejenigen Rohstoffe, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass ihre Preise das Resultat eines trendstationären Prozesses sind, ist es sinnvoll, Prognosen für die zukünftigen Preise bis 2025 zu berechnen. So wird lediglich am Beispiel von Zink eine solche Prognose gewagt. Abschließend wird beispielhaft die Extrapolation der historischen Fördertrends einiger Rohstoffe bis 2025 dargestellt.

Wie zuverlässig können Rohstoffpreise prognostiziert werden?

4.1 Entwicklung der Förderung und der realen Preise

In der Presse ist häufig zu lesen, dass Rohstoffe immer knapper und teurer werden. Dass vielfach das Gegenteil der Fall ist, zeigt nicht nur das Beispiel Aluminium, dessen Preisentwicklung in Abbildung 4.1 dargestellt ist. Mit einigen Ausnahmen wie Graphit o-

Die realen Preise der Basismetalle sind tendenziell gesunken

der Tantal sind die realen Preise der meisten der in diesem Abschnitt und im Anhang dargestellten Rohstoffe gesunken.

Abbildung 4.1: Aluminiumproduktion und realer Aluminiumpreis pro t (USGS 2005, USGS 2006)

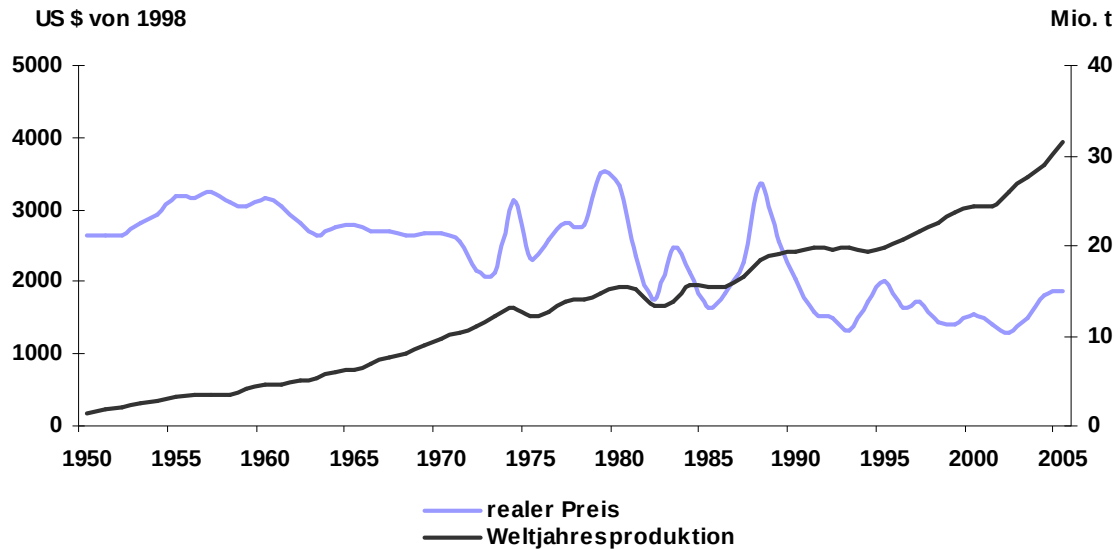


Tabelle 4.1 zeigt, dass mit Ausnahme von Nickel die durchschnittlichen realen Preise der Basismetallrohstoffe in den Jahren 2000 bis 2005 im Vergleich zum Durchschnitt der 1950er, 1970er und 1990er Jahre zum Teil erheblich niedriger waren – und dies bei einem jeweils stark gestiegenen Bedarf.

Tabelle 4.1: Durchschnittliche Entwicklung der Förderung und realen Preise der Basismetallrohstoffe

	Förderentwicklung in % seit den			Preisentwicklung in % seit den		
	1950ern	1970ern	1990ern	1950ern	1970ern	1990ern
Bauxit	804,3	101,0	28,8	-55,3	-67,2	-30,7
Blei	51,6	-11,3	2,0	-51,0	-41,1	-3,6
Eisenerz	231,8	42,1	20,3	-32,9	-50,0	-10,0
Kupfer	380,3	101,4	32,0	-48,2	-55,4	-20,1
Nickel	545,5	93,1	31,8	4,7	-31,2	14,7
Zinn	44,2	13,0	24,7	-42,5	-67,8	-15,0
Zink	273,9	68,4	23,0	-44,0	-49,8	-28,7

Quelle: USGS (2005), USGS (2006)

Bemerkenswert ist insbesondere, dass die realen Preise der – von den Energierohstoffen und Nickel abgesehen – gemessen

am Nettoimportwert für Deutschland bedeutendsten Rohstoffe Bauxit, Kupfer und Eisenerz allesamt deutlich gesunken sind. Derartige Preisentwicklungen wie bei den Basismetallrohstoffen sind für viele andere Rohstoffe ebenso zu beobachten, zum Beispiel für die in Tabelle 4.2 aufgeführten Edelmetalle Gold und Silber. Entgegen der Vorstellung von Gold und Silber als Wertaufbewahrungsmittel stellt man bei diesen beiden Edelmetallen in der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts einen realen Preisverfall im Vergleich zu den Durchschnitts der 1950er, 1970er und 1990er Jahre fest.

Tabelle 4.2: Förderung und reale Preise von Edelmetallen

	Förderentwicklung in % seit den			Preisentwicklung in % seit den		
	1950er	1970er	1990er	1950er	1970er	1990er
Gold	164,5	95,6	9,4	32,0	-20,3	-20,7
Silber	184,1	98,3	24,1	-7,9	-60,4	-8,3

Quelle: USGS (2005), USGS (2006)

Auch die realen Preise der in Tabelle 4.3 aufgelisteten Elektronikmetalle Cadmium, Gallium, Indium und Germanium sind zwischen 1970 und 2002 gesunken. Für Tantal trifft dies nicht zu – ebenfalls ein Grund, die zukünftige Nachfrageentwicklung für Tantal im nächsten Kapitel genauer zu untersuchen. Preisangaben für die Zeit vor 1970 sind für Elektronikmetalle nur vereinzelt vorhanden, weil sie vielfach entweder noch keine oder nur ein geringfügige Rolle spielten.

Tabelle 4.3: Förderung und reale Preise von Elektronikmetallen

	Förderentwicklung in % seit den			Preisentwicklung in % seit den		
	1970er	1980er	1990er	1970er	1980er	1990er
Cadmium	5,7	-5,5	-9,1	-95,1	-88,3	-64,9
Gallium	469,4	129,3	25,5	-79,8	-39,9	-4,4
Germanium	-22,0	-26,6	14,9	-33,3	-58,3	-54,3
Indium	642,2	591,6	108,2	-46,2	-15,1	-0,1
Tantal	261,9	332,2	195,3	-15,3	-14,8	62,3

Quelle: USGS (2005), USGS (2006)

Schließlich sind auch die realen Preise der Legierungsmetalle mehrheitlich gesunken. Nur für Beryllium ergibt sich seit 1970 mit rund 37 % ein stärkerer Anstieg (Anhang A). Die Preisentwicklung

gen sonstiger Metalle und vieler Industrieminerale sind ebenfalls im Anhang A dargestellt. Die realen Preise der meisten dieser Rohstoffe sind gefallen. Lediglich die Preise von Strontium und Graphit stellen frappierende Ausnahmen dar.

4.2 Determinanten von Rohstoffpreisen

Grundlegende Prinzipien der mikroökonomischen Theorie besagen, dass **Rohstoffpreise** langfristig den Grenzkosten ihrer Bereitstellung folgen sollten (Endres, Querner 2000). Diese **werden durch die Entwicklung (1) der Förderkosten und (2) der so genannten Nutzungskosten bestimmt**. Nutzungskosten ergeben sich dadurch, dass ein Rohstoff zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr zur Verfügung steht und dann keinen Gewinn mehr abwerfen kann, wenn er bereits heute abgebaut wird. Die Nutzungsgrenzkosten geben an, wie groß der Gegenwartswert des zukünftigen Gewinns ist, auf den der Anbieter verzichten muss, wenn er heute eine Rohstoffeinheit zusätzlich abbaut. Die Nutzungskosten hängen sehr davon ab, ob durch technologische Entwicklungen, die sowohl die zukünftigen Förderkosten als auch die Nachfrage beeinflussen können, sowie durch ökonomisch bedingte Änderungen der Nachfrage der Rohstoff in Zukunft begehrter sein wird.

Beispielsweise könnten bei einer vollständigen Substitution des Rohstoffes, die von heute auf morgen erfolgt, die Nutzungskosten auf Null sinken. Auch bei einer allmählich erfolgenden vollständigen Substitution, welche bereits heute antizipiert werden könnte, wäre der gegenwärtige Preis geringer als ohne Substitutionsmöglichkeit, denn diese würde die Nutzungskosten wesentlich reduzieren. Eine überraschende Entdeckung neuer, umfangreicher Reserven führt zu einem plötzlichen Verfall des Rohstoffpreises, denn die Nutzungskosten würden dadurch beträchtlich sinken. Offenbar gibt es zahlreiche Faktoren, die die Nutzungskosten beeinflussen können. Die zukünftige Entwicklung der meisten dieser Faktoren ist häufig ungewiss. Einige Faktoren, wie die Entdeckung neuer Lagerstätten, sind inhärenterweise unvorhersehbar.

Entsprechend der Hotelling-Regel für erschöpfbare Ressourcen wird erwartet, dass der In-Situ-Preis für den Rohstoff – das ist die Differenz zwischen Marktpreis und Förderkosten, mit anderen Worten der Gewinn, der aus der Extraktion des Rohstoffs resultiert

Die realen Preise von Rohstoffen werden langfristig durch die Fördergrenzkosten bestimmt

Fallende Rohstoffpreise als Resultat des technologischen Fortschritts

Hotelling-Regel: Rohstoffe sind wie Geldanlagen, zu betrachten, deren Wert sich durch den Zinsszinseffekt vermehren sollte

– allmählich steigt (Hotelling 1931). Dies ist plausibel: Eine Ressource ist als Geldanlage anzusehen, deren Wert sich entsprechend des allgemeinen Zinsniveaus über die Zeit hinweg steigern sollte.

Dass dennoch fallende Preistrends bei Rohstoffen zu beobachten sind, liegt vor allem daran, dass die Kosten zum Abbau dieser Ressourcen durch technologische Fortschritte bei den Fördertechnologien immer weiter gesenkt werden konnten und zudem die bekannten Reserven keine festen Größen sind, sondern bei vielen Rohstoffen über die Zeit beständig angestiegen sind. Nur so ist es zu erklären, dass die realen Preise für Aluminium, Kupfer oder Zink trotz eines stark steigenden Bedarfs sogar zum Teil deutlich gefallen anstatt gestiegen sind.

Wäre die zukünftige Entwicklung der Förderkosten und der Nutzungskosten bereits heute vollständig bekannt, würde man also auf sämtliche Informationen über die zukünftigen Entwicklungen aller Preisdeterminanten zugreifen können, könnte ein ökonomisches Modell konstruiert werden, mit dessen Hilfe der zukünftige Preis des Rohstoffs perfekt vorhergesagt werden kann. Dies ist jedoch unmöglich, da zum einen die Bestimmungsfaktoren vor allem der Nutzungskosten meist überaus komplex sind und zum anderen deren zukünftige Entwicklung ungewiss ist.

Stattdessen wird üblicherweise versucht, Aussagen über zukünftige Entwicklungen der Rohstoffpreise allein auf Basis des Verlaufs der Zeitreihe der historischen Preise zu treffen (Berck, Roberts 1996, Pindyck, Rubinfeld, 1998, Slade 1982). Diesem in der empirischen Literatur seit langem etablierten Vorgehen liegt die Annahme zu Grunde, dass der Preis nach zufälligen Schocks wieder zu dem deterministischen Trend zurückkehrt, der gemäß der mikroökonomischen Theorie durch die Förder- und Nutzungskosten bestimmt ist und dem er in der Vergangenheit gefolgt ist. Trifft die Annahme der Trendrückkehr zu, bezeichnet man solche Zeitreihen als *trendstationär*. Tatsächlich ist diese Eigenschaft aber nicht selbstverständlich (Berck, Roberts 1996).

4.3 Prognosen bei differenzenstationären Prozessen

Viele Zeitreihen ökonomischer Größen ergeben sich als Summe eines deterministischen Trends sowie stochastischer, also zufälliger

Schocks, die bei diesen Zeitreihen eine persistente Wirkung entfalten. Derartige Zeitreihen, bei denen exogene Schocks bleibende Wirkungen verursachen, werden als *Random Walk*, *differenzenstationär* oder manchmal auch salopp als *nicht-stationär* bezeichnet. Diese Zeitreihen „vergessen“ zuvor erfahrene Veränderungen nicht, sie haben ein perfektes Gedächtnis für Schocks.

Preise von Rohstoffen: Trendstationär oder Random Walk?

Eine bedeutende Konsequenz der Tatsache, dass eine differenzenstationäre Zeitreihe nach einem Schock nicht mehr zu einem möglicherweise zugrunde liegenden deterministischen Trend zurückkehrt, ist die unbegrenzt zunehmende Unsicherheit, die mit Prognosen für differenzenstationäre Zeitreihen verbunden ist. Bei trendstationären Prozessen hingegen wächst die Prognoseunsicherheit mit zunehmendem Zeithorizont zwar auch, jedoch nicht ins Unermessliche. Dies soll am folgenden einfachen Beispiel formal gezeigt werden.

Angenommen, die Entwicklung der Preise eines Rohstoffs kann durch das folgende Modell beschrieben werden, bei dem der Preis p_t von seinem Wert p_{t-1} aus der Vorperiode und einen möglicherweise auftretenden zufälligen Schock bestimmt wird:

$$(4.1) \quad p_t = \varphi p_{t-1} + \varepsilon_t$$

Der so genannte Störterm ε_t spiegelt dabei einen möglichen zufälligen Schock zum Zeitpunkt t wider. Analog gilt für den Preis der Vorperiode

$$(4.2) \quad p_{t-1} = \varphi p_{t-2} + \varepsilon_{t-1}$$

bzw. für den Preis der Vorvorperiode:

$$(4.3) \quad p_{t-2} = \varphi p_{t-3} + \varepsilon_{t-2}$$

usw. Durch wiederholtes Ineinandereinssetzen dieser Gleichungen ergibt sich:

$$(4.4) \quad p_t = \varphi^t p_0 + \varphi^{t-1} \varepsilon_1 + \dots + \varphi^2 \varepsilon_{t-2} + \varphi \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

Gilt $-1 < \varphi < 1$, das heißt, ist der Parameter φ dem Betrage nach kleiner 1, so nimmt der Einfluss irgendeines Schocks auf den Preis

p_t mit der Zeit ab. Ist beispielsweise $\varphi = 0,5$, so geht der Schock ε_{t-2} der Vorvorperiode nur noch zu einem Viertel ($\varphi^2 = 0,25$) in den Preis p_t ein, der Schock ε_{t-3} nur noch zu einem Achtel ($\varphi^3 = 0,125$). Der durch 4.1 beschriebene so genannte stochastische Prozess weist offenbar kein ewig währendes Gedächtnis auf. Ereignen sich außer zum Zeitpunkt 1 keine weiteren Störungen mehr, gilt also $\varepsilon_2 = 0, \dots, \varepsilon_t = 0$, so klingt die Wirkung des Schocks ε_1 mit zunehmender Zeit t ab – mit einer Geschwindigkeit, die vom Betrag des Parameters φ abhängt. Je kleiner der Betrag des Parameters φ , desto kürzer und schwächer ist das „Gedächtnis“ des Prozesses.

Ist $\varphi = 1$, so ergibt sich der Preis p_t als Summe aller bis dahin erfolgten Schocks und dem Ausgangspreis p_0 . Die Zeitreihe der Preise stellt einen Random Walk dar:

Random Walk:
Perfektes Gedächtnis für Schocks

$$(4.5) \quad p_t = p_0 + \varepsilon_t + \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_{t-2} + \dots + \varepsilon_1$$

Dieser Ausdruck spiegelt die Eigenschaft des perfekten Gedächtnisses eines Random Walk wider: Jeder Schock geht in voller Höhe in den Preis p_t ein. Ausgehend vom Anfangspreis p_0 entwickelt sich der Preis völlig zufällig – daher der Name Random Walk – entsprechend den jeweils auftretenden zufälligen Störungen $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_t$.

Von den unabhängig von einander erfolgenden Störungen wird üblicherweise angenommen, dass sie allesamt einer Normalverteilung mit Erwartungswert 0 und Varianz σ^2 gehorchen:

$$(4.6) \quad E(\varepsilon_t) = 0, \quad \text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma^2, \text{ für alle } t.$$

Diese Eigenschaften der Störungen werden häufig unter dem Begriff „Weißes Rauschen“ zusammengefasst. Meist wird auch angenommen, dass die Störungen unabhängig voneinander erfolgen.

Um eine Vorhersage für den Preis $p_{t+\tau}$ für den Random Walk 4.5 zu treffen, geht man von einer zu 4.5 analogen Gleichung aus:

$$(4.7) \quad p_{t+\tau} = p_t + \varepsilon_{t+\tau} + \varepsilon_{t+\tau-1} + \varepsilon_{t+\tau-2} + \dots + \varepsilon_{t+1}$$

Der zum Zeitpunkt t zu erwartende Preis für den zukünftigen Zeitpunkt $t+\tau$ ist der folgende Erwartungswert:

$$(4.8) \quad E(p_{t+\tau}) = p_t + E(\varepsilon_{t+\tau}) + E(\varepsilon_{t+\tau-1}) + \dots + E(\varepsilon_{t+1}).$$

Der Erwartungswert $E(p_{t+\tau})$ ist wegen 4.6 identisch mit p_t . Dies ist leicht einsichtig: Zum Zeitpunkt t hat man keine Information über zukünftige Schocks $\varepsilon_{t+1}, \dots, \varepsilon_{t+\tau}$. Die besten Prognosen, die man für diese Schocks stellen kann, ist deren Erwartungswert 0. Ersetzt man deshalb in 4.7 alle Schocks durch den Wert 0, ergibt sich für die Preisprognose für den Zeitpunkt $t+\tau$ der Preis p_t . Das heißt: Bei einem Random Walk der Art 4.5 erfolgen Prognosen für zukünftige Preise ausschließlich auf Basis des gegenwärtigen Preises, nicht etwa auf Basis weiter in der Vergangenheit liegender Preise.

Mit der Prognose p_t für den zukünftigen Preis $p_{t+\tau}$ ergibt sich der Prognosefehler $p_{t+\tau} - p_t$ nach 4.7 aus der Summe der zwischen den Zeitpunkten t und $t+\tau$ auftretenden zufälligen Störungen:

$$(4.9) \quad p_{t+\tau} - p_t = \varepsilon_{t+\tau} + \varepsilon_{t+\tau-1} + \varepsilon_{t+\tau-2} + \dots + \varepsilon_{t+1}$$

Die Varianz des Prognosefehlers $\text{Var}(p_{t+\tau} - p_t)$ ist ein Maß für die Unsicherheit, die mit einer Prognose verbunden ist. Nach 4.9 ergibt sich diese Varianz aus der Summe der Varianzen der einzelnen Störungen:

$$(4.10) \quad \begin{aligned} \text{Var}(p_{t+\tau} - p_t) &= \text{Var}(\varepsilon_{t+\tau}) + \text{Var}(\varepsilon_{t+\tau-1}) + \dots + \text{Var}(\varepsilon_{t+1}) \\ &= (\tau-1) \sigma^2. \end{aligned}$$

Die Prognoseungenauigkeit, ausgedrückt durch die Varianz des Prognosefehlers, entspricht der Summe der Varianzen σ^2 der zu den $\tau-1$ Zeitpunkten unabhängig von einander erfolgenden Schocks. Offenbar wächst die Ungenauigkeit der Vorhersage mit zunehmendem Prognosehorizont τ über alle Maße an.

Handelt es sich hingegen beim stochastischen Prozess 4.1 nicht um einen Random Walk, ist also $-1 < \varphi < 1$, so nimmt die Prognoseunsicherheit mit dem Zeithorizont τ zwar ebenfalls weiter zu, bleibt aber unterhalb einer gewissen Grenze, die – so lässt sich zeigen – für einen unendlich langen Zeithorizont τ wie folgt lautet:

$$(4.11) \quad \text{Var}(p_{t+\tau} - p_t) = \sigma^2 / (1 - \varphi^2).$$

Random Walk:
Prognoseunge-
nauigkeit steigt
ins Unermessli-
che

Ist beispielsweise $\varphi = 0,5$, und somit $\varphi^2 = 0,25$, so nimmt der Term $1/(1 - \varphi^2)$ den Wert $4/3$ an. In diesem Fall ist die Prognoseunsicherheit selbst für einen unendlich langen Zeithorizont auf $4/3 \sigma^2$ begrenzt. Aus Gleichung 4.11 wird zudem klar, dass die Prognoseunsicherheit wächst, je näher φ an den Wert 1 heranrückt. Beträgt φ beispielsweise 0,99, so ist $1 - \varphi^2 = 0,0199$ und dessen Kehrwert liegt bei über 50. Für den Grenzfall $\varphi = 1$, dem Random Walk, wird aus 4.11 ersichtlich, dass die Prognoseunsicherheit ins Unermessliche steigt, ein Ergebnis, das bereits auf andere Weise mit Hilfe von Gleichung 4.10 abgeleitet wurde.

Liegt eine lange empirische Zeitreihe wie die der Kupfer- oder der Nickelpreise vor, so ist mit bloßem Auge allerdings weder erkennbar, ob diese Preise von einem Prozess der Art 4.1 oder von einem komplexeren Prozess erzeugt wurden, noch ob der entscheidende Parameter φ mit dem Wert 1 übereinstimmt. Die Entscheidung, ob die Hypothese $\varphi = 1$ zutrifft und der zugrunde liegende Prozess somit differenzenstationär ist, oder ob φ einen geringeren Wert als 1 besitzt, wird vielmehr mit Hilfe statistischer Tests getroffen, den so genannten *Stationaritätstests*. Diese gehen üblicherweise davon aus, dass die empirisch beobachtbaren Werte einer Zeitreihe von einer Verallgemeinerung des speziellen Prozesses 4.1 „erzeugt“ wurden.

Mit bloßem Auge kann ein Random Walk meist nicht erkannt werden: Es bedarf dazu Stationaritätstests

4.4 Stationaritätstests

Der bekannteste Test auf Trendstationarität ist der von Dickey und Fuller (1979) entwickelte und nach ihnen benannte **Dickey-Fuller-Test**. Dabei wird angenommen, dass die Werte einer Zeitreihe, etwa die Preise eines Rohstoffs, durch das folgende Modell beschrieben werden können:

$$(4.12) \quad p_t = \mu + \beta t + \varphi p_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Es wird also im Gegensatz zu Prozess 4.1 angenommen, dass der Preis nicht nur von seinem Wert p_{t-1} aus der Vorperiode abhängt, sondern, falls β ungleich 0 ist, auch noch von einem deterministischen Zeittrend t . Zusätzlich dazu ist die Konstante μ hinzugefügt worden. Falls $\beta = 0$, $\varphi = 1$ und die Konstante μ ungleich 0 ist,

nennt man den Prozess einen **Random Walk mit Drift**, wobei die Konstante μ für den Drift bzw. den stochastischen Trend sorgt.

Die Frage, ob es sich bei einer Zeitreihe, die dem Modell 4.12 genügt, um eine trendstationäre oder eine differenzenstationäre Reihe handelt, entscheidet sich mit der Ausprägung von φ . Ist $\varphi < 1$, verliert ein zufälliger Schock im Zeitverlauf zunehmend an Bedeutung, er wird mit der Zeit „vergessen“. Ist hingegen $\varphi = 1$, verändert jeder Schock den Preisverlauf nachhaltig. Die Zeitreihe entfernt sich mehr und mehr von einem eventuell zugrunde liegenden deterministischen Trend βt .

Die in Modell 4.12 auftretenden Parameter β , μ und φ werden mit Hilfe statistischer bzw. ökonometrischer Programme auf Basis der beobachteten Zeitreihenwerte geschätzt. Ob φ gleich 1 oder kleiner ist, kann jedoch in den allermeisten Fällen nicht auf Basis des Schätzwertes für φ entschieden werden. So ist es bei einem Schätzwert von 0,95 ohne Kenntnis des zugehörigen Standardfehlers unmöglich zu sagen, ob dieser Schätzwert nur zufällig kleiner als 1 ist, obwohl φ in Wahrheit mit 1 übereinstimmt, oder ob der Schätzwert deshalb 0,95 beträgt, weil φ tatsächlich kleiner 1 ist.

Um derartige Entscheidungen zu treffen, bedarf es entsprechender Testverfahren wie dem Dickey-Fuller-Test, der im Grundsatz nichts anderes ist als der üblicherweise beim klassischen Regressionsverfahren verwendete so genannte t-Test zur Überprüfung der Signifikanz des Einflusses einzelner Variablen. Bei der Durchführung des Dickey-Fuller-Tests wird daher von der folgenden, zu 4.12 äquivalenten Darstellung ausgegangen,

$$(4.13) \quad p_t - p_{t-1} = \beta t + \mu + (\varphi - 1) p_{t-1} + \varepsilon_t,$$

und wie bei einem t-Test getestet, ob der Koeffizient $\rho: = \varphi - 1$ signifikant kleiner als Null ist. Dies wäre äquivalent dazu, dass φ signifikant kleiner als 1 ist, weshalb der Prozess trendstationär wäre. Es gibt allerdings einen wesentlichen Unterschied zu einem t-Test, der die Signifikanz des Einflusses einer Variablen wie p_{t-1} prüft. Dickey und Fuller (1979) haben gezeigt, dass die kritischen Werte der t-Verteilung in diesem Falle nicht angemessen sind. Dies ist in der Praxis jedoch kein Problem. Heutige Statistik- und Öko-

nometrie-Programme geben standardmäßig die stattdessen zu benutzenden kritischen Werte aus.

Im Allgemeinen benutzt man so genannte erweiterte (augmented) Dickey-Fuller-Tests, welche auf einer Erweiterung der Spezifikation 4.13 um eine bestimmte Zahl an Preisdifferenzen $p_{t-1} - p_{t-2}, p_{t-2} - p_{t-3}$ etc. beruhen:

$$(4.14) \quad p_t - p_{t-1} = \beta t + \mu + (\varphi - 1) p_{t-1} + \varepsilon_t + \alpha_1 (p_{t-1} - p_{t-2}) \\ + \dots + \alpha_k (p_{t-k} - p_{t-k-1})$$

Durch das Einfügen der Preisdifferenzen wird möglichen Korrelationen in den Schocks Rechnung getragen. Die konkrete Anzahl der Preisdifferenzen, die in Spezifikation 4.14 anzusetzen ist, ergibt sich mit Hilfe so genannter Informationskriterien wie dem Akaike Kriterium (AIC).

Der Dickey-Fuller-Test ist ein einseitiger Test, der prüft, ob die Nullhypothese $H_0: \rho = 0$ bzw. $\varphi = 1$ oder die Alternativhypothese $H_1: \rho < 0$ bzw. $\varphi < 1$ zutreffend ist. (Bei einem zweiseitigen Test wäre $H_1: \rho$ ungleich 0 bzw. φ ungleich 1 die Gegenhypothese.) Deutlich negative Werte für ρ sprechen dabei für die Alternativhypothese der Trendstationarität bzw. gegen die Nullhypothese der Differenzenstationarität.

Wie bei statistischen Tests üblich, ist es Ziel, die Nullhypothese mit einer möglichst kleinen Irrtumswahrscheinlichkeit von beispielsweise 1 % abzulehnen. Nur dann kann man von einem statistisch signifikanten Ergebnis sprechen. Kann man hingegen die Nullhypothese nicht ablehnen, ist man kein bisschen schlauer als vor der Durchführung des Tests. Falls möglich, behilft man sich in solchen Fällen durch Ziehung einer zweiten Stichprobe. Bei Zeitreihen geht dies nicht: Es gibt nur die eine, vorliegende Zeitreihe an Beobachtungswerten.

Statt „augmented“ Dickey-Fuller-Tests (ADF) wird häufig eine zweite Art von Test verwendet, der von Kwiatkowski, Phillips, Schmidt und Shin (1992) entwickelten KPSS-Test, der von der im Vergleich zum ADF-Test gegenteiligen Nullhypothese ausgeht: Die Nullhypothese des KPSS-Tests nimmt an, dass die Zeitreihe trendstationär ist. Wird für die Zeitreihe der Preise einer Ressource im Zuge des ADF-Testverfahrens die Hypothese der Differenzenstationarität

narität nicht abgelehnt, so kann mittels des KPSS-Tests überprüft werden, ob man statistisch gesichert von Differenzenstationarität reden kann.

Im folgenden Abschnitt wird auf Basis dieser beiden Testverfahren für eine große Zahl an verfügbaren Zeitreihen von Ressourcenpreisen getestet, ob diese trend- oder differenzenstationär sind. Nur für diejenigen Rohstoffe, deren Preise Resultat eines trendstationären Prozesses sind, ist es sinnvoll, Prognosen für die zukünftigen Preise bis 2025 zu erstellen. Für die differenzenstationären Prozesse kann hingegen darauf verzichtet werden, da die mit den Preisprognosen verbundenen Fehler für einen solch langen Zeitraum von 20 Jahren derart groß sind, dass eine Preisprognose keine Aussagekraft mehr hätte.

4.5 Rohstoffpreise: Deterministische Trends oder Random Walks?

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Stationaritätstests für die realen Preise der Basismetalle zusammen. Nur bei Blei und Zink zeigen der ADF- und KPSS-Test übereinstimmend Trendstationarität an. Für Bauxit und Kupfer deuten beide Tests auf Differenzenstationarität hin. In Fällen, in denen beide Tests keine einheitliche Schlussfolgerung zulassen, wird entsprechend der in der Statistik üblichen Philosophie der Vorsicht von Differenzenstationarität ausgegangen.

Tabelle 4.4: Tests auf Trendstationarität der Preise von Basismetallrohstoffen

	ADF	KPSS	Fazit
Bauxit	Nein	Nein	Nein
Blei	Ja	Ja	Ja
Eisenerz	Nein	Ja	Nein
Kupfer	Nein	Nein	Nein
Nickel	Nein	Ja	Nein
Zink	Ja	Ja	Ja
Zinn	Nein	Ja	Nein

ADF: Augmented-Dickey-Fuller Test; KPSS: Test nach Kwiatkowski, Phillips, Schmidt und Shin

Die Stationaritätstests der übrigen untersuchten Preiszeitreihen von Rohstoffen, welche im Anhang aufgeführt sind, ergeben, dass lediglich die Preisentwicklungen von Kobalt, Wolfram und Antimon

trendstationär sind. Die Schätzung einer solchen Prognose wird im nächsten Abschnitt beispielhaft für Zink dargestellt.

4.6 Prognosen für trendstationäre Rohstoffpreise

Prognosen, die allein auf den Werten einer einzigen, stationären Zeitreihe beruhen, werden üblicherweise mit Hilfe so genannter ARMA-Modelle geschätzt, wobei ARMA die Abkürzung für Autoregressives-Moving-Average-Modell ist. ARMA(p,q)-Modelle sind allgemein von der folgenden Form:

$$p_t = \mu + \varphi_1 p_{t-1} + \dots + \varphi_k p_{t-k} + \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q}$$

Im konkreten Beispiel ist das beste ARMA-Modell für die Preiszeitreihe von Zink von der Form ARMA(16,38) und lautet wie folgt:

$$\ln p_t = 7.351 + 0,793 \ln p_{t-1} - 0,231 \ln p_{t-16} + \varepsilon_t + 0,039 \varepsilon_{t-1} - 0,343 \varepsilon_{t-2} - 0,135 \varepsilon_{t-12} - 0,297 \varepsilon_{t-27} - 0,425 \varepsilon_{t-38}$$

Die hohe Volatilität der Preise von Rohstoffen macht es im Allgemeinen notwendig, logarithmierte Preise bei der Schätzung von ARMA-Modellen zu benutzen.

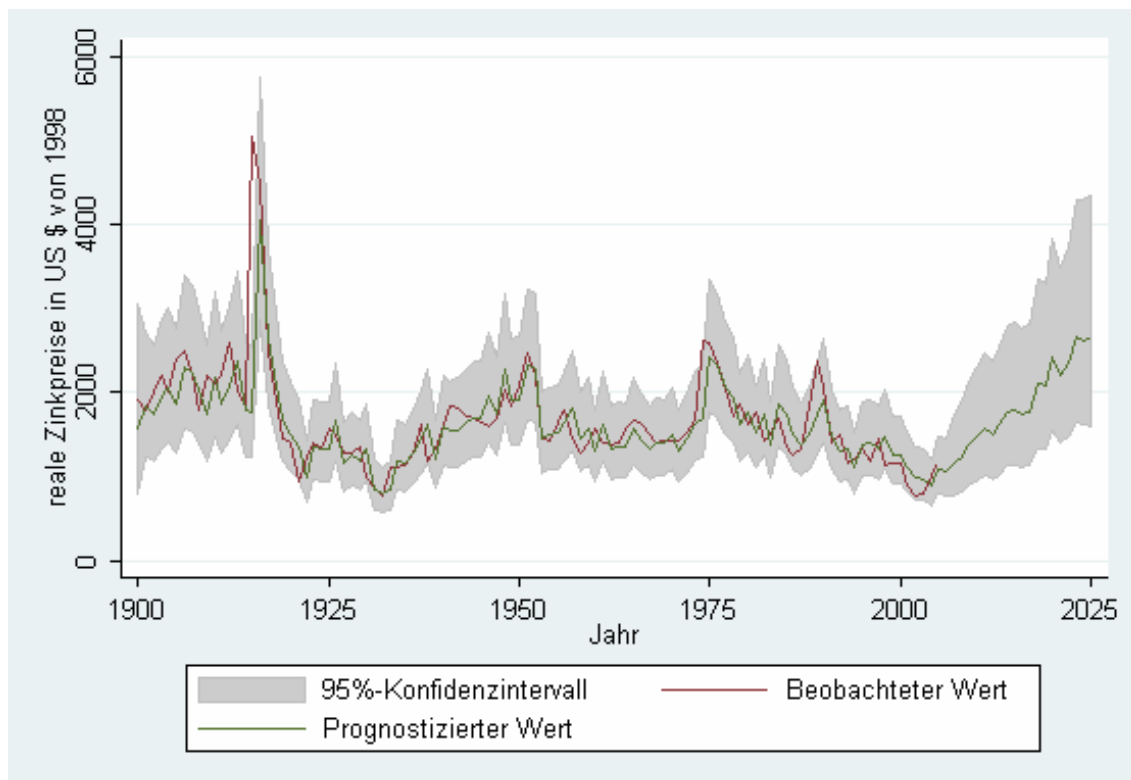
Auf Basis des obigen konkreten Schätzmodells ergibt sich die in Abbildung 4.2 dargestellte Preisprognose für Zink. Die von dem Modell prognostizierten Werte werden in dieser Abbildung den bis 2005 bekannten tatsächlichen Werten gegenüber gestellt. Nach dem Preistief des Jahres 2002 sagt die Prognose eine deutliche Erholung des realen Preises voraus. Für 2025 ergibt sich eine Prognose von rund 2 635 US \$ pro t in Preisen von 1998.

Unterstellt man eine durchschnittliche jährliche Inflationsrate von 2 %, so bedeutet dies einen nominalen Preis von rund 3 900 US \$ pro t im Jahr 2025. Der gegenwärtige Preis von Zink an der Londoner Metallbörse liegt bei rund 3 000 US \$, was bei Einberechnung der Inflation rund 2 600 US \$ pro t in Preisen von 1998 bedeutet. Damit wird eine leichte Steigerung des nominalen Preises von jährlich etwa 1,3 % vorausgesagt, wohingegen der reale Zinkpreis demnach in etwa konstant bleiben würde.

Die grau markierte Fläche in Abbildung 4.2 gibt die Unsicherheit wieder, die mit der Prognose verbunden ist. Offenbar

wächst die Unsicherheit mit zunehmenden Prognosehorizont: Je weiter dieser in der Zukunft liegt, desto breiter wird das 95 %-Konfidenzintervall. Für 2025 schließlich liegt der reale Zinkpreis mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in einem Intervall, bei dem der reale Zinkpreis von rund 1 600 bis 4 350 US \$ bzw. nominal von etwa 2 380 bis 6 470 US \$ reicht. Es scheint daher recht unwahrscheinlich, dass der nominale Preis sich ausgehend vom gegenwärtigen Niveau von rund 3 000 US \$ deutlich nach unten bewegt. Ungeachtet der hohen Unsicherheit, die mit Prognosen über so lange Zeiträume notwendigerweise verbunden ist, lautet das aus diesem Zeitreihenmodell ableitbare qualitative Ergebnis: Für Zink muss verglichen mit den 90er Jahren und dem Beginn des neuen Jahrtausends mit real steigenden Preisen gerechnet werden.

Abbildung 4.2: Der reale Preis von Zink und dessen Prognose



4.7 Extrapolation historischer Angebots- und Nachfragetrends

Durch eine Fortschreibung des historischen Angebots an Rohstoffen, die auf der Extrapolation der bisherigen Fördermengen beruht, kann eine Orientierung dafür gegeben werden, ob die in Teil II zu ermittelnde Nachfrage nach den ausgewählten Rohstoffen tenden-

ziell befriedigt werden kann. Diese Extrapolation vergangener Fördermengen ist desto weniger verlässlich, je weiter der Prognosehorizont in der Zukunft liegt. Daher weisen alle folgenden Tabellen nicht nur **Extrapolationen der Fördermengen** für 2025 aus, dem für diese Studie vorgegebenen Zeithorizont, sondern auch für die Zwischenjahre 2010 und 2020.

Die Rohstofffördermengen befinden sich aus zwei Gründen im Fokus des Interesses: Erstens sind es die Förder-, nicht die Nachfragemengen, die für eine Veränderung der Reserven und Ressourcen eines Rohstoffs verantwortlich sind. Die Nachfrage nach einem Rohstoff kann schließlich auch durch Recycling bedient werden – zumindest teilweise. Zweitens liegen lange Zeitreihen für die meisten Rohstoffe lediglich für die Fördermengen, nicht aber für die jährlichen Nachfragemengen vor.

Die in den folgenden Tabellen aufgeführten **Extrapolationen** für die Fördermengen an Basismetallrohstoffen sowie an Rohstoffen zur Stahlveredlung **haben zwei Funktionen**: Sie dienen **erstens** als **Vergleichsmaßstab** für die in Teil II erfolgenden Abschätzungen, die den Technischen Wandel umfassend berücksichtigen. Ohne einen solchen Vergleichsmaßstab kann der Einfluss des Technischen Wandels nicht entsprechend gewürdigt werden. **Zweitens stellen Trendextrapolationen trotz ihres hohen Abstraktionsgrades eine gute Abschätzung der zukünftigen Fördermengen dar**, denn Nachfrage und Angebot ändern sich bei Rohstoffen nicht sprunghaft.

So wird kaum zu erwarten sein, dass die Fördermenge an Kupfererz 2006 nur noch die Hälfte der Menge etwa des Jahres 2004 betragen wird. Vielmehr kann mit großer Gewissheit davon ausgegangen werden, dass die Förderung an Kupfererz im Jahr 2006 in der Nähe der Fördermenge des Jahres 2004 von 14,56 Mio. t Kupferinhalt liegen wird. Der Grund dafür ist, dass Basismetalle wie Kupfer wegen ihren vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten in den heutigen Industriegesellschaften kaum an Bedeutung verlieren, während sie in sich entwickelnden Schwellen- und Entwicklungsländern stärker an Bedeutung gewinnen.

Dies erklärt, warum der Bedarf und damit die Förderung dieser Rohstoffe langfristig zunehmen wird – und zwar mit einer ähnlichen durchschnittlichen Rate wie in der Vergangenheit, es sei denn, es treten gravierende technologische Veränderungen auf,

die die Nachfrage danach drastisch verändern. Im Allgemeinen ist damit zu rechnen, dass zunehmende Recyclingquoten einen dämpfenden Einfluss haben werden, so dass die zukünftigen Wachstumsraten tendenziell geringer sein werden, als in der Vergangenheit. Dies zu quantifizieren, ist Aufgabe der in Teil II erfolgenden Abschätzung der technologischen Entwicklung bei ausgewählten Rohstoffen.

Die in Tabelle 4.5 dargestellten Trendextrapolationen der Fördermengen an Kupfer sowie der übrigen Basismetalle zeigen, dass unter ähnlichen Verhältnissen wie in der Vergangenheit die Fördermengen an Bauxit und Eisenerz bis 2025 um rund 40 % ansteigen könnten, bei Kupfer und Nickel ist mit einem deutlich höherem Anstieg zu rechnen, wohingegen Blei an Bedeutung verlieren könnte, wenn der seit Mitte der siebziger Jahre bestehende, leicht negative Trend anhalten würde.

Tabelle 4.5: Trendextrapolation der Fördermengen an Basismetallrohstoffen in Mio. t

	2000	2010	2020	2025	Steigerung	Jährlich
Bauxit	136,00	154,23	178,80	191,09	40,5 %	1,4 %
Blei	3,10	2,84	2,66	2,57	-17,1 %	-0,8 %
Eisenerz	1 070,00	1 289,25	1 449,06	1 528,96	42,9 %	1,4 %
Kupfer	13,20	17,70	24,1	28,4	113,3 %	3,1 %
Nickel	1,27	1,88	2,44	2,75	116,2 %	3,1 %
Zink	8,79	10,60	12,64	13,73	56,2 %	1,8 %
Zinn	0,25	0,26	0,27	0,28	11,3 %	0,4 %

Tabelle 4.6 zeigt auf, dass auch bei der Mehrheit der zur Stahlveredelung verwendeten Metalle die Trends nach oben zeigen, am deutlichsten bei Tantal. Trends für Edel- und Legierungsmetalle sind im Tabellenanhang zu finden und allesamt positiv.

Tabelle 4.6: Trendextrapolation der Fördermengen von „Stahlveredlern“ in 1 000 t

	2000	2010	2020	2025	Steigerung	Jährlich
Chrom	4 750	5 938,0	6 812,7	7 116,6	49,8 %	1,6 %
Kobalt	37,2	60,2	70,5	74,6	100,5 %	2,8 %
Molybdän	129,0	129,2	143,6	150,9	17,0 %	0,6 %
Tantal	1,2	1,5	2,5	3,2	158,3 %	3,9 %
Titan	8,2	4,7	3,2	2,6	-68,6 %	-4,5 %
Vanadium	56,3	56,9	78,4	90,9	61,4 %	1,9 %
Wolfram	44,0	54,6	59,9	62,6	42,2 %	1,4 %

4.8 Trendextrapolation und Zeitreihenmodelle

Zusätzlich zur Extrapolation der Fördermengen von Bauxit wird hier exemplarisch eine Prognose der zukünftigen Produktion von Aluminium auf Basis eines Zeitreihenmodells erstellt, da der Zusammenhang zwischen Bauxitförderung und Aluminiumproduktion nicht so eng ist, wie dies beispielsweise bei der Kupfererzförderung und der Kupferproduktion der Fall ist. Der Grund dafür ist, dass aus Bauxit zunächst Tonerde (Aluminiumoxid) hergestellt wird, bevor daraus Aluminium produziert wird.

Die in Abbildung 4.4 dargestellten Trendextrapolationen der Produktion an Primäraluminium beruhen auf der Schätzung des folgenden Modells:

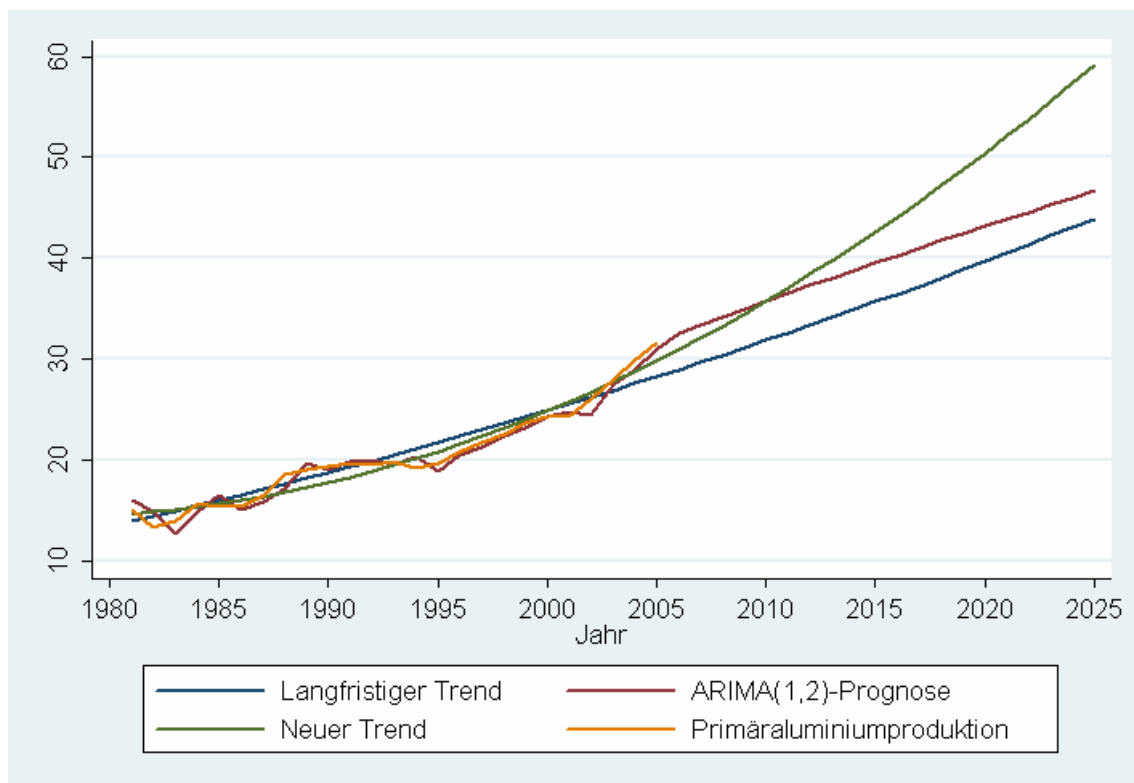
$$(\text{Primäraluminiumproduktion})_t = \mu + \varphi_1 t + \varphi_2 t^2 + \varepsilon_t$$

Wie die Empirie zeigt, ist beim Beispiel Primäraluminium eher von einem quadratischen als von einem exponentiellen Produktionswachstum auszugehen. Die Extrapolation des langfristigen Trends, in den sämtliche verfügbaren Produktionsdaten ab 1900 einfließen, ergibt eine geschätzte Primäraluminiumproduktion von rund 44 Mio. t im Jahr 2025. Verglichen mit der Produktion im Jahr 2005 bedeutet das für die nächsten 20 Jahre eine Zunahme um lediglich 37,5 %.

Würde man davon ausgehen, dass sich in den vergangenen Jahrzehnten ein neuer Trend ergeben hat, wofür die deutliche Erhöhung der jährlichen Wachstumsraten im letzten Jahrzehnt sprechen könnte, wäre indessen eher von einem Produktionsvolumen

von etwa 59 Mio. t für 2025 auszugehen. Dies entspräche einer Zunahme der Primäraluminiumproduktion um 84 %. Die in Teil II dargestellte Abschätzung des Bedarfs an Primäraluminium ergibt eine Steigerung um lediglich 48 % bis 2025. Dies ist vor allem Resultat einer deutlich höheren Recyclingquote, von der angenommen wird, dass sie von derzeit 20 % auf 50 % im Jahr 2025 steigt. Die Trendextrapolation der Aluminiumproduktion deutet folglich darauf hin, dass der zukünftige Bedarf an Primäraluminium ohne weiteres gedeckt werden könnte.

Abbildung 4.4: Prognose der weltweiten Produktion an Primäraluminium in Mio. t



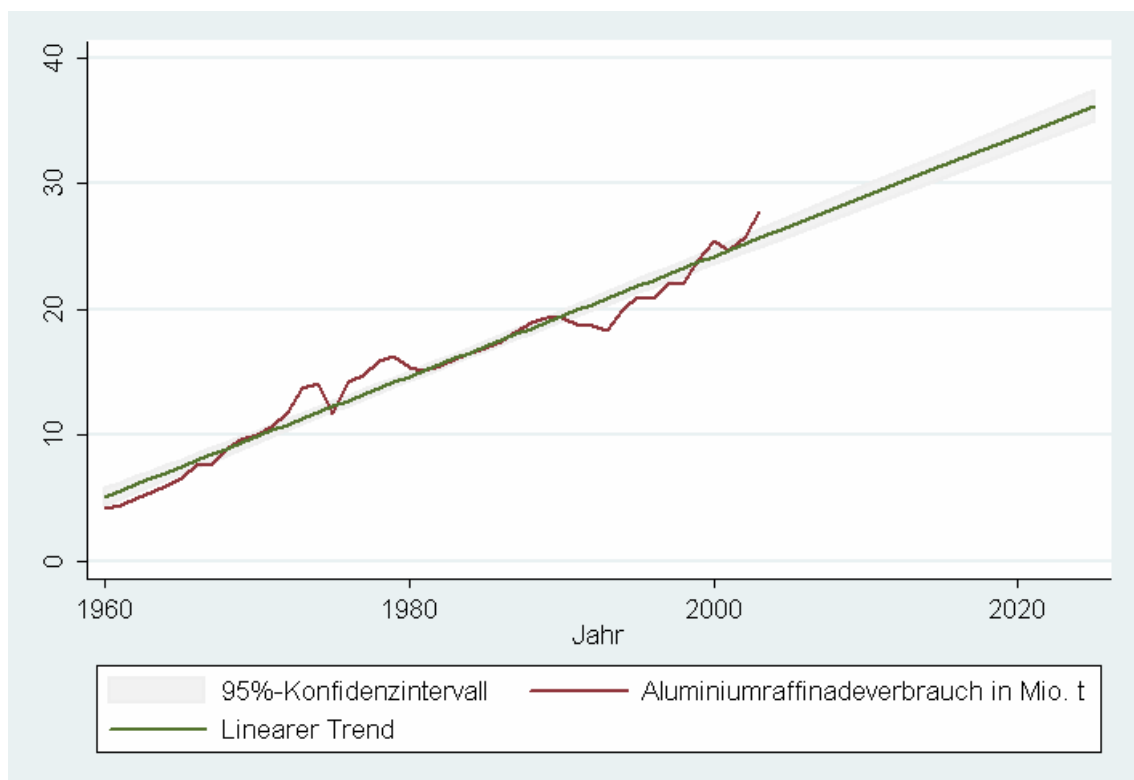
Für kurzfristige Prognosen wurde ein Zeitreihenmodell geschätzt, das die Entwicklung in den nächsten Jahren besser wiedergeben sollte als die Trendschätzungen. Als am besten geeignet erwies sich ein ARIMA(1,2)-Modell. Demnach ist mit einem Abflachen der Produktion in der nächsten Zeit zu rechnen. Der damit prognostizierte Anstieg um 46 % auf beinahe 47 Mio. t bis 2025 könnte sich nach dem stärkeren Wachstum der jüngsten Vergangenheit als zu gering erweisen, wenngleich er den in Teil II ermittelten Bedarfsanstieg um 48 % nahezu befriedigen könnte. Im Gegensatz zur Extrapolation eines potentiell neuen Trends wurden zur Schätzung des ARIMA(1,2)-Modells sämtliche Produktionswerte seit 1990 be-

nutzt. Auf die Darstellung von Konfidenzintervallen wurde zugunsten der übersichtlicheren Gegenüberstellung der drei Prognosen verzichtet.

4.9 Beispiele für Verbrauchsprognosen

Bedauerlicherweise stehen bis auf wenige Ausnahmen keine längeren Zeitreihen zum Verbrauch an Rohstoffen zur Verfügung. Eine der wenigen Ausnahmen bildet die Zeitreihe des Aluminiumraffina-
deverbrauchs. Eine einfache Extrapolation des offenbar recht linearen historischen Trends ergibt einen Raffinadeverbrauch von 36,1 Mio. t im Jahr 2025 (Abbildung 4.5). Gegenüber 2003 bedeutet dies einen Anstieg um gut 40 %. Damals lag der Raffinadeverbrauch bei 25,7 Mio. t. Das 95 %-Konfidenzintervall reicht dabei von 34,9 Mio. t bis 37,7 Mio. t.

Abbildung 4.5: Prognose des Aluminiumraffinadeverbrauchs (BGR 2005)



In diesem Intervall wird sich die tatsächliche Raffinadenachfrage im Jahr 2025 mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit von 95 % bewegen, wenn sich die lineare Trendprognose als adäquate Beschreibung der tatsächlichen Entwicklung erweisen sollte. Bedenkt man, dass der Raffinadeverbrauch nur einen Teil des Pri-

märaluminiumbedarfs darstellt, befindet sich die Raffinadeverbrauchsprognose im Einklang mit den vorigen Prognosen zur Primäraluminiumproduktion und der in Teil II dargestellten Nachfrageabschätzung.

Am Beispiel Kupfer soll nun dargestellt werden, dass sich für langfristige Prognosen einfache Trendextrapolationen zumeist ebenso gut eignen wie die im Vergleich dazu wesentlich komplexeren ARMA-Modelle. Die in Abbildung 4.6 dargestellte Trendextrapolation des Verbrauchs an Kupfer beruht auf der Schätzung der folgenden Gleichung:

$$\ln c_t = \mu + \varphi t + \varepsilon_t$$

Dies ist äquivalent zur Annahme, dass der Kupferverbrauch exponentiell mit der Wachstumsrate φ wächst:

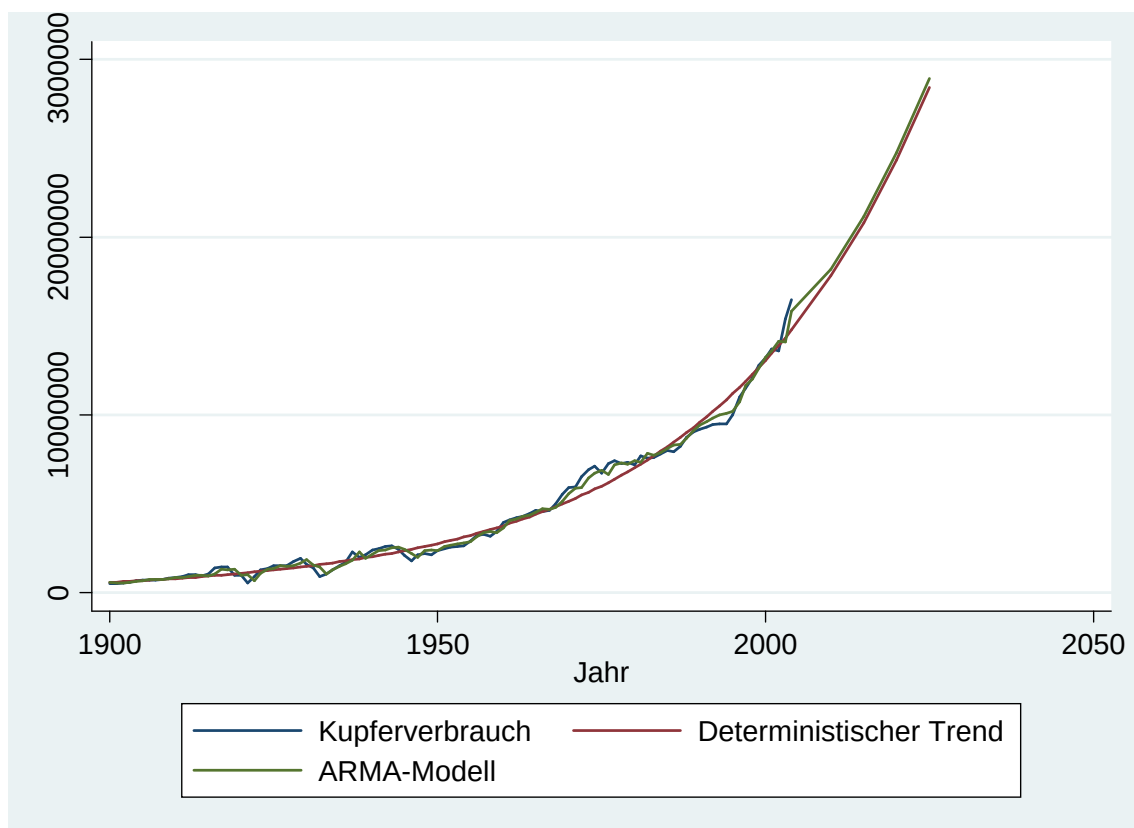
$$c_t = c_0 \exp(\varphi t) u_t, \text{ wobei } c_0 = \exp(\mu) \text{ und } u_t = \exp(\varepsilon_t).$$

Aus Abbildung 4.6 ist gut zu erkennen, dass der Bedarf an Kupfer die für die Nachfrage nach Rohstoffen typischen Zyklen aufweist. Nach einer längeren Phase eines moderaten Nachfrageanstiegs verstärkte sich die Zunahme des Kupferverbrauchs in den neunziger Jahren. Gegenwärtig liegt die Nachfrage oberhalb des ermittelten langfristigen Trends. Nach diesem Trend wäre 2025 mit einem Kupferverbrauch von 28,4 Mio. t zu rechnen.

Da es in der Natur der Sache liegt, dass kurzfristige Abweichungen vom langfristigen Trend nicht durch Trendextrapolationen vorhergesagt werden können, wurde zudem ein Zeitreihenmodell geschätzt. Diese erlaubt bessere Prognosen für den Kupferverbrauch für die unmittelbar kommenden Jahre. Dafür am besten geeignet erweist sich ein ARMA(1,1)-Modell mit zusätzlichem deterministischen Trend, dessen Vorhersagewerte in Abbildung 4.6 mit denen der obigen Trendextrapolation verglichen werden. Es wird deutlich, dass in diesem Beispiel langfristig nur geringfügige Unterschiede zwischen ARMA-Modell und Trendextrapolation bestehen. Für kurzfristige Prognosen ist indessen das ARMA-Modell überlegen, das für 2004 einen Kupferbedarf von 15,8 Mio. t voraussagt. Das ARMA-Modell bleibt damit unterhalb des tatsächlichen Verbrauchs von 16,5 Mio. t. Für 2010 lautet die Vorhersage

18,2 Mio. t. Diese Prognose liegt unterhalb des von der Norddeutschen Affinerie für 2010 erwarteten Bedarfs von 20,6 Mio. t (NA 2005:4). Für 2025 sagt das ARMA(1,1)-Modell einen Kupferbedarf von 28,9 Mio. t voraus. Das sind 0,5 Mio. t mehr als sich nach der Trendextrapolation ergeben würden, eine Abweichung, die mit weniger als 2 % klar im Rahmen der mit solchen Prognosen verbundenen statischen Unsicherheit bewegt. Auf Konfidenzintervalle wurde in diesem Beispiel aus Darstellungsgründen verzichtet.

Abbildung 4.6: Prognose auf Basis eines ARMA(1,1)-Modells und Extrapolation des weltweiten Verbrauchs an Kupfer in t



Aufgrund des Mangels an Daten für den Verbrauch an Rohstoffen kann lediglich in wenigen Fällen wie dem gerade erläuterten Kupferbeispiel durch die Extrapolation der historischen Nachfrage deutlich gemacht werden, wie groß der angebotsseitig zu deckende Anpassungsbedarf ist. Der Einfluss des technologischen Fortschritts auf die Nachfrage und vor allem dessen Änderung kann durch derartige Trendextrapolationen allerdings ohnehin nur unzureichend berücksichtigt werden. Der zukünftige Primärbedarf an einzelnen Rohstoffen bzw. die jeweils notwendigen Fördermengen werden ganz wesentlich durch neue technologische Entwicklungen und vor

allem auch durch zukünftige Änderungen der Recyclingquoten bestimmt. Diese Faktoren und deren Einfluss auf den Primärbedarf sollen deshalb für die getroffene Auswahl an Rohstoffen im folgenden Kapitel 5 beispielhaft und im Anhang C im Detail abgeschätzt werden. Dennoch haben die hier und im Folgenden präsentierten Trendschätzungen eine wichtige Funktion als Vergleichsmaßstab für diese Abschätzungen.

Modelle zur Vorhersage der zukünftigen Fördermengen müssen notwendigerweise stark abstrahieren. Prognosen, die auf Trendexplorationen beruhen, weisen dabei den höchsten Abstraktionsgrad auf. Vorstellungen, die zukünftigen Entwicklungen auf Basis eines möglichst alles umfassenden „Weltmodells“ abschätzen zu können, welches nicht nur alle ausgewählten Rohstoffe beinhaltet, sondern möglichst viele relevanten Rohstoffe sowie die weltweit bedeutendsten industriellen Sektoren und Länder umfasst, müssen an den dafür nötigen Datenerfordernissen scheitern. Darüber hinaus würde ein solches „Weltmodell“ einen sehr hohen Modellierungsaufwand erfordern, der im Rahmen eines einmalig vergebenen Projektes nicht geleistet werden könnte. Aber selbst ein solches Modell würde nur den Status Quo bzw. Business-as-Usual abbilden können. Abschätzungen über die zukünftigen technologischen Entwicklungen, wie sie im folgenden Kapitel 5 beispielhaft erfolgen, wären jedoch auch dann unabdingbar.

5 Technischer Wandel und Rohstoffnachfrage

Die Abschätzung des künftigen Bedarfs an Rohstoffen kann sich nicht allein auf Extrapolationen historischer Nachfragetrends stützen. Dies gilt besonders bei Bedarfsschätzungen mit einem langfristigen Betrachtungszeitraum. Vielmehr muss der von Innovationen ausgehende Technische Wandel sehr differenziert berücksichtigt werden. Dies gilt umso mehr, da die Innovationsgeschwindigkeit beständig zunimmt.

Der Technische Wandel beeinflusst die Rohstoffnachfrage wesentlich

Das vorliegende Kapitel beschreibt die methodische Vorgehensweise bei der Schätzung des Einflusses des Technischen Wandels auf die Rohstoffnachfrage und illustriert diese am Beispiel von Tantal. Der Technische Wandel äußert sich in technischen Entwicklungen wie etwa der Miniaturisierung von elektronischen Geräten, neuen Fertigungstechnologien von Bauteilen und neuen oder auslaufenden Werkstoffanwendungen.

5.1 Methodische Vorgehensweise

Die methodische Vorgehensweise bei der Quantifizierung der Effekte des Technischen Wandels auf den Rohstoffbedarf lehnt sich an die bewährte Methodik von Energiebedarfsprognosen an. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Rohstoffbedarf $B_{i,t}$ eines Sektors i zum Zeitpunkt t als Produkt zweier Faktoren ergibt, dem spezifische Rohstoffverbrauch $b_{i,t}$ einerseits und dem Produktionsniveau bzw. der Aktivitätsrate $A_{i,t}$ dieses Sektors andererseits:

Der Technische Wandel verändert den spezifischen Rohstoffbedarf

$$(5.1) \quad B_{i,t} = b_{i,t} A_{i,t} .$$

Damit wird der Rohstoffbedarf $B_{i,t}$ eines Sektors i erklärt durch eine dem Produktionsniveau des Sektors proportionale Komponente $A_{i,t}$ und einen zweiten Faktor $b_{i,t}$, der vom Technischen Wandel in diesem Sektor beeinflusst wird. Durch den Faktor $b_{i,t}$ werden die Veränderungen des Bedarfs bei konstanten Produktionsniveau abgebildet.

Die Veränderung des spezifischen Rohstoffbedarfs zwischen Ausgangs- und Zieljahr wird durch einen dimensionslosen Faktor q_i beschrieben, der die folgenden Werte annehmen kann:

Veränderung des spezifischen Rohstoffbedarfs

Bedeutung	q_i	Symbol
stark sinkend	0,50	↓
(mäßig) sinkend	0,75	↘
gleich bleibend	1,00	→
(mäßig) steigend	1,25	↗
stark steigend	1,50	↑

Ziel der im Anhang C detailliert dargestellten Analyse des Technischen Wandels ist es, die Faktoren q_i für die verschiedenen Anwendungsbereiche des Rohstoffs zu schätzen. Je nach Wert des Faktors q_i , der mit Hilfe von Literaturrecherchen ermittelt werden soll, ergibt sich der spezifische Rohstoffverbrauch $b_{i,2025}$ des Sektors i im Jahr 2025 aus dem spezifischen Rohstoffverbrauch $b_{i,2004}$ des Sektors i im Basisjahr 2004:

$$(5.2) \quad b_{i,2025} = q_i b_{i,2004} .$$

Die Veränderung der Aktivitätsrate des Sektors i wird üblicherweise mit Hilfe der mittleren jährlichen Wachstumsrate r_i der wirtschaftlichen Entwicklung dieses Sektors beschrieben ($-1 \leq r_i$):

Die Aktivitätsrate beschreibt die Wirtschaftsleistung eines Sektors

$$(5.3) \quad A_{i,2025} = (1 + r_i)^{21} A_{i,2004} .$$

Dementsprechend sind Annahmen zu treffen, mit welchen mittleren Raten die jeweiligen Sektoren, die den Rohstoff einsetzen, zukünftig wachsen werden. Diese Annahmen können beispielsweise auf den historischen wirtschaftlichen Entwicklungen dieser Sektoren beruhen.

Auf Basis der Definitionen 5.1 bis 5.3 ergibt sich die Veränderung des Rohstoffbedarfs des Sektors i zwischen dem Ausgangsjahr 2004 und dem Zieljahr 2025 wie folgt:

$$(5.4) \quad B_{i,2025} = b_{i,2025} A_{i,2025} = q_i (1 + r_i)^{21} b_{i,2004} A_{i,2004} \\ = q_i (1 + r_i)^{21} B_{i,2004}$$

Die Veränderung des Rohstoffbedarfs des Sektors i lässt sich somit aus dem Verbrauch $B_{i,2004}$ dieses Sektors im Ausgangsjahr 2004

bestimmen, welcher mit der Änderung des spezifischen Bedarfs q_i des Sektors und dem Wachstumsfaktor der Produktionsentwicklung multipliziert wird.

Um zur gesamten Veränderung des Rohstoffbedarfs zwischen 2004 und 2025 zu gelangen, sind die Änderungen des Verbrauchs der einzelnen Sektoren entsprechend ihres jeweiligen Gewichts am Gesamtverbrauch im Ausgangsjahr 2004 zu berücksichtigen:

$$(5.5) \quad B_{2025}/B_{2004} = q_1 (1 + r_1)^{21} B_{1,2004}/B_{2004} + \dots \\ + q_i (1 + r_i)^{21} B_{i,2004}/B_{2004} + \dots + q_n (1 + r_n)^{21} B_{n,2004}/B_{2004} .$$

Zur konkreten Durchführung dieser Abschätzungsmethode sind die wesentlichen Anwendungsbereiche des Rohstoffs zu identifizieren, die entsprechenden Anteile $B_{i,2004}/B_{2004}$ des jeweiligen Anwendungsbereichs i am weltweiten Verbrauch des Rohstoffs im Jahr 2004 zu bestimmen, Annahmen über das durchschnittliche zukünftige Wachstum r_i des jeweiligen Sektors i zu treffen und schließlich die durch den Technischen Wandel ausgelöste Veränderung des Rohstoffbedarfs q_i für die einzelnen Sektoren abzuschätzen. Die beschriebene Methode und Vorgehensweise zur Analyse des Einflusses des Technischen Wandels wird im folgenden Abschnitt am Beispiel von Tantal demonstriert.

Methodisch handelt es sich bei dieser Vorgehensweise um Technologievorausschau, welche – aufgrund komplexer Wirkungsmechanismen und nicht behebbarer Unsicherheiten bei der Einschätzung künftiger Entwicklungen – eine semiquantitative Methode darstellt und nur sehr grobe Abschätzungen erlaubt. Solche Analysen stützen sich auf vorhandenes Expertenwissen, das durch Literatúrauswertung, Interviews, einfache schriftliche Befragungen oder mehrstufige Delphibefragungen erschlossen werden kann. Die vorliegende Studie stützt sich auf umfassende Literatur- und Informationsrecherchen. Die gewonnenen Ergebnisse wurden ausgewiesenen Fachleuten aus der jeweiligen Rohstoffbranche vorgelegt und haben im Beispiel von Tantal für positive Resonanz gesorgt.

Technologievor-
ausschau ist eine
semiquantitative
Methode der
Zukunftsanalyse

5.2 Beispiel Tantal

Hauptabnehmer von Tantal ist die Elektronik- und optische Industrie. Dieser Anwendungsbereich benötigt derzeit um die 60 % der weltweiten Tantalproduktion, weit mehr als der Sektor Metallverarbeitung, der einen Verbrauchsanteil von lediglich 16 % aufweist.

Tabelle 5.1 Verbrauchsanteile der Verwendungssektoren (IMM 2001)

	Produktbeispiele	Anteile
Elektronik- und optische Industrie	Kondensatoren, Drähte; Linsen	60 %
Metallverarbeitung	Karbide für Hartmetallschneidwerkzeuge	16 %
Luft- und Raumfahrt; Fahrzeugbau	Triebwerks-, Motor- und Turbinenkomponenten, Hitzeschilde	14 %
Chemische Industrie	Auskleidungen, Behälter, Ventile	4 %
Medizintechnik etc.	Implantate, medizinische Apparate	6 %
Insgesamt		100 %

Die in Anhang C, Abschnitt 12.9, erfolgende ausführliche Diskussion zur qualitativen Einschätzung der treibenden Kräfte einer Veränderung des spezifischen Tantalbedarfs ist in den folgenden Tabellen zusammengefasst. So wird davon ausgegangen, dass der Technische Wandel im bedeutendsten Anwendungsbereich, der Elektronik- und optischen Industrie sich nicht steigernd auf den spezifischen Tantalbedarf auswirkt. Daher wird $q_i = 1,00$ gesetzt. In der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt und dem Fahrzeugbau wird indessen ein stark steigender spezifischer Bedarf erwartet. Für diese Bereiche ist q_i deshalb auf den Wert 1,50 gesetzt worden.

Um den Einfluss des Technischen Wandels auf den Tantalbedarf von den Effekten der wirtschaftlichen Entwicklung der jeweiligen Verbrauchssektoren separieren zu können, werden drei Szenarien betrachtet. In Szenario 1 wird unterstellt, dass die jeweiligen Anwendungsbereiche keinerlei Wachstum aufweisen ($r_i=0$). Die Höhe der Produktion der Sektoren wird folglich im Jahr 2025 der des Basisjahrs 2004 entsprechen. Die Veränderung des Tantalbedarfs wird in diesem – unrealistischen – Szenario allein durch den Technischen Wandel verursacht. Szenario 1 dient lediglich zu Vergleichszwecken. Die wirtschaftliche Entwicklung wird

hingegen in Szenario 2 und 3 berücksichtigt, welche somit der bis 2025 tatsächlich eintretenden Entwicklung näher kommen sollten. Aus dem Vergleich der Szenarien kann ermittelt werden, welcher Teil der Änderung der Rohstoffnachfrage allein auf den Technischen Wandel zurückzuführen ist und welcher Teil auf die wirtschaftliche Entwicklung der Verbrauchssektoren.

Das Ergebnis für Szenario 1 zeigt Tabelle 5.2. Die ausgewiesenen Bedarfsgrößen sind auf das Basisjahr 2004 „normiert“. Im Ergebnis steigt der erwartete Tantalbedarf durch den Technischen Wandel in den 21 Jahren zwischen 2004 und 2025 nur moderat um 14 %.

Der Technische Wandel erhöht den Tantalbedarf in moderater Weise

Tabelle 5.2 Tantalbedarf 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Elektronikindustrie, optische Industrie	60 %	1,00	60 %
Metallverarbeitung	16 %	1,25	20 %
Luft- und Raumfahrt und Fahrzeugbau	14 %	1,50	21 %
Prozesstechnik der Chemischen Industrie	4 %	1,00	4 %
Medizintechnik und andere Anwendungen	6 %	1,50	9 %
Insgesamt	100 %	1,14	114 %

In Szenario 2 wird angenommen, dass die Wachstumsbranchen Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Medizintechnik zwischen 2004 und 2025 eine mittlere jährliche Wachstumsrate von 2 % erreichen, während die übrigen Sektoren mit 1 % pro Jahr dahinter zurück bleiben. In Szenario 3 wird angenommen, dass die Wachstumsbranchen Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Medizintechnik zwischen 2004 und 2025 eine mittlere jährliche Wachstumsrate von 3 % erreichen, während die übrigen Sektoren mit 1 % pro Jahr dahinter zurück bleiben.

Die Anwendung von Gleichung 5.5 ergibt nun ein anderes Bild. Die Änderungen des Bedarfs an Tantal sind in den Tabellen 5.3 und 5.4 dargestellt und wiederum auf das Jahr 2004 normiert. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren würde der Bedarf hingegen um 67 % steigen. Noch deutlich stärker steigen würde der Tantalbedarf im Falle eines hohen sektora-

len Wachstums. Der Vergleich der Szenarien ergibt, dass die Bedarfszunahme weitgehend durch die wirtschaftliche Entwicklung getrieben wird. Der Technische Wandel verstärkt den Nachfragenstieg mit wiederum 14 % nur geringfügig.

Tabelle 5.3 Tantalbedarf 2025 mit moderatem sektoralen Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Elektronikindustrie, optische Industrie	2 %	60 %	91 %	1,00	91 %
Metallverarbeitung	1 %	16 %	20 %	1,25	25 %
Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau	2 %	14 %	21 %	1,50	32 %
Chemische Industrie	1 %	4 %	5 %	1,00	5 %
Medizintechnik etc.	2 %	6 %	9 %	1,50	14 %
Insgesamt		100 %	146 %	1,14	167 %

Nach dem dritten Szenario mit einem vergleichsweise hohen wirtschaftlichen Wachstum der Branchen, in denen Tantal verwendet wird, könnte der Tantalbedarf bis 2025 um 104 % wachsen.

Tabelle 5.4 Tantalbedarf 2025 mit hohem sektoralem Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Elektronikindustrie, optische Industrie	3 %	60 %	112 %	1,00	112 %
Metallverarbeitung	2 %	16 %	24 %	1,25	30 %
Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau	3 %	14 %	26 %	1,50	39 %
Chemische Industrie	2 %	4 %	6 %	1,00	6 %
Medizintechnik etc.	3 %	6 %	11 %	1,50	17 %
Insgesamt		100 %	179 %	1,14	204 %

Es wird erwartet, dass die Recyclingquote von derzeit 10 % auf 20 % im Jahr 2025 steigt. Dies dämpft den Anstieg des Bedarfs an Primärtantal aus geogenen Ressourcen, der bis 2025 zwischen

49 % und 81 % steigen könnte (Tabelle 5.5). Ohne den Ausbau des Recyclings, durch den sich die aus gebrauchten Produkten zurück gewonnene Menge an Sekundärtantal erhöht, würde der Bedarf an Primärtantal zwischen 67 % und 104 % zunehmen.

Tabelle 5.5 Änderung des Bedarfs an Primärtantal 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Tantalbedarf	100 %	167 %	204 %
Recyclingquote	10 %	20 %	20 %
Angebot an Sekundärtantal	10 %	33 %	41 %
Bedarf an Primärtantal	90 %	134 %	163 %
Änderung des Bedarfs an Primärtantal		+ 49 %	+ 81 %

Aus der semiquantitativen Vorausschau des Einflusses des Technischen Wandels auf den Tantalbedarf lässt sich folgendes ableiten:

1. Beim Einfluss des Technischen Wandels auf den Tantalbedarf könnten sich Faktoren, die den Bedarf steigern und solche, die den Bedarf senken, beinahe die Waage halten. Der künftige Tantalbedarf sollte überwiegend vom wirtschaftlichen Wachstum der Nachfragesektoren bestimmt werden.
2. Tantal wird derzeit und voraussichtlich auch zukünftig besonders von Hochtechnologiesektoren wie Elektronikindustrie und die Medizintechnik nachgefragt. Für diese Sektoren kann gleichzeitig ein überdurchschnittliches wirtschaftliches Wachstum erwartet werden.
3. Selbst ein starker Ausbau des Recyclings vermag den Anstieg der Nachfrage nach Primärtantal nur wenig zu dämpfen.
4. Im Falle einer Verknappung von Tantal wären Substitute vorhanden. Allerdings müssten Abstriche bei der technischen Leistungsfähigkeit in Kauf genommen werden.

[Hochtechnologieanwendungen sind auf Tantal angewiesen](#)

5.3 Zusammenfassung

Am Beispiel der Abschätzung des künftigen Bedarfs an Tantal wurde die hier angewendete Methode zur Beschreibung des Einflusses von Technischem Wandel auf den Rohstoffbedarf erläutert. Eine derartige Betrachtung stellt eine Ergänzung zu den in Kapitel 4 erfolgten Trendextrapolationen dar, denn diese können den technologischen Fortschritt und vor allem dessen Änderungen nur unzureichend berücksichtigen. Einfache Trendextrapolationen allein sind wegen ihres hohen Abstraktionsgrades insbesondere nicht dazu geeignet, die genauen Ursachen des Technischen Wandels zu erklären. Die hier vorgeschlagene Methode erfordert eine ausführliche Literaturrecherche, die mit hohem Aufwand verbunden ist, da die benötigten Informationen in der Regel aus verstreuten Quellen zusammen getragen werden müssen.

6 Trends bei ausgewählten Rohstoffen: Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie für die in Kapitel 3 ausgewählten Rohstoffe kurz zusammengefasst. Detaillierte Beschreibungen der historischen und zukünftigen Angebots- und Nachfragetrends befinden sich in Kapitel 8 und Anhang C.

6.1 Kupfer

Der seit 2003 zu verzeichnende drastische **Preisanstieg bei raffiniertem Kupfer von rund 1 500 US \$ pro Tonne auf nahezu das Sechsfache** im Mai 2006 ist Resultat einer zwischen 2000 und 2003 stagnierenden Produktion im weltweiten Kupferbergbau und einer ab 2003 wieder anziehenden globalen Nachfrage nach Kupfer. **Den größten Anteil am weltweiten Kupferverbrauch 2004 weist mit etwa 19,4 % China auf, während Indien lediglich ein Zehntel des chinesischen Bedarfs hat.** In Deutschland hingegen stagnierte der Kupferbedarf mehr oder weniger und betrug 2004 etwas mehr als 1,1 Mio. t. Deutschland hatte 2004 einen Anteil von 6,7 % am weltweiten Verbrauch von 16,5 Mio. t und weist damit den vierthöchsten Bedarf in der Welt auf; in der EU ist Deutschland der größte Kupferverbraucher.

Preisexplosion bei Kupfer, aber auch bei anderen Rohstoffen

Seit 1995 hat sich der Kupferraffinadeverbrauch Chinas verdreifacht, während der weltweite Verbrauch lediglich um 37 % bzw. jährlich um rund 3,2 % stieg. **Dennoch ist der Anstieg der Kupferpreise nicht allein auf die große Nachfrage aus China, sondern ganz entscheidend auf die für Rohstoffe charakteristische Zyklen zurückzuführen.** Denn: Chinas Rohstoffbedarf ist auch von 2000 auf 2001 bzw. 2002 stark gestiegen, als die niedrigen Kupferpreise in Folge von Angebotsüberschüssen im Bergbausektor zu Kapazitätsstilllegungen führten. Ab 2003 verringerten sich deshalb die hohen Lagerbestände an Kupfer von mehr als 2 Mio. t im Jahr 2002 zunächst langsam und später drastisch. Nach einer dreijährigen Phase der Produktionsdefizite wird für 2007 wieder von einem wachsenden Überschuss an Kupfer und daher von wieder fallenden Preisen ausgegangen.

Die weltweit großen Knappheiten an Kupferkonzentraten in den letzten Jahren konnte die **Norddeutsche Affinerie, Europas**

größter Kupferproduzent, durch langfristige Lieferverträge und eine breit gefächerte Lieferantenstruktur meistern. Der mit einem Marktanteil von über 80 % dominierende deutsche Kupferhersteller erweiterte zudem seinen Kreis an Lieferanten. Wenngleich die weltweite Kupferförderung sich gegenwärtig zu mehr als einem Drittel auf Chile konzentriert, ruht diese auf den Schultern sehr vieler Unternehmen, so dass der Markt als kaum konzentriert zu bezeichnen ist. Die Versorgungssituation mit Kupfer sollte sich zudem durch die ab 2006 wirksame Elektronikschrottverordnung und den dadurch wachsenden Recyclingmarkt verbessern.

Gegenwärtig liegt die Nachfrage nach Kupfer oberhalb des in Kapitel 4 ermittelten langfristigen Trends. Demnach wäre 2025 mit einem Kupferverbrauch von rund 28,5 Mio. t zu rechnen. Verglichen mit dem Verbrauch von 16,5 Mio. t im Jahr 2004 bedeutet dies eine Steigerung um rund 72 % bzw. 2,7 % pro Jahr, während in den letzten 10 Jahren der Kupferverbrauch um 37 % bzw. 3,2 % pro Jahr gestiegen ist. Die Abschätzungen zum Technischen Wandel im Anhang C ergeben, dass dieser Nachfrageanstieg nahezu ausschließlich auf das wirtschaftliche Wachstum der Verbrauchssektoren zurückzuführen sein sollte, wohingegen die den Verbrauch steigernden bzw. senkenden Einflüsse des technologischen Fortschritts sich über die einzelnen Verbrauchssektoren insgesamt weitgehend ausgleichen sollten.

Läge die weltweite Recyclingquote für Kupfer 2025 tatsächlich bei 35 %, wie bei den Abschätzungen zum Technischen Wandel im Anhang C angenommen wird, anstatt wie derzeit bei 13 %, so sollte der Primärkupferbedarf bis 2025 bei einem Kupferverbrauchsanstieg um 72 % um lediglich knapp 30 % anwachsen. Wenngleich die weltweite Recyclingquote im Jahr 2025 kaum vorhergesagt werden kann, weil diese entscheidend von der Höhe der Kupferpreise abhängen wird, verdeutlicht dieses Rechenbeispiel, dass **die Zunahme des zukünftigen Kupfererzbedarfs durch die Möglichkeit des Recyclings in Grenzen gehalten werden kann.** Je höher der Kupferpreis, desto mehr wird von dieser vom Deutschen Kupferinstitut als größte und wirtschaftlichste Kupfermine bezeichneten Rohstoffquelle Gebrauch gemacht. Eine weltweite Recyclingquote von 35 % ist dabei angesichts der gegenwärtigen Quote von etwa 55 % in Deutschland nicht undenkbar.

Die Unternehmenskonzentration bei Kupfererzförderern ist gering

Fazit: Obwohl **Kupfer** in Kapitel 3 aufgrund der starken Konzentration der Reserven und Förderung auf Chile als ein für Deutschland potentiell risikoreicher Rohstoff identifiziert wurde, sollte die in Teil II erfolgende detaillierte Analyse diesbezügliche Bedenken weitgehend zerstreuen, vor allem angesichts der geringen Konzentration der Kupfererz fördernden Unternehmen und der hohen Bedeutung des Recyclings in Deutschland.

Chile besitzt sehr große Kupfervorräte

6.2 Aluminium

Aluminium ist das am häufigsten in der Erdkruste auftretende Metall und somit reichlich vorhanden. Die Erschöpfung dieser Ressource wird daher als noch viel weniger akut angesehen als dies für andere Metalle gilt. Selbst wenn der zur Aluminiumproduktion gegenwärtig ausschließlich benutzte Rohstoff Bauxit, dessen Statische Reichweite aktuell knapp 150 Jahre beträgt, einmal ausgegangen sein sollte, wird es andere wirtschaftliche Alternativen zur Aluminiumgewinnung geben. **Aluminium wird daher als praktisch unerschöpflich angesehen.**

Eine unter Wirtschaftlichkeits- und Energiegesichtspunkten sehr bedeutende Rohstoffquelle ist das Recycling. Beispielsweise liegen die Recyclingraten von Aluminiumdosen in Japan bei 70 %, in den USA unwesentlich niedriger. **Für Deutschland ist wegen der Einführung eines einheitlichen Rücknahmesystems für Einwegverpackungen ab Mai 2006 von einem hohen Recyclinganteil bei Aluminiumdosen auszugehen.** Damit könnte das inländische Schrottaufkommen in Zukunft weiter erhöht werden.

Aluminiumrecycling ist auf dem Vormarsch

Recycling stellt neben dem weiteren Ausbau der Produktionskapazitäten für Primäraluminium, vor allem in Südamerika, Afrika und Asien, die bedeutendste Antwort auf einen immer weiter wachsenden Aluminiumbedarf dar. Zwischen 1976 und 2005 hat sich die Nachfrage nach Primäraluminium um etwa das Zweieinhalbfache erhöht, von weniger als 13 Mio. t auf knapp 32 Mio. t. Allein in den letzten 5 Jahren erhöhte sich die Nachfrage um 35 %. Mit rund 42 % hatte China den größten Anteil daran. Zwischen 2001 und 2005 hat sich Chinas Nachfrage sogar verdoppelt.

Während China damit an den USA als dem bis dato größten Verbraucher vorbeizog, hat sich Indiens Nachfrage in diesem Zeitraum um rund 50 % erhöht. **Dennoch spielt Indien mit weni-**

ger als einem Siebtel der chinesischen Nachfrage eine geringere Rolle als Deutschland und hat eine marktneutrale Position inne: In den letzten Jahren wurde in Indien im Wesentlichen für den eigenen Bedarf produziert.

Es ist allerdings davon auszugehen, dass Staaten wie Indien und Russland über kurz oder lang Chinas Rolle übernehmen werden, während die Nachfrage Chinas ähnlich den Bedarfskurven westlicher Industriestaaten irgendwann in einen Bereich des moderaten Wachstums oder gar der Sättigung übergehen wird. **Das zu erwartende Nachfragewachstum ist für heimische Aluminiumproduzenten positiv zu sehen, denn es kann für auskömmliche Preise sorgen.**

Trotzdem wird es nach 2006 in Deutschland **nur noch vier Aluminiumhütten** geben, in Neuss (Hydro Aluminium), Essen (Trimet), Voerde (Corus) und in Hamburg (Trimet). Der für Deutschland zu erwartende weiter wachsende **Aluminiumbedarf**, welcher von 1994 auf 2004 um etwa 50 % auf **rund 3 Mio. t** angestiegen ist, muss daher durch die nur noch geringfügig mögliche Ausdehnung der Produktion der verbleibenden Hütten sowie durch erhöhte Importe gedeckt werden. **2004 deckten Importe bereits 60 % des Bedarfs.** Es ist davon auszugehen, dass dieser Anteil zukünftig steigen wird, unter anderem weil die Kontingente bestehender Stromlieferverträge eine deutliche Ausweitung der heimischen Produktion behindern. **Die Zunahme der Importe sollte für die heimischen Aluminiumverarbeiter kein Problem darstellen:** Unabhängig davon, ob Aluminium aus dem In- oder Ausland stammt, ist der Preis, welcher sich an den Notierungen der Londoner Metallbörse orientiert, im Wesentlichen derselbe.

Geringe Zahl an
Aluminiumprodu-
zenten in
Deutschland

Während die Aluminiumimporte aus dem Ausland in der Regel aus Standardprodukten bestehen, ist das Produktportfolio heimischer Produzenten wie Trimet komplementär dazu und besteht vorwiegend aus spezifischen Produkten wie bestimmten Aluminiumlegierungen. Die Nähe zum heimischen Kunden und die Flexibilität bei der Bearbeitung der Kundenwünsche ist ein weiterer Vorteil inländischer Produzenten.

Die **Nachfrageanstiege um durchschnittlich etwa 5 %** in den vergangenen 5 Jahren **sollten für die heimischen Aluminiumproduzenten positive Auswirkungen haben.** Die zusätzlichen Gewinne aufgrund der dadurch ausgelösten Preisanstiege für

Aluminium helfen, die Konsequenzen der in Zukunft weiter steigenden Strompreise abzufedern. Bei einem Produktionskostenanteil von über 30 % stellen nicht die Rohstoffe, sondern vielmehr der Strom den kostenintensivsten Produktionsfaktor dar. Dessen Bedeutung könnte unter den gegebenen politischen Rahmenbedingungen sogar weiter steigen.

Fazit: Um einen weiteren Rückgang der Zahl der **Aluminium**produzenten in Deutschland zu verhindern, sind noch viel mehr als rohstoffpolitische Maßnahmen solche Entscheidungen gefragt, die einen weiteren Anstieg der Strompreise dämpfen oder gar vermeiden helfen. Die Gefahren, die aus der relativ hohen Konzentration der Bauxitförderung auf wenige, politisch und wirtschaftlich nicht besonders stabile Länder resultieren, erscheinen demgegenüber weniger bedeutend. Dies hängt damit zusammen, dass steigende inländische Energiepreise die Primäraluminiumproduktion zugunsten des Imports von Halbzeug zurückdrängen könnten und dem Recycling in Deutschland noch mehr Bedeutung verleihen dürften, da die Sekundärproduktion weniger energieintensiv ist als die Primärerzeugung.

Aluminiumproduzenten sorgen sich mehr um die Strom- als um Rohstoffpreise

6.3 Eisen

Eisenerz wird nahezu ausschließlich zur Stahlerzeugung eingesetzt, nur noch geringe Mengen werden zur Gusseisenproduktion verwendet. Stahl erlebte nach einer Phase mäßigen Wachstums oder gar der Stagnation, welche mit der ersten Erdölkrise Mitte der 70er Jahre begann, spätestens seit dem Beginn des neuen Jahrtausends eine weltweite Renaissance. Das seither zu beobachtende weltweite Nachfragewachstum, das ganz wesentlich durch den stark angestiegenen Stahlbedarf Chinas angetrieben wird, weist Steigerungsraten auf, die jene während der Wiederaufbauphase nach dem 2. Weltkrieg in den Schatten stellen.

Hierdurch stieg gleichzeitig auch der Bedarf an Eisenerz weltweit stark an. Nach einer Phase der Überkapazitäten und des daraus resultierenden Preisverfalls für Eisenerz, die bis zum Ende der 90er Jahre anhielt, kam es daher ab dem Jahr 2000 zur einer Erholung der Eisenerzpreise. Diese könnte sich in den nächsten Jahren fortsetzen, da die lange Zeit herrschenden Überkapazitäten mittlerweile abgebaut sind und es noch einige Jahre in Anspruch

nehmen wird bis neue Produktionskapazitäten entstanden sind. Gleichzeitig muss mit einem weiterhin steigenden Stahlbedarf gerechnet werden, der vor allem auf China zurückzuführen ist. Es ist davon auszugehen, dass auch Südkorea, die USA und Indien substantiell zu diesem Nachfragewachstum nach Stahl und damit nach Eisenerz beitragen werden.

Indien spielt mit nur einem Neuntel des chinesischen Eisenerzverbrauchs **eine weitaus geringere Rolle als China, Japan, die USA oder auch Südkorea.** Zudem deckt Indien seinen Bedarf nicht nur aus eigenen Erzvorkommen, sondern trägt durch Exporte sogar zur Deckung der weltweiten Nachfrage bei. Befürchtungen, neben China würde mit Indien ein zweiter gigantischer Rohstoffverbraucher erwachsen, sind somit bezüglich des Bedarfs an Eisenerz unzutreffend. Dennoch ist es nur eine Frage der Zeit, wann ein ähnlicher Nachfrageschub, wie er derzeit und auch noch geraume Zeit in der Zukunft durch China ausgelöst wird, von einer anderen, sich stark entwickelnden Region in der Welt ausgehen wird.

Mit sehr großer Sicherheit wird somit die weltweite Nachfrage nach Eisenerz immer weiter anwachsen, selbst wenn der Bedarf in den hoch industrialisierten Ländern zukünftig eher stagnieren als wachsen und auch die chinesische Nachfrage irgendwann einmal erlahmen wird. Schließlich wird Eisen bereits seit mehr als 5 000 Jahren verwendet und stellt in Form von Stahl den mit Abstand wichtigsten metallischen Werkstoff dar, der für moderne Industrieländer unersetzlich ist.

Befürchtungen hinsichtlich einer potentiellen Erschöpfung der weltweiten Eisenerzvorkommen sind indessen nicht angebracht. Beim gegenwärtigen Verbrauch würden die Reserven noch mehr als 120 Jahre ausreichen. Die gegenwärtig bekannten Ressourcen in Höhe von 800 Mrd. t sind gar fünfmal umfangreicher als die Reserven. **Eisenerz** wird daher ebenso wie Aluminium häufig als **praktisch unerschöpflich** bezeichnet.

Darüber hinaus dürfte der spezifische Einsatz an Erz je Tonne Stahl in Zukunft durch Effizienzverbesserungen und technologischen Wandel im weltweiten Durchschnitt weiter abnehmen und dadurch den Ressourcenverbrauch in Folge einer weiter steigenden Nachfrage dämpfen. So fiel der spezifische Verbrauch in Deutsch-

Der Stahl- und Eisenerzbedarf wird auch in Zukunft weiter erheblich steigen

Eisen und Stahl stellen den bedeutendsten Werkstoff in Industriegesellschaften dar

land von 1,37 t Erz je t Stahl im Jahr 1975 auf den Wert von 1,12 im Jahr 2000.

Wesentlich dazu beigetragen hat die starke Zunahme des Anteils des Elektrostahlverfahrens an der Stahlproduktion. Dieser Anteil stieg in Deutschland zwischen 1975 und 2004 von 12,6 % auf 30,7 %. Beim Elektrostahlverfahren wird Stahlschrott anstatt Eisenerz als Rohstoff eingesetzt und zu neuem Stahl geschmolzen. Mit der stärkeren Verwendung des Elektrostahlverfahrens wird der weltweite Beitrag von Stahlschrott zur Stahlproduktion voraussichtlich deutlich zunehmen. In Deutschland liegt der Schrottanteil an der Stahlproduktion derzeit bereits bei rund 45 %.

Vor allem für große, international operierende Konzerne kann eine **Beteiligung an Bergbauunternehmen** oder gar die **vertikale Integration** eines solchen eine Möglichkeit der Sicherung des Rohstoffzugangs bedeuten. So baut ThyssenKrupp zusammen mit der brasilianischen CVRD in Brasilien ein neues Stahlwerk. Dadurch ist der Bezug von Eisenerz gesichert, die Nähe zum nordamerikanischen Absatzmarkt ist ein weiterer Vorteil.

Eine Tendenz zur Konzentration gibt es auf der Seite der Rohstoffnachfrager ebenso wie auf der Seite der Anbieter

Die unter den Rohstoffnachfragern ebenfalls zunehmenden Konzentrationstendenzen könnten zukünftig für ähnlich mächtige Unternehmen sorgen, wie dies mit BHP Billiton oder CVRD bei den Rohstoffanbietern vielfach bereits der Fall ist. So wird davon ausgegangen, dass in absehbarer Zeit der weltweite Stahlmarkt von einigen wenigen Unternehmen mit einem jährlichen Produktionsvolumen von über 100 Mio. t dominiert wird.

Die Unternehmenskonzentration bei der Eisenerzförderung ist mit einem Wert von 0,06, den der Herfindahlindex für das Jahr 2003 annimmt, gering. **Allerdings liegen mehr als 70 % des Seehandels mit Erz in den Händen dreier großer Unternehmen, BHP Billiton, CVRD und Rio Tinto.** Dies ist jedoch nicht die alleinige Ursache für die derzeit hohen Eisenerzpreise. Vielmehr sind diese auch das Resultat einer großen Nachfrage nach Stahl, welche wiederum einen entsprechenden Erzbedarf auslöst.

Fazit: Obwohl **Eisenerz** nach der in Kapitel 3 vorgenommenen systematischen Auswahl nicht zu den für Deutschland potentiell kritischen Rohstoffen zählt, wurde dieser Rohstoff wegen seines hohen Importwertes und der sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Bedeutung in dieser Studie näher betrachtet. Im Ergebnis bestätigt sich, dass Eisenerz zukünftig aller Voraussicht

Eisenerz ist aus deutscher Sicht kein kritischer Rohstoff

nach nicht zu den kritischen Rohstoffen gehören sollte, da die Ressourcen als praktisch unerschöpflich anzusehen sind und sich auf zahlreiche Länder verteilen.

6.4 Zink

Die **Verzinkung von Stahl** ist mit einem Anteil von gegenwärtig rund 50 % die weltweit **bedeutendste Anwendung** von Zink. **Die Nachfrage nach Zink wird daher ganz wesentlich vom Bedarf an Stahl bestimmt.** Es verwundert somit nicht, dass der weltweit größte Stahlproduzent und -verbraucher **China** mit knapp 22 % im Jahr 2005 auch den **größten Anteil am weltweiten Zinkverbrauch** aufwies, während die USA nur einen Anteil von 12 % hatte. Indien wies lediglich ein Sechstel des chinesischen Bedarfs auf und verbrauchte verglichen mit den USA weniger als ein Drittel an Zink. Durch den massiven Nachfrageanstieg Chinas um mehr als 25 % zwischen 2003 und 2005 entwickelt sich **China erstmals zum Nettoimporteur.**

Dennoch ist dies nicht die alleinige Ursache des **seit 2002** zu verzeichnenden drastischen **Preisanstiegs** bei raffiniertem Zink **von durchschnittlich rund 780 US \$ pro Tonne auf mehr als das Vierfache** im Mai 2006. Vielmehr wurden infolge der niedrigen Preise der Jahre 2001 bis 2003 eine Reihe großer Zinkminen geschlossen und Investitionen in neue Bergwerke unterlassen. Wegen der tendenziell immer weiter steigenden weltweiten Nachfrage führte dies zwangsläufig zu Versorgungsengpässen und explodierenden Preisen. Diese sind aber ebenso wie bei anderen Rohstoffen auf **zyklisches Investitionsverhalten** zurückzuführen. Die hohen Preise geben nun Anlass für Neu- und Wiedereröffnungen von Minen wie der irischen Taramine, die 2001 geschlossen wurde.

Das „Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics“ (ABARE) erwartet daher bis 2011 ein zusätzliches Angebot von jährlich rund 1,4 Mio. t und demzufolge einen Angebotsüberhang. Treffen die Projektionen des ABARE zu, sollte spätestens 2011 der 2001 begonnene Zyklus bei Zink beendet und die realen Preise wieder auf etwa 1 000 US \$/t (in Preisen von 2006) sinken.

Da die Nachfrage nach Zink stark von der Entwicklung auf den Stahlmärkten abhängt, **ist auch in Zukunft mit einem stark steigenden Zinkbedarf Chinas zu rechnen**. In den USA, dem zweitgrößten Zinkverbraucher kann von einem moderaten Wachstum und in Westeuropa von einer Stagnation oder gar einem Rückgang der Zinknachfrage ausgegangen werden, wenn tatsächlich eine teilweise Verlagerung der Automobilherstellung nach Osteuropa erfolgt.

Potentieller Rückgang der Zinknachfrage in Westeuropa durch Verlagerung der Automobilproduktion

In Westeuropa und insbesondere in Deutschland sorgen hohe Energiepreise und die aus dem seit 2005 existierenden Emissionshandel resultierenden zusätzlichen Belastungen für eine Verschlechterung des wirtschaftlich ohnehin schwierigen Umfeldes, in dem sich die wenigen großen Zinkhütten in Datteln und Nordenham befinden. Bleiben die Preise für Zink wider Erwarten dauerhaft hoch, würde eine mögliche Substitution von Zink vor allem durch Kunststoff für einen Nachfragerückgang und sich verschlechternde Bedingungen für die deutschen Hütten sorgen. Unabhängig davon kann die Existenz der deutschen Hütten wie in der Vergangenheit nur durch die Erhöhung der Arbeitsproduktivität, das heißt die Herstellung des Outputs mit immer weniger Beschäftigten gesichert werden.

Fazit: Während der weltweite **Zinkbedarf** mit der weiteren Zunahme der Stahlproduktion aller Voraussicht nach auch zukünftig steigen wird, ist die Zukunft der Zinkhütten in Europa und speziell in Deutschland abhängig von eventuellen Verlagerungen der Automobilproduktion nach Osteuropa und den Auswirkungen der Energiepreiserhöhungen. Mit der Duisburger Hütte hat eine der wenigen großen Zinkhütten in Deutschland bereits 2005 Insolvenz angemeldet.

6.5 Chrom

In Form von Ferrochrom wird Chrom heutzutage zu rund 90 % in der Metallverarbeitung eingesetzt. Der „**Stahlveredler**“ Chrom stellt neben Nickel das bedeutendste Legierungsmetall in der Edeldahlerzeugung dar. Chrom wird zur Erhöhung der Härte von Stahl sowie zur Verbesserung des Korrosionsschutzes eingesetzt und lässt sich dabei nur begrenzt durch andere Materialien wie Mangan ersetzen.

Eine absolute Knappheit an Chrom ist allerdings nicht zu fürchten: Die Ressourcen würden beim aktuellen Verbrauch für mehr als 650 Jahre reichen. **Mehr als 80 % der Reserven befinden sich in nur zwei Lagerstätten**, dem Bushveld-Komplex in Südafrika und dem Great Dyke in Simbabwe. Im Bushveld-Komplex erstrecken sich die meterdicken, nahezu planar ausgebildeten Chromerzflöze über hunderte von Kilometern. Der Umfang der Vorräte ist dadurch recht präzise bestimmbar, vor allem aber sind die Erze sehr kostengünstig gewinnbar.

Ohne eine Verfahrensinnovation in der Edeltahlerzeugung in den siebziger Jahren wäre dieser Vorteil jedoch nicht zum Tragen gekommen. Mit der Diffusion des so genannten AOD-Verfahrens stiegen nicht nur die Erzexporte Südafrikas erheblich an. Vielmehr ermöglichte dieser Umstand, dass Südafrika zum dominierenden Ferrochromproduzenten werden konnte. Die Produktion verlagerte sich mit der Zeit immer mehr von den westlichen Chromverbraucherländern in die Erzförderländer. Dies führte in der Vergangenheit zu Befürchtungen über eine „**Monopolisierung**“ der Ferrochromproduktion durch die weitgehende oder gar alleinige **Konzentration der Produktion auf Südafrika**.

Infolge der zunehmenden Konkurrenz durch eine ganze Reihe von Ferrochrom produzierenden Ländern mit substantiellem Output dürfte diese Gefahr gebannt zu sein. Vor allem Kasachstan bildet einen bedeutenden Widerpart zu Südafrika und erzeugt beinahe doppelt so viel wie Indien und China zusammen. Im Übrigen war die Versorgung selbst während des UNO-Embargos gegen Südafrika kaum gefährdet. Dennoch erscheint angesichts der erheblichen Konzentration der Chromvorräte auf den Süden Afrikas eine vertikale Integration von nachfragenden Unternehmen als ein vernünftiger Beitrag zur Versorgungssicherheit, zumal Deutschland keine eigenen Chromerzvorkommen besitzt und der Recyclinganteil von gegenwärtig knapp 20 % auch in Zukunft wohl kaum gesteigert werden kann. So betreibt beispielsweise die Bayer AG ein Chromerzbergwerk in Südafrika.

Darüber hinaus gibt es gegenwärtig kein derart dominierendes Unternehmen, wie es zwischen 1998 und 2005 mit Samancor mit einem Marktanteil von 30 % vorübergehend existierte. Der heutige Marktführer, das Schweizer Unternehmen Xstrata, findet beinahe ebenbürtige Konkurrenten in kasachischen und indischen

Ohne technologischen Fortschritt hätte Südafrika bei der Ferrochromproduktion nicht die heutige dominante Rolle spielen können

Die Gefahr der zunehmenden Monopolisierung der der Ferrochromproduktion dürfte gebannt sein

Unternehmen. Die immer wiederkehrende **Sorge um eine regionale Konzentration der Chromerz- und Ferrochromproduktion** auf die eng verflochtenen Unternehmen Südafrikas und Simbabwe ist somit gegenwärtig wenig begründet. Dennoch werden südafrikanische Unternehmen ihre traditionelle Rolle als „Swingproducer“ auch in Zukunft dazu benutzen, um durch Produktionskürzungen einem eventuellen Preisverfall zu begegnen.

Bedingt durch die enge Bindung an die Edelstahlproduktion, bei der von einem weiteren Wachstum vor allem im asiatischen Raum ausgegangen werden kann, ist mit einer weiterhin steigenden Nachfrage nach Ferrochrom zu rechnen. Dabei werden wie bei der Edelstahlproduktion Schwankungen auftreten, die typischerweise die Folge der zyklischen Bewegungen des Weltwirtschaftswachstums sind.

Fazit: Das in Form von Ferrochrom zu rund 90 % in der Metallverarbeitung eingesetzte **Chrom** ist neben Nickel der bedeutendste „Stahlveredler“, dessen Verbrauch mit der weiterhin zunehmenden Edelstahlproduktion ebenfalls weiter ansteigen sollte. Die ehemals befürchtete weitgehende oder gar alleinige Konzentration der Ferrochromproduktion auf Südafrika, welches riesige Chromerzreserven besitzt, scheint mittlerweile vor allem durch das Produktionswachstum in Kasachstan gebannt. Darüber hinaus gibt es gegenwärtig kein allein dominierendes Unternehmen mehr.

6.6 Germanium

Germanium war lange Zeit von hoher militärischer Bedeutung und fand unter anderem in Nachtsichtgeräten Verwendung. Seit Beginn des industriellen Einsatzes von Germanium, der etwa auf Anfang der fünfziger Jahre zu datieren ist, durchlebte dieses Halbmetall eine sehr wechselhafte Nachfrage. Germanium ist ein **Halbleiter** und wurde bis Mitte der 60er Jahre in der ersten Generation von Transistoren eingesetzt, in dieser Funktion jedoch von Silizium abgelöst. In der Folge sank die Germaniumnachfrage deutlich.

Anfang der 70er Jahre sorgte die Verwendung von Germanium in der Infrarottechnik für ein wieder auflebendes Nachfragewachstum. Ende der 70er gewann zudem die Glasfasertechnik an Bedeutung. Dies führte zu erheblichen Preissteigerungen: Zwi-

Die Nachfrage nach Germanium war in der Vergangenheit sehr wechselhaft

schen 1978 und 1982 stieg der Nominalpreis um mehr als das Dreifache und verharrte auf diesem Niveau mehr als ein Jahrzehnt. 1993 nahm die Nachfrage nach Germanium aus dem Bereich der Infrarottechnologie deutlich ab.

Dieser Entwicklung stand 1995 eine deutliche **Zunahme des Germaniumverbrauchs in der Glasfaserproduktion** gegenüber. Seit 1996 wird Germanium in den USA bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen und Polymeren eingesetzt. Die Nachfragesteigerung führte zunächst zu einem starken Preisanstieg mit einer sich daran anschließenden Ausweitung der Gewinnung von Germanium. **Anfang des neuen Jahrtausends brach der Glasfasermarkt deutlich ein**, was bis heute andauernde Auswirkungen auf die Nachfrage und den Preis von Germanium hat.

1995 hat das amerikanische Militär seine Lagerbestände zum Verkauf freigegeben. Am 30.9.2005 hielt die US-Armee noch rund 30 t Germanium vor. Diese Menge ist etwas mehr als ein Drittel des derzeitigen weltweiten jährlichen Bedarfs. Davon stehen jährlich rund 8 t zum Verkauf. Offenbar wird die strategische Bedeutung von Germanium im militärischen Bereich und/oder die Knappheit dieses Rohstoffs heutzutage nicht mehr als gravierend eingeschätzt.

Die Entwicklung neuer Siliziumgermaniumchips in der **Halbleiterindustrie sorgt aktuell für eine wieder steigende Nachfrage** und einen Stopp des in den vergangenen Jahren zu beobachtenden Preisverfalls. Neue nicht-militärische Anwendungsgebiete der Infrarotsensorik sind heute bereits ebenfalls abzusehen, beispielsweise im Automobilsektor. Sollte die Verwendung von Antimon als Katalysator für die PET-Produktion aus gesundheitlichen Gründen untersagt werden, dürfte dies die Nachfrage nach Germanium zusätzlich beleben.

Allerdings wird diese Belebung der Germaniumnachfrage wie auch in der Vergangenheit nicht zu unüberwindlichen Engpasssituationen führen, denn Germanium kann in seiner Verwendung als Katalysator durch Titan oder Aluminium ersetzt werden und traditionelle Siliziumspeicherchips sind ein wohl bekannter Ersatz für die neueren Siliziumgermaniumchips, auch wenn diese Nachteile bei der Arbeitsgeschwindigkeit aufweisen. Sollten die Forschungen zu zirkonium- und indiumbasierten Glasfasertechniken zum Erfolg führen, könnte dies zudem die Nachfrage dämpfen. *Summa*

summarum ist bei Germanium durch neue Anwendungen eine Wiederbelebung der Nachfrage festzustellen, die den **Preisverfall der letzten Jahre aufgehalten** hat. Über die Bedeutung und die Höhe des Germaniumverbrauchs in Deutschland bestehen aufgrund unplausibler amtlicher Daten indessen erhebliche Unklarheiten.

Fazit: Die Nachfrage nach **Germanium** erlebte eine sehr wechselhafte Vergangenheit, insbesondere in der Mikroelektronik. Die Wiederbelebung der Germaniumnachfrage wird unserer Einschätzung nach wie bereits in früheren Jahren nicht zu unüberwindlichen Engpasssituationen führen, denn Germanium kann in seiner Verwendung als Katalysator durch Titan oder Aluminium ersetzt werden, während traditionelle Siliziumspeicherchips ein wohl bekannter Ersatz für die neueren Siliziumgermaniumchips sind.

Bereits in der Vergangenheit wurde der Halbleiter Germanium durch andere Rohstoffe substituiert.

6.7 Vanadium

Mit einem Anteil von fast 90 % dominiert die Verwendung von **Vanadium** als **Legierungsmetall in der Stahlverarbeitung** alle anderen Einsatzbereiche. Dementsprechend ist die Entwicklung auf den Stahlmärkten für die Nachfrage nach Vanadium von überaus entscheidender Bedeutung. Folglich ist es wenig verwunderlich, dass die für den Weltstahlmarkt besonders charakteristischen zyklischen Entwicklungen auch bei Vanadium festzustellen waren.

Auch bei Vanadium sind die für Rohstoffe typischen zyklischen Marktbewegungen zu beobachten

So konnte in der Vergangenheit das für Rohstoffmärkte **typische Angebotsverhalten** beobachtet werden. Hohe Preise sorgten für eine Ausweitung der Produktion und riefen neue Anbieter auf den Markt, bei niedrigen Preisen wurden Kapazitäten abgebaut, um die Preise zu stabilisieren. Australien beispielsweise begann infolge der hohen Preise Ende der 90er Jahre, Vanadium in signifikantem Ausmaß zu fördern. Nachdem zu Beginn des Jahrtausends die Preise wieder rapide fielen, fuhr Australien seine Produktion beinahe vollständig zurück. Die Folge dieses zyklischen Angebotsverhaltens ist, dass das Angebot die in den letzten beiden Jahren massiv steigende Nachfrage nicht bedienen konnte und der Preis somit in die Höhe schnellte.

Der weltweit größte Stahlproduzent **China** spielte dabei eine zweischneidige Rolle: Einerseits löste China durch seine stark

wachsende Stahlproduktion den Nachfrageschub aus, andererseits entwickelte es sich durch einen massiven Ausbau der Förderkapazitäten zum **zweitgrößten Vanadiumanbieter**. In der Vergangenheit wuchs das Angebot Chinas sogar schneller als dessen Nachfrage, da der spezifische Vanadiumbedarf für in China hergestellte, qualitativ weniger hochwertige Stähle niedriger war. Die dadurch entstehenden Überkapazitäten lösten bis 2003 einen Verfall des Vanadiumpreises aus. In jüngerer Zeit aber ist zu beobachten, dass das Wachstum des Vanadiumverbrauchs in China wesentlich höher war, als das der Stahlproduktion. Offenbar werden in China verstärkt höherwertige Stähle produziert.

Dennoch ist eine absolute Knappheit bei Vanadium nicht zu befürchten, da die vorhandenen Reserven beim gegenwärtigen Verbrauch rund 250 Jahre ausreichen würden. Problematisch ist allenfalls die Verteilung der Reserven in politisch weniger verlässlichen Regionen. Dies betrifft Deutschland bislang hingegen wenig. Vanadium wird hauptsächlich in Form von Ferrovanadium importiert – mit Ausnahme Russlands aus europäischen Ländern. Vanadiummetall und -schrott wurde netto sogar exportiert.

Vanadium wird in Form von Ferrovanadium mit Ausnahme von Russland aus europäischen Ländern importiert

Darüber hinaus wird Vanadium bisher zwar nur in geringem Umfang rezykliert. Es ist jedoch in den meisten Anwendungen **ohne Weiteres substituierbar**. In der Stahlverarbeitung kann Vanadium in der Regel durch andere Legierungsmetalle wie Niob, Molybdän, Mangan, Titan oder Wolfram ersetzt werden. So reagierte der Stahlhersteller Arcelor bereits auf die extrem hohen Vanadiumpreise des Jahres 2005, indem er Vanadium verstärkt durch Niob ersetzt. In seiner Funktion als Katalysator in der chemischen Industrie ist Vanadium durch Platin und Nickel substituierbar. **Aus diesem Grund dürften dauerhaft hohe Preise nicht zu erwarten sein.**

Fazit: Vanadium ist ein reichlich vorhandener Legierungsmetall, der zu rund 90 % in der Stahlindustrie verwendet wird. Die Reserven würden ausreichen, den gegenwärtigen Bedarf noch rund 250 Jahre zu decken. Aber selbst dauerhafte Angebotsverknappungen an Vanadium sollten nicht zu erheblichen wirtschaftlichen Verwerfungen führen, da dieser Rohstoff ohne Weiteres durch andere in der Stahlverarbeitung benutzte Legierungsmetalle substituiert werden kann.

6.8 Flussspat

Der Name Flussspat für die chemische Verbindung Kalziumfluorit geht auf die ursprünglich dominierende Verwendung als Zuschlagstoff zur Verbesserung der Fließeigenschaften von flüssigem Stahl zurück. Neben dem Einsatz in der Stahlproduktion findet Flussspat heute Anwendung in der chemischen Industrie, die zum wichtigsten Abnehmer dieses fluorhaltigen Rohstoffs avancierte. Dort werden daraus chlorfreie Kohlenwasserstoffe für die Kältetechnik und zur Kunststoffverschäumung, Fluorpolymere wie Teflon oder Zahnpasten herstellt.

Flussspat enthält das in der chemischen Industrie benötigte Element Fluor

Neben Verschiebungen in den Einsatzbereichen kam es in den letzten Jahrzehnten weltweit zu deutlichen Veränderungen bei der Förderung dieses Rohstoffs. War diese zu Beginn der 80er Jahre auf viele Länder relativ gleichmäßig verteilt, war China 2004 eindeutig der größte Fluorit-Produzent. Obwohl gleichzeitig auch der mit weitem Abstand größte Verbraucher, ist China in der Lage, enorme Mengen kostengünstig zu exportieren. Dies führte **in den neunziger Jahren** zu einem **Preisverfall**, der in Förderländern wie den USA und auch in Europa gefürchtet wurde und in beiden Regionen zur Erhebung von Antidumpingzöllen führte. Darüber hinaus hat die USA dem größten Produzentenland die Erhebung von Exportzöllen abgerungen, um die heimischen Förderer zusätzlich vor der chinesischen Konkurrenz zu schützen.

Die Nachfrage an Fluorit beträgt derzeit ca. 4,9 Mio. t und ist seit 1998 um knapp 10 % gestiegen. Nach der in Kapitel 8 erfolgenden Abschätzung wird der Bedarf in den nächsten Jahren vermutlich weiter steigen. Dies könnte zu einer weiteren Stabilisierung der Preise führen, welche in den letzten Jahren wieder zulegen. Infolgedessen könnte die heimische Förderung, die seit der Wiedervereinigung tendenziell rückläufig war, wieder an Bedeutung gewinnen. So wurde 2005 **in Thüringen** ein **neues Bergwerk** erschlossen, gefördert wird dort indessen noch nicht. Gegenwärtig muss die heimische Nachfrage zu 90 % durch Importe gedeckt werden, die 2004 zu etwa 90 % aus China, Südafrika und Namibia stammten. Aus dieser Konzentration resultierenden Versorgungsproblemen sollte durch die Möglichkeit der heimischen Förderungen begegnet werden können.

Trotz einer sehr wahrscheinlich moderat steigenden weltweiten Nachfrage nach Flussspat muss nicht mit Versorgungsengpässen gerechnet werden. Eine Erschöpfung des Rohstoffes ist aus zwei Gründen praktisch unmöglich: Erstens sind große Mengen des Rohstoffs Flussspat vorhanden. Dem gegenwärtigen Fördervolumen von etwa 5 Mio. t pro Jahr steht eine Reservenmenge von 237 Mio. t gegenüber, so dass die Statische Reichweite 47 Jahre beträgt. Die Ressourcen werden mit 480 Mio. doppelt so hoch wie die Reserven eingeschätzt. Zweitens muss bedacht werden, dass die chemische Industrie als Hauptabnehmer nicht an Flussspat interessiert ist, sondern an dem darin enthaltenen Element Fluor. Dieses Element findet sich auch in anderen Rohstoffen wie Calciumfluorophosphat (Fluorapatit), dessen Fluorgehalt mit schätzungsweise 630 Mio. t bis 1,8 Mrd. t den der Flussspatressourcen erheblich übersteigt.

Anstatt Flussspat können auch andere fluorhaltige Rohstoffe wie Fluorapatit die Fluornachfrage befriedigen

Fazit: Eine weiter steigende Nachfrage nach dem fluorhaltigen **Flussspat** könnte die heimische Förderung nach dem Preisverfall in den 1990er Jahren wieder attraktiv werden lassen. Ein in Thüringen neu erschlossenes Bergwerk steht dafür bereit. Bislang wurde in Europa versucht, dem Preisunterschied zwischen kostengünstigen chinesischen Exporten und heimischer Förderung durch die bis September 2005 geltenden Antidumpingmaßnahmen der EU entgegenzuwirken.

Die Förderung von Flussspat in Deutschland könnte sich in Zukunft wieder lohnen

6.9 Tantal

Tantal hatte jahrzehntelang lediglich eine geringfügige Bedeutung. Dies hat sich mit der zunehmenden Verbreitung mikroelektronischer Anwendungen wie Mobiltelefonen seit Beginn der 90er Jahre geändert. Die weltweite Fördermenge hat sich in den letzten 10 Jahren vervierfacht, auf rund 1 500 t im Jahr 2005. Rund die Hälfte dieser Menge wird im Bereich Mikroelektronik verbraucht, wo es zur Herstellung von Kondensatoren mit hoher Kapazität eingesetzt wird.

Eine mit der **Verbreitung mikroelektronischer Anwendungen** schnell steigende Nachfrage führte Anfang des neuen Jahrtausends zu Engpässen, die sich in vorübergehenden Preissteigerungen äußerten. So stiegen die Preise 2001 von etwa 75 auf 495 US \$ je kg. Infolgedessen kam es zu einem deutlichen Anstieg

des Angebots, der für einen Rückgang der Preise auf das alte Niveau von 75 US \$ je kg sorgte. Erst mit Beginn des Jahres 2005 zogen die Preise wieder an und liegen derzeit erneut bei 80 US \$ Dollar je kg.

Die in Kapitel 5 und Anhang C erfolgte detaillierte Abschätzung für den Einfluss des Technischen Wandels auf den Tantalbedarf deutet auf eine auch in Zukunft stark steigende Nachfrage nach Tantal hin. Der Bedarf an Primärtantal könnte sich demnach bis 2025 verdreifachen. Der wesentliche Grund dafür dürfte in einer weiterhin stark wachsenden Nachfrage der Elektronik- und optischen Industrie liegen.

Trotz eines in den nächsten Jahrzehnten deutlich steigenden Tantalbedarfs sollte es zu keinen nachhaltigen Versorgungsengpässen kommen, da die gegenwärtigen Reserven allein von Kanada und Australien noch rund 29 Jahre ausreichen würden, den aktuellen Verbrauch zu decken. Die Ressourcen beider Länder könnten für rund 100 Jahre reichen. Auf diese beiden Länder konzentriert sich momentan die Bergwerksförderung an Tantal sehr stark. Allerdings wird in nächster Zeit eine Reihe von Förderstätten in Kanada, Ägypten und Saudi-Arabien hinzukommen, so dass das Risiko des Ausfalls bereits eines einzigen Bergwerks, das gegenwärtig noch zu **Turbulenzen auf dem Tantalmarkt** führen könnte, **bald nicht mehr zu befürchten** ist.

Speziell für Deutschland ist zudem mit einer zunehmenden Recyclingquote zu rechnen, die sich aus der Umsetzung der Vorgaben der Elektroschrottverordnung ergeben sollte. Selbst wenn Deutschland einmal zum Nettoimporteur von metallischem Tantal werden sollte, könnte die Abhängigkeit von Importen dadurch gemildert werden, dass Tantal in Kondensatoren im Notfall durch herkömmliche Aluminium-, Niob-, oder Keramik Kondensatoren ersetzt werden könnte, wenngleich unter Abstrichen bei der technischen Leistungsfähigkeit. Bislang wird allerdings mehr metallisches Tantal exportiert als importiert: 2004 wurden 294 t im Wert von 83 Mio. € exportiert, wohingegen nur knapp 139 t im Wert von 32,7 Mio. € importiert wurden.

Fazit: Auch wenn die vorübergehende Preisspitze für **Tantal** zu Anfang des neuen Jahrtausends und die aussichtsreichen Perspektiven für diesen Rohstoff vor allem im Hochtechnologiebereich ausschlaggebend dafür waren, Tantal in die Auswahl an für

Die Ressourcen für Tantal könnten beim gegenwärtigen Verbrauch für rund 100 Jahre ausreichen

Ausreichende Reserven und Ressourcen sowie eine zunehmende Zahl an Förderstätten beim High-Tech-Rohstoff Tantal

Deutschland potentiell kritische Rohstoffe aufzunehmen, stellt sich bei genauerer Betrachtung heraus, dass trotz eines erheblichen zukünftigen Nachfrageschubs nicht mit langfristigen Versorgungsproblemen gerechnet werden muss. Die wesentlichen Gründe dafür sind die berechtigte Hoffnung auf ein zunehmendes Recycling, vielfältige Substitutionsmöglichkeiten und die ausreichenden Reserven und Ressourcen, auf die bei hohen Preisen vermehrt zugegriffen wird, wie die Zunahme an neuen Förderstätten zeigt. **In der Tat wird die Angebotssituation weithin als unproblematisch eingestuft, da die australische Produktion „jederzeit ausbaufähig“ ist (BGR 2005c).**

6.10 Magnesit

Wegen seiner Hitzebeständigkeit ist Magnesit vor allem für die Herstellung feuerfester Materialien attraktiv. Diese Materialien werden vornehmlich in der Stahlindustrie eingesetzt, so dass etwa zwei Drittel der Magnesitproduktion in diesem Sektor Verwendung finden. **Dadurch spielt die Entwicklung auf den Stahlmärkten für die Magnesitnachfrage eine wichtige Rolle.** Die vor allem in China stark wachsende Stahlnachfrage wird weiterhin für eine hohe Nachfrage nach Magnesit sorgen.

Magnesit wird wegen seiner Hitzebeständigkeit vornehmlich in der Stahlindustrie eingesetzt

Angebotsknappheiten sind jedoch nicht zu erwarten, da Magnesitreserven in sehr großem Umfang vorhanden sind. Die Statische Reichweite beträgt etwa 515 Jahre. Die gegenwärtige Förderung findet zwar in Ländern statt, die nicht als politisch stabil zu bezeichnen sind. **Industrieländer können Magnesit bei Engpässen allerdings auch aus Meer- und Quellwasser gewinnen.** So haben die USA 2004 rund 50 % der Magnesiumverbindungen aus Meer- und Quellwasser gewonnen. **Die Ressourcen sind aus diesem Grunde als nahezu unendlich zu betrachten.**

Fazit: Die auch zukünftig wachsende Stahlnachfrage wird voraussichtlich weiterhin für eine hohe Nachfrage nach **Magnesit** sorgen. Die gegenwärtige Konzentration der Förderung auf politisch wenig stabile Länder ist allerdings wenig bedenklich angesichts der Alternative, Magnesia aus Meer- und Quellwasser zu gewinnen. Dies wird in den USA bereits in umfangreichem Maße

Magnesium kann aus Meer- und Quellwasser gewonnen werden und ist somit unbeschränkt verfügbar.

praktiziert. Die Ressourcen sind aus diesem Grunde als nahezu unendlich zu betrachten.

6.11 Graphit

Graphit wird aufgrund seines hohen Schmelzpunktes hauptsächlich in der Feuerfestindustrie eingesetzt. **Vor allem wegen der steigenden Nachfrage nach Stahl dürfte die Graphitnachfrage zukünftig steigen.** Ein Nachfrageanstieg dürfte auch darin begründet liegen, dass Graphit aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften nur schwer zu substituieren ist. Graphit weist sowohl metallische wie auch nichtmetallische Eigenschaften auf.

Angebotsknappheiten sind trotz eines bislang begrenzten Graphitrecyclings aus zwei Gründen nicht zu erwarten: Erstens ist die Menge an Reserven so groß, dass die Statische Reichweite bei 87 Jahren liegt. Zweitens kann künstlich hergestellter Graphit in vielen Bereichen natürlichen Graphit ersetzen. **Graphit ist daher ein Rohstoff mit praktisch unendlich großer Verfügbarkeit.**

Die künstliche Herstellung von Graphit stellt eine den Graphitpreis begrenzende Alternative dar, die die kontinuierlich gestiegene Konzentration der Graphitförderung auf immer weniger Förderländer, allem voran China, als wenig relevant erscheinen lässt. Bezüglich seiner Graphitimporte ist Deutschland vor allem von China und den Niederlanden abhängig. Hier dürfte es aufgrund der relativ stabilen politischen Lage zu keinen Engpässen in der Versorgung kommen.

Fazit: Auch wenn **Graphit** einer der wenigen Rohstoffe ist, dessen realer Preis gegenwärtig höher ist als noch in den 50er Jahren, gibt es trotz einer zu erwartenden zunehmenden Nachfrage und einer kontinuierlich gestiegenen Konzentration auf wenige Förderländer dank der Möglichkeit der synthetischen Herstellung, aber auch dank reichlich vorhandener Reserven, keine Befürchtungen zu langfristigen Angebotsengpässen und enormen Preisexplosionen. Ob Graphit synthetisch erzeugt wird oder ob auf natürlichem Graphit zurückgegriffen wird, ist letztlich auch eine Frage der Wirtschaftlichkeit.

Künstlich hergestellter Graphit kann in vielen Bereichen eingesetzt werden. Dadurch können Angebotsengpässe bei natürlichem Graphit vermieden werden.

6.12 Platin

Platin gehört zu den sechs Elementen der Platinmetallgruppe, zu der auch Palladium zählt. Diese sechs Elemente sind untereinander weitgehend substituierbar. So wird Platin im dominanten Anwendungsgebiet für Platinmetalle, den Abgaskatalysatoren, teilweise durch das derzeit wesentlich günstigere Palladium ersetzt. Daher ist es zur Einschätzung der Knappheitsverhältnisse dieser Rohstoffe sinnvoll, den Umfang der Reserven der Platinmetallgruppe insgesamt heranzuziehen. **Die Reserven würden bei der aktuellen Fördermenge für etwa 177 Verbrauchsjahre ausreichen.** Die geschätzten Ressourcen würden sogar für 249 Jahre ausreichen.

Platinmetalle sind untereinander leicht substituierbar

Die **Vorräte der Platinmetallgruppe konzentrieren sich vor allem auf Südafrika**, das einen Anteil von knapp 90 % aufweist. Auf Russland entfallen nahezu alle übrigen Vorräte. Die Unternehmenskonzentration der Förderung fällt hingegen geringer aus als die Konzentration der Vorräte. Im Falle von Platin erbringen vier Unternehmen knapp 84 % der Gesamtförderung. Die hohe Konzentration von Vorräten und Förderung relativiert sich durch eine hohe Recyclingquote, die in Deutschland knapp 45 % ausmacht. Hierzu trägt das Recycling von Platinmetallen aus Katalysatoren ganz wesentlich bei. Die Beschaffungsquellen für Sekundärmaterial sind zudem breiter gefächert als für Primärrohstoffe.

Fazit: Angesichts der Erwartung einer stark zunehmenden Nachfrage nach **Platin**metallen, die vor allem aus der Zunahme des Einsatzes von Katalysatoren im Automobilsektor resultieren könnte, ist die sehr hohe Konzentration der Platinmetallvorräte als nicht unbedenklich zu sehen. Auch die leichte Substituierbarkeit der Platinmetalle untereinander könnte nur vorübergehend zur Entschärfung der derzeit hohen Preise bei Platin beitragen. Allerdings werden hohe Preise die Recyclingquote dieser wertvollen Metalle aller Voraussicht nach noch weiter steigern und so zur Entspannung der Versorgungssituation beitragen.

Platin ist viel zu wertvoll, um ausschließlich für Katalysatoren verwendet zu werden

Nicht nur bei diesem Rohstoff gilt indessen, dass hohe Preise den Rohstoffeinsatz tendenziell auf die lohnenswerten Anwendungsbereiche beschränken, wohingegen sie in den weniger lukrativen Feldern durch andere Roh- und Werkstoffe über kurz oder lang verdrängt werden dürften.

7 Zusammenfassung und Politikempfehlungen

Die wesentliche treibende Kraft für die Entwicklung auf den Rohstoffmärkten ist das weltwirtschaftliche Wachstum, das 2004 so hoch ausfiel wie seit 30 Jahren nicht mehr. **Schwankungen des weltwirtschaftlichen Wachstums** und die sich regelmäßig abwechselnden Nachfrage- und Angebotsüberhänge bei Rohstoffen **werden daher immer wieder für Boom- wie auch für Baissephasen sorgen**. Diese Nachfrage- und Angebotsüberhänge sind auch ein Resultat der im Bergbausektor oft nur mit einer großen zeitlichen Verzögerung möglichen Anpassung der Rohstoffförderung. Demzufolge kommt es zu zyklischen Schwankungen bei den Rohstoffpreisen, deren Trend zum einen durch den technologischen Fortschritt und zum anderen durch die tendenziell immer weiter wachsende weltweite Nachfrage nach praktisch allen Rohstoffen bestimmt wird.

Das Weltwirtschaftswachstum ist der wesentliche Treiber der Rohstoffpreise

Selbst wenn infolgedessen die Rohstoffpreise real betrachtet in Zukunft nicht sinken sollten, wie dies in der Vergangenheit für die meisten Rohstoffe der Fall war, so ist es in der Regel weniger ein Ansteigen der realen Preise, das die Unternehmen fürchten müssen. Denn: **Der Anstieg der Rohstoffpreise trifft in der Regel alle konkurrierenden Unternehmen gleichermaßen**. Vielmehr sind es die immer wiederkehrenden und quantitativ erheblichen Schwankungen der Preise, gegen die die Unternehmen Vorkehrungen in vielfältiger Form treffen können und müssen. Dazu gehört beispielsweise die Preisabsicherung in Form von Terminkontrakten an den Rohstoffbörsen oder die Vorrats- und Lagerhaltung.

Das Schwanken der Rohstoffpreise ist gravierender als ihr Anstieg

Falls die Rohstoffpreise wie oftmals befürchtet in Zukunft tatsächlich real wachsen sollten, zählt es nicht zu den Aufgaben des Staates, für niedrige Rohstoffpreise zu sorgen – zumal diese in vielen Fällen Weltmarktpreise sind, die eine Volkswirtschaft wie Deutschland kaum beeinflussen kann. Ebenso wenig würde es einem marktwirtschaftlichen System entsprechen, wenn sich der Staat gar selbst als Rohstoffeinkäufer aktiv in das Geschehen auf den Rohstoffmärkten einmischen würde.

Der Staat kann nicht für niedrige Rohstoffpreise sorgen

Spätestens aber, wenn die Rahmenbedingungen für einen funktionierenden Wettbewerb mittels einer Subventionierung der Rohstoffzufuhren oder anderen protektionistischen Maßnahmen

durch Staaten wie China verletzt werden, wird es zur **außenwirtschaftspolitischen Aufgabe des Staates** auf die Einhaltung der Richtlinien der Welthandelsorganisation WTO zu drängen. Zudem sollte der „Rohstoffpolitik der bilateralen Beziehungen“ Chinas zu ressourcenreichen Ländern, welche von den Industrieländern derzeit gemieden werden, eine Entwicklungspolitik entgegengesetzt werden, die Rohstoffpolitik als integralen Bestandteil hat und darauf abzielt, dass die Veräußerung der Rohstoffvorkommen von Entwicklungsländern der Bevölkerung zu Gute kommt und nicht – wie in der Vergangenheit häufig geschehen – einzelnen korrupten und diktatorischen Gruppen.

7.1 Zusammenfassung

Nach einem längeren Zeitraum niedriger Rohstoffpreise, der sich bei den meisten Rohstoffen beinahe über die gesamten neunziger Jahre erstreckte, begann 2003 eine **neue Rohstoffhausse**, die die Rohstoffpreise in der ersten Hälfte des Jahres 2006 in seit Jahrzehnten nicht oder sogar noch nie erreichte Höhen trieb. Offenbar handelt es sich somit **nicht um eine spezielle Engpasssituation bei einem einzelnen Rohstoff**. Vielmehr ist dies ein Phänomen, das auf einen gemeinsamen **Ursachenkomplex** zurückzuführen sein muss.

Die nominalen Preise vieler Rohstoffe haben neue Höchstmarken erreicht

Im Kern dieses Ursachenkomplexes befindet sich das weltwirtschaftliche Wachstum, das mit 5,3 % im Jahr 2004 so hoch ausfiel wie seit 30 Jahren nicht mehr, wohingegen die niedrigen Rohstoffpreise des Jahres 2001 von einem geringen Weltwirtschaftswachstum von 2,6 % begleitet wurden (IMF 2006). **Das weltwirtschaftliche Wachstum ist die wesentliche Determinante der Rohstoffhausse** und sorgt weltweit für eine hohe Nachfrage nach Rohstoffen aller Art, sowohl in den Industrieländern als auch in den sich rasant entwickelnden Ländern Ostasiens. **Den zweifellos größten Beitrag zum Wachstum der Rohstoffnachfrage leistet China**. Dies ist wenig verwunderlich, denn schließlich trägt diese aufstrebende Wirtschaftsmacht auch einen ganz erheblichen Teil zum weltwirtschaftlichen Wachstum bei.

China ist der Hauptauslöser der gegenwärtigen Rohstoffhausse, nicht aber die entscheidende Ursache

So stieg Chinas Verbrauch an Kupfer seit 1995 auf das Dreifache, der chinesische Zinkverbrauch hat sich seither weit mehr als verdoppelt und auch der Aluminiumbedarf ist seit 1995 auf nahezu

das Dreifache angestiegen. Nicht nur bei Kupfer, Zink und Aluminium, sondern auch bei vielen anderen Rohstoffen weist China mittlerweile den größten Verbrauch auf, meist mit weitem Abstand vor den USA, dem zweitgrößten Verbraucherland von Stahl. So ist hinlänglich bekannt, dass China der größte Produzent und deshalb der größte Verbraucher von Eisenerz ist.

In weitaus geringerem Maße trug Indien zum Anstieg der Rohstoffnachfrage bei. So konnten Indiens Wachstumsraten bei der Nachfrage nach den meisten Rohstoffen bei weitem nicht mit denen Chinas mithalten. Zudem ist Indien bei vielen Rohstoffen nicht nur Selbstversorger, wie etwa beim zur Aluminiumproduktion notwendigen Bauxit, sondern sogar Exporteur vieler Rohstoffe, beispielsweise von Zink.

Der Rohstoffbedarf Indiens macht sich daher auf den Weltmärkten beim weitem nicht so sehr bemerkbar wie dies bei China der Fall ist. So ist Deutschlands Zinkbedarf gegenwärtig noch immer mehr als eineinhalb Mal so hoch wie der Verbrauch Indiens, der Kupferverbrauch ist rund dreimal so hoch und bei Aluminium verbraucht Deutschland mehr als doppelt so viel. Der indische Bedarf stellt jeweils nur einen Bruchteil des chinesischen Verbrauchs an diesen drei Metallen dar.

Darüber hinaus ergeben die in Teil III erfolgenden Abschätzungen, dass der chinesische Rohstoffverbrauch auch zukünftig massiv ansteigen könnte, so dass Chinas Anteil am weltweiten Bedarf an Rohstoffen wie Kupfer, Zink oder Aluminium 2025 durchaus bei rund 40 % liegen könnte. Allerdings muss die in diesem Zusammenhang oftmals benutzte Bezeichnung des chinesischen Rohstoffverbrauchs als regelrechten „Rohstoffhunger“ relativiert werden: Erstens ist der Pro-Kopf-Verbrauch Chinas bei den meisten Rohstoffen weit unterhalb des entsprechenden Verbrauchs der Industrieländer. Zweitens ist die Importabhängigkeit Chinas bei vielen Rohstoffen weitaus geringer als dies bei anderen Industrieländern der Fall ist. So fördert China mehr Flussspat als es selbst benötigt und deckt seinen Zinkverbrauch praktisch durch die inländische Förderung von Zinkerzen. Drittens kann nicht missachtet werden, dass viele Produktionsstätten nach China verlagert wurden und werden, so dass der dadurch zunehmende Rohstoffverbrauch letztlich auch globale Ursachen hat und nicht nur auf die Befriedigung der Bedürfnisse Chinas zurückgeht.

Indien spielt
bislang eine
weitaus geringere
Rolle auf den
Rohstoffmärkten
als China

Zudem ist die enorme Rohstoffnachfrage Chinas zwar der Hauptauslöser der seit 2003 herrschenden Preishausse, nicht aber die alleinige Ursache dafür. Schließlich nahm das starke Wachstum der Nachfrage Chinas nach Rohstoffen nicht erst 2003, sondern bereits weitaus früher seinen Anfang. Bei vielen Rohstoffen wie etwa Kupfer, Zink oder Aluminium steigt der Bedarf Chinas bereits seit Jahrzehnten an, oftmals sogar mit zweistelligen jährlichen Wachstumsraten. Auch 2001 und 2002 gab es einen deutlichen Anstieg der Rohstoffnachfrage Chinas, während sich die Preise vieler Rohstoffe auf einem niedrigen Niveau befanden.

Die tiefere Ursache für die Hausse ist vielmehr, dass infolge der niedrigen Preise der Jahre 2001 bis 2003 eine Reihe großer Bergbaukapazitäten geschlossen und bereits seit Mitte der 90er Jahre Investitionen in neue Bergwerke weitgehend unterlassen wurden. Wegen der tendenziell immer weiter steigenden weltweiten Nachfrage nach Rohstoffen wie Kupfer, Zink oder Aluminium führte dies zwangsläufig zu Versorgungsengpässen und steigenden Preisen. Diese sind daher letztlich auf **zyklisches Investitionsverhalten** zurückzuführen, und nicht etwa nur auf die immer weiter steigende Nachfrage. Die gegenwärtig hohen Preise geben nun wiederum Anlass für die Neu- oder Wiedereröffnung von Minen. Eine Zinkmine in Irland, welche 2001 geschlossen wurde und mittlerweile wieder betrieben wird, ist nur eines von zahlreichen Beispielen zyklischen Verhaltens.

Daher erwartet das „Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics“ (ABARE) bis 2011 ein zusätzliches Angebot an Rohstoffen wie Kupfer-, Zink-, Eisenerzen oder Bauxit, das selbst bei der weiter wachsenden Nachfrage vor allem aus China zu einem Angebotsüberhang und somit zu wieder sinkenden Preisen führen dürfte. Wie es für Rohstoffe charakteristisch ist, werden somit die **typischen zyklischen Preisbewegungen** festzustellen sein, die in den Wirtschaftswissenschaften als **„Schweinezyklus“** bezeichnet werden. Demnach werden sich die gegenwärtig hohen Preise über kurz oder lang selbst die Grundlage entziehen und ein zusätzliches Angebot anlocken, das für wieder fallende Preise sorgen wird.

Darüber hinaus unterliegt auch das Weltwirtschaftswachstum Schwankungen. Ein sich bereits 2005 wieder leicht **abschwächendes Weltwirtschaftswachstum** wird für eine Verlangsa-

Rohstoffhaussen
wird es ebenso
immer geben wie
Baissephasen

mung des Wachstums der weltweiten Nachfrage nach Rohstoffen sorgen und damit für **niedrigere Rohstoffpreise**. Beispielsweise führte das geringe weltwirtschaftliche Wachstum von 2,6 % im Jahr 2001 zu einem Rückgang bei der Rohstoffnachfrage und infolgedessen zu niedrigen Preisen bei Zink, Kupfer etc. Selten war das Weltwirtschaftswachstum geringer als 2001. Sogar bei der Asienkrise 1998 fiel das Wachstum mit 2,8 % etwas höher aus. Gegenwärtig könnte eine Eskalation der Konflikte im Nahen Osten der Auslöser einer weltwirtschaftlichen Krise bilden. Eventuell führen die hohen Rohstoffpreise, nicht aber politische Krisensituationen wie die beiden Irakkriege oder das OPEC-Ölembargo Mitte der 70er Jahre, zu einem schwachen Weltwirtschaftswachstum. In diesem Fall sorgen die hohen Rohstoffpreise für ihr eigenes Sinken.

An diesen seit Jahrzehnten immer wieder zu beobachtenden Gesetzmäßigkeiten der Aufwärts- und Abwärtsbewegungen von Rohstoffnachfrage, -angebot und -preisen wird sich auch diesmal nichts ändern, denn es gibt für praktisch alle Rohstoffe ausreichende Ressourcen, wie in Kapitel 1 dargestellt wurde. Daher wird das Wechselspiel zwischen Nachfrage- und Angebotsüberhang, das sich in Preiszyklen manifestiert, nicht aufgrund eines bevorstehenden Mangels an Vorkommen gestört werden. Die Ressourcenbasis für den auch in Zukunft zu erwartenden Anstieg der weltweiten Nachfrage nach Rohstoffen sollte demnach ausreichend sein.

Dies ist von entscheidender Bedeutung, denn es ist nur eine Frage der Zeit, wann ein ähnlicher Nachfrageschub, wie er derzeit und auch noch geraume Zeit in der Zukunft durch China ausgelöst wird, von einem anderen, sich stark entwickelnden Land ausgehen wird. Russland oder Indien könnten in einigen Jahrzehnten derartige Kandidaten darstellen. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit wird die weltweite Nachfrage nicht nur nach Basismetallrohstoffen wie Eisen, Kupfer, Zink oder Aluminium immer weiter anwachsen, selbst wenn der Bedarf in den hoch industrialisierten Ländern zukünftig eher moderat wachsen und auch die chinesische Nachfrage irgendwann einmal erlahmen könnte. Schließlich stellen Rohstoffe die allgemeine Grundlage des Lebens in modernen Industrieländern dar und trotz einer gewissen Sättigung, die dort eintreten kann, sollte der sich immer wieder vollziehende Wandel von prosperierenden Schwellenländern hin zu modernen Industrienationen

Hohe Rohstoffpreise ziehen ein zusätzliches Angebot an

zu einem – zumindest in der Tendenz – unablässiges Wachstum im Rohstoffverbrauch führen.

Die gegenwärtige **Situation eines starken Wachstums der Nachfrage nach Rohstoffen aller Art ist zudem nicht neu**, sondern war bereits nach dem 2. Weltkrieg zu beobachten und wird sich nach einer möglichen Phase der Abschwächung auch in Zukunft wiederholen. Ob die tendenziell weiter steigende Nachfrage nach praktisch allen Rohstoffen entgegen der bisherigen empirischen Evidenz für die Mehrzahl dieser Rohstoffe in Zukunft zu real steigenden Preisen führen wird, muss immer eine offene Frage bleiben. Denn: Wie sich der technologische Fortschritt, welcher ein wesentlicher Baustein zu Beantwortung dieser Frage ist, in Zukunft sowohl auf die Nachfrage nach einem Rohstoff auswirkt, ist inhärenterweise unbekannt. Ob der technologische Fortschritt auch in Zukunft in ähnlichem Maße zur Senkung der realen Preise beitragen kann, wie dies in der Vergangenheit offenbar geschehen ist, kann bestenfalls mit einem gewissen Vertrauen, nicht aber mit Gewissheit angenommen werden.

Fazit: Selbst wenn es richtig wäre, dass den zukünftigen Generationen materielles Kapital in Form von Rohstoffen entzogen würde, weil diese von gegenwärtigen und früheren Generationen verbraucht wurden – was allerdings für die wenigsten mineralischen Rohstoffe zutreffend ist –, profitieren die zukünftigen Generationen von immateriellen Kapital in Form von Innovationen und technologischen Entwicklungen, das die gegenwärtigen und früheren Generationen hervorgebracht haben. Somit wird zukünftigen Generationen durch den vermeintlichen Verbrauch an Rohstoffen keineswegs zwangsläufig weniger an materiellem und immateriellem Kapital zur Verfügung stehen. Dies gilt insbesondere auch deshalb nicht weil die meisten mineralischen Rohstoffe tatsächlich gar nicht verbraucht, sondern durch Recycling wiedergewonnen werden können.

7.2 Handlungs- und Politikempfehlungen

Auch wenn die Rohstoffpreise in Zukunft nicht real sinken sollten, wie dies in der Vergangenheit für die überwiegende Mehrzahl an Rohstoffen der Fall war, so muss ein Ansteigen der Preise in den meisten Fällen weniger gefürchtet werden als die immer wieder-

kehrenden, zum Teil sehr heftigen Schwankungen der Preise. Denn: Ein **Anstieg der Rohstoffpreise trifft** in einer Welt mit zunehmenden Handelsverflechtungen **in der Regel alle Länder gleichermaßen**. Zu Wettbewerbsverzerrungen bei der Nutzung von Rohstoffen führen lediglich solche Maßnahmen, die regional begrenzt sind. Dazu gehört die staatlich regulierte Verteuerung von Energie durch eine Stromsteuer ebenso wie der seit 2005 existierende EU-weite Handel mit Emissionszertifikaten für Kohlendioxid.

Gegen die teilweise drastischen Schwankungen der Rohstoffpreise müssen Vorkehrungen getroffen werden. In einer Marktwirtschaft ist dies ausschließlich Sache der betroffenen Unternehmen. Diese haben sich gegen derartige Risiken ebenso selbst zu versichern, wie dies beispielsweise bei Währungs- oder Unfallrisiken der Fall ist. Schließlich ist auch zu bedenken, dass die zunehmende wirtschaftliche Verflechtung der Staaten untereinander, welche gemeinhin mit dem Schlagwort Globalisierung bezeichnet wird, die Risiken von Lieferunterbrechungen und damit von Versorgungsengpässen erheblich begrenzt.

Dennoch ist der Staat beim Geschehen auf den Rohstoffmärkten nicht in einer Zuschauerrolle, sondern hat die Aufgabe, die Rahmenbedingungen für Wettbewerb und funktionierende Märkte zu schaffen und gegen internationale Wettbewerbsverstöße wie Importsubventionen für Rohstoffe öffentlich vorzugehen. So hat der Staat sicher zu stellen, dass Unternehmen sich aus eigenem Antrieb und mit eigenen Mitteln die Rohstoffe für ihre Produktion sichern können (Rechts- und Vertragssicherheit). Zudem kann der Staat durch die fachliche Expertise staatlicher Einrichtungen und eine angemessene außenpolitische Flankierung von Auslandsprojekten die Voraussetzungen für eine zuverlässige Rohstoffversorgung der Unternehmen schaffen.

Eine wesentliche Strategie, mit Hilfe derer Unternehmen das Risiko von Versorgungsengpässen beim Rohstoffbezug mindern können, ist die **Diversifizierung** ihrer Lieferquellen. Ähnlich der Risikominimierung beim Portfoliomanagement, bei dem das gesamte Kapital nicht für eine einzige Geldanlage verwandt, sondern auf eine Reihe von verschiedenen, möglichst unabhängigen oder zum Teil sogar negativ korrelierten Investitionsalternativen verteilt wird, ist es ratsam, einen Rohstoff aus einer größeren An-

Der Staat hat auf die Einhaltung der Regeln zur Gewährleistung funktionierender Rohstoffmärkte zu achten

Diversifizierung: Eine bedeutende Strategie zur Risikominimierung

zahl an Quellen anstatt von nur einigen wenigen oder sogar lediglich einem Lieferanten zu beziehen.

Die von Unternehmen betriebene **Vorrats- und Lagerhaltung** kann eine ergänzende Risikominimierungsstrategie bilden. Auf die Vorräte wird vor allem dann zurückgegriffen, wenn die Rohstoffpreise hoch sind. Sind die Preise gesunken, kann das Lager kostengünstig wieder aufgefüllt werden. Die dabei anfallenden Lagerhaltungskosten sind als Prämie zu betrachten, die die jeweiligen Unternehmen zu zahlen bereit sind, um sich gegen starke Preiserhöhungen zu versichern. Eine weitere Rohstoffquelle kann im **Recycling** bestehen, das insbesondere in Zeiten hoher Rohstoffpreise attraktiv werden kann. So beläuft sich die Recyclingquote des gegenwärtig teuren Platins in Deutschland auf etwa 45 %. Zudem ist der Einsatz von Recyclingmaterial häufig mit einem wesentlich geringeren Energieverbrauch und weniger Umweltauswirkungen verbunden als die Verwendung von Primärrohstoffen. Die Verbesserung der Voraussetzungen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Recyclingsektors wäre allein aus diesem Grund erstrebenswert. Rücknahmeverpflichtungen für Produkte, wie sie etwa in der Elektronikschrottverordnung gefordert werden, können hierbei begünstigende Begleitumstände schaffen.

Der **Handel an Rohstoffbörsen** wie der Londoner Metallbörse (LME) stellt eine weitere, oftmals allerdings sehr teure Alternative für den Bezug von Rohstoffen dar. Dementsprechend sind die Spotmarktpreise keineswegs repräsentativ für die Kosten, die mit dem Kauf großer Mengen an Rohstoffen verbunden sind. Vielmehr sind hohe Börsenpreise Indikatoren der kurzfristigen Knappheit an Rohstoffen, die durch die entsprechend geringen Vorratsbestände an den Börsen reflektiert werden. Aufgrund von Spekulationsgeschäften neigen Börsenpreise zur Übertreibung der tatsächlichen Knappheitssituation, während die Notierungen von Terminkontrakten eher richtungsweisend für die kurz- bis mittelfristig geltenden Trends der Rohstoffpreise sind.

Es ist gerade diese Möglichkeit, sich über **Terminkontrakte** den Bezug von Rohstoffen zu einem im Voraus festgelegten Preis zu sichern, die die Existenz von Rohstoffbörsen so wertvoll macht. Die mit Terminkontrakten verbundenen Transaktionskosten und die dafür zu entrichtenden Preise bilden hierbei die Prämie für diese Art von **Preisabsicherung**, die üblicherweise als „**Hedging**“

Es gibt viele Möglichkeiten, sich gegen Preisrisiken abzusichern

bezeichnet wird. Die Schaffung zusätzlicher Handelsplätze für nicht börsennotierte Rohstoffe wäre unter Hedging- und Markttransparenzgesichtspunkten sehr zu begrüßen.

Denkbar wäre beispielsweise eine Ausweitung entsprechender Aktivitäten der Leipziger Strom- und Energiehandelsbörse (EEX), die neben Strom und neuerdings Gas in Zukunft auch mit anderen so genannten „commodities“ handeln könnte. Des Weiteren vorstellbar – und gerade bei den nicht börsennotierten Rohstoffen begrüßenswert – wäre die Schaffung eines internetbasierten Rohstoffmarktplatzes zur Verbesserung der Markttransparenz im internationalen Rohstoffangebot. Komplementär zu diesen die Markttransparenz erhöhenden Möglichkeiten sind grundlegende rohstoffwirtschaftliche Marktanalysen zu sehen.

Eine zumeist kostengünstige Alternative der Preisabsicherung stellen **langfristige Lieferverträge** dar. In diesen wird der Umfang der jährlich zu liefernden Rohstoffmengen festgelegt, während die dafür zu zahlenden Preise sich beispielsweise an Börsennotierungen orientieren und in einer vereinbarten Bandbreite schwanken können. So stellen etwa die Notierungen für Aluminium die Grundlage langfristiger Lieferverträge für den dafür benötigten Rohstoff Aluminiumhydroxid dar.

Vor allem für große, international operierende Konzerne kann eine **Beteiligung an Bergbauunternehmen** oder gar die **(vertikale) Integration** eines solchen eine Möglichkeit der Sicherung des Rohstoffzugangs bedeuten. So betreibt Bayer ein Chromerzbergwerk in Südafrika, die „Cronimet Ferrolegerungen“ hat sich kürzlich an den Kupfer-Molybdänwerken in Armenien beteiligt und ThyssenKrupp baut zusammen mit der brasilianischen CVRD ein neues Stahlwerk in Brasilien. In diesem Werk ist die Herstellung von Rohstahl tendenziell billiger als in Deutschland. Gleichzeitig wird dadurch der Bezug von Eisenerz gesichert und die Nähe zum nordamerikanischen Absatzmarkt ist ein weiterer Vorteil.

Für weniger große und ausschließlich national tätige Unternehmen ist der Weg der vertikalen Integration wenig realistisch. Beteiligungen bzw. so genannte **Joint Ventures** mit kleineren Rohstofflieferanten, etwa aus Schwellen- und Entwicklungsländern, denen es oftmals an Investitionsmitteln mangelt, könnten jedoch eine realistische Option für solche Unternehmen darstellen. Insbesondere kann dies für kleinere Unternehmen einen Ausweg aus

Eine Tendenz zur Konzentration gibt es bei den Rohstoffnachfragern ebenso wie auf Seiten der Anbieter

dem Dilemma einer oligopolistischen Rohstoffmarktsituation sein, welche sich durch die zunehmende Konzentration infolge von Fusionen großer Bergbaukonzerne in vielen Bereichen abzeichnet.

Lediglich große Rohstoffnachfrager, wie etwa große weltweit tätige Stahlkonzerne, verfügen über ausreichend Marktmacht, um in diesen Situationen gegenüber Rohstoffoligopolisten bestehen zu können. Die unter den Rohstoffnachfragern ebenfalls zunehmenden Konzentrationstendenzen könnten zukünftig für ähnlich mächtige Unternehmen sorgen, wie dies mit BHP Billiton oder Rio Tinto bei den Rohstoffanbietern vielfach bereits der Fall ist. So wird zum Beispiel davon ausgegangen, dass in absehbarer Zeit der weltweite Stahlmarkt von einigen wenigen Unternehmen mit einem jährlichen Produktionsvolumen von über 100 Mio. t dominiert wird.

Diesen keineswegs erfreulichen Aussichten für weniger große Rohstoffnachfrager stehen aber auch **positive Entwicklungen** gegenüber. **So wachsen die Handelsvolumina der weltweiten Märkte für die meisten Rohstoffe beständig an.** Der Welthandel mit Eisenerz, der allein von 2004 auf 2005 um rund 10 % anstieg, ist dabei lediglich ein herausragendes Beispiel. Mit dazu beigetragen hat die verbesserte Transportinfrastruktur. So haben sich die Ladekapazitäten von Überseetankern in den vergangenen Jahrzehnten vervielfacht. Engpässe bei den Transportkapazitäten waren dabei vorübergehender Natur und sind auf dieselben Ursachen zurückzuführen wie Knappheitssituationen bei Rohstoffen: Die zyklischen Schwankungen von Angebot- und Nachfrage, die letztlich auf den Veränderungen des Wirtschaftswachstums beruhen.

Während die Politik wenig Einfluss auf das Geschehen auf den Weltmeeren nehmen kann, ist es jedoch unabdingbar, dass sich die Regierung für die Einhaltung derjenigen Rahmenbedingungen einsetzt, die den **freien Welthandel auf sämtlichen Rohstoffmärkten garantieren**. So verstoßen Exportverbote und -beschränkungen sowie prohibitiv hohe Exportzölle bzw. Einfuhrsubventionen für Rohstoffe, die von einigen Ländern wie China, Russland oder der Ukraine erhoben bzw. gewährt werden, gegen die Regeln der Welthandelsorganisation WTO. Wenngleich die Einleitung entsprechender WTO-Verfahren höchst angebracht ist, darf sich die Politik mit derartigen Maßnahmen ob der langen Dauer dieser Verfahren keinesfalls zufrieden geben.

Exportzölle, Verbote und Einfuhrsubventionen sind in einigen Ländern üblich, obwohl dies gegen die Richtlinien der WTO verstößt

Auf solche Verstöße gegen die internationalen Handelsrichtlinien muss die Regierung öffentlich hinweisen. **In der Tat kommt der deutschen Außenpolitik eine wichtige Rolle bei der Durchsetzung der Offenheit gegenüber einem ungehinderten Wettbewerb auf den Rohstoffmärkten zu.** Darüber hinaus ist die Pflege und Intensivierung stabiler internationaler Beziehungen und Partnerschaften mit rohstoffreichen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern ein bedeutender Beitrag zur Versorgungssicherheit mit Rohstoffen aller Art. Dazu gehört auch die Forderung, dass ausländische Direktinvestitionen in den großen Rohstoffförderländern geduldet und unterstützt werden. Nur so wäre eine potentielle vertikale Integration deutscher Unternehmen überhaupt denkbar. In der Vergangenheit konnten der Industrie außerdem zahlreiche Tätigkeits- und Kooperationsmöglichkeiten im Ausland aufgezeigt werden, die aus rohstofforientierten Explorationsaktivitäten resultierten, welche von der Bundesregierung gefördert wurden. Diese Aktivitäten könnten in Zukunft durch Forschungsprogramme unterstützt und gemeinsam mit der Industrie vorangetrieben werden.

Rohstoffpolitik
bedeutet in großem Maße Außenpolitik

Zukünftig könnte die Rohstoffpolitik vermehrt auch integraler Bestandteil einer deutschen Entwicklungspolitik sein, die darauf abzielt, dass die Veräußerung der Rohstoffvorkommen von Entwicklungsländern der Bevölkerung zu Gute kommt und nicht – wie in der Vergangenheit häufig geschehen – einzelnen korrupten und diktatorischen Gruppen. Es ist besonders auffällig, dass viele rohstoffreiche Länder trotz guter Voraussetzungen aufgrund ihres Ressourcenreichtums zu den ärmsten Entwicklungsländern zählen. Der sehr rohstoffreiche Kongo ist dafür nur eines von zahlreichen Beispielen. Es würde sich sicherlich nicht nur für die jeweilige Bevölkerung auszahlen, wenn die Begleitung des Demokratisierungsprozesses, vor allem der Durchführung demokratischer Wahlen, in Staaten wie dem Kongo Bestandteil der Außenpolitik einer anerkannten Demokratie wie Deutschland wäre und gezielte Entwicklungshilfe dafür sorgen würde, dass mit Hilfe deutscher Unternehmen und Fördergelder die Bodenschätze zum wirtschaftlichen Aufbau des jeweiligen Landes und zum Wohle der Bevölkerung eingesetzt würden.

Rohstoffpolitik
könnte integraler Bestandteil deutscher Entwicklungspolitik sein

Da der **Aufbau guter strategischer Beziehungen zu Rohstofflieferländern** eine auf lange Sicht angelegte Maßnahme

darstellt, ist diese außenpolitische Strategie für heimische Unternehmen, die aufgrund der gegenwärtigen Rohstoffhausse in Nöte geraten sind, **kurzfristig wenig hilfreich**. Wenn dadurch aktuell tatsächlich die Existenz einiger Unternehmen und die damit verbundenen Arbeitsplätze höchst gefährdet sein sollten, so verbleiben nur kurzfristig wirksame Maßnahmen wie vorübergehende Steuerstundungen, -nachlässe oder gar aktive, aber temporär begrenzte finanzielle Unterstützung des Staates. Eine jegliche Fördermaßnahme muss dabei allerdings für die öffentliche Hand mit einem Höchstmaß an Transparenz über die tatsächliche Unternehmenssituation und die genaue Verwendung der Gelder verbunden sein. Dies sollte durch unabhängige Dritte beurteilt werden.

Zu einem derartigen Katalog kurzfristiger Maßnahmen gehört ungeachtet der jeweiligen Situation auf den Rohstoffmärkten, **dass die deutsche Regierung mit der Etablierung des seit 2005 existierenden EU-weiten Emissionshandelssystems den nationalen Mix an Instrumenten zur Verbesserung des Klimaschutzes grundlegend überdenkt**. So werden beispielsweise die durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz gewährleisteten Einspeisevergütungen für Strom, der mit Technologien wie der Windkraft hergestellt wurde, auf die allgemeinen Strompreise umgelegt. Dies verteuert die bekanntermaßen energieintensive Verarbeitung von Rohstoffen, zum Beispiel jene zur Gewinnung von Metallen wie Aluminium, Kupfer oder Zink, in unnötiger Weise, da bei einer Koexistenz von EEG und Emissionshandel keine Emissionsminderung erzielt wird, die nicht bereits durch den Emissionshandel alleine erreicht würde (Fronde, Schmidt 2006).

Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass die durch das EEG ausgelösten, notorisch sehr teuren Vermeidungsmaßnahmen die CO₂-Emissionen im Stromerzeugungssektor verringern und dadurch die Zertifikatpreise reduzieren. Als Folge davon werden in allen anderen Sektoren Vermeidungsmaßnahmen nicht ergriffen, die andernfalls durchgeführt worden wären. Im Ergebnis kommt es lediglich zu einer Verdrängung von Maßnahmen der anderen Sektoren, die – verglichen mit den durch das EEG induzierten Vermeidungsoptionen – kostengünstigere Alternativen darstellen. Der durch das EEG bewirkte Klimaschutzeffekt beläuft sich daher auf Null. Das EEG führt lediglich zu einer entsprechenden Erhöhung des Emissionsausstoßes außerhalb des deutschen Stromerzeu-

Die deutsche Umwelt- und Energiepolitik bereitet den heimischen Rohstoffverarbeitern zum Teil unnötigerweise erhebliche Schwierigkeiten

Bei einer Koexistenz von Emissionshandel und EEG führt das EEG nicht zu zusätzlichen Emissionsminderungen

ungssektors. Da auch ausländische CO₂-Emittenten vom verringerten Zertifikatspreis profitieren, dient das EEG nicht zuletzt der Subventionierung des CO₂-Emissionsausstoßes im europäischen Ausland (BMW 2004:8). Andere Ziele, die mit dem EEG verfolgt werden, etwa die Förderung von Forschung und Entwicklung (F&E) und ein daraus resultierender Technologieexport könnten mit einer gezielten Förderung von F&E in diesem Bereich effektiver und effizienter erreicht werden (Fronzel, Schmidt 2006:10).

Die Strom- bzw. Ökosteuer ist ein weiteres Beispiel staatlicher Regulierung, bei der Wechselwirkungen mit dem neuen europäischen Klimaschutzinstrument des Emissionshandels auftreten. Es wäre daher angebracht, zumindest diejenigen Unternehmen von der Ökosteuer auszunehmen, die am Emissionshandel beteiligt sind (Böhlinger, Koschel und Moslener 2006). All diese Instrumente tragen in nicht unerheblichem Maß zur Verteuerung des Stroms bei. So ist es denn auch wenig überraschend, wenn Vertreter der heimischen Rohstoff verarbeitenden Industrie die Energie- bzw. Stromkosten als größeren Kostenfaktor als die Rohstoffkosten bezeichnen und daher die Entwicklungen auf den Strommärkten vielfach sorgenvoller betrachten als jene auf den Rohstoffmärkten.

Eine Politikmaßnahme zu einer nachhaltigen Rohstoffversorgung sind die Bestrebungen der Bundesregierung, ein bislang noch nicht existierendes **Zertifizierungssystem** zu entwickeln, mit dem die Einhaltung von internationalen Nachhaltigkeitsstandards bei der Gewinnung von Rohstoffen gewährleistet werden kann. In einem Pilotprojekt soll ein derartiges System unter der freiwilligen Teilnahme eines Rohstoffgewinnungsunternehmens entwickelt werden.

Eine solche Zertifizierung wäre nicht nur im Sinne der Rohstoffverarbeiter in Deutschland, welche zunehmend daran interessiert sind, Rohstoffe einzusetzen, die nach sozialen und ökologischen Gesichtspunkten unvorbelastet sind und insbesondere nicht aus Krisenregionen stammen oder illegal gewonnen und gehandelt wurden. Die Umsetzung allgemein akzeptierter Mindeststandards bei der Rohstoffgewinnung könnte zudem der Rohstoffindustrie eine Möglichkeit zur Produktdifferenzierung eröffnen und damit die breite Unterstützung von Zertifizierungsmaßnahmen auf freiwilliger Basis gewährleisten. Ein einmal erfolgreich verankertes Zertifizierungssystem für Rohstoffe kann für die Unternehmen die Transpa-

Zertifizierungs-
system für eine
nachhaltige Roh-
stoffgewinnung

renz der Einnahmen aus der Nutzung natürlicher Ressourcen erhöhen und gleichzeitig Rohstoffen aus politisch unproblematischen Regionen den Marktzugang erleichtern. Langfristig könnte ein Zertifizierungssystem für Rohstoffe zur Stabilisierung von Krisenregionen beitragen, weshalb eine außenpolitische Flankierung solcher Initiativen durch die Bundesregierung als besonders wichtig erscheint.

Es ist zudem zu begrüßen, dass die deutsche Bundesregierung den Handel mit Rohstoffen auf die Agenda ihrer G8-Präsidentschaft gesetzt hat und versuchen will, Schwellenländer zum Beitritt zu einem Kontrollsystem zu bewegen, das seinen Ursprung in der Extractive Industry Transparency Initiative (Eiti) hat. Eiti wurde 2002 von Großbritannien und Norwegen begründet und beinhaltet Transparenzkriterien sowie Umwelt- und Förderstandards, denen sich bislang 22 rohstoffreiche Länder und 24 Förderunternehmen unterworfen haben. Der Beitritt der BRIC-Länder Brasilien, Russland, Indien und China und deren Unternehmen zu Eiti, das somit zu einer Dachinstanz für unterschiedliche Zertifizierungssysteme für fairen Rohstoffhandel werden könnte, fehlt indes noch.

Als probates Mittel gegen Importabhängigkeiten wird schließlich häufig die staatliche Unterstützung von **Forschung und Entwicklung (F&E) zur Verbesserung der Effizienz des Material- und Energieeinsatzes** genannt. Diese langfristig angelegte Strategie zur Reduzierung des Rohstoffinputs der Industrie ist sicherlich vor allem dann sinnvoll, wenn damit neben den **positiven externen Effekten**, die von durch F&E induzierten Innovationen ausgehen, gleichzeitig die Umweltauswirkungen der Produktion – und somit **negative externe Effekte** – verringert werden können. Eine derartige staatliche F&E-Förderung wirkt sich im Erfolgsfalle zumindest dämpfend auf die zu importierenden Mengen an Rohstoffen aus. Es liegt jedoch auf der Hand, dass diese eher langfristig wirkenden Maßnahmen bei kurz- bis mittelfristig währenden Versorgungsengpässen und dementsprechenden Rohstoffpreisausschlägen wenig hilfreich sein können. Darüber hinaus können derartige Maßnahmen die Rohstoffabhängigkeit lediglich lindern, nie aber vollständig beseitigen.

Nichtsdestoweniger wäre es begrüßenswert, wenn in einem eigenständigen Forschungsprojekt diejenigen Potenziale zur Ver-

Die Förderung von F&E zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz ist besonders dann sinnvoll, wenn damit negative externe Umwelteffekte reduziert werden können

besserung der Material- und Energieeffizienz identifiziert würden, die auf Grund von Informationsdefiziten, fehlender finanzieller Anreizstrukturen, z. B. in Form von Steuern zur Internalisierung externer Effekte, rechtlicher Barrieren oder anderer Hemmnisse bislang noch nicht ausgeschöpft werden oder in Zukunft nicht umgesetzt würden. Entsprechend den Ursachen für den Umsetzungsmangel müssten Handlungsempfehlungen abgegeben und in der Praxis angewandt werden, um diese Potentiale realisieren zu können. Diejenigen Potentiale, die bereits wirtschaftlich sind oder in Zukunft sein könnten und deshalb von der Industrie ohnehin umgesetzt werden würden, können sich allerdings nicht im Fokus staatlicher Maßnahmen befinden.

Schließlich sollten möglichst viele derjenigen rechtlichen und bürokratischen Hemmnisse abgebaut werden, die verhindern, dass Potentiale zur Erhöhung von Recyclingquoten erschlossen werden, welche sich als wirtschaftlich erweisen könnten. Inwieweit ein Hemmnisabbau möglich ist und wie groß derartige Potentiale sind, muss ebenfalls Gegenstand eines gesonderten Projektes sein.

Kurzfristig ebenso wenig hilfreich, aber dennoch mittel- bis langfristig von großer Bedeutung ist die Förderung der **Erforschung und Entwicklung (F&E) neuer Werkstoffe oder von Substituten** für Rohstoffe, für die eine hohe relative oder gar absolute Knappheit besteht. Insbesondere könnten F&E-Maßnahmen zur Substitution von nichterneuerbaren durch erneuerbare Rohstoffe unterstützt werden, wenngleich das Substitutionspotential wie im Falle von Biodiesel häufig sehr begrenzt ist (Fronde!l, Peters 2005). Beispielsweise könnten die Gesundheit gefährdende Rohstoffe wie Chrom, dessen Salze unter anderem zum Gerben von Leder benutzt werden, durch nachwachsende Rohstoffe wie Rhabarbergerbstoffe ersetzt werden. Bei einem fortwährendem Mangel an Wirtschaftlichkeit solcher Alternativen wäre darüber nachzudenken, ob diesen durch Verbote, die sich mit einer verstärkten Gesundheitsvorsorge rechtfertigen ließen, nicht zum Durchbruch verholfen werden sollte.

Durch eine Verstärkung derartiger F&E-Maßnahmen kann die Abhängigkeit von bestimmten, als kritisch anzusehenden Rohstoffen reduziert und die Auswirkungen der zunehmenden Marktmacht von Rohstoffunternehmen deutlich abgeschwächt werden. So scheuen sich beispielsweise Unternehmen, die über erhebliche

F&E zur Entwicklung neuer Werkstoffe und Substitute für knappe Rohstoffe kann mittel- bis langfristig die Abhängigkeit reduzieren und zusätzlich neues wirtschaftliches Potential schaffen

Marktmacht bei Andalusit verfügen, diese auszuspielen, da es gute Substitutionsmöglichkeiten für diesen Rohstoff gibt.

Durch die aus diesen F&E-Bemühungen hervorgehenden Innovationen können Wettbewerbsvorteile und ein kreatives und wirtschaftliches Potential entstehen, mit dessen Hilfe die Wirtschaftskraft eines Landes zukünftig gestärkt werden kann. In der gegenwärtigen Phase **hoher Rohstoffpreise** ist daher zu bedenken, dass diese sich in Bezug auf Innovationen sehr stimulierend auswirken und als vielfältig wirkende **Investitionen** anzusehen sind, etwa **in eine eventuell verringerte Abhängigkeit von bestimmten Rohstoffen und in zukünftig wieder sinkende Rohstoffpreise**.

Fazit: Sollten in Zukunft bei dem einen oder anderen Rohstoff Engpässe auftreten, so kann mit großem Vertrauen davon ausgegangen werden, dass die entsprechenden hohen Rohstoffpreise zu Lösungen des Knappheitsproblems führen werden, die auf derselben Kreativität des Menschen und dem selbem Innovationsgeist beruhen, die in der Vergangenheit dafür gesorgt haben, dass die realen Preise der meisten Rohstoffe aufgrund des daraus resultierenden technologischen Fortschritts gesunken sind.

Hohe Rohstoffpreise sind ein Stimulus für F&E und Innovationen, die als Investitionen in die Zukunft und wieder niedrigere Rohstoffpreise angesehen werden müssen

8 Angebots- und Nachfragetrends bei ausgewählten Rohstoffen

8.1 Kupfer

Verwendung

Kupfer wird überwiegend als Raffinadekupfer verbraucht, welches aus Erzen und Schrott erzeugt wird. Wegen seiner guten Leitfähigkeit wird Kupfer in der Elektrotechnik verwendet, aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit aber auch in der Bauwirtschaft, dem Maschinenbau und in der Automobilindustrie. In den Industrieländern entfallen 70 % des Kupferverbrauchs auf elektrotechnische Verwendungen im Bauwesen, Maschinenbau etc. (DESA 1999). 2001 betrug der Anteil des Bauwesens am weltweiten Verbrauch 48 %, der Elektrotechnik 17 %, des Maschinenbaus 16 %, während das Verkehrswesen lediglich einen Anteil von 7 % hatte (LME 2006).

Primäre Verwendung

Die Verwendung von Kupfer hat in Deutschland in der Elektronik und Elektrotechnik stark zugenommen. Der Anteil dieses Bereichs an den Kupfer verarbeitenden Sektoren lag 2004 bei 32 % und somit verglichen mit 1996 mehr als doppelt so hoch, der absolute Verbrauch stieg in entsprechender Weise. Die Anteile des Maschinenbaus und des Bauwesens sind hingegen gefallen. Absolut betrachtet verarbeiten diese beiden Sektoren jedoch kaum weniger als 1996. Der Rückgang bei Feinmechanik hat statistische Erfassungsgründe. Was 1996 unter Feinmechanik aufgeführt wurde, wurde 2004 größtenteils unter den übrigen Sektoren verbucht.

Verarbeitende Industrien

Anteile der Kupfer verarbeitenden Sektoren in Deutschland (WVM 1997, 2005)

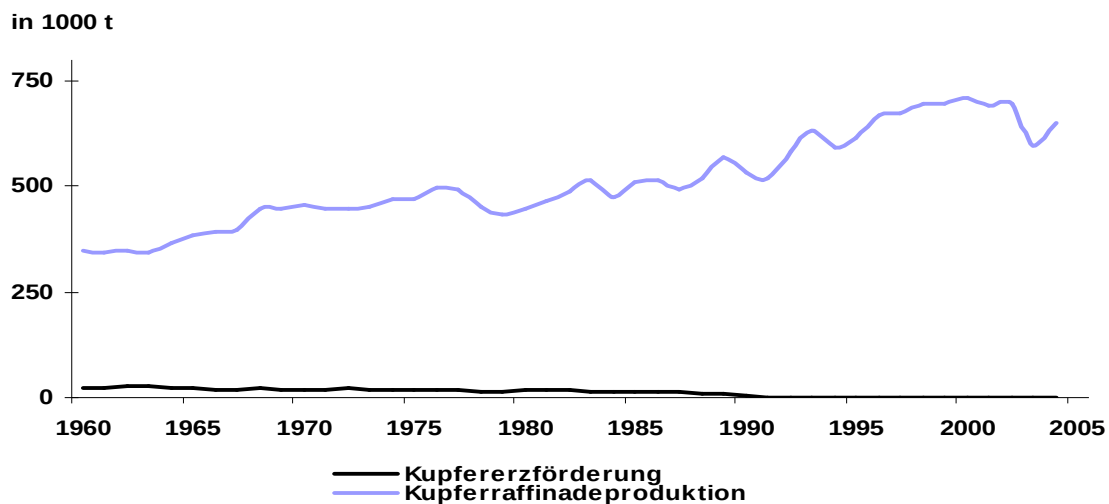
	1996		2004	
	Mio. t	Anteile	Mio. t	Anteile
Bauwesen	0,63	47 %	0,58	37 %
Elektrotechnik	0,20	15 %	0,51	32 %
Maschinenbau	0,24	18 %	0,22	14 %
Verkehrswesen	0,12	9 %	0,13	8 %
Feinmechanik	0,12	9 %	0,00	0 %
Übrige Sektoren	0,03	2 %	0,14	9 %
Insgesamt	1,34	100 %	1,58	100 %

Nachfrage

Der Kupferverbrauch Deutschlands von mehr als 1,1 Mio. t im Jahr 2004 ist der höchste in der EU und liegt mit einem Anteil von 6,7 % weltweit an vierter Stelle (BGR 2005). Er stieg zwischen 1986 und 2004 von 0,93 Mio. t um rund 18 % bzw. rund 1 % jährlich an (BGR, DIW 1997:309). Der inländische Bedarf kann nicht allein durch die heimische Kupferproduktion gedeckt werden. 2004 lag die deutsche Kupferraffinadeproduktion bei 0,652 Mio. t (BGR 2005). Mit mehr als 0,5 Mio. t leistete die *Norddeutsche Affinerie AG*, Hamburg, dazu den größten Beitrag (NA 2005:1). Dieser große Marktanteil ist mit darauf zurückzuführen, dass mittlerweile die *Kayser Kupfer Raffinerie* aus Lünen und die *Berliner Kupferraffinerie* zu Europas führendem Kupferproduzenten gehören. Weltweit liegt die Norddeutsche Affinerie an Position 5.

Inländischer
Verbrauch

Erzförderung und Kupferraffinadeproduktion in Deutschland in Mio. t (BGR 2005)



Der weltweite Kupferverbrauch lag 2004 bei 16,5 Mio. t (BGR 2005). Damit stieg der Verbrauch in den letzten 10 Jahren um mehr als 37 % bzw. um rund 3,2 % pro Jahr (ICSG 2005). Dies ist verglichen mit dem jährlichen deutschen Wachstum von knapp 1 % im Zeitraum von 1986 bis 1991 eine deutliche Steigerung (BGR, DIW 1997:308). Seit 1983 ist der Kupferverbrauch sogar um rund 80 % angestiegen (Nishiyama 2005:132). Dies bedeutet einen durchschnittlichen Anstieg von rund 2,8 % im Jahr.

Weltweiter
Verbrauch

Weltweiter Raffinadekupferverbrauch in Mio. t (BGR 2005, GFMS 2006:17)

	1975	1985	1995	2005	Anteile 2005
China	0,30	0,44	1,13	3,67	21,9 %
USA	1,40	2,14	2,52	2,23	13,3 %
Japan	0,83	1,23	1,41	1,19	7,1 %
Deutschland	0,75	0,91	1,07	1,02	6,1 %
Südkorea	0,04	0,21	0,54	0,88	5,3 %
Italien	0,29	0,36	0,50	0,70	4,2 %
Taiwan	0,03	0,09	0,51	0,65	3,9 %
Frankreich	0,36	0,40	0,54	0,54	3,2 %
Indien	0,02	0,08	0,12	0,40	2,4 %
Mexiko	0,07	0,12	0,17	0,39	2,3 %
Übrige	3,37	3,80	3,57	5,07	26,5 %
Insgesamt	7,46	9,78	12,08	16,74	100,0 %

China weist den weltweit größten Kupferbedarf auf und übertrifft die USA deutlich. 2005 gingen rund 3,7 Mio. t bzw. 22 % des weltweiten Verbrauchs auf China zurück (GFMS 2006:17). Der Kupferverbrauch Chinas erhöhte sich zwischen 1995 und 2005 drastisch um ca. 2,5 Mio. t. Damit hat sich die chinesische Nachfrage in diesem Zeitraum mehr als verdreifacht. Der Anstieg des chinesischen Anteils am weltweiten Kupferverbrauch von 9 % auf 22 % wurde durch den um 5 % bzw. 9 % sinkenden Verbrauch der USA und Japans im letzten Jahrzehnt gedämpft. Die Anteile dieser beiden Nationen reduzierten sich auf rund 13 % bzw. 7 % (BGR 2005). Indien und Russland haben ihre Nachfrage in den letzten zehn Jahren verdoppelt (ICSG 2005). Dennoch liegt der Kupferverbrauch Indiens mit knapp 0,4 Mio. t nur bei etwas mehr als einem Zehntel des chinesischen Bedarfs.

2004 wurde Kupfer netto im Wert von knapp 2,2 Mrd. € nach Deutschland importiert, größtenteils in Form von Vorprodukten wie Erzen und Konzentraten, aber auch in Form von Rohkupfer. Die wichtigsten Lieferländer für Erze waren Chile, Peru, Argentinien, Portugal und Papua/Neuginea (BGR 2005). Der Herfindahlindex für die Konzentration der Nettoimporte aus den unterschiedlichen Ländern beträgt 0,23 und zeigt eine dem deutschen Erdgasmarkt vergleichbare Konzentration an.

[Nettoimporte](#)

Importquellen für in Deutschland verarbeitetes Kupfererz in 1 000 t im Jahr 2004 (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Chile	60,2	264,6	470,3	41,2 %
Peru	0,0	0,0	161,1	14,1 %
Argentinien	0,0	0,0	156,4	13,7 %
Portugal	0,0	156,0	103,1	9,0 %
Papua/Neuguinea	179,3	145,7	95,0	8,3 %
Indonesien	0,0	44,6	37,3	3,3 %
Brasilien	0,0	0,0	33,4	2,9 %
Tschechien	0,0	0,0	19,7	1,7 %
Türkei	0,0	0,0	16,5	1,4 %
Mexiko	106,0	0,0	10,2	0,9 %
Übrige	203,6	52,4	38,8	3,4 %
Insgesamt	549,1	663,3	1141,8	100,0 %

Glasfaserkabel bilden bereits seit langer Zeit einen mehr als [Substitution](#) adäquaten Ersatz für Kupferkabel. In der Telekommunikation überträgt ein haarfeines Glasfaserkabel ebenso viele Gespräche wie 625 Kupferkabel noch vor 20 Jahren (Meadows et al. 1992:113). Ein Teil des Kupferbedarfs für die Telekommunikation wird zukünftig auch durch die kabellose Datenübertragung ersetzt. In Hochspannungsleitungen hat Aluminium Kupfer bereits nahezu vollständig verdrängt. Allerdings könnte die Bedeutung von Kupfer beim Stromtransport durch die Verwendung unterirdischer Leitungen wieder zunehmen. Diese Alternative ist jedoch erheblich teurer als die traditionelle Variante der Überlandleitungen.

In verschiedenen elektronischen Geräten kann Kupfer durch Aluminium oder Stahl ersetzt werden, bei Rohrleitungen und Blechen übernimmt zunehmend Plastik den Kupfereinsatz (DESA 1999:7). In Wärmetauschern können schließlich Titan und Stahl die Rolle von Kupfer einnehmen (USGS 2006:57)

Angebot

2004 lag der Kupfergehalt der Erzreserven bei insgesamt rund 470 Mio. t (USGS 2006). Rund 31 % der Reserven sind in Chile zu finden, jeweils 8 % in Indonesien und den USA (BGR 2005). Seit 1950 stiegen die Reserven von 90 Mio. t Kupfergehalt auf 280 Mio. t im Jahr 1970 und auf 340 Mio. t im Jahr 1998 (DKI 2005). Reserven

Die Ressourcen haben einen Kupfergehalt von weit über 2,3 Mrd. t (USGS 2006). Dabei sind rund 0,7 Mrd. t in Erzknollen enthalten, die auf dem Meeresboden liegen. Ressourcen

Die weltweite Förderung stieg innerhalb der letzten 10 Jahre um 44 % auf 14,56 Mio. t im Jahr 2004 an (BGR 2005). Seit 1983 hat die Förderung sogar um rund 80 % zugenommen (Nishiyama 2005:132). Weltförderung

Für 2004 ergibt sich für Kupfer durch Division der Reserven von 470 Mio. t bzw. der Ressourcen von 2,3 Mrd. t und der Förderung in Höhe von 14,56 Mio. t eine Statische Reichweite von 32 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 158 Jahren. Reichweiten

Der Herfindahlindex der Länderkonzentration der Erzförderung liegt bei 0,16 und ist somit vergleichsweise niedrig. Chile ist mit Abstand das größte Förderland und gewinnt mehr als ein Drittel des weltweit verwendeten Kupfererzes. Es wird erwartet, dass Chile seinen Anteil an der Weltproduktion in Zukunft noch ausbauen wird (Nishiyama 2005:138). Der gewogene Hermes-Indikator für das politische und wirtschaftliche Risiko der Förderländer liegt auf einer Skala von 0 bis 7 bei 2,76. Zum Vergleich: China und Costa Rica weisen einen Hermes-Indikator von 2 auf. Der gewogene Weltbank-Indikator zur Charakterisierung des politischen und wirtschaftlichen Risikos liegt auf einer Skala von -2,24 für Somalia und 2,04 für Island bei 0,56. Zum Vergleich: Der Weltbank-Indikator von Südkorea beträgt beispielsweise 0,59. Länderkonzentration der Förderung

Deutschland fördert seit 1991 kein Kupfererz mehr. Die spärlich vorhandenen Vorkommen waren weitgehend erschöpft (DKI 2005). Um 1960 wurden noch Kupfererze mit einem Kupfer-

inhalt von etwa 25 000 t in Deutschland gewonnen. Bereits damals überstieg die Produktion von raffiniertem Kupfer die Förderung um ein Vielfaches. Die Importabhängigkeit war somit bereits 1960 sehr hoch, obwohl in Deutschland noch Erz gewonnen wurde.

Weltweite Kupfererzförderung in Mio. t (BGR 2005, GFMS 2006:17)

	1975	1985	1995	2005	Anteile 2005
Chile	0,83	1,36	2,49	5,40	35,9 %
USA	1,28	1,10	1,85	1,21	8,0 %
Australien	0,22	0,26	0,38	1,11	7,4 %
Peru	0,17	0,40	0,48	1,02	6,8 %
Indonesien	0,06	0,09	0,34	1,00	6,6 %
China	0,14	0,24	0,45	0,70	4,7 %
Kanada	0,73	0,74	0,70	0,58	3,9 %
Polen	0,23	0,40	0,38	0,54	3,6 %
Mexiko	0,08	0,28	0,34	0,43	2,9 %
Sambia	0,68	0,59	0,34	0,42	2,8 %
Übrige	2,75	3,08	2,32	2,64	31,1 %
Insgesamt	7,17	8,54	10,07	15,05	100,0 %

Der größte Minenbetreiber kommt aus Chile. Mit rund 12 % besitzt die Corporacion Nacional del Cobre (Codelco) einen moderaten Anteil an der Weltproduktion.

Unternehmens-
konzentration der
Erzförderung

Die größten Kupferbergbaugesellschaften 1993 und 2003 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
Codelco	1,14	12,0 %	Codelco	1,67	12,2 %
RTZ	0,60	6,3 %	Phelps Dodge	1,00	7,3 %
Phelps Dodge	0,54	5,7 %	BHP Billiton	0,91	6,7 %
Asarco	0,48	5,0 %	Grupo Mexico SA de CV	0,84	6,1 %
BHP	0,39	4,1 %	Rio Tinto	0,79	5,7 %
KGHM Polska Miedz	0,38	4,0 %	Anglo American	0,67	4,9 %
Anglo American	0,33	3,5 %	Freeport MC Moran	0,61	4,4 %
Freeport McMoran	0,30	3,2 %	KGHM Polska Miedz	0,53	3,9 %
Cyprus Amax Minerals	0,28	3,0 %	Norilsk Nickel	0,45	3,3 %
Magma Copper	0,26	2,7 %	Antofagasta	0,44	3,2 %
Übrige	4,78	50,5 %	Übrige	5,79	42,3 %
Insgesamt	9,47	100,0 %	Insgesamt	13,70	100,0 %

Acht weitere Unternehmen haben Anteile zwischen 3,3 % und 7,3 %. Die Kupferförderung ruht somit auf den Schultern sehr vieler Unternehmen, der Markt ist als kaum konzentriert zu bezeichnen. Codelco hatte 1990 mit 13,4 % einen etwas höheren Anteil als heute (BGR 2005).

Die Kupferproduktion kam seit 2003 der Nachfrage kaum hinterher. Der Kupferraffinadeverbrauch stieg zwischen 2003 und 2005 von 15,9 auf 16,7 Mio. t (GFMS 2006:17). China verzeichnete den größten Anstieg sowohl bei der Produktion wie auch beim Verbrauch.

Weltweite Produktion

Kupferraffinadeerzeugung in Mio. t im Jahr 2004 (BGR 2005, GFMS 2006:18)

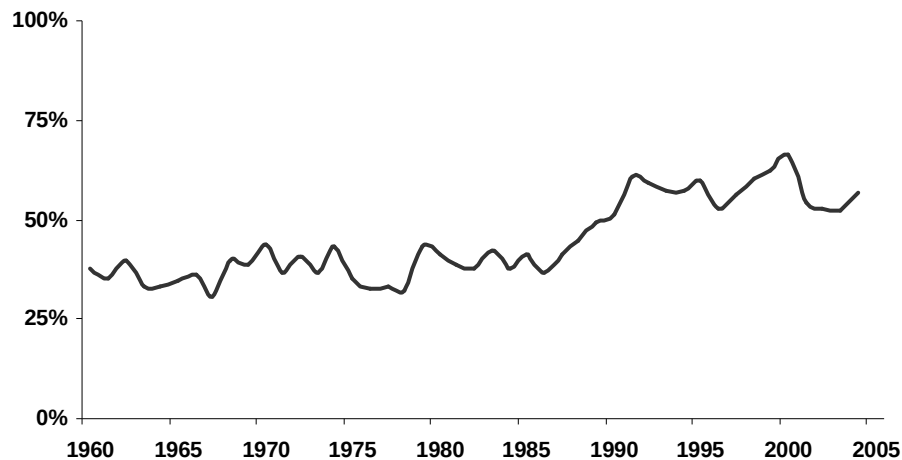
	2003	2004	2005	Anteile 2005
Chile	2,90	2,84	2,85	17,1 %
China	1,84	2,04	2,58	15,5 %
Japan	1,43	1,38	1,40	8,4 %
USA	1,31	1,31	1,30	7,8 %
Russland	0,84	0,92	0,95	5,7 %
Deutschland	0,60	0,65	0,65	3,9 %
Polen	0,53	0,55	0,55	3,3 %
Kanada	0,46	0,53	0,54	3,2 %
Peru	0,52	0,51	0,52	3,1 %
Südkorea	0,51	0,50	0,50	3,0 %
Australien	0,48	0,49	0,48	2,9 %
Übrige	3,81	4,13	4,34	2,6 %
Insgesamt	15,23	15,85	16,66	100,0 %

Kupfer ist fast uneingeschränkt wieder verwertbar (DKI 2005), die theoretische Recyclingquote beträgt nahezu 100 %. In Praxis liegt die weltweite Recyclingquote seit Jahrzehnten konstant bei etwa 40 % (DESA 1999:4). In Deutschland erreichte die Recyclingquote, das heißt das Verhältnis von Kupferschrotteinsatz und jährlichem Kupferverbrauch, in den letzten Jahren sogar Werte von 56 % (BGR 2005). Der Recyclinganteil bei der Kupfererzeugung ist in Deutschland vor allem seit Mitte der 80er Jahre stark angestiegen. Davor lag er im Bereich von 35 bis 40 %. Die Wiederverwendung von Kupfer kann deshalb als größte und wirtschaftlichste Kupfermine bezeichnet werden (DKI 2005).

Recycling

Recyclinganteil bei der Kupfererzeugung in Deutschland (BGR 2005)

Recyclinganteil



Der Einsatz von Kupferschrott bei der Kupferherstellung hat sich seit 1960 in Deutschland fast verdreifacht, von mehr als 130 000 t auf rund 370 000 t. Die Importe an Kupferschrott stammen dabei aus immer mehr Ländern, die frühere Dominanz von Frankreich, Großbritannien und den Niederlanden hat seit 1984 stark abgenommen. Durch die ab 2006 wirksame Elektronikschrottverordnung wird sich der Recyclingmarkt für Elektronikschrott verbessern. Bei hohen Preisen wird eine Substitution von Kupfer im Baubereich bei Rohren und Bedachungen erwartet (NA 2005:12).

Importquellen von Kupferschrott (BGR 2005)

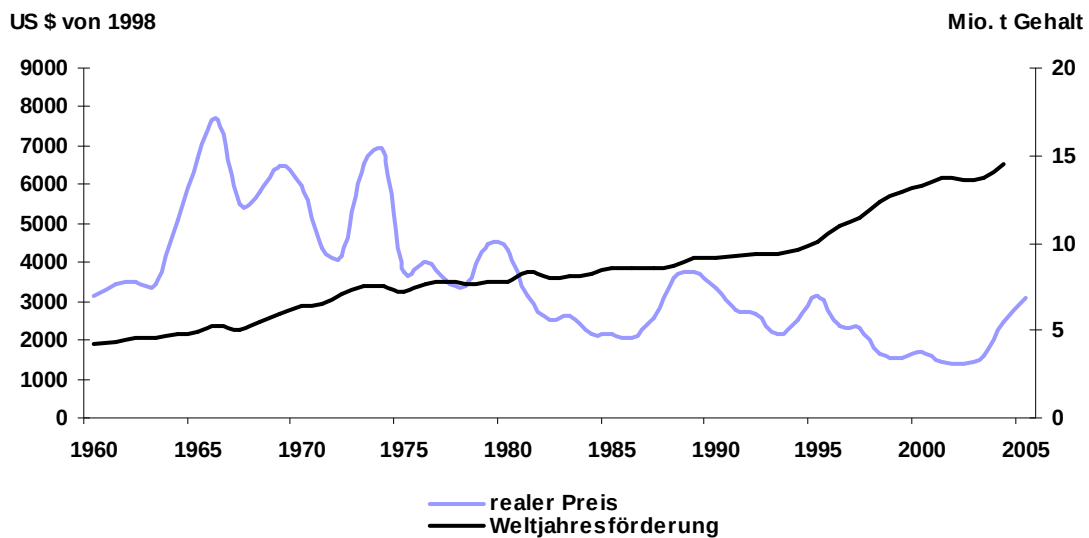
	1984			2004	
	1 000 t	Anteile		1 000 t	Anteile
Frankreich	47,5	22,4 %	Frankreich	53,9	12,6 %
UK	43,7	20,6 %	Niederlande	39,2	9,2 %
Niederlande	35,2	16,6 %	UK	35,8	8,4 %
Belgien	12,9	6,1 %	Russland	32,7	7,7 %
Dänemark	11,8	5,6 %	Schweiz	29,1	6,8 %
Italien	10,6	5,0 %	Spanien	27,1	6,4 %
Österreich	8,5	4,0 %	Italien	27,0	6,3 %
Schweiz	6,0	2,8 %	Tschechien	18,3	4,3 %
Norwegen	5,1	2,4 %	USA	18,0	4,2 %
USA	4,7	2,2 %	Polen	17,0	4,0 %
Übrige	25,8	12,2 %	Übrige	129,0	30,2 %
Insgesamt	211,8	100,0 %	Insgesamt	427,0	100,0 %

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

Die jährliche Nachfrage nach raffiniertem Kupfer hat sich zwischen 1975 und 2005 mehr als verdoppelt und ist von rund 7,5 auf etwa 16,7 Mio. t gestiegen. Trotzdem lag der reale Preis für *Kupfererz* mit 2 471 US \$/t (in Preisen von 1998) im Jahr 2004 weitaus niedriger als 1975. Gegen Ende der 1990er Jahre befand sich der Preis sogar noch deutlich darunter. Ein wesentlicher Grund dafür waren weltweite Überkapazitäten. Darunter hatten insbesondere die amerikanischen Kupferunternehmen zu leiden, die mit geringen Kupfergehalten ihrer Erze, höheren Umweltschutzanforderungen etc. zu kämpfen hatten (Nappi 1985). Zwischen 1998 und 2004 stiegen die Preise allerdings um 50 % an (BGR 2005). Dieser Preisanstieg setzte sich auch 2005 und 2006 fort.

Produktions- und Preisentwicklung in der Vergangenheit

Reale Erzpreise in US \$ pro t Kupfergehalt und Weltjahresproduktion in Mio. t (BGR 2005)

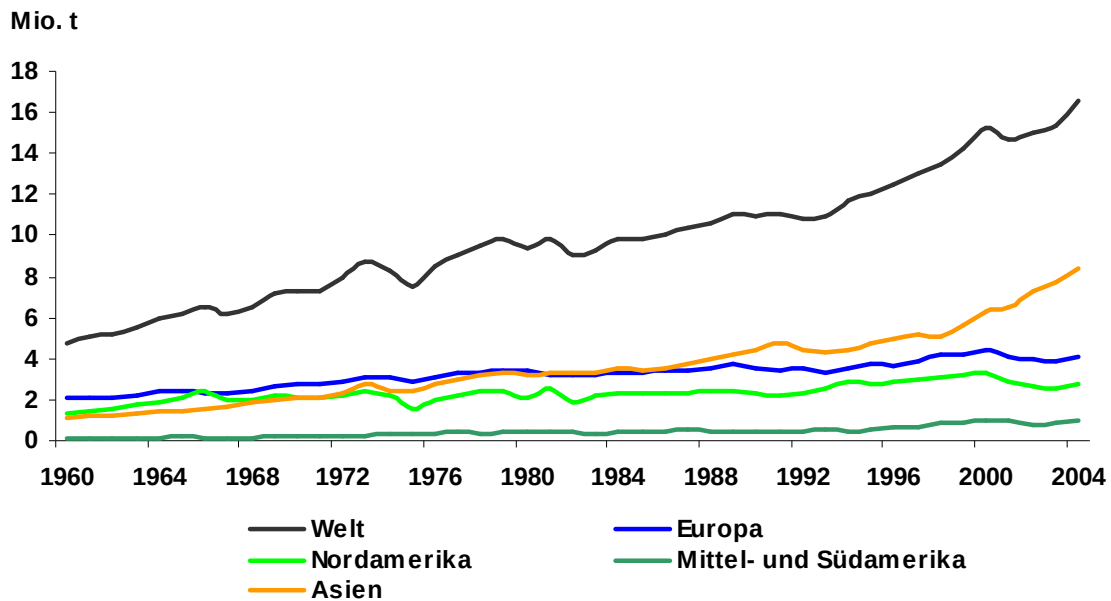


Die Preisanstiege der letzten Jahre ist jedoch nicht allein auf die große Nachfrage aus Schwellenländern wie vor allem **China zurückzuführen**. Denn: Der deutliche Verbrauchsanstieg Chinas fand bereits zu Beginn der neunziger Jahre statt und die Nachfrage Chinas ist auch von 2000 auf 2001 bzw. 2002 stark gestiegen, von 1,93 Mio. t auf 2,36 bzw. 2,77 Mio. t (BGR 2005). Dennoch waren 2001 und 2002 die Kupferpreise in Folge von Angebotsüberschüssen niedrig.

Die Preisanstiege sind vielmehr auf die für Rohstoffe charakteristische Zyklen zurückzuführen. Die 2001 und 2002

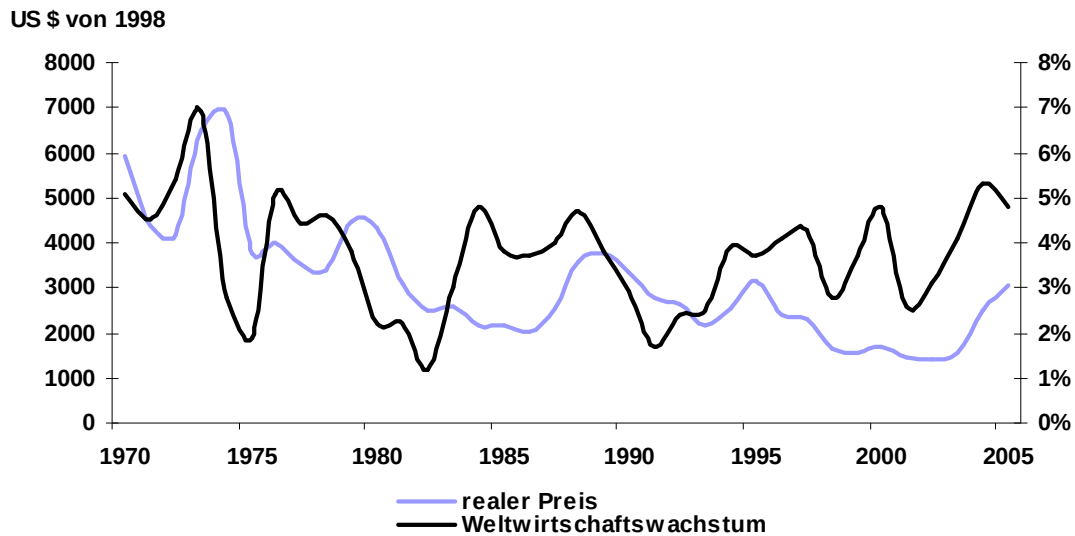
herrschen niedrigen Kupferpreise führten im Bergbausektor zu Kapazitätsstilllegungen und geringen Investitionen (NA 2004:2). Die davor zwischen 1997 und 2002 herrschende Überproduktion führte zu einem starken Aufbau der Lagerbestände an raffiniertem Kupfer. Die weltweiten Kupferbestände stiegen zwischen 1995 und 2002 von 0,943 auf 2,084 Mio. t (ICSG 2005), fielen 2003 um etwa 0,27 Mio. t zunächst langsam, bevor sie 2004 um rund 1 Mio. t auf 0,943 Mio. t deutlich zurückgingen.

Kupferverbrauch in den verschiedenen Kontinenten (BGR 2005)



Die Entwicklung der Kupferpreise reflektiert in typischer Weise den so genannten Schweinezyklus, der für viele Rohstoffe charakteristisch ist. So sorgten die hohen Rohstoffpreise Ende der 1970er für ein wachsendes Angebot an Kupferbergwerks- und Förderkapazitäten, das sich zu Beginn der 1980er Jahre einer durch die weltweite Rezession in Folge der durch den hohen Ölpreis geschwächten Nachfrage gegenüber sah.

Das Resultat war ein drastischer, fünfjähriger Preisverfall bei Kupfer, der für die Schließung eines Drittels der Minen in den USA verantwortlich war. Weitere Schließungen in aller Welt sorgten für ein immer engeres Angebot, in dessen Folge die Kupfererzpreise ab 1987 wieder stiegen. Dem Preisanstieg wurde bereits vor dem Einsetzen der weltweiten Rezession in Folge des Kuwaitkrieges ein Ende durch erneute Überschüsse bei der Produktion und einem Abschwächen des Weltwirtschaftswachstums gesetzt (USGS 1998:41).

Reale Erzpreise in US \$ pro t Kupfergehalt und Weltwirtschaftswachstum in Prozent (BGR 2005, IMF 2006)


Angebot von und Nachfrage nach Kupfer wurden in der Vergangenheit vielfach von politischen Ereignissen tangiert. So ist beispielsweise der starke Anstieg des Preises gegen Ende der 1960er Jahre auf den Vietnamkrieg und die damit einhergehende starke militärische Nachfrage nach Kupfer zurückzuführen. In den vergangenen 10 Jahren verzeichneten insbesondere Chile und China beinahe eine Verdopplung ihrer Kupferherstellung auf rund 2,85 bzw. 2,58 Mio. t (GFMS 2006:18). Indien verzehnfachte sogar seine Produktion, kann aber mit den großen Produzenten nicht mithalten.

Die Produktion von Raffinadekupfer wird 2006 voraussichtlich um 7 % wachsen (AIECE 2005:19). Darüber hinaus ist mit weiteren Kapazitätserweiterungen als Reaktion auf die hohen Preise der letzten Jahre zu rechnen. Dies gilt kurzfristig vor allem für Hütten und Raffinerien, die bestrebt sind, die bereits gewachsene Bergwerksförderung zu verarbeiten (AIECE 2005a:17). Die Bergbauproduktion wird sich durch große Expansionsvorhaben in der Erzförderung, vor allem in Chile, auch in den nächsten Jahren ausweiten (Nishiyama 2005:138). So wird in Peru die Erweiterung der Cerro-Verde-Mine um 0,18 Mio. t für Ende 2006 erwartet (Drum et al. 2006:153). Bislang sind bei der Kupferförderung zudem kaum Konzentrationstendenzen erkennbar.

Angebotstrends

Wegen der nachlassenden Weltwirtschaft wird sich das Wachstum der Kupfernachfrage auf nur noch 2 % im Jahr 2006 reduzieren, anstatt 5 % bzw. 8 % in den Jahren 2005 bzw. 2004

Nachfragetrends

(AIECE 2005:19). Kurzfristig könnten aber der Aufschwung Chinas und der Wiederaufbau in den sturmgeschädigten Regionen in den USA die Nachfrage antreiben (AIECE 2005:19).

Mittelfristig sollte der Bedarf vor allem in Asien weiter ansteigen. Die Förderländer, allen voran Chile, sollten diese Nachfrage laut Drum et al. (2006:149) mehr als bedienen können, so dass die Lagerbestände wieder zunehmen. Gegenwärtig liegt die Nachfrage oberhalb des in Kapitel 4 ermittelten langfristigen Trends. Demnach wäre 2025 mit einem Kupferverbrauch von 28,4 Mio. t zu rechnen, woran China einen Anteil von 40 % und mehr haben könnte (siehe Kapitel 9.5). Verglichen mit dem Verbrauch von 16,5 Mio. t im Jahr 2004 bedeutet dies eine Steigerung um rund 72 % bzw. 2,7 % pro Jahr, während in den letzten 10 Jahren der Kupferverbrauch sogar um 37 % bzw. 3,2 % pro Jahr gestiegen ist. Langfristig kann man davon ausgehen, dass sich Angebot und Nachfrage in Einklang befinden werden. Kurzfristige Angebots- oder Nachfrageüberschüsse können aber ungewöhnlich hohe oder niedrige Preise verursachen (Nishiyama 2005:139). Gegen gelegentliche starke Preisschwankungen durch sich abwechselnde Engpässe und Überkapazitäten besteht die Möglichkeit der Absicherung beispielsweise durch Futures an der LME.

Der Preis für Kupfer belief sich an der Londoner Metallbörse (LME) 2005 auf durchschnittlich knapp 3 700 US \$ je Tonne (GFMS 2006). 2006 stieg er auf mehr als das Doppelte. Wie in der Vergangenheit werden die Anbieter auf die hohen Preise mit Explorationen und Kapazitätserweiterungen reagieren: „The cycle appears to be repeating itself yet again“ (Thompson 1998:8). Dies wird nach Überzeugung von Drum et al (2006:151) ab 2007 wieder zu einer Normalisierung der Preise führen.

Preistrends

Die weltweit großen Knappheiten an Kupferkonzentraten in den letzten Jahren konnte die **Norddeutsche Affinerie, Europas größter Kupferproduzent**, durch langfristige Lieferverträge und eine breit gefächerte Lieferantenstruktur meistern. Der mit einem Marktanteil von über 80 % dominierende deutsche Kupferhersteller erweiterte seinen Kreis an Lieferanten durch den Beginn der Konzentratlieferungen aus der neuen brasilianischen Sossego-Mine (NA 2004:3). Anstatt über die Versorgung mit Kupferkonzentraten klagt die Norddeutsche Affinerie vielmehr über hohe Strompreise. Als Reaktion darauf beteiligt das Unternehmen sich an Bau eines neuen Müllverbrennungskraftwerks.

Heimischer Markt

8.2 Aluminium

Verwendung

Aluminium wird wegen seines geringen spezifischen Gewichtes in der Verpackungsindustrie, vor allem aber im Verkehrsbereich eingesetzt. Weltweit entfallen 26 % des Verbrauchs auf diesen Bereich, in Deutschland inzwischen sogar beinahe 45 %. Bauwesen und Verpackung stellen mit jeweils 22 % weitere weltweit wichtige Anwendungsbereiche dar (LME 2006).

Primäre Verwen-
dung

Zwischen 1994 und 2004 hat die Bedeutung von Aluminium in Deutschland vor allem im Verkehrsbereich massiv zugenommen. Auch in fast allen anderen Anwendungsgebieten ist der Verbrauch seither erheblich gestiegen. Insgesamt ist die Verwendung von Aluminium in Deutschland in den letzten zehn Jahren um rund 50 % bzw. etwa 1 Mio. t angestiegen, seit 1970 hat sich der Aluminiumbedarf fast vervierfacht. Der hohe Bedarf konnte 2004 nicht durch die heimische Produktion an Primär- und Sekundär-aluminium in Höhe von rund 1,4 Mio. t gedeckt werden (BGR 2005a), sondern erforderte den Import von Metall und Altschrott in Höhe von etwa 1,6 Mio. t (BGR 2005a).

Verarbeitende
Industrien

Aluminium verarbeitende Sektoren in Deutschland (WVM 2005)

	1970		1994		2004	
	1 000 t	Anteile	1 000 t	Anteile	1 000 t	Anteile
Verkehr	192	23 %	426	21 %	1 357	44 %
Bauwesen	112	14 %	313	16 %	463	15 %
Verpackung	69	8 %	556	28 %	309	10 %
Maschinenbau	63	8 %	125	6 %	278	9 %
Elektrotechnik	103	12 %	106	5 %	139	5 %
Eisen- und Stahl	34	4 %	73	4 %	231	7 %
Haushaltswaren	16	2 %	94	5 %	123	4 %
Übrige	241	29 %	316	15 %	185	6 %
Insgesamt	830	100 %	2 009	100 %	3 085	100 %

Nachfrage

Weltweit belegte Deutschland mit einem Verbrauch an Primäraluminium von rund 1,8 Mio. t im Jahr 2005 bzw. einem Anteil von 5,6 % den vierten Rang hinter China, den USA und Japan (GFMS 2006:12). Innerhalb Europas war Deutschland mit Abstand das größte Verbraucherland. Deutschland hatte einen beinahe doppelt so hohen Bedarf wie Italien und verbrauchte dreimal mehr als Spanien bzw. mehr als viermal so viel wie Großbritannien.

Inländischer Aluminiumverbrauch

Während der Primäraluminiumverbrauch in vielen Industrieländern wie Japan, Frankreich oder Kanada in den vergangenen 5 Jahren weitgehend stagnierte, legte der Verbrauch in Deutschland um 15,2 % zu. In der westlichen Welt wurde Deutschland nur von den USA und insbesondere Italien übertroffen, deren Bedarf um 16,6 % bzw. sogar um 35,6 % stieg.

Weltweiter Aluminiumverbrauch

Primäraluminiumverbrauch in 1 000 t (GFMS 2006:12, World Bank 2005)

	2001	2002	2003	2004	2005
China	3 492	4 115	5 178	5 943	7 000
USA	5 230	5 509	5 667	5 800	6 100
Japan	2 014	2 010	2 023	2 019	2 235
Deutschland	1 580	1 690	1 916	1 795	1 820
Südkorea	850	921	982	1 118	1 200
Russland	786	990	802	1 020	1 050
Italien	756	850	956	987	1 025
Indien	589	604	798	861	910
Kanada	743	747	736	761	740
Frankreich	746	762	754	749	755
Übrige	6 935	7 140	8 432	9 608	9 062
Welt	23 721	25 338	28 244	30 661	31 897

Der weltweite Verbrauch an Primäraluminium lag 2005 bei knapp 32 Mio. t. Verglichen mit dem Bedarf von vor dreißig Jahren hat sich der Aluminiumverbrauch deutlich mehr als verdoppelt. 1976 betrug der Bedarf rund 13 Mio. t (DESA 1999:1). Der Verbrauch an Aluminium ist insbesondere seit 2001 stark angestiegen. Für diesen Anstieg um 35 % ist nicht nur die wachsende Nachfrage aus osteuropäischen bzw. asiatischen Ländern wie Südkorea bzw. Russland verantwortlich, deren Bedarf um 41,1 % bzw. 33,6 %

anstieg. Vor allem der chinesische Verbrauch erhöhte sich in den vergangenen Jahren mit unvermindertem Tempo: Chinas Primäraluminiumbedarf verdoppelte sich innerhalb der letzten 5 Jahre und verdrängte damit die USA von der Spitze der Verbraucherländer.

Aluminiumraffinadeverbrauch in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	440	720	1 942	5 968	21,7 %
USA	3 540	4 282	5 300	5 800	21,1 %
Deutschland	904	1 391	1 636	2 139	7,8 %
Japan	1 171	1 655	2 336	2 019	7,3 %
Südkorea	36	146	675	1 118	4,1 %
Italien	270	470	631	987	3,6 %
Indien	145	298	581	866	3,2 %
Kanada	286	345	612	783	2,8 %
Frankreich	399	586	744	749	2,7 %
Übrige	4 547	7 012	6 595	7 062	25,7 %
Welt	11 738	16 905	21 052	27 491	100,0 %

Neben China wies Indien mit einem Anstieg von ca. 54 % zwischen 2001 bis 2005 den größten Zuwachs auf. Trotz des starken Bedarfszuwachses Indiens spielt dieses Land bei Aluminium aber eine eher untergeordnete Rolle: Der Bedarf Chinas und der USA ist beinahe 7 bzw. 6 mal größer, der Verbrauch Japans und Deutschlands ist jeweils mehr als doppelt so hoch. Zudem nimmt Indien eine marktneutrale Position ein: Indien produzierte 2004 soviel Primäraluminium wie es selbst verbrauchte. Auch in den Jahren davor erfolgte die Produktion im Wesentlichen für den Eigenverbrauch (World Bank 2005).

Die einzige gegenwärtig in großem Maßstab wirtschaftlich nutzbare Quelle zur Primäraluminiumproduktion stellt Bauxit dar (USGS 2006). Daraus wird im Bayer-Verfahren Aluminiumhydroxid gewonnen, woraus wiederum Aluminiumoxid hergestellt wird. Aus staubförmigem Aluminiumoxid, auch Tonerde genannt, wird in Hüttenwerken via Elektrolyse Aluminium erzeugt. Dieser Prozess ist sehr stromintensiv. Zur Herstellung einer Tonne Primäraluminium werden knapp 2 Tonnen Aluminiumoxid benötigt, welche ihrerseits 4 Tonnen Bauxit erfordern. Darüber hinaus werden etwa

Inländischer
Bauxitverbrauch

450 kg kohlenstoffhaltige Anoden beim Elektrolyseverfahren verbraucht (Dienhart 2003:7).

Deutschland importierte 2004 neben 1,6 Mio. t Metall bzw. Schrott [Nettoimporte](#) netto etwa 2,1 Mio. t Bauxit und 1,3 Mio. t Aluminiumoxid bzw. –hydroxid (BGR 2005). Der Nettoimportwert betrug rund 2 Mrd. € (BGR 2005). Hauptimportquelle für Bauxit ist das westafrikanische Guinea: Daher stammen 82 % der deutschen Importe. Guinea wird mit einem Hermes-Indikator von 7 bewertet und ist somit in politischer und wirtschaftlicher Hinsicht eher kritisch zu sehen. Die in der Bauxitförderung führenden Staaten Australien und Brasilien spielen derzeit für die deutschen Importe keine große Rolle.

Bauxitimportquellen 2004 in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Guinea	1 327,8	746,0	1 737,7	82,0 %
Griechenland	56,4	11,2	103,5	4,9 %
Irland	0,0	0,0	88,5	4,2 %
China	106,3	160,5	59,0	2,8 %
Brasilien	163,2	3,7	56,7	2,7 %
Australien	1 368,1	372,5	45,5	2,1 %
Übrige	1 012,2	717,6	28,4	1,3 %
Insgesamt	4 034,0	2 011,5	2 119,3	100,0 %

Jamaika liefert mit rund 435 000 t oder knapp 40 % den größten Teil des in Deutschland verarbeiteten Aluminiumoxids und gilt mit einer Hermes-Klassifizierung von 6 als eine wirtschaftlich und politisch eher instabile Volkswirtschaft.

Aluminiumoxidimportquellen 2004 in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Jamaika	34,2	223,4	434,7	39,3 %
Irland	70,2	84,5	206,3	18,6 %
Spanien	0,0	27,5	145,2	13,1 %
Frankreich	1,1	20,8	88,9	8,0 %
Griechenland	0,0	0,0	86,7	7,8 %
Italien	192,3	68,0	68,4	6,2 %
Übrige	363,6	96,1	77,1	7,0 %
Insgesamt	661,4	520,3	1 107,3	100,0 %

Knapp die Hälfte der Aluminiumoxidimporte stammt jedoch aus fünf stabilen EU-Ländern. Etwa vier Fünftel der in Deutschland verfügbaren Menge an Aluminiumoxid wird zur Aluminiumproduktion verwendet. Das übrige Fünftel dient der Herstellung technischer Keramik oder wird in der chemischen Industrie eingesetzt.

Substitutionsmöglichkeiten für Aluminium ergeben sich vor allem in denjenigen Bereichen, in denen Aluminium in der Vergangenheit andere Materialien ersetzt hat. So können hochfeste Stahlbleche im Fahrzeugbau mittlerweile Aluminium ohne Nachteile in Bezug auf Festigkeit ersetzen (Röhrle 2005). Auch Kunststoffe bilden in diesem Bereich ernstzunehmende Ersatz- oder Ergänzungsmaterialien für Aluminium. Dies macht deutlich, warum die wechselseitige Substitution von Aluminium, Stahl und Kunststoff als „klassisches Substitutionsdreieck“ bezeichnet wird (Matthes, Ziesing 2005:45). Zudem spielt die Verwendung von Magnesium in Motorenkomponenten eine zunehmende Rolle. Dabei ist zwischen dem geringeren spezifischen Gewicht von Magnesiumlegierungen und der höheren mechanischen Belastbarkeit bzw. Haltbarkeit von Aluminiumlegierungen abzuwägen. Der Einsatzbereich von Magnesium wird sich eher auf mechanisch weniger beanspruchte Komponenten wie Motorengehäuse beschränken (Röhrle 2005a).

Bei Verpackungen gibt es mit Glas, Papier, Plastik und Stahl mannigfaltige Alternativen zu Aluminium (USGS 2006). Bei Getränkeverpackungen wird gegenwärtig ein Ausbau des Aluminiumanteils angestrebt (ALU 2005b:968). Dies hängt mit der Einführung eines einheitlichen Rücknahmesystems für Einwegverpackungen seit Mai 2006 zusammen (BMU 2006). Dabei werden Aluminiumdosen entscheidende Vorzüge zugeordnet, die sich aus ihrem hohen Materialwert sowie umwelttechnischen und wirtschaftlichen Vorzügen im Recyclingprozess ergeben (ALU 2005b:968). In der Elektrotechnik bietet sich Kupfer als Ersatz an, während im Bauwesen Aluminium durch Verbundwerkstoffe, Stahl oder Holz substituiert werden kann.

Angebot

Aluminium stellt das dritthäufigste Element und das häufigste Metall der Erdkruste dar. Aluminium ist somit auf der Erde reichlich vorhanden. Die Erschöpfung der Ressourcen wird daher als noch viel weniger akut angesehen als dies für andere Metalle der Fall ist (DESA 1999:3).

Aluminium liegt in der Natur nie in reiner Form vor, es wird gegenwärtig ausschließlich auf Basis von Bauxit hergestellt, obwohl einige, wenngleich nicht wirtschaftliche Alternativen zu Bauxit existieren. Selbst wenn die Bauxitvorkommen eines Tages einmal erschöpft sein werden, werden sehr wahrscheinlich diese anderen Aluminiumvorkommen wirtschaftlich, so dass Aluminium einen als praktisch unerschöpflich anzusehenden mineralischen Rohstoff darstellt (DESA 1999:3). Wirtschaftlich sind gegenwärtig etwa 25 Mrd. t Bauxit gewinnbar (USGS 2006:33). Damit hat sich die Reservensituation im Vergleich zum Beginn der 1970er Jahre dramatisch verbessert. Damals wurden die Reserven auf 1,17 Mrd. t taxiert (Meadows et al. 1972:46). Über die weitaus größten Reserven verfügen Brasilien, Jamaika und vor allem Guinea und Australien.

Reserven

Die Ressourcen an Bauxit summieren sich auf etwa 55 bis 75 Mrd. t. Die abbauwürdigen Vorkommen belaufen sich gegenwärtig auf rund 33 Mrd. t und finden sich vor allem im Äquatorialgürtel (USGS 2005). Mit 33 % verfügt Südamerika über den größten Anteil an den weltweiten Ressourcen, vor Afrika und Asien, deren Vorkommen an Bauxit rund 27 % bzw. 17 % ausmachen.

Ressourcen

2004 wurden rund 159 Mio. t Bauxit zur Herstellung von ca. 28,9 Mio. t Aluminium gefördert (USGS 2006, BGR 2005). Verglichen mit der Förderung von 1994 entspricht dies einer Steigerung um knapp 40 %.

Weltförderung

Bei Division der Menge an Reserven von 25 Mrd. t bzw. der Ressourcen von mindestens 55 Mrd. t durch die Fördermenge von 159 Mio. t ergibt sich für 2004 eine Statische Reichweite von ca. 157 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 346 Jahren.

Reichweiten

Weltweite Bauxitförderung und Bauxitreserven 2004 (USGS 2006)

	Förderung in Mio. t	Anteile an der Gesamt- förderung	Reserven in Mio. t	Anteile an den Reserven
Australien	58,6	37,4 %	5 700	22,8 %
Brasilien	18,5	11,8 %	1 900	7,6 %
Guinea	16,0	10,7 %	7 400	29,6 %
Jamaika	13,3	8,5 %	2 000	8,0 %
Indien	11,3	7,0 %	770	3,1 %
China	15,0	6,4 %	700	2,8 %
Russland	6,0	3,8 %	200	0,8 %
Venezuela	5,5	3,4 %	320	1,3 %
Übrige	14,8	11,0 %	6 010	24,0 %
Insgesamt	159,0	100,0 %	25 000	100,0 %

37,4 % des weltweit geförderten Bauxits stammen aus Australien. Brasilien und Guinea trugen jeweils etwas mehr 10 % zur weltweiten Fördermenge bei. Insgesamt werden fast 90 % der Fördermenge von acht Staaten erbracht. In den nächsten Jahren wird mit weiteren Staaten als Anbieter von Bauxit gerechnet (AA 2005). Der gewogene Hermes-Indikator zur Einschätzung der wirtschaftlichen und politischen Situation der größten Förderländer liegt bei 3,50, der gewogene Weltbankindikator bei 0,35. Demnach ist Bauxit als potentiell risikoreicher Rohstoff einzustufen.

[Länderkonzentration der Förderung](#)

Im Jahr 2003 wurde etwas mehr als zwei Drittel der weltweiten Bauxitförderung von zehn Unternehmen erbracht. Mit knapp 16 % hatte die US-amerikanische Firma Alcoa den größten Anteil daran. Alcoa, Alumina und Alcan hatten 2003 einen Anteil an der Bauxitförderung von rund einem Drittel und an der Tonerde- bzw. Aluminiumoxidherstellung von 34 % (BGR 2005). Die Anteile der 5 größten Bauxitförderer haben sich zwischen 1993 und 2003 nur moderat erhöht, Alcoas Anteil stieg von 14,4 % auf 15,9 %. Entgegen der Vermutung, dass ein großes Fördervolumen mit einem hohen Aluminiumgehalt korreliert sein könnte, gibt es tatsächlich keinen derartigen Zusammenhang: Die Minen der größten Betreiber weisen sogar die geringsten Aluminiumoxidgehalte auf (IAI 2004:9).

[Unternehmenskonzentration der Erzförderung](#)

Die größten Bauxitförmungsgesellschaften 2003 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
Alcoa	16,6	14,4 %	Alcoa	24,6	15,9 %
Western Mining	10,2	8,9 %	Alumina	14,9	9,6 %
RTZ	9,0	7,8 %	Alcan	12,3	7,9 %
Alcan	6,1	5,3 %	Rio Tinto	12,2	7,8 %
Alusuisse	5,3	4,6 %	BHP Billiton	11,6	7,5 %
Royal Dutch / Shell	5,1	4,4 %	Rusal	6,9	4,4 %
Reynolds Metals	4,5	3,9 %	CVRD	5,9	3,8 %
Kaiser Aluminum	3,7	3,2 %	National Aluminium	4,8	3,1 %
CVRD	2,9	2,5 %	Kaiser Aluminum	4,1	2,7 %
National Aluminium	2,5	2,2 %	Votorantim	3,6	2,3 %
Übrige	49,7	43,1 %	Übrige	54,1	34,9 %
Insgesamt	115,3	100,0 %	Insgesamt	155,0	100,0 %

Knapp 84 % des weltweit produzierten Aluminiums wird von zehn Unternehmen hergestellt. Die seit ehemals oligopolistische Marktstruktur hat sich seit Beginn der 90er Jahre verstärkt (Poss, Holz-hinrich-Scherler 2003). Auffällig ist zudem eine starke vertikale Integration in diesem Bereich: Die größten Aluminiumproduzenten wie Alcan, Alcoa, Rio Tinto etc. nehmen gleichzeitig auch führende Rollen bei der Bauxitförderung ein.

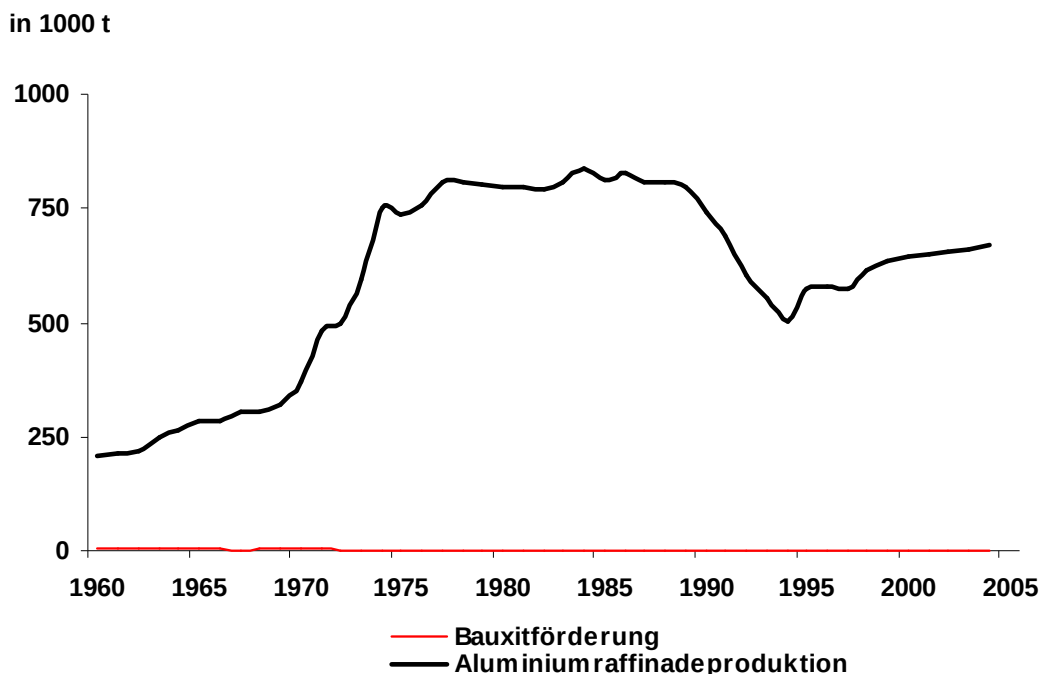
Die größten Aluminiumproduzenten 2003 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
Alcan	1,69	8,6 %	Alcan	3,44	12,2 %
Alcoa	1,66	8,4 %	Alcoa	3,40	12,1 %
Pechiney	0,95	4,8 %	Rusal	2,59	9,2 %
Reynolds Metals	0,85	4,3 %	Norsk Hydro	1,47	5,2 %
Bratsk Aluminium	0,81	4,1 %	BHP Billiton	1,13	4,0 %
Alumax	0,80	4,1 %	Rio Tinto	1,02	3,6 %
Norsk Hydro	0,65	3,3 %	SUAL	0,74	2,6 %
RTZ	0,52	2,6 %	Glencore	0,66	2,4 %
Kaiser Aluminum	0,49	2,5 %	Aditya Birla	0,38	1,4 %
Übrige	11,28	57,2 %	Übrige	13,25	47,2 %
Insgesamt	19,70	100,0 %	Insgesamt	28,10	100,0 %

Bauxit wurde wegen fehlender Lagerstätten in Deutschland nie in weltwirtschaftlich relevanten Mengen gefördert. Letztmalig wurde im Jahr 2000 eine Menge von 300 t gewonnen (BGR 2005). Dagegen stieg die Aluminiumraffinadeproduktion in Deutschland von 1960 bis zu Beginn der 70er Jahre permanent an, um bis 1989 auf annähernd gleich bleibend hohem Niveau von ca. 0,8 Mio. t zu verharren. Der Höchstwert wurde 1984 erreicht. Unter anderem bedingt durch die Exportoffensive der GUS Anfang der 90er Jahre kam es zu einem starken Rückgang, der erst 1995 gestoppt werden konnte (Schucht 1999:20). 2005 wurde wieder ein Niveau von 0,665 Mio. t erreicht (GFMS 2006:12)

Aluminium-
produktion in
Deutschland

Primäraluminiumproduktion und Bauxitförderung in Deutschland (BGR 2005)



Nach einer Phase der Stagnation in der ersten Hälfte der 90er Jahre ist die Produktion von Primäraluminium seit 1995 um mehr als 50 % angestiegen, von 19,9 auf rund 31,6 Mio. t im Jahr 2005 (GFMS 2006:12). Dies bedeutet ein durchschnittliches Wachstum von mehr als 4,5 % pro Jahr. Zwischen 1970 und 2004 ist die Produktion jährlich lediglich um durchschnittlich 2,4 % gestiegen (Rio Tinto 2005:24). Das Produktionswachstum hat sich somit in den letzten zehn Jahren beschleunigt. Für 2006 wird von einem Anstieg um 3,5 % auf 32,7 Mio. t ausgegangen (Richmond et al. 2005:674). Das starke Produktionswachstum hat dafür gesorgt,

Weltweites Alu-
miniumangebot

dass in den Jahren 2001 bis 2004 ein weltweiter Produktionsüberhang von jeweils von rund 0,6 Mio. t herrschte (World Bank 2005).

Primäraluminiumproduktion in 1 000 t (GFMS 2006:12, World Bank 2005)

	2001	2002	2003	2004	2005
China	3 371	4 321	5 547	6 589	7 150
Russland	3 302	3 348	3 478	3 594	3 695
Kanada	2 583	2 709	2 792	2 592	2 740
USA	2 637	2 705	2 704	2 517	2 500
Australien	1 784	1 836	1 857	1 895	1 920
Brasilien	1 132	1 318	1 381	1 457	1 500
Norwegen	1 068	1 095	1 192	1 322	1 360
Südafrika	654	704	733	864	865
Indien	624	671	799	861	900
Arab. Emirate	536	536	536	683	675
Welt	24 436	26 076	28 000	29 821	31 558

Das größte Produktionswachstum verzeichnete China. Zwischen 2001 und 2005 hatte sich Chinas Aluminiumproduktion von rund 3,4 auf etwa 7,1 Mio. t mehr als verdoppelt und steuerte 53 % zum weltweiten Produktionswachstum bei (GFMS 2006:12). China wurde 2000 zum Nettoexporteur von Aluminium. Zwischen 2002 und 2004 verdoppelten sich die Nettoexporte auf rund 0,6 Mio. t (World Bank 2005).

Primäraluminiumproduktion in 1 000 t (BGR 2005, GFMS 2006:12)

	1975	1985	1995	2005	Anteile 2005
China	300	500	1 870	7 150	22,7 %
Russland	k. A.	k. A.	2 790	3 695	11,7 %
Kanada	878	1 282	2 172	2 740	8,7 %
USA	3 519	3 500	3 375	2 500	7,9 %
Australien	214	852	1 293	1 920	6,1 %
Brasilien	121	549	1 188	1 500	4,8 %
Norwegen	595	724	847	1 360	4,3 %
Indien	167	267	518	900	2,9 %
Südafrika	74	165	229	865	2,7 %
Übrige	6 968	8 754	5 657	8 928	28,2 %
Welt	12 836	16 593	19 939	31 558	100,0 %

Aluminium kann im Prinzip beliebig oft wieder verwendet werden (VAR 2006). Die Herstellung aus Schrott beansprucht dabei nur etwa 5 % der bei der Produktion von Primäraluminium eingesetzten Energie (GDA 2005). Der Einsatz an Schrott bei der heimischen Aluminiumproduktion stieg nach Angaben des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zwischen 1995 und 2003 von rund 0,73 auf rund 1,04 Mio. t, das heißt um mehr als 40 %. Auch weltweit nahm die Sekundäraluminiumproduktion in den letzten Jahrzehnten deutlich zu: So stieg diese zwischen 1976 und 1997 um mehr als das Zweieinhalbfache an, von 2,8 auf 7,3 Mio. t (DESA 1999:1). Damit stieg der Anteil der Sekundärproduktion von knapp 18 % auf rund 25 %. In Deutschland betrug dieser Anteil 2004 etwa 35 % (BGR 2005b).

Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarktes

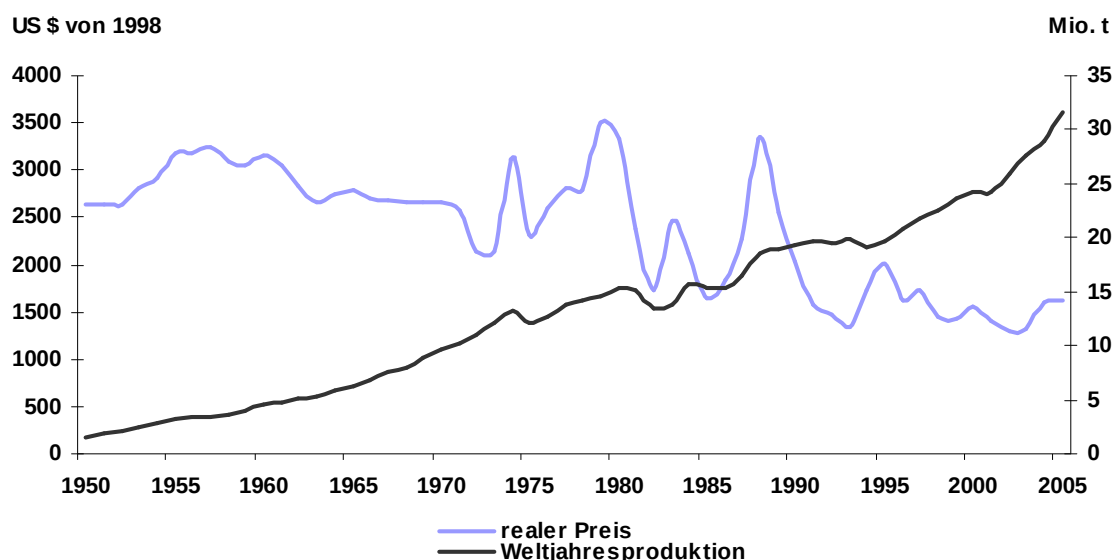
Zwischen 1994 und 2005 stieg die in Deutschland produzierte Primäraluminiummenge von 503 000 t auf 665 000 t (WVM 2005, GFMS 2006:12). Weltweit führend ist China, das im Jahr 2005 mit 7,15 Mio. t mehr als zehnmal so viel Primäraluminium produzierte wie Deutschland. Bedingt durch die bereits erfolgte Schließung des Produktionsstandorts Stade dürfte sich dieser Unterschied zukünftig noch weiter vergrößern (AIECE 2005). Damit verbleiben in Deutschland nach 2006 nur noch vier Hütten: in Neuss (Hydro Aluminium), Essen und Hamburg (Trimet) und in Voerde (Corus). Den wesentlichen Grund für eine potentielle Gefährdung der letzten in Deutschland verbleibenden Hütten sehen deren Vertreter in den hohen Strompreisen. Diese sorgten dafür, dass die Energiekosten bei Trimet mit über 30 % den größten Anteil an den Produktionskosten ausmachen (Hauck 2006). So sei Aluminiumoxid für knapp 30 % der Produktionskosten verantwortlich, der Kostenanteil der Kohleanoden beliefe sich auf etwa 15 % (Hauck 2006). Die Kostenanteile der einzelnen Rohstoffe sind bislang nicht nur geringer, sondern betreffen alle Produzenten etwa gleichermaßen. Darüber hinaus seien die üblicherweise 3 bis 5-jährigen Rohstofflieferverträge so gestaltet, dass sich die Rohstoffkosten in flexibler Weise an den Aluminiumpreisen der Londoner Metallbörse (LME) orientieren. Bei fallenden Aluminiumpreisen reduzieren sich somit auch die Rohstoffkosten.

Produktions- und
Preisentwicklung
in der Vergangen-
heit

Trotz eines seit Beginn der industriellen Aluminiumerzeugung nahezu kontinuierlichen Anstiegs der weltweiten jährlichen Produktion, welche 2005 bei rund 31,6 Mio. t lag (GFMS 2006:12), befanden sich die realen Preise 2004 mit 840 US \$/t Aluminium unter denen von 1950. Allerdings sind immer wieder erhebliche Preissprünge und auch längere Phasen von einem Jahrzehnt und mehr festzustellen, in denen die realen Preise angestiegen sind. Beispielsweise erreichte der nominale Preis Ende der 1980er Jahre den Spitzenwert von fast 2 700 US \$/t. Dieser Wert wurde 2006 wieder annähernd erreicht. Anfang Februar 2006 lag der Preis für Aluminium an den Londoner Metallbörse (LME) bei 2 665 US \$/t. Ausgehend von 1 300 US \$/t zu Beginn 2001 hatte sich der Preis etwa verdoppelt. Nach einer Niedrigpreisphase in den Jahren 2001 und 2002 ist dies mitunter das Resultat steigender Energiepreise, einer seit Anfang der 1990er Jahre anhaltend hohen Nachfragesteigerung in China sowie eines ab 2003 stärker werdenden Wirtschaftswachstums. Analysten erwarten bis Mitte 2006 weitere Preissteigerungen für Aluminium (CRU 2006:3). Mittelfristig gehen Insider jedoch vom Auftreten eines „typischen Schweinezyklus“ aus, in dessen Folge sich die Aluminiumpreise wieder reduzieren werden (Hauck 2006).

Preistrends

Weltweite Primäraluminiumproduktion und reale Aluminiumpreise (USGS 2005, USGS 2006)



China war in den vergangenen Jahren der größte Motor der weltweiten Aluminiumproduktion. Wegen Engpässen bei Strom und entsprechend hohen Opportunitätskosten wurden im August 2005

Angebotstrends

die Steuerbefreiungen für Aluminiumoxidimporte abgeschafft, um die stromintensive Aluminiumproduktion in China zu drosseln. Daher wird 2006 von einem geringeren Produktionswachstum und fallenden chinesischen Exporten ausgegangen (Richmond et al. 2005:674), unter anderem, weil China Exportsteuern auf Aluminium erhebt (GFMS 2006:12).

Zudem gehen in den USA und Westeuropa bedingt durch steigende Energie- bzw. Strompreise, welche in Europa auch die Folge der Einführung des Emissionshandelssystems sind, Kapazitäten verloren (GFMS 2006:12). Ab 2006 werden in Westeuropa fünf Aluminiumschmelzen mit einer Kapazität von zusammen 0,5 Mio. t geschlossen (Richmond et al. 2005:674). In anderen Kontinenten wie Südamerika, Afrika und Asien findet hingegen ein Aus- bzw. Neubau von Aluminiumproduktionskapazitäten statt. So hat die brasilianische Cia Vale do Rio Doce (CVRD) bereits mit dem Bau einer neuen Raffinerie mit einer Produktionsleistung von 1,8 Mio. t pro Jahr begonnen (CRU 2006:5). Bis Mitte 2008 soll zudem eine Ausweitung der Alumar-Hütte in Brasilien um 2 bis 3,5 Mio. t Jahresproduktion abgeschlossen sein (CRU 2006:5). Durch diese und weitere Produktionserweiterungen sollten die durch die Kapazitätsverringerungen in Europa und der Reduzierung der chinesischen Exporte kurzfristig zu erwartenden Engpässe mittelfristig ausgeglichen werden können. Die in Kapitel 4 erfolgte konservative Schätzung ergibt für 2025 eine Primäraluminiumproduktion von 44 Mio. t, bei Berücksichtigung einer potentiellen Änderung des langfristigen Trends resultiert aber ein erheblich höherer Wert von 58 Mio. t.

Mit der zu erwartenden vorübergehenden Abschwächung des Angebotswachstums geht eine Dämpfung des Nachfrageanstiegs einher. Nach einer Verbrauchssteigerung von 6 % im Jahr 2005 rechnen Richmond et al. (2005:675) mit einem etwas schwächeren Wachstum von lediglich 5 % im Jahr 2006. Für 2004 bis 2010 geht AME (2006) von einem jährlichen Anstieg der Aluminiumnachfrage von knapp 5 % aus, Hauck (2006) von einem moderaten Anstieg von durchschnittlich 3 %. Ein entscheidender Faktor für den zukünftigen Trend wird weiterhin die Nachfrage aus China sein, für die die Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM 2005a) eine Steigerung von 70 % zwischen 2004 und 2010 erwartet. Angesichts des chinesischen Nachfragewachstums von 7 % im Jahr 2005 und er-

Nachfragetrends

warteter 8 % für 2006 (Richmond et al. 2005:676) erscheint ein Anstieg der Aluminiumnachfrage Chinas um 55 % auf rund 10 Mio. t im Jahr 2010 allerdings realistischer.

Die Abschätzung des zukünftigen Primäraluminiumbedarfs, die insbesondere den Technischen Wandel berücksichtigt, ergibt eine Erhöhung der weltweiten Nachfrage nach Primäraluminium bis 2025 um 20 % bis 48 %. Auf Basis eines Primäraluminiumverbrauchs von 32 Mio. t im Jahr 2005 ergibt sich somit eine Nachfrage von bis 47 Mio. t Primäraluminium für 2025. Dieser Wert steht in Einklang mit den Prognosen für das Angebot an Primäraluminium, die ein Primäraluminiumangebot von 44 bis 58 Mio. t ergeben.

Tatsächlich ist auf lange Sicht zu erwarten, dass sich Aluminium vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, aber auch in den meisten Industrieländern einer regen Nachfrage erfreuen wird. Im Gegensatz zu anderen Metallen hat Aluminium erst nach dem zweiten Weltkrieg in vielen Verwendungsbereichen Einzug gefunden und hat aufgrund seiner günstigen Materialeigenschaften wie einem geringem spezifischen Gewicht, einer hohen Korrosionsbeständigkeit, einer guten elektrischen und thermischen Leitfähigkeit und nicht zuletzt einer guten Verarbeitbarkeit wegen große Zukunftschancen, vor allem im Fahrzeug- und Luftverkehrsbereich.

Vergleicht man die heutige Entwicklung in China mit jener in Europa nach dem zweiten Weltkrieg, sind frappierende Übereinstimmungen zu erkennen. Es ist zudem nahe liegend, dass Staaten wie Indien und Russland über kurz oder lang Chinas Rolle übernehmen werden, während die Nachfrage Chinas ähnlich den Bedarfskurven westlicher Industriestaaten irgendwann in einen Bereich des moderaten Wachstums oder gar der Sättigung übergehen wird. Auch eine Verdopplung der weltweiten Aluminiumnachfrage innerhalb der nächsten 15 Jahre und ein Anstieg um mindestens das Eineinhalbfache des heutigen Bedarfs bis 2025 würden daher keine Überraschung darstellen. Tatsächlich ergibt die im Anhang C erfolgte Abschätzung des weltweiten Aluminiumbedarfs eine Steigerung bis 2025 um 136 %. Dieses enorme Nachfragewachstum ist für heimische Aluminiumproduzenten positiv zu sehen, denn es könnte für auskömmliche Preise sorgen. Ein entsprechendes Angebotswachstum, zu dem eine weiterhin zunehmende Sekundärproduktion beitragen wird, wird indessen die Preise in Grenzen halten.

8.3 Eisen

Verwendung

Eisen wird seit mehr als 5 000 Jahren verwendet. In Form von Stahl stellt es für moderne Industrieländer den mit Abstand wichtigsten metallischen Werkstoff dar. Der dazu notwendige Rohstoff Eisenerz dient heutzutage fast ausschließlich der Stahlerzeugung: 2004 wurde von den in Deutschland erzeugten rund 30 Mio. t Roheisen mehr als 97 % für die Stahlerzeugung verwendet (WV Stahl 2005b:12). Die restlichen rund 0,8 Mio. t Roheisen wurden zur Herstellung von Gusseisen benötigt. Die Verarbeitung zu Rohstahl ist zumeist notwendig, da Roheisen im Gegensatz zu Rohstahl für Bearbeitungsvorgänge wie Schmieden oder Walzen ungeeignet ist. 2004 wurden in Deutschland rund 46,4 Mio. t Rohstahl erzeugt, davon mehr als 14,2 Mio. t im Elektrostahlverfahren, bei dem Stahlschrott anstatt Eisenerz als Einsatzstoff verwendet wird.

In der EU25 geht mit 55,45 Mio. t etwa ein Drittel der Stahlnachfrage auf das Bauwesen zurück. Auf die Automobilindustrie entfällt mit 29,7 Mio. t etwa 18 % des Verbrauchs, auf Maschinenbau, Rohrherstellung und Metallwaren jeweils 13 % oder 21,45 Mio. t. Der Gesamtverbrauch der EU25 beläuft sich auf 165 Mio. t (BGR 2005, Eurofer 2006).

Verarbeitende
Industrien

Stahl verarbeitenden Sektoren in der EU in 2005 (Eurofer 2006)

	Anteile	Mio. t
Bauwesen	33 %	54,45
Automobilindustrie	18 %	29,70
Maschinenbau	13 %	21,45
Rohre	13 %	21,45
Metallwaren	13 %	21,45
Übrige	10 %	16,50
Insgesamt	100 %	165,00

Nachfrage

Der inländische Verbrauch an Eisenerz zur Roheisen- bzw. Stahlerzeugung wird ausschließlich durch Importe gedeckt und lag 2004 bei 43,3 Mio. t (BGR 2005a). Mit etwas mehr als 30 % hatte Deutschland den höchsten Anteil an den Eisenerzimporten der EU25, welche 2004 bei rund 142 Mio. t lagen (Richmond et al. 2006:125). Dies geht auf die Tatsache zurück, dass Deutschland der größte Stahlproduzent innerhalb der EU25 ist. Zu den größten inländischen Nachfragern gehören die ThyssenKrupp AG und die Salzgitter AG.

Inländischer
Eisenerz-
verbrauch

Bedauerlicherweise liegen keine Angaben zum weltweiten Eisenerzverbrauch vor. Als groben Anhaltspunkt für die Entwicklung des Eisenerzverbrauchs kann aber die des weltweiten Stahlbedarfs herangezogen werden. China ist mit großem Abstand vor den USA sowohl größter Stahlerzeuger als auch größter Stahlnachfrager und somit auch der größte Eisenerzverbraucher.

Weltweiter
Stahlbedarf

Der Stahlbedarf der letzten Jahrzehnte in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	69 470	101 100	302 200	27,9 %
USA	103 450	113 017	123 803	11,4 %
Japan	73 377	84 000	80 500	7,4 %
Korea	11 313	37 300	47 500	4,4 %
Deutschland	30 824	41 363	38 721	3,6 %
Indien	14 400	26 080	38 300	3,5 %
Russland	k. A.	25 582	37 176	3,4 %
Italien	21 880	31 243	34 885	3,2 %
Taiwan	6 316	24 090	26 460	2,4 %
Spanien	6 993	13 200	22 400	2,1 %
Übrige	378 937	247 750	332 164	30,6 %
Insgesamt	716 960	744 724	1 084 109	100,0 %

2004 wurden Eisenprodukte und Eisenerz im Wert von 826 Mio. € bzw. 1,3 Mrd. € nach Deutschland netto importiert. Eisen- und Stahlschrott wurde hingegen exportiert. Der Nettoexportwert für Schrott betrug ca. 532 Mio. € (STABUA 2004). Der bedeutendste Eisenerzlieferant war mit weitem Abstand Brasilien. Der Anteil Bra-

Nettoimporte

siliens an den deutschen Importen lag bei über 55 %. Australien, das für China wichtigste Lieferland, ist nur noch von untergeordneter Bedeutung für die Rohstahlproduktion in Deutschland. Die Eisenerzimporte aus Australien sanken zwischen 2000 und 2004 von 7,2 auf knapp 2,4 Mio. t (Aichinger 2005).

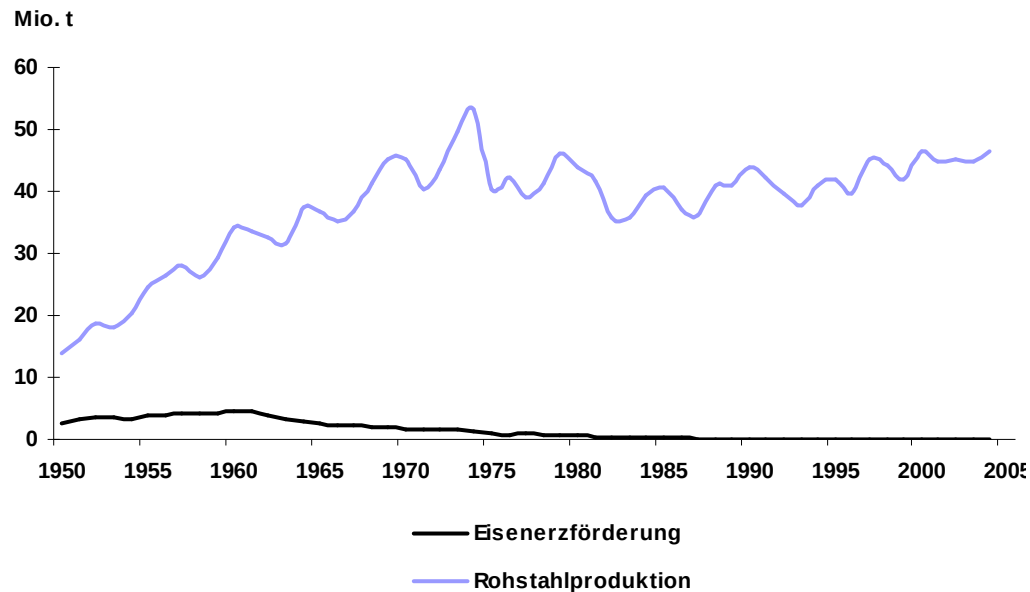
Eisenerzimporte in Mio. t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Brasilien	16,5	22,8	24,1	55,6 %
Kanada	6,7	6,4	5,9	13,5 %
Schweden	4,1	5,1	4,4	10,2 %
Südafrika	0,0	0,5	2,5	5,9 %
Australien	7,0	5,4	2,4	5,5 %
Mauretanien	0,6	0,8	2,3	5,3 %
Russland	0,0	0,5	0,5	1,3 %
Norwegen	1,6	1,4	0,5	1,1 %
Venezuela	0,6	0,0	0,3	0,7 %
China	0,0	0,0	0,1	0,3 %
Übrige	7,9	0,5	0,3	0,7 %
Insgesamt	45,0	43,2	43,3	100,0 %

Gemessen am inländischen Verbrauch von 43,3 Mio. t Eisenerz im Jahr 2004 ist die Förderung von ca. 412 000 t mit einem Eisengehalt von rund 60 000 t in Deutschland als beinahe vernachlässigbar zu bezeichnen. Das von der Barbara Rohstoffbetriebe in Nordrhein-Westfalen abgebaute Eisenerz wird jedoch nicht zur Roheisenproduktion, sondern in der Bauindustrie eingesetzt (BGR 2005a). Die Entwicklung der Erzförder- und Rohstahlproduktionsmengen zeigt, dass die inländische Eisenerzproduktion seit dem 2. Weltkrieg immer erheblich hinter dem Bedarf zurückblieb. Für eine ausreichende Versorgung mit Eisenerz waren daher Importe seit eh und je unabdingbar.

Eisenerzförderung in Deutschland

Eisenerzförderung und Rohstahlproduktion und in Deutschland in Mio. t (BGR 2005)



Wegen den wechselseitigen Substitutionsmöglichkeiten von Aluminium, Stahl und Kunststoff, die von Matthes und Ziesing (2005:45) als „klassisches Substitutionsdreieck“ bezeichnet werden, steht Stahl in großer Konkurrenz zu diesen beiden anderen Materialien. Aluminium, Kunststoffe, aber auch Keramik haben in der Vergangenheit zunehmend Stahl ersetzt, da diese Werkstoffe gegenüber Stahl Vorteile besitzen (DBR 2005:3). Beispielsweise werden bei Gasinstallationen vermehrt Kunststoffrohre eingesetzt. Zudem spielt die Verwendung von Magnesium in Motorenkomponenten eine zunehmend größere Rolle. Der Einsatzbereich von Magnesium wird sich eher auf mechanisch weniger beanspruchte Komponenten wie Motorengehäuse beschränken (Röhrle 2005a). Die Stahlindustrie bemüht sich jedoch, die Substitutionsverluste gegenüber anderen Werkstoffen zu verringern. So können durch neue Fertigungstechniken dünnere und dennoch hochfeste Stahlbleche hergestellt werden, z. B. die so genannten „Tailored Blanks“, die im Fahrzeugbau mittlerweile Aluminium ohne Nachteile in Bezug auf Gewicht und Festigkeit ersetzen (Röhrle 2005). Die aus HSD-Stahl (HSD: High Strength and Ductility) gefertigten Materialien wiegen bei gleichen Leistungsmerkmalen weniger als entsprechende Aluminiumteile (DBR 2005:8).

Substitution

Angebot

Die Ressourcen umfassen etwa 800 Mrd. t Eisenerz mit einem Eisengehalt von rund 230 Mrd. t (USGS 2006:87). Davon sind gegenwärtig etwa 160 Mrd. t Eisenerz mit einem Eisengehalt von 80 Mrd. t wirtschaftlich gewinnbar (USGS 2006:87).

Reserven und
Ressourcen

2004 wurden 1,34 Mrd. t Eisenerz mit einem Eisengehalt von 642 Mio. t gefördert (USGS 2006:87, BGR 2005). Die Eisenerzförderung hat sich seit 1965 in etwa verdoppelt und seit 1950 verfünffacht (WV Stahl 2005:441). Das Wachstum war somit in den ersten beiden Jahrzehnten nach dem zweiten Weltkrieg erheblich höher als danach. Zwischen 1984 und 1999 stagnierte die Eisenerzförderung, wenn man von zyklischen Schwankungen absieht. Erst mit dem neuen Jahrtausend zog die weltweite Eisenerzförderung wieder massiv an.

Weltförderung

Die Division der Reserven in Höhe von 160 Mrd. t bzw. der Ressourcen von 800 Mrd. t Eisenerz durch die Fördermenge von 1,34 Mrd. t ergibt für 2004 eine Statische Reichweite von 119 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 597 Jahren.

Reichweiten

Die Eisenerzförderung verteilt sich auf viele Länder aus unterschiedlichen Regionen. Rund drei Viertel der weltweiten Eisenerzförderung stammen gegenwärtig hingegen aus nur sechs Ländern: Brasilien, Australien, China, Indien, Russland und der Ukraine. Gemessen am Herfindahlindex, der einen Wert von 0,12 aufweist, ist die Konzentration der Förderung als moderat zu bezeichnen. Zudem verfügen viele Länder über gewisse Eisenerzvorkommen, auch wenn deren Ausbeutung zum gegenwärtigen Zeitpunkt unwirtschaftlich ist. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Eisenerzförderung zunehmend in Länder verlagert, deren Erzvorkommen eine hohe Eisenkonzentration aufweisen und in denen der Abbau wegen geringen Löhnen kostengünstig ist. So hat sich seit 1975 der Eisenerzabbau in Brasilien und Australien etwa verdoppelt, in China und Indien sogar nahezu verdreifacht, während die Förderung in den traditionellen Förderländern Kanada und USA unterdessen zurückging. Eine aufstrebende Rolle nimmt zudem Südafrika ein.

Länderkonzentration der Förderung

Weltweite Eisenerzförderung in Mio. t Eisengehalt (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2003	Anteile 2003
Brasilien	58,4	87,2	113,5	140,0	21,8 %
Australien	61,5	58,5	88,7	116,4	18,1 %
China	32,5	40,0	75,0	83,0	12,9 %
Indien	26,5	27,6	42,6	67,5	10,5 %
Russland	k. A.	k. A.	45,2	53,0	8,3 %
Ukraine	k. A.	k. A.	28,7	34,3	5,3 %
USA	49,0	31,8	39,6	29,3	4,6 %
Südafrika	7,7	15,4	20,1	24,0	3,7 %
Kanada	29,2	25,1	23,4	19,8	3,1 %
Übrige	257,5	216,8	77,1	75,0	11,7 %
Insgesamt	522,4	502,4	553,9	642,2	100,0 %

Zur Bewertung der politischen und wirtschaftlichen Stabilität der Eisenerz fördernden Länder wurde ein mit den Anteilen der Förderländer gewogenes Mittel der jeweiligen Werte der Hermes- bzw. Weltbank-Indikatoren berechnet. Der gewogene Hermesindikator liegt bei 3,11 und zeigt bei einer von 0 bis 7 reichenden Skala lediglich ein moderates Risiko an. Der Wert des gewogenen Weltbankindikators errechnet sich zu 0,27 und erlaubt bei einem Wertebereich, der von -2,24 für Somalia bis 2,04 für Island reicht, dieselbe Schlussfolgerung.

Eisenerz fördernde Länder und deren Eisenerzexporte 2004 (IISI 2005:89-92)

	Förderung in Mio. t brutto	Exporte in Mio. t	Exportanteile	kumulierte Anteile
Brasilien	270,52	200,93	31,1 %	31,1 %
Australien	234,70	210,45	32,6 %	63,7 %
China	145,75	0,00	0,0 %	63,7 %
Indien	120,60	62,65	9,7 %	73,4 %
Russland	96,98	16,99	2,6 %	76,0 %
Ukraine	65,54	18,11	2,8 %	78,8 %
USA	54,70	8,48	1,3 %	80,1 %
Südafrika	39,27	24,75	3,8 %	83,9 %
Kanada	28,26	22,45	3,5 %	87,4 %
Schweden	22,27	17,34	2,7 %	90,1 %
Übrige	111,80	63,90	9,9 %	100,0 %
Insgesamt	1 190,39	646,04	100,0 %	

Der mit Abstand größte Stahlerzeuger ist heutzutage China. Während in den meisten Ländern die Produktion im Wesentlichen stagnierte oder gar leicht zurückging, stieg die Stahlerzeugung in China 2005 erheblich an, auf 355 Mio. t (Richmond et al. 2006:117). Bei einer Produktionsmenge von insgesamt 1 129 Mio. t lag Chinas Anteil 2005 bei 30 %. Damit trug China massiv zum Wachstum der Stahlproduktion bei. Indien, dessen Stahlerzeugung 2004 lediglich rund 12 % der chinesischen Produktion ausmachte, steuerte vergleichsweise wenig zum Wachstum der weltweiten Stahlproduktion bei. 2005 verzeichnete die indische Stahlerzeugung allerdings einen deutlichen Anstieg von 33 auf 39 Mio. t.

Länderkonzentration der Stahlerzeugung

Weltweite Rohstahlerzeugung in Mio. t (BGR 2005)

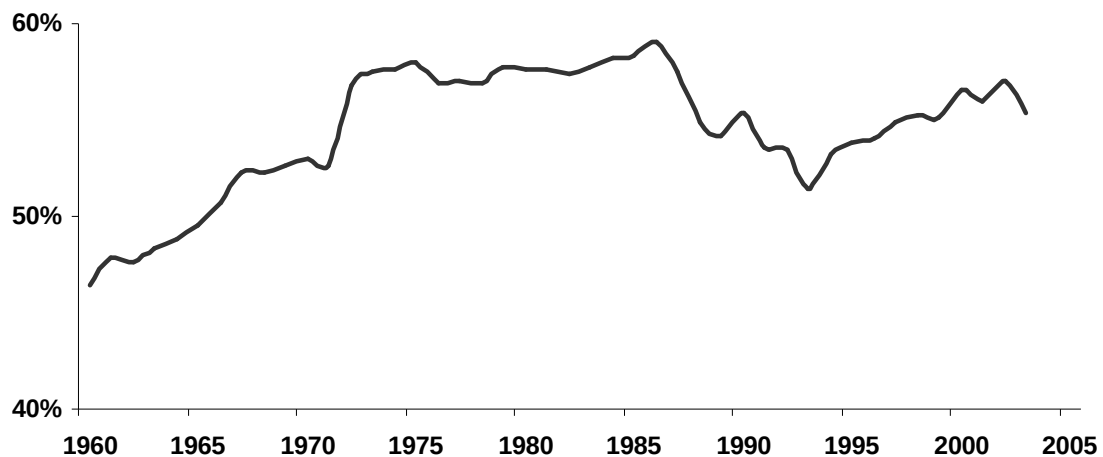
	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	23,9	46,8	95,4	272,5	25,9 %
Japan	102,3	105,3	101,7	112,7	10,7 %
USA	105,8	80,1	95,2	98,9	9,4 %
Russland	k. A.	k. A.	51,6	65,6	6,2 %
Südkorea	2,0	13,5	36,8	47,5	4,5 %
Deutschland	40,4	40,5	42,1	46,4	4,4 %
Ukraine	k. A.	k. A.	22,3	38,7	3,7 %
Brasilien	8,3	20,5	25,1	32,9	3,1 %
Indien	7,8	11,0	22,0	32,6	3,1 %
Italien	21,8	23,7	27,8	28,4	2,7 %
Übrige	329,5	376,2	232,1	274,2	26,1 %
Insgesamt	641,9	717,6	751,9	1 050,5	100,0 %

Deutschland ist der mit Abstand größte Stahlerzeuger in Europa und der sechstgrößte Produzent der Welt. Nach 1974, als mit 53,2 Mio. t die bislang größte Menge an Stahl hergestellt wurde, schwankte die Stahlproduktion in Deutschland mehr oder weniger um die Marke von 40 Mio. t (WV Stahl 2005:13). Zu beachten ist, dass die Angaben vor der Wiedervereinigung sich nur auf Westdeutschland beziehen. Der Wert 40 Mio. t wurde mit einigen Ausnahmen erst 1997 wieder signifikant und dauerhaft überstiegen. Einen vorläufigen Höhepunkt stellt die Menge von 46,4 Mio. t dar, die sowohl 2004 wie auch im wirtschaftlich sehr guten Jahr 2000 erreicht wurde.

Die folgende Abbildung zeigt, dass der durchschnittliche Gehalt der Eisenerze in den letzten Jahrzehnten keineswegs gesunken ist, wie dies in den Lehrbüchern zur Ressourcenökonomik im Allgemeinen für die Gehalte der Erze von Rohstoffen angenommen wird, sondern im Gegenteil tendenziell angestiegen ist. Diese Tendenz reflektiert den zunehmenden Kostendruck bei der Eisen- und Stahlerzeugung, in dessen Folge vermehrt kostengünstige Erze mit hohen Eisenkonzentrationen aus Ländern mit geringem Lohnniveau importiert werden. Noch in den 50er und 60er Jahren wurden nicht unbedeutende Mengen an Eisenerz in Deutschland gefördert.

Durchschnittlicher Eisengehalt von Eisenerz (USGS 2005, BGR 2005)

Eisengehalt von
Erzen



Cia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio Tinto und BHP Billiton, die drei größten Bergbaugesellschaften, teilen sich etwas mehr als ein Drittel der weltweiten Fördermenge. Dabei dominiert die brasilianische CVRD mit einem Anteil von 19,1 %. Mit Ausnahme der Steel Authority of India (SAIL) kommen die übrigen Produzenten nicht über einen Anteil von drei Prozent hinaus. Der Herfindahlindex liegt für 2003 bei weniger als 0,06 und zeigt eine geringe Unternehmenskonzentration an. Allerdings liegen rund 70 % des Seehandels mit Erz in den Händen der drei großen Bergbauunternehmen CVRD, Rio Tinto und BHP Billiton (UNCTAD 2004).

Die größten Eisenerz fördernden Bergbaugesellschaften 2004 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
CVRD	89,0	10,4 %	CVRD	223,1	19,1 %
BHP	60,4	7,0 %	Rio Tinto	108,4	9,3 %
RTZ	49,4	5,7 %	BHP Billiton	102,3	8,7 %
Caemi Mineracao	29,6	3,4 %	Anglo American	32,3	2,8 %
Ispat Iscor	24,8	2,9 %	Cleveland Cliffs	25,2	2,2 %
Steel Authority of India	20,4	2,4 %	Luossavaara Kiirunavaara	22,3	1,9 %
Luossavaara Kiirunavaara	20,0	2,3 %	Mitsui & Co.	21,0	1,8 %
Arbed	14,9	1,7 %	US Steel	20,7	1,8 %
USX	14,4	1,7 %	Gazprom	20,1	1,7 %
Dofasco	14,0	1,6 %	Metallinvest	19,2	1,6 %
Übrige	523,1	60,8 %	Übrige	575,4	49,2 %
Insgesamt	860,0	100,0 %	Insgesamt	1 170,0	100,0 %

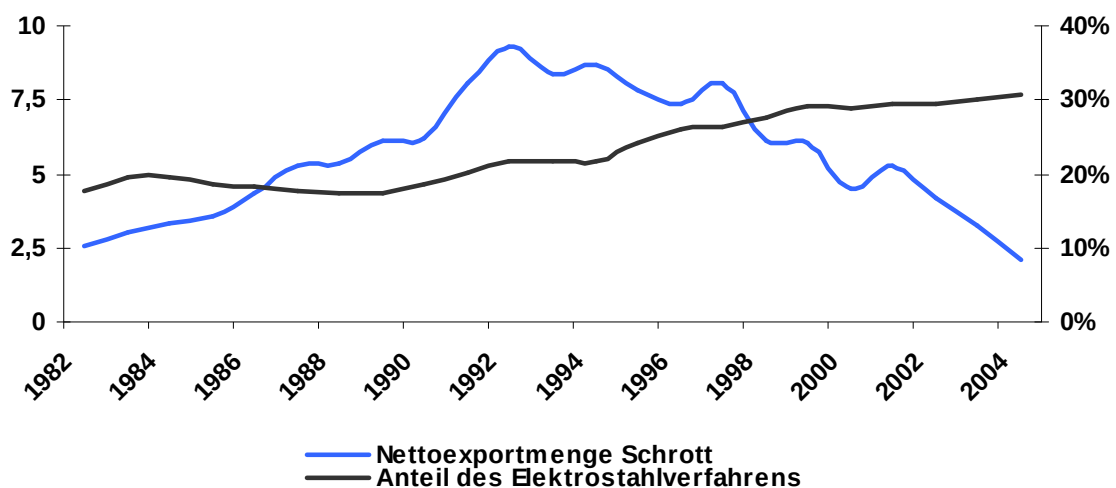
Zur Stahlproduktion werden in Deutschland gegenwärtig zwei Verfahren verwendet, das *Oxygenstahlverfahren*, bei dem Eisenerz im Hochofen eingesetzt und zu Rohstahl verarbeitet wird, und das *Elektrostahlverfahren*, bei dem Stahlschrott als Sekundärrohstoff wiederverwertet wird (Eine kurze Beschreibung dieser Verfahren erfolgt in Anhang B).

[Recycling](#)

Nettoschrottexport und Anteil des Elektrostahlverfahrens an der Stahlerzeugung (BGR 2005, WV Stahl 2005:13)

Nettoschrott-
export in Mio. t

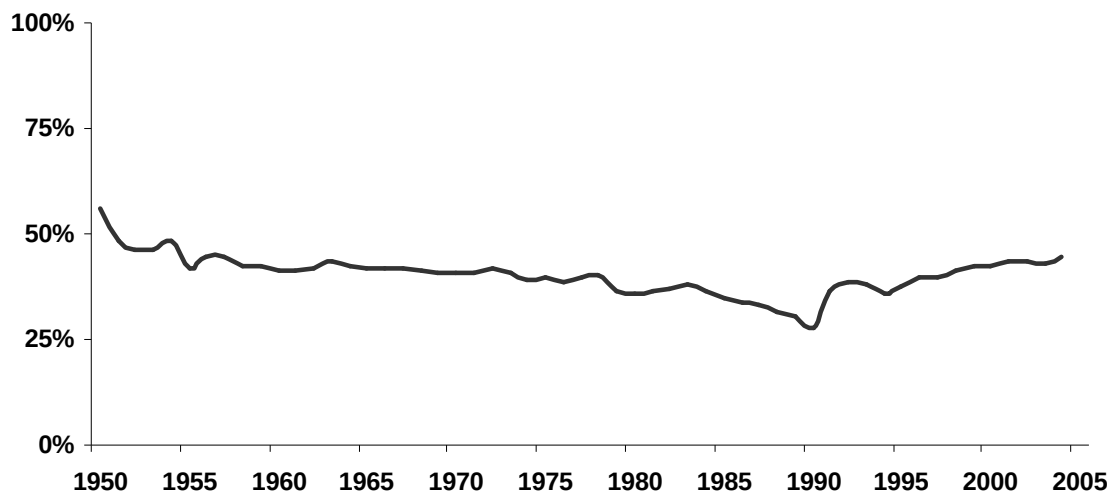
Anteil
Elektrostahl-
verfahren



Das Elektrostahlverfahren gewinnt in Deutschland immer weiter an Bedeutung. So hat sich der Anteil des Elektrostahlverfahrens zwischen 1980 und 2004 von 14,9 % auf den bislang höchsten Anteil von 30,7 % etwa verdoppelt. Aber auch beim Oxygenstahl- bzw. dem Hochofenverfahren wird in nicht unerheblichem Maße Schrott eingesetzt. So betrug dabei der Schrottanteil 2004 rund 18 %. Insgesamt verwendeten die deutschen Stahlerzeuger 2004 zur Produktion von 46,4 Mio. t Stahl 20,6 Mio. t Schrott (BGR 2005). Dies entspricht einem Schrottanteil von 44,4 %. Dieser Anteil ist der höchste seit 1990, als er lediglich bei 27,7 % lag.

Anteil an Stahlschrott bei der deutschen Stahlerzeugung (BGR 2005)

Recyclinganteil



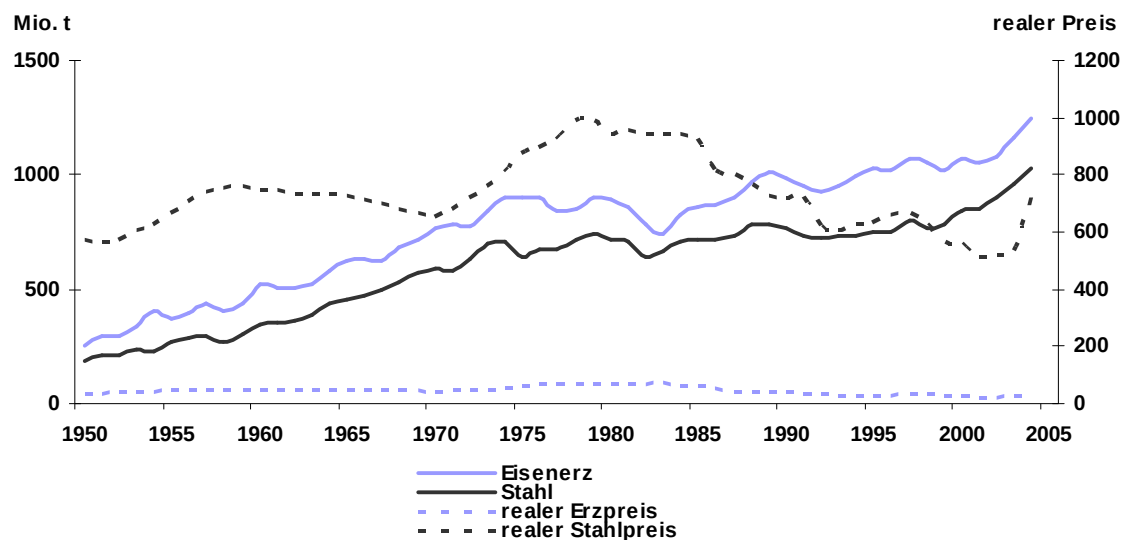
Im Zuge des Stahlbooms sind die Schrottpreise in den letzten Jahren stark angestiegen. Hohe Preise auf den Schrottmärkten sorgen indessen relativ schnell für ein erhöhtes Angebot (AIECE 2005a:20). Darüber hinaus ist mit zusätzlichen Schrottmengen als Folge der Sturmschäden in den USA zu rechnen (AIECE 2005:22), weshalb gegenwärtig die Situation auf den Schrottmärkten als sehr gut bezeichnet wird (WV Stahl 2005b:7).

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarktes

Einhergehend mit der Stahlproduktion, die sich zwischen 1950 und 2004 mehr als verfünffacht hat und von 0,192 auf 1,058 Mrd. t gestiegen ist, steigerte sich die weltweite Eisenerzförderung von 0,245 auf 1,34 Mrd. t (USGS 2005, USGS 2006:87, WV Stahl 2005:441, 448, BGR 2005). Demgegenüber lag der reale Eisenerzpreis 2004 mit 26,50 US \$/t unter dem Preis von 1950, der damals 33,20 US \$/t betrug. Der bis Ende der 90er Jahre herrschende Abwärtstrend des Erzpreises ist einerseits mit der Senkung des spezifischen Eisenerzeinsatzes je Tonne Stahl infolge technologischen Fortschritts zu begründen. So fiel der spezifische Verbrauch von 1,37 t Erz je t Stahl im Jahr 1975 auf den Wert von 1,12 im Jahr 2000 (WV Stahl 2005: 441,448). Zugleich stieg andererseits das Angebot an Eisenerz erheblich an, so dass weltweite Überkapazitäten entstanden (McSweeney, Hinrosato 1991).

Produktions- und Preisentwicklung in der Vergangenheit

Reale Eisenerz- und Stahlpreise in US \$/t und Weltjahresproduktion an Stahl und Eisenerz (USGS 2005)

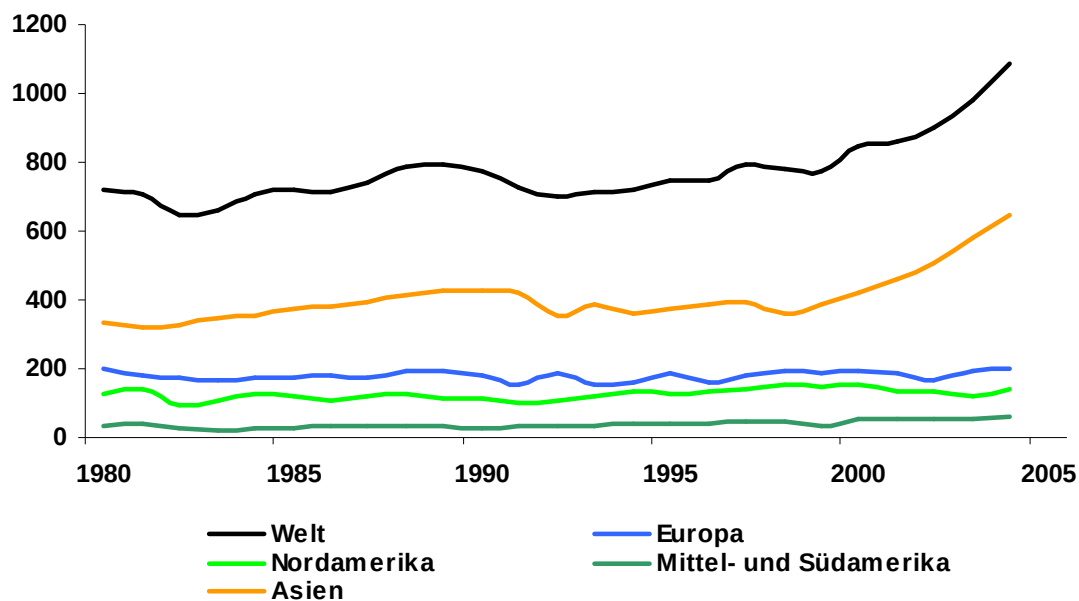


Seit 2003 steigen die Preise allerdings wieder an, zuletzt sogar stark. Die richtungweisenden Eisenerzkontraktpreise in Japan, die zu Beginn jedes Jahres bilateral ausgehandelt werden, haben sich für das japanische Finanzjahr 2003/2004 um 9 %, für 2004/2005 um 19 % und für 2005/2006 sogar um 71 % erhöht. Für 2006/2007 gab es indessen wieder einen moderaten Anstieg um knapp 20 %. Insgesamt haben sich die Erzpreise somit mehr als verdoppelt. Der Schrottpreis ist zwischen Dezember 2004 und No-

vember 2005 indessen um etwa 15 % gefallen (WV Stahl 2005b:3).

Der Preisanstieg seit 2003 begründet sich durch die seit 2000 stark expandierende weltweite Stahlnachfrage. Nach Jahrzehnten einer eher moderat steigenden, wenn nicht gar stagnierenden weltweiten Stahlproduktion, deren Wachstum durch die erste Erdölkrise 1974 abrupt unterbrochen wurde, nahm die weltweite Nachfrage nach Stahl mit dem neuen Jahrtausend wieder erheblich zu und erreichte sogar höhere Wachstumsraten als in den beiden Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg. Allein in China wuchs die Stahlproduktion zwischen 2001 und 2003 durchschnittlich um jährlich 20 %, 2004 noch immer um über 11 %, und 2005 sogar um 17 %, von 302 auf 355 Mio. t (Richmond et al. 2006:117). Während das Nachfragewachstum der letzten Jahre beinahe ausschließlich von asiatischen Ländern getragen wurde, verharrte der Verbrauch in Europa und Nordamerika auf weitgehend demselben Niveau.

Eisenerzverbrauch der verschiedenen Kontinente in Mio. t (BGR 2005)



Das Wachstum des weltweiten Stahlverbrauchs wird auch weiterhin vor allem von China angetrieben werden. Das „Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics“ (ABARE) erwartet für China 2006 einen Bedarf von 390 Mio. t, für 2011 sogar 511 Mio. t (Richmond et al. 2006:117). Das wären 70 % mehr als noch 2004, als China rund 300 Mio. t Stahl verbrauchte. Zum bis 2011 erwar-

[Nachfragetrends](#)

teten Anstieg der weltweiten Nachfrage von 1,058 Mrd. t auf 1,4 Mrd. t würde China folglich allein weit mehr als die Hälfte beitragen (Richmond et al. 2006:117). Der Bedarf Indiens soll bis 2011 um rund 50 % auf 61 Mio. t steigen. Dies wäre noch immer weit weniger als China oder die USA gegenwärtig verbrauchen.

Für 2025 ergibt die in Kapitel 9 dargestellte Prognose für China, dass dessen Stahlverbrauch bis auf rund 1,4 Mrd. t steigen könnte. Als Folge davon würde der Eisenerzbedarf Chinas voraussichtlich auf bis zu 1,2 Mrd. t steigen. Auch das AIECE (2005:22) geht davon aus, dass der immense Bedarf in China für eine weltweit weiter steigende Nachfrage nach Eisenerz sorgen wird, obwohl die weitere Diffusion des Elektrostahlverfahrens den Schrottanteil bei der gesamten Stahlerzeugung erhöhen und den spezifischen Eisenerzeinsatz reduzieren wird.

Dies gilt insbesondere für China, wo das enorme Wachstum der Stahlproduktion der vergangenen Jahre von sehr vielen kleinen Stahlherstellern getragen wurde. Es ist nun explizites Ziel der chinesischen Politik, die Zahl der rund 1 500 Stahlproduzenten zu reduzieren. Bis 2010 sollen demnach 10 große Stahlunternehmen die Hälfte der jährlichen Stahlmenge erzeugen, bis 2020 sogar 70 % (Richmond et al. 2006:120). Damit werden viele kleine, oft unmoderne und ineffizient arbeitende Betriebe zugunsten großer Unternehmen mit neuer, effizienter Hochofen- und Elektrostahltechnologie geschlossen.

Auch in Zukunft wird aber die Produktion legierter Stähle höherer Qualität vom Hochofenprozess und somit insbesondere vom Einsatz von Eisenerz abhängig sein. Daher wird trotz einer weiterhin zunehmenden Verwendung von Schrott die weltweit steigende Nachfrage nach Stahl auch für einen tendenziell steigenden Bedarf an Eisenerz sorgen. Die im Anhang C erfolgte Abschätzung für den Eisenerzbedarf im Jahr 2025 ergibt einen möglichen Anstieg zwischen 41 % bis 72 %. In den vergangenen 20 Jahren, wenn man in Ermangelung von Verbrauchsangaben die Fördermengen zugrunde legt, stieg die Eisenerzfördermenge zwischen 1984 und 2004 um 55 %.

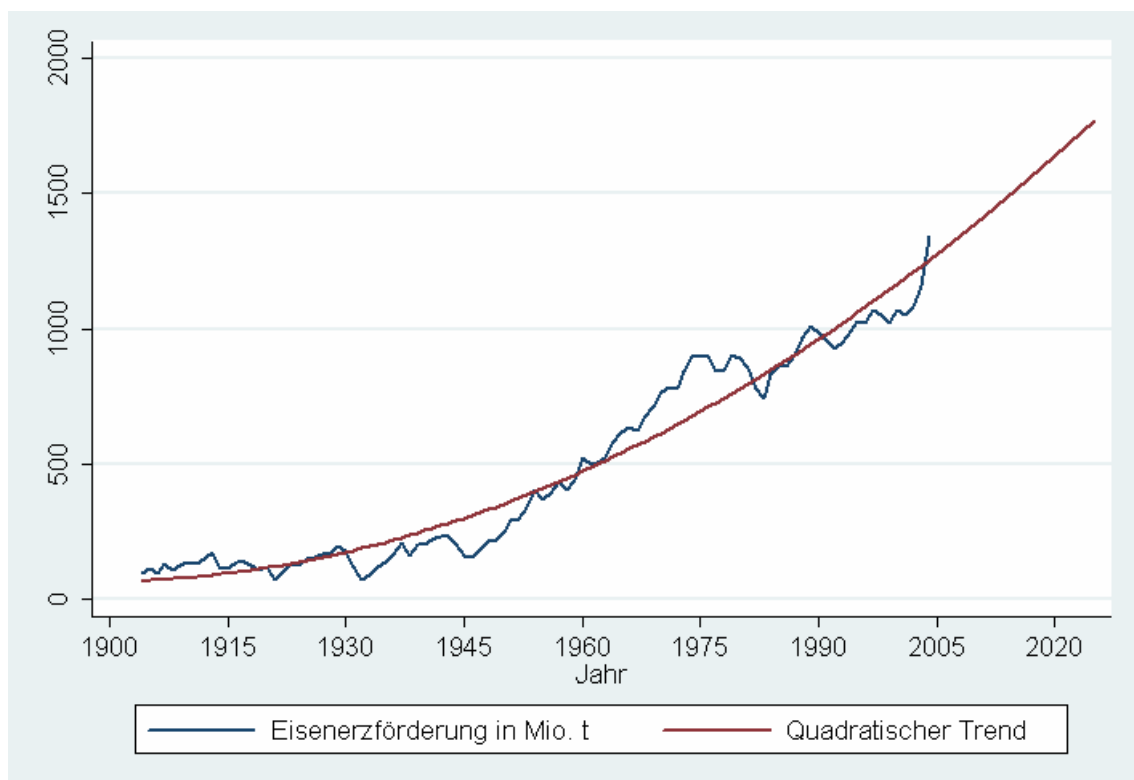
Die schnelle und starke Ausdehnung der Bergbauaktivitäten der letzten Jahre hat zu Engpässen geführt, die vermutlich noch einige Zeit bestehen bleiben (Richmond et al. 2006:116). So fehlt es derzeit an entsprechend ausgebildeten Arbeitskräften sowie an für

Angebotstrends

den Bergbau notwendiger Ausstattung wie etwa Waggonen. Diese Situation wird kurzfristig die Erweiterungen der Bergbaukapazitäten bei vielen Rohstoffen begrenzen. Das Eisenerzangebot wird in den nächsten Jahren dennoch weiter steigen, da die steigenden Preise der letzten Jahre zu regen Explorationsaktivitäten geführt haben, vor allem in Australien und Brasilien, den beiden wichtigsten Förderländern (AIECE 2005a:20, AIECE 2005b:22). So erwartet das ABARE, dass die drei größten Förderunternehmen, CVRD, Rio Tinto und BHP Billiton, ihr Angebot bis Ende 2007 um 100 Mio. t bzw. 20 % erhöhen werden (Richmond et al. 2006:116).

Die Schätzung eines quadratischen Trends für die Erzförderung zwischen 1904 und 2004 ergibt potentielle Eisenerzfördermengen, die sich 2015 auf 1,51 Mrd. t, 2020 auf 1,64 Mrd. t und 2025 auf 1,77 Mrd. t belaufen könnten. Damit ergäbe sich zwischen 2003 und 2025 ein Anstieg der Fördermenge um rund 53 %, was leicht unterhalb dessen ist, was in den vergangenen 20 Jahren zusätzlich gefördert wurde. Um das im Anhang C ermittelte Nachfragewachstum an Erz zwischen 41 % und 72 % befriedigen zu können, müsste die Fördermenge gegebenenfalls noch stärker steigen.

Schätzung der zukünftigen Eisenerzfördermenge



Die zu erwartende Ausweitung der Fördermengen bildet die Voraussetzung für eine weitere Steigerung der weltweiten Stahlproduktion. So erwartet die Deutsche Bank bis 2015 eine Zunahme der jährlichen Weltstahlproduktion um 5 % auf knapp 2 Mrd. t und damit ein um einen Prozentpunkt höheres jährliches Wachstum als im Zeitraum von 1994 bis 2004 (DBR 2005). Für Nordamerika wird ein jährliches Plus von durchschnittlich 0,5 %, für die EU25 von 1 % prognostiziert. Insbesondere wird die weitere Zunahme der chinesischen Stahlproduktion dazu führen, dass der Bedarf an Stahl bald wieder vollkommen durch Chinas eigene Produktion gedeckt wird. Dies könnte laut ABARE bereits 2006, spätestens aber 2007 der Fall sein (Richmond et al. 2006:117).

Die in den kommenden Jahren auf den Markt drängenden zusätzlichen Kapazitäten werden sich auf Asien und Schwellenländer wie Brasilien konzentrieren, wo Massenstein aufgrund geringerer Arbeitskosten und dem Vorhandensein an Erzvorräten weitaus kostengünstiger hergestellt werden kann als in den traditionellen Industriestaaten. So baut ThyssenKrupp zusammen mit CVRD ein neues Stahlwerk in Brasilien, in dem die Herstellung von Rohstahl mit rechteckigem Querschnitt („Brammen“) rund 20 % billiger sein soll als in Deutschland. Gleichzeitig ist dadurch der Bezug von Eisenerz gesichert. In den Industrieländern konzentriert man sich in Zukunft stattdessen noch mehr auf die Herstellung hochwertiger Stahlqualitäten, bei denen der globale Wettbewerb gegenwärtig noch nicht so intensiv ist wie bei Massenstein (DBR 2005).

Zukünftig wird im Stahlsektor eine stark steigende Unternehmenskonzentration erwartet, so wie dies in der Vergangenheit bei Bergbaukonzernen bereits geschehen ist. So dürfte der Weltstahlmarkt in 10 bis 15 Jahren von Stahlherstellern mit einer Jahresproduktion von über 100 Mio. t dominiert werden (DBR 2005). Die Fusion von Mittal Steel und Arcelor dürfte lediglich den Anfang darstellen. In China sind derartige Konzentrationsbemühungen sogar Bestandteil staatlicher Politik und somit ausdrücklich erwünscht.

Die noch vorhandenen Kapazitätsengpässe im Eisenerzbergbau lassen kurzfristig ein stagnierendes oder bestenfalls leicht sinkendes Preisniveau erwarten (AIECE 2005:22). Die bis 2007 von den kostengünstigsten Anbietern geschaffene zusätzliche Menge von

Preistrends

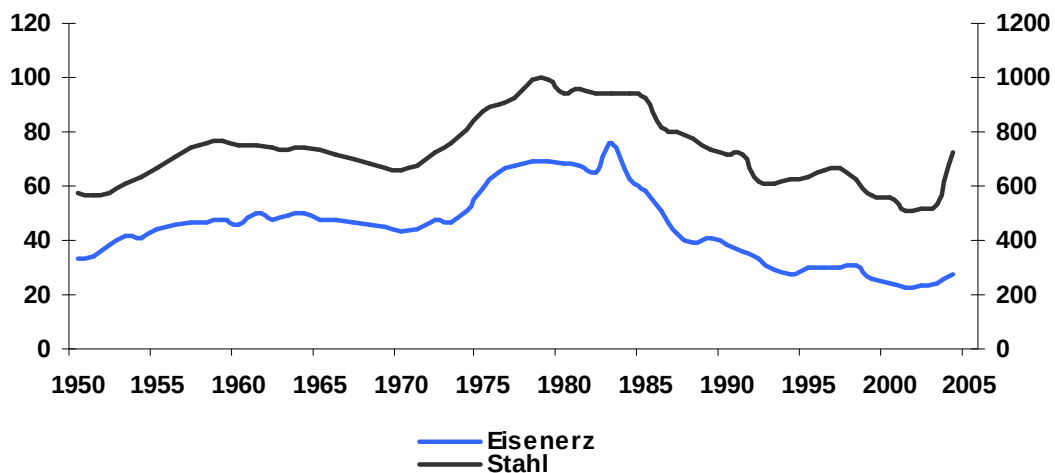
bis zu 100 Mio. t Eisenerz lässt mittelfristig wieder sinkende Preise erwarten (Richmond et al. 2006:116).

Allerdings sind die gegenwärtig hohen Stahlpreise vorwiegend das Resultat einer großen Nachfrage nach Stahl, nicht allein das Ergebnis der ebenfalls hohen Eisenerzpreise, welche wiederum auf einem entsprechend hohen Erzbedarf beruhen. Daher wären die Stahlpreise kaum niedriger, wenn durch zielgerichtete Maßnahmen die Preise für Eisenerz künstlich gesenkt würden. Denn: Der Preis für Stahl bildet sich auf dem Weltmarkt und ist somit nicht allein Resultat der Herstellungskosten.

Reale Preise für Eisenerz und Stahl (BGR 2005, USGS 2005, USGS 2006)

realer Eisenerz-
preis pro t in US
\$ von 1998

realer Stahlpreis
pro t in US \$ von
1998



Die gegenwärtig hohen Stahlpreise sorgen dafür, dass die ebenfalls hohen Eisenerzpreise für Stahlproduzenten besser zu verkraften sind – auch wenn ihre Prosperität bei geringen Erzpreisen selbstverständlich höher wäre. Hätte es hingegen einen Angebotschock gegeben, in dessen Folge die Erzpreise angestiegen wären, hätte diese nicht notwendigerweise zu höheren Stahlpreisen geführt. Im Gegenteil: Wenn die Ursache eines solchen Angebotschocks einen weltwirtschaftlichen Niedergang verursachen würde, würden die Stahlpreise sehr wahrscheinlich fallen, denn Stahlnachfrage und –preise sind stark abhängig von der weltweiten Konjunktur.

8.4 Zink

Verwendung

Zink ist ein Schwermetall, das heutzutage überwiegend zu Zwecken des Korrosionsschutzes in der Stahlerzeugung eingesetzt wird. Zink kommt in der Natur nie in Reinform, sondern nur in Form verschiedener Erze vor, von denen Zinkblende – eine Verbindung von Zink und Schwefel – die am weitesten verbreitete Quelle für die Produktion von Zinkkonzentrat darstellt. Daraus wird durch elektrolytische oder metallurgische Verfahren Zink extrahiert.

Primäre Verwendung

Außer zur Verzinkung von Stahl wird Zink in erheblichem Maße zur Produktion der Kupfer-Zink-Legierung Messing sowie anderen Legierungen eingesetzt. Messing wird beispielsweise zur Fertigung von Türgriffen, Fahrzeugkühlern oder Geländern genutzt. Andere zinkhaltige Legierungen werden hauptsächlich im Druckgussverfahren weiterverarbeitet. Zink spielt zudem eine Rolle bei der Herstellung von pharmazeutischen und kosmetischen Präparaten, Trockenbatterien und Pigmenten (BGR 2005b).

Zink findet vielseitige Anwendungsmöglichkeiten, u.a. im Bauwesen, dem Maschinen- und Apparatebau und der Kfz-, Sanitär-, Feingeräte- und Elektrotechnikindustrie (Initiative Zink 2005).

Verarbeitende Industrien

Weltweite Zinkverwendung (IZA 2006)

Sektor	Produktbeispiele	Anteile
Bauwesen	Dachdeckung, Regenrinnen	45 %
Transportwesen	Schutzplanken, Signalmasten	25 %
Konsumgüter	Batterien, Salben	23 %
Maschinenbau	Druckgussteile	7 %
Insgesamt		100 %

Weltweit am bedeutsamsten ist das Bauwesen, das 45 % der verfügbaren Menge an Zink benötigt. Gegenwärtig wird rund 50 % zur Verzinkung von Stahl benutzt, ungefähr 20 % für die Produktion von Messing und Bronze, etwa 15 % für andere Zinklegierungen und rund 10 % werden für Chemikalien verwendet (Drum et al. 2006:156).

In Deutschland haben sich seit 1996 keine wesentlichen Änderungen beim Verbrauch an Zink und den verschiedenen Verwendungsbereichen ergeben. Es ist lediglich ein leichter Rückgang der Gesamtmenge festzustellen, der vor allem der reduzierten Verwendung in chemischen Produkten und bei der Halbzeugproduktion geschuldet ist. Zum Teil wurde dieser Rückgang kompensiert durch ein Wachstum bei den Feinzinkgusslegierungen.

Zinkverwendung in Deutschland (WVM 1996, 2005)

	1996		2004	
	1 000 t	Anteile	1 000 t	Anteile
Messing	172	26,2 %	173	26,9 %
Verzinkung	214	32,6 %	210	32,6 %
Halbzeug	173	26,4 %	153	23,8 %
Chem. Erzeugnisse	56	8,6 %	43	6,7 %
Feinzinkgusslegierungen	40	6,0 %	60	9,3 %
Sonstige	1	0,2 %	5	0,8 %
Insgesamt	656	100 %	644	100 %

Die zur Zinkraffinadeproduktion in Höhe von 0,382 Mio. t notwendigen Inputs wurden 2004 durch den Import von Rohmetall in Höhe von rund 0,16 Mio. t, die Inlandsaufkommen und Importe von Sekundärmaterial sowie durch den Import von Zinkerzkonzentraten in Höhe von 0,25 Mio. t Zinkinhalt gedeckt (BGR 2005a). Den Zinkerzverbrauch dominierte in Deutschland 2003 die Metalherzeugung. Auf diesen Bereich entfielen 50 % des Erzverbrauchs, 47,1 % auf die Herstellung von Nicht-Eisen-Metallen, die verbleibenden 2,9 % wurden für Gießerzeugnisse verwendet (STABUA 2005b).

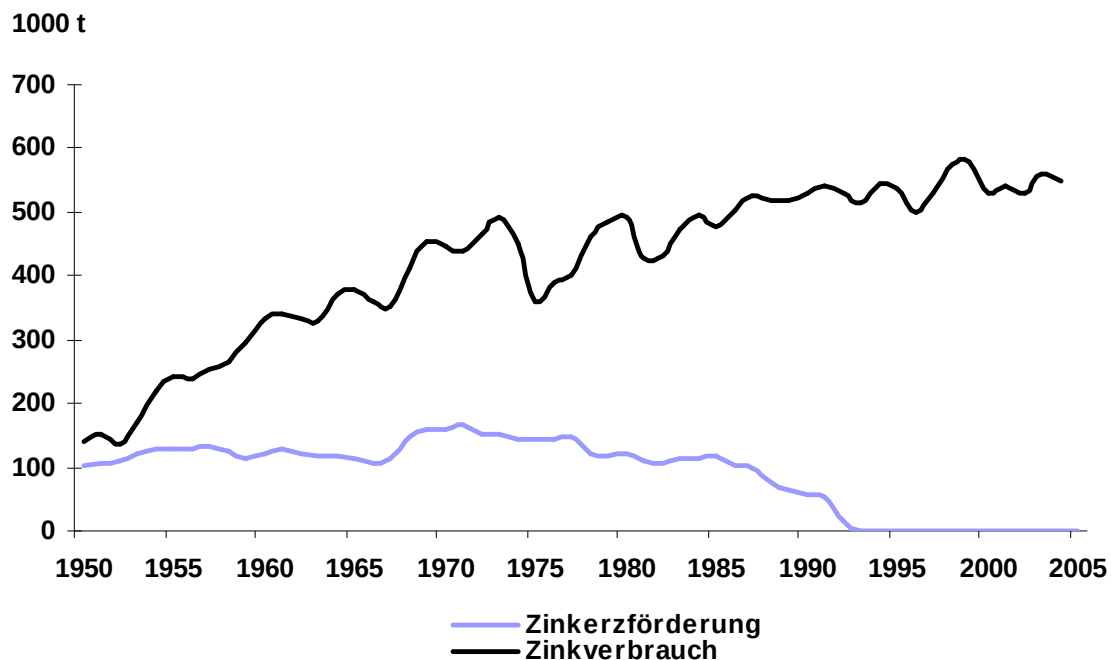
Nachfrage

Der Rohzinkverbrauch Deutschlands ist mit Abstand der höchste in der EU (BGR 2005a). Neben rund 0,55 Mio. t Rohzink wurden 2004 in Deutschland etwa 60 000 t Feinzink verbraucht. Hinzu kam der mengenmäßig eher unbedeutende Verbrauch an Zinkstaub für chemische und andere Anwendungen. Der inländische Verbrauch kann nicht durch die heimische Produktion gedeckt werden. 2004 wurden in Deutschland 0,382 Mio. t an Raffinadezink hergestellt (BGR 2005a). Die bedeutendsten Zinkhütten befinden sich in Duisburg (Sudamin), Datteln (Ruhrzink) und Nordenham (Xstrata).

Inländischer
Zinkverbrauch

Der Verbrauch an Rohzink ist in Deutschland seit 1950 bei- nahe beständig gestiegen. Lag er 1950 noch bei rund 0,141 Mio. t, so wurde 1999 mit 0,576 Mio. t das historische Hoch erreicht. Seither ist der Verbrauch leicht rückläufig. Einen größeren Nachfrageeinbruch gab es 1975. Als Reaktion auf die erste Ölkrise wurden knapp 100 000 t Rohzink weniger verbraucht als noch im Jahr zuvor.

Zinkerzförderung und Rohzinkverbrauch in Deutschland in 1 000 t (BGR 2005)



Der weltweite Raffinadezinkverbrauch lag 2004 bei 10,4 Mio. t und damit um knapp 3 Mio. t über dem Wert von 1995 (BGR 2005). Dies entspricht einer Steigerung um 48 %. Zwischen 1985 und 1995 betrug der Zuwachs hingegen lediglich etwa 21 %, zwischen

Weltweiter Zink-
verbrauch

1975 und 1985 rund 26 %. Seit 1975 hat sich der Zinkverbrauch somit etwas mehr als verdoppelt, das Verbrauchswachstum hat sich in den letzten Jahren aber deutlich beschleunigt.

Raffinadezinkverbrauch in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	180	349	909	2 251	21,6 %
USA	790	961	1 202	1 252	12,0 %
Japan	547	780	752	621	6,0 %
Deutschland	360	479	539	549	5,3 %
Südkorea	28	120	297	484	4,6 %
Belgien	103	169	250	404	3,9 %
Italien	150	218	345	389	3,7 %
Indien	82	134	202	356	3,4 %
Taiwan	12	49	210	342	3,3 %
Spanien	83	95	170	253	2,4 %
Übrige	2 653	2 916	2 708	3 514	33,8 %
Insgesamt	4 988	6 270	7 584	10 415	100,0 %

Mit einem Anteil von 5,3 % am weltweiten Verbrauch an Hüttenzink stellt Deutschland das viertgrößte Verbraucherland nach China, den USA und Japan dar. Der Anteil Chinas am weltweiten Verbrauch stieg zwischen 1995 und 2004 von rund 12 % auf knapp 22 % (BGR 2005). China hat in diesem Zeitraum die USA als größten Konsumenten abgelöst. Seit 1975 hat sich Chinas Verbrauch mehr als verzehnfacht, aber auch in allen anderen bedeutenden Verbraucherländern ist der Zinkbedarf seit 1975 zum Teil erheblich angestiegen.

Trotz eines deutlichen Anstiegs in Indien liegt dessen Verbrauch weit hinter dem der größten Wirtschaftsmächte zurück. So liegt der Zinkbedarf Indiens bei einem Drittel der Nachfrage der USA und bei weniger als einem Sechstel des chinesischen Verbrauchs. Vor allem in den letzten Jahren ist die Nachfrage Chinas massiv angestiegen: um mehr als ein Viertel zwischen 2003 und 2005. Dadurch entwickelte sich China 2005 erstmalig zu einem Nettoimporteur (USGS 2006a), der Import stieg um 64 % auf knapp 0,4 Mio. t an (GFMS 2006:31).

Primärzinkverbrauch in 1 000 t (GFMS 2006:30)

	2003	2004	2005	Anteile 2005
China	2 155	2 490	2 715	24,77 %
USA	1 155	1 257	1 125	10,27 %
Japan	619	623	622	5,68 %
Südkorea	470	484	515	4,70 %
Deutschland	539	514	490	4,47 %
Indien	332	362	380	3,47 %
Italien	348	389	375	3,42 %
Belgien	350	365	350	3,19 %
Taiwan	330	342	330	3,01 %
Frankreich	291	298	300	2,74 %
Übrige	3 581	3 781	3 757	34,28 %
Welt	10 170	10 905	10 959	100,0 %

Deutschland fördert seit 1992 kein Zinkerz mehr (ÖBMWA 2004:203-204) und ist daher Nettoimporteur von Zink und zinkhaltigen Rohstoffen. Erze und Konzentrate wurden 2003 in einer Menge von 434 000 t importiert, Metall in einer Höhe von 217 000 t. Exportiert wurden hingegen nur 13 200 t Sekundärmaterial und 17 200 t Halbzeug (BGR 2005b).

[Zinkerzförderung
in Deutschland](#)

Zinkimporte in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Schweden	49,8	29,9	117,3	24,4 %
Irland	59,5	18,0	99,3	20,7 %
USA	3,8	79,6	72,5	15,1 %
Belgien	0,0	0,0	64,7	13,5 %
Australien	106,1	58,9	39,4	8,2 %
Kanada	180,7	248,9	31,7	6,6 %
Spanien	0,0	0,0	27,7	5,8 %
Brasilien	0,0	0,0	12,8	2,7 %
Italien	0,4	0,8	9,7	2,0 %
Übrige	192,4	152,8	5,3	1,1 %
Insgesamt	592,7	588,8	480,4	

Die beiden wichtigsten Importquellen für in Deutschland verarbeitetes Zinkerz und -konzentrat sind Schweden und Irland, die zu-

[Zinkimporte](#)

sammen knapp 50 % der in Deutschland benötigten Menge liefern. Der Nettoimportwert für in 2004 importiertes Zink beläuft sich auf etwa 273 Mio. € (BGR 2005). Die bedeutendsten Importländer stellen mit Ausnahme von Brasilien wirtschaftlich und politisch sehr stabile Volkswirtschaften dar.

Außer bei der großtechnischen Galvanisierung von Stahl, bei der [Substitution](#) kein effektiver Ersatz für Zink bekannt ist (WEFA 2001), gibt es in allen Einsatzgebieten verschiedene Möglichkeiten, Zink zu ersetzen. Die Beschichtung von Metallen mit Kunststoffen, Lacken oder Aluminiumlegierungen ermöglicht die Substitution von Zink beim Korrosionsschutz. So lässt sich die Beschichtung von Blechen und Stahlbändern auch durch Aluminium-Zink-Legierungen erreichen, welche die traditionell verwendeten reinen Zinklegierungen ersetzen und die Menge an erforderlichem Zink reduzieren können (Initiative Zink 2005).

Die einfache Substitutionsmöglichkeit und die Preissensitivität des Einsatzes in Legierungen wie Messing lassen erwarten, dass Zink in diesen Anwendungsbereichen bei hohen Preisen durch andere Materialien ersetzt wird (GFMS 2006:31). Beispielsweise erlauben Aluminiumlegierungen bei der Herstellung von Motorkühlern den Verzicht auf Messing. Aluminium, Kunststoffe oder Magnesium bieten sich als Ersatz für Zink in Druckgussprodukten an. Darüber hinaus existieren mannigfaltige Ersatzmöglichkeiten für Zink in chemischen und elektronischen Anwendungen sowie bei der Farbherstellung (Initiative Zink 2005).

Angebot

Die weltweiten Ressourcen belaufen sich auf etwa 1 900 Mio. t (USGS 2006). [Ressourcen](#)

Davon sind gegenwärtig etwa 220 Mio. t wirtschaftlich gewinnbar (USGS 2006). Die Vorkommen konzentrieren sich auf China, USA, Australien, Kasachstan, Kanada und Peru. [Reserven](#)

Die jährliche Zinkerzförderung summierte sich 2004 auf rund 9,4 Mio. t Inhalt (BGR 2005). Im Vergleich zu 1994 entspricht dies einer Steigerung um 28 %. [Weltförderung](#)

Bei Division der 220 Mio. t an Reserven bzw. der Ressourcen von 1 900 Mio. t durch die Fördermenge rund 9,4 Mio. t ergibt sich für 2004 eine Statische Reichweite von 24 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 202 Jahren. [Reichweiten](#)

Die Hälfte der weltweiten Fördermenge wird von China, Australien und Peru erbracht. China und Australien haben zusammen einen Anteil von fast 40 % an der Weltproduktion. Der Herfindahlindex der Länderkonzentration der Erzförderung liegt bei 0,12 und ist damit als gering einzustufen. [Länderkonzentration der Förderung](#)

Zinkerzförderung in Mio. t Zinkinhalt (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	0,14	0,40	1,01	2,26	24,1 %
Australien	0,51	0,76	0,94	1,33	14,2 %
Peru	0,35	0,61	0,69	1,21	12,9 %
Kanada	1,06	1,17	1,12	0,79	8,4 %
USA	0,43	0,25	0,64	0,72	7,7 %
Irland	0,07	0,19	0,18	0,44	4,7 %
Mexiko	0,23	0,29	0,35	0,43	4,5 %
Kasachstan	k.A.	k.A.	0,16	0,36	3,8 %
Indien	0,02	0,05	0,15	0,33	3,5 %
Russland	k.A.	k.A.	0,13	0,23	2,4 %
Übrige	3,14	2,91	1,74	1,29	13,7 %
Insgesamt	5,95	6,63	7,13	9,39	100,0 %

Mit Australien, Kanada und den USA sind 3 der 5 bedeutenden Förderländer als politisch und wirtschaftlich sehr stabil anzusehen. Auch die Risiken der anderen wichtigen Förderländer sind gering einzuschätzen. Lediglich Peru mit einer Hermes-Klassifizierung von 4 und einem Anteil von 13 % an Weltförderung kann als weniger stabil bezeichnet werden.

Auch bei der Herstellung von raffiniertem Zink führt China mit einer Produktion von 2,54 Mio. t oder einem Anteil von 25 % die Rangliste der größten Produzenten an. Mit großem Abstand folgen Kanada und Südkorea. Peru als drittgrößter Zinkerzförderer spielt hingegen keine bedeutende Rolle bei der Zinkproduktion. Weitere große Zinkproduzenten sind hingegen Länder wie Japan und Deutschland, die die Rohstoffe allerdings importieren müssen.

Länderkonzentration der Produktion

Raffinadezinkproduktion in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	140	306	1 077	2 537	25,0 %
Kanada	427	692	720	805	7,9 %
Südkorea	21	109	279	669	6,6 %
Japan	698	740	664	635	6,3 %
Spanien	135	213	358	532	5,2 %
Australien	200	289	320	473	4,7 %
Deutschland	295	367	356	382	3,8 %
Mexiko	154	182	223	364	3,6 %
USA	450	334	363	320	3,2 %
Übrige	2 954	3 234	2 985	3 413	33,7 %
Insgesamt	5 474	6 466	7 344	10 129	100,0 %

Mit Teck Cominco und Noranda stammen zwei der acht größten Zinkbergbaugesellschaften aus Kanada. Beide Unternehmen sind für 15 % der weltweiten Förderung verantwortlich. Zwei weitere Unternehmen stammen aus Großbritannien, zwei aus der Schweiz und eines aus Australien. Die Unternehmenskonzentration ist insgesamt als vergleichsweise gering zu bezeichnen, was sich auch an dem mit 8,7 % relativ niedrigen Anteil der weltgrößten Zinkbergbaugesellschaft Teck Cominco zeigt.

Unternehmenskonzentration

Die größten Zinkbergbaugesellschaften 2003 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
Cominco	0,44	6,5 %	Teck Cominco	0,83	8,7 %
Noranda	0,43	6,4 %	Noranda	0,60	6,3 %
MIM	0,28	4,1 %	Pasminco	0,59	6,2 %
Empresa Mineral del Peru	0,26	3,8 %	Anglo American	0,40	4,2 %
Outokumpu	0,24	3,5 %	Glencore	0,36	3,8 %
RTZ	0,21	3,0 %	Vedanta Resources	0,33	3,5 %
Trelleborg	0,17	2,5 %	Xstrata	0,31	3,3 %
Hindustan Zinc	0,15	2,2 %	Volcan Cia Minera	0,28	3,0 %
Asarco	0,15	2,2 %	Industrias Penoles	0,23	2,4 %
Aberfoyle	0,14	2,1 %	BHP Billiton	0,21	2,3 %
Übrige	4,32	63,7 %	Übrige	5,35	56,4 %
Insgesamt	6,78	100,0 %	Insgesamt	9,50	100,0 %

Theoretisch ist Zink ohne Qualitätseinbußen beliebig oft wieder [Recycling](#) verwendbar. Die Recyclingquote in Deutschland beträgt etwa 41 % (BGR 2005b). Weltweit liegt der Anteil von Recycling- bzw. Sekundärmaterial an der Gesamtproduktion mit 30 % deutlich niedriger (IZA 2005). Das Recycling von Messing spielt dabei die bedeutendste Rolle. Andere Quellen für Sekundärrohstoffe sind Galvanisierungsrückstände, Druckgusschrott, Filterstaub der Stahlindustrie, Zinkbleche und die chemische Industrie.

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

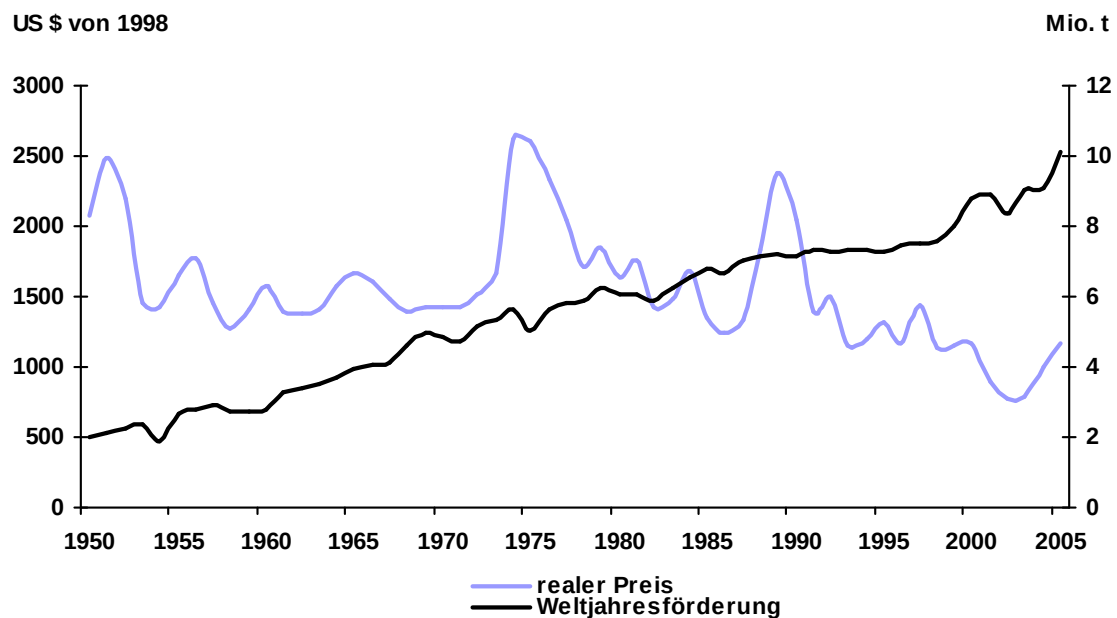
Während die Weltjahresproduktion von Zink zwischen 1950 und 2005 von knapp 2 Mio. t auf über 10 Mio. t anstieg und sich somit mehr als verfünffacht hat, lag der reale Preis 2005 mit durchschnittlich rund 1 300 US \$/t (in Preisen von 1998) noch weit unter den realen Preisen der Vergangenheit. Tendenziell ist der Realpreis von Zink seit den fünfziger Jahren, erst recht aber seit der Hochpreisphase Mitte der siebziger Jahre gefallen. Anfang 2006 sind die Zinknotierungen an der Londoner Metallbörse LME allerdings drastisch angestiegen. Am 11. Mai 2006 haben die nominalen Preise beinahe die Marke von 4 000 US \$/t und somit ein bislang nicht zu beobachtendes Hoch erreicht. Der Zinkpreis hat

[Produktions- und Preisentwicklung in der Vergangenheit](#)

sich innerhalb kürzester Zeit nahezu verdoppelt, fiel dann aber wieder auf rund 3 000 US \$/t zurück.

Derartig starke Schwankungen des Zinkpreises sind jedoch nicht selten. Diese sind oft durch politische Ereignisse und wirtschaftliche Faktoren bedingt. So lassen sich die starken Rückgänge der Preise Mitte der 70er und Anfang der 90er Jahre durch die rezessiven Auswirkungen des ersten Ölpreisschocks und des zweiten Golfkrieges erklären. Wie bei Kupfer und Aluminium sind auch bei Zink die für Rohstoffe so typischen zyklischen Preisbewegungen festzustellen.

Reale Zinkerzpreise in US \$/t und Weltjahresförderung in Mio. t (USGS 2005, USGS 2006)



Der gegenwärtige Zyklus – in den Wirtschaftswissenschaften häufig „Schweinezyklus“ genannt – hat seinen Ursprung in den niedrigen Preisen der Jahre 2001 und 2002. Als Folge davon wurde eine Reihe großer Zinkminen geschlossen. Dazu gehörten die irischen Taramine im Jahr 2001, die kanadische Polarismine im Jahr 2002 und die australischen Mine „Lennard Shelf“ im Jahr 2003 (Drum et al. 2006:158). Darüber hinaus wurden mangels preislicher Anreize keine Investitionen in neue Bergwerke getätigt.

Dies führte in Kombination mit dem tendenziell aufwärts gerichteten weltweiten Nachfragetrend zwangsläufig zu Versorgungsengpässen. So sind die Lagerbestände 2006 auf das sehr niedrige Niveau von weit weniger als 0,5 Mio. t gefallen, wohingegen sich 2004 durchschnittlich noch über 1 Mio. t auf Lager befanden.

den (Drum et al. 2006:157). Die Folge war nicht nur ein explodierender Preis, sondern auch eine sehr hohe Volatilität (MI 2006).

Das gegenwärtige hohe Preisniveau wird indessen für eine deutliche Erhöhung des zukünftigen Angebots sorgen. So wird beispielsweise davon ausgegangen, dass die 2003 geschlossene australische Mine „Lennard Shelf“ im Jahr 2006, spätestens aber 2007 wiedereröffnet wird (Drum et al. 2006:158). Bei der irischen Taramine ist dies bereits geschehen. Die für die Jahre 2006 bis 2008 vorgesehenen Wieder- und Neueröffnungen an Bergbaukapazitäten lassen ein zusätzliches Angebot von jährlich rund 1,4 Mio. t erwarten. Für den Zeitraum von 2008 bis 2011 prognostiziert das „Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics“ (ABARE) ein Wachstum der Zinkraffinadeproduktion auf rund 13,4 Mio. t und daher ein die jährliche Nachfrage jeweils übersteigendes Angebot (Drum et al. 2006:157).

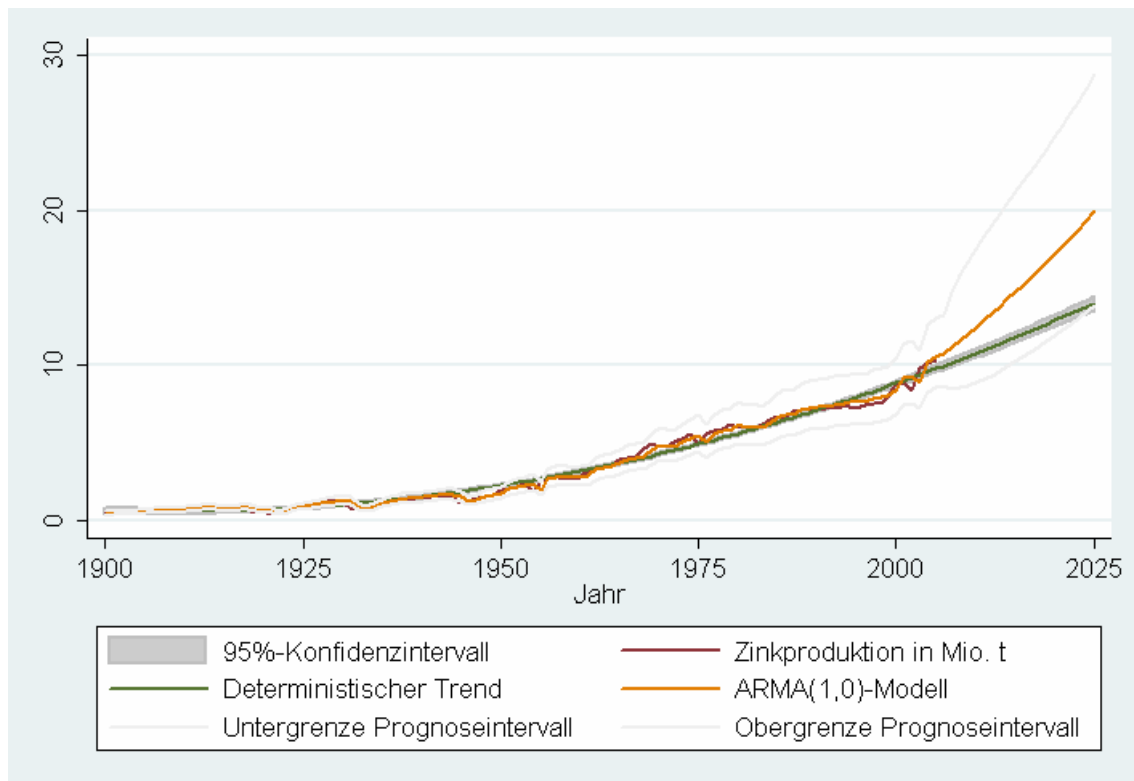
Angebotstrends

Eine einfache Trendprognose auf Basis eines quadratischen Trends ergibt für die Zinkproduktion im Jahr 2010 allerdings lediglich einen Wert von 10,8 Mio. t, wobei das 95 %-Konfidenzintervall von 10,5 bis 11,0 Mio. t reicht. Für 2015 ist nach diesem Trend von einer Produktion von 11,8 Mio. t auszugehen, für 2020 kann man 12,9 Mio. t erwarten und 2025 kann man mit 14,0 Mio. t plus/minus 0,4 Mio. t rechnen, falls sich dieser Trend als zutreffend erweisen sollte. Zum Vergleich: 2005 betrug die Zinkproduktion rund 10,3 Mio. t (GFMS 2006:31). Damit wird bis 2025 ein Anstieg von etwa 36 % vorhergesagt. Die in der folgenden Abbildung dargestellte Trendprognose sagt daher ein viel geringeres Wachstum der Zinkproduktion voraus als das ABARE. Die Ursache für die nach der Trendschätzung geringer ausfallende Produktion ist darin zu sehen, dass die gegenwärtige Produktionsmenge oberhalb des langfristigen Trends liegt und damit gerechnet werden könnte, dass die Produktion in Zukunft wieder unter diese Trendlinie fällt. Von einer solchen Abschwächung geht das ABARE bis 2010 offenbar nicht aus.

Auch eine Prognose auf Basis eines Zeitreihenmodells bestätigt nicht die Vorhersage des ABARE. Das ARMA(1,0)-Modell, das zusätzlich einen deterministischen Trend beinhaltet und sich als am besten geeignet erwiesen hat und einen deutlichen höheren Produktionsanstieg andeutet als die langfristige Trendkurve, sagt für 2010 lediglich eine Produktion von 12,9 Mio. t voraus, eine hal-

be Million Tonnen weniger als das ABARE. Für 2025 ergibt sich eine Produktion von knapp 20 Mio. t, das heißt gegenüber heute etwa eine Verdopplung. Träfe dies zu, könnte der sich nach Anhang C ebenfalls verdoppelnde Bedarf an Zink tatsächlich befriedigt werden. Allerdings ist die mit dem ARMA(1,0)-Modell verbundene Unsicherheit sehr groß, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass nicht auch der rein deterministische Trend die zukünftige Entwicklung adäquat wiedergibt.

Trend- und ARMA(1,0)-Prognose der weltweiten Zinkproduktion in Mio. t



Für Europa ist hingegen zu erwarten, dass die Zinkraffineriekapazitäten in Zukunft zurückgehen werden, unter anderem wegen steigender Energiepreise und den Belastungen, die aus dem seit 2005 existierenden Emissionshandel resultieren. So hat der schweizerische Rohstoffkonzern Glencore 2005 seine Zinkhütte in Sardinien mit einer Jahreskapazität von 90 000 t geschlossen und auch in Frankreich beendete eine große Hütte ihre Tätigkeit, während in Deutschland die Blei- und Zinkraffinerie Sudamin MHD (Metallhütte Duisburg) Insolvenz anmeldete. Die Produktion wurde jedoch fortgeführt und erreichte einen Umfang von 95 000 t Zink und 40 000 t Blei. Mittlerweile ist die Metallhütte Duisburg geschlossen. Die Zahl der dadurch betroffenen Beschäftigten ist mit 310 vergleichsweise gering. Dies liegt daran, dass die Existenz deutscher

Hütten in der Vergangenheit nur durch die Erhöhung der Arbeitsproduktivität, das heißt die Herstellung des Outputs mit immer weniger Beschäftigten, gesichert werden konnte.

Die gegenwärtig hohen Preise entziehen sich früher oder später selbst ihre Grundlage, in dem sie für massive Angebotserweiterungen und möglicherweise eine Dämpfung der Nachfrage sorgen. Treffen die Projektionen des ABARE zu, so sollte spätestens 2011 der 2001 begonnene Zyklus beendet sein und die realen Preise wieder bei etwa 1 000 US \$/t - in Preisen von 2006 - angekommen sein (Drum et al. 2006:157). Die in Kapitel 4 ausführlich dargestellte Prognose für den Zinkpreis lässt hingegen für 2010 einen deutlich höheren realen Preis von rund 1 700 US \$/t - in Preisen von 2006 - erwarten, für 2025 ergibt sich sogar eine Prognose von rund 3 100 US \$ pro t - in Preisen von 2006. Preistrends

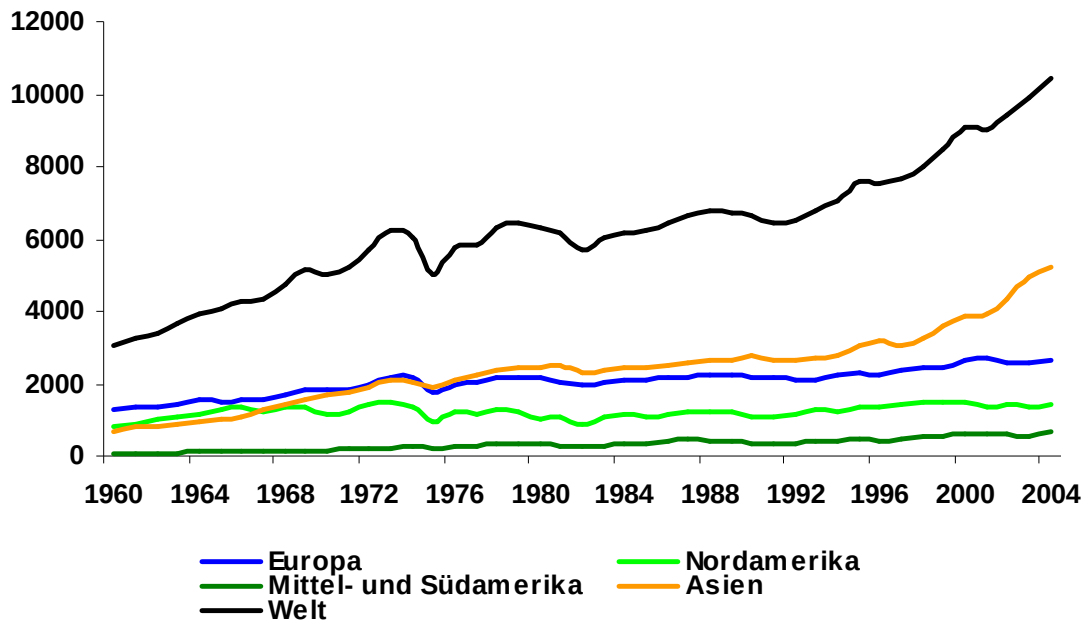
Auch das Beispiel Zink zeigt einmal mehr, dass das starke Nachfragewachstum Chinas nicht die ausschlaggebende Ursache für die gegenwärtig hohen Preise sein kann.

Schließlich steigt der Zinkbedarf Chinas bereits seit Jahrzehnten, er hat sich beispielsweise zwischen 1985 und 1995 verdreifacht. Auch in den Jahren 2000 bis 2002 nahm die chinesische Nachfrage jahresdurchschnittlich um rund 14 % zu, wohingegen die Preise an der LME von 1 130 US \$/t auf rund 780 US \$/t fielen. Der seither erfolgte enorme Anstieg der Preise auch bei Zink ist vielmehr auf das beschriebene zyklische Investitionsverhalten zurückzuführen, das bei niedrigen Preisen, und somit geringen Anreizen, nur ungenügende Investitionen in neue Kapazitäten erwarten lässt, obwohl von einem tendenziell immer weiter steigenden weltweiten Bedarf ausgegangen werden kann.

Die weltweite Nachfrage wird seit Beginn der 90er Jahre durch das starke Wachstum Asiens getrieben, während der Zinkverbrauch in Europa und Nordamerika nur mäßig anstieg oder gar stagnierte. Vor allem China trug zum weltweiten Nachfrageanstieg bei. Auch in Zukunft ist mit einem stark steigenden Zinkbedarf Chinas zu rechnen. An dem 2005 erfolgten Wandel Chinas vom Nettoexporteur zum Nettoimporteur wird sich daher in den nächsten Jahren voraussichtlich wenig ändern, insbesondere, da auch in Zukunft immer wieder mit Produktionsausfällen infolge von Strommangel und mit temporären Schließungen chinesischer Zinkhütten wegen Nachfragetrends

gravierenden Fällen von Umweltverschmutzung zu rechnen ist. Dies ist in den vergangenen Jahren mehrfach vorgekommen (Drum et al. 2006:160).

Zinkverbrauch der verschiedenen Kontinente in 1 000 t (BGR 2005)



Da die Nachfrage nach Zink stark von der Entwicklung auf den Stahlmärkten abhängt, ist in den USA, dem zweitgrößten Zinkverbraucher, von einem moderaten Wachstum und in Westeuropa von einer Stagnation oder gar einem Rückgang der Zinknachfrage auszugehen. Dort wird mit einer gewissen Verlagerung der Automobilherstellung nach Osteuropa gerechnet, wodurch der Bedarf an verzinktem Stahl und damit auch an Zink in Zukunft geringer ausfallen könnte. Bleiben die Preise für Zink wider Erwarten dauerhaft hoch, würde eine mögliche Substitution von Zink vor allem durch Kunststoff für einen Nachfragerückgang sorgen.

8.5 Chrom

Verwendung

Chrom stellt neben Nickel den bedeutendsten Legierungsrohstoff in der Edeltahlerzeugung dar (STAHL 2006). Die Bedeutung des „Stahlveredlers“ Chrom liegt vor allem in der Erhöhung der Härte und Zug- bzw. Druckfestigkeit von Stahl sowie der Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit. Chrom wird deshalb vielfach zur Produktion so genannter RSH-Stähle genutzt, die sich durch eine hohe Rost-, Säure- und Hitzebeständigkeit auszeichnen. Daneben spielt Chrom bei der Herstellung von Hochtemperatur- bzw. Superlegierungen („super alloys“) eine Rolle (BGR 2004), die z.B. im Fahrzeugbau bei thermisch hochbeanspruchten Bauteilen Anwendung finden. Chrom dient zudem der Oberflächenbehandlung in der Metallverarbeitung.

Primäre Verwen-
dung

Dabei wird Chrom selten in Reinform, sondern meist in Form des Zwischenproduktes Ferrochrom genutzt. Ferrochrom läßt sich durch Zugabe von Koks in einem energieintensiven Verfahren bei hohen Temperaturen im Elektroofen aus dem Chromerz „Chromit“ (FeCr_2O_4) gewinnen. In Abhängigkeit des Kohlenstoffanteils kann Ferrochrom in verschiedenen Qualitäten erzeugt werden (Stahl 2005b). Die Gewinnung von reinem Chrom erfordert hingegen ein aufwendiges chemisches Verfahren. Neben dem dominierenden Chromerz Chromit kommt Krokoit (PbCrO_4) noch eine gewisse Bedeutung zu.

Die Nachfrage nach Chrom bzw. chromhaltigen Produkten wie Ferrochrom ist heutzutage sehr stark abhängig von den Entwicklungen in der Stahlerzeugung. **So hat sich der Anteil der Metallverarbeitung an den Chrom verarbeitenden Sektoren in Deutschland im Zuge der Ausweitung der Edelstahlproduktion von 50 % in den 60er Jahren auf heute ca. 90 % erhöht** (DME 2001). Wenngleich in geringerem Maße wird Chrom zudem in der Feuerfest- sowie der chemischen Industrie eingesetzt (ICDA 2006). Chrom spielt beispielsweise bei der Farbpigmentherstellung eine Rolle (King 2005:47 f.).

Verarbeitende
Industrien

Nachfrage

Im Jahr 2003 wurde Chrom in Deutschland in Höhe von rund 0,35 Mio. t Inhalt verbraucht (BGR 2005). Der größte Teil wurde als Ferrochrom in Legierungen eingesetzt. Die bedeutendsten deutschen Verarbeiter sind ThyssenKrupp Edelstahl, die Bayer AG und die Refratechnik (BGR 2005b).

Inländischer
Chromverbrauch

Der weltweite Verbrauch an Chrom betrug 2003 rund 5,6 Mio. t Inhalt (BGR 2005b). Dies war eine Steigerung gegenüber 1991 um 43 % und gegenüber 1986 um 60 %. 1991 bzw. 1986 belief sich der Verbrauch auf rund 3,9 bzw. 3,5 Mio. t (Haid, Wettig 2000b). Statistiken zum Verbrauch werden nur für wenige Länder geführt. Die angegebenen Werte für den weltweiten Verbrauch stellen daher Schätzungen dar.

Weltweiter
Chromverbrauch

Deutschland besitzt keine eigenen Chromerzvorkommen. Der inländische Bedarf wird vor allem durch den Import von Chromerzen, –konzentraten und chromhaltigen Ferroverbindungen gedeckt. Der Nettoimportwert betrug 2004 rund 277 Mio. € (BGR 2005). Die Importe an Chromerzen und –konzentraten beliefen sich auf rund 0,129 Mio. t. Der Import an chromhaltigen Schrotten und Produkten spielt eine weitaus geringere Rolle (BGR 2005).

Chromimporte

Importe an Chromerzen in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	k.A.	118,9	74,6	57,9 %
Türkei	62,9	35,3	39,9	31,0 %
Niederlande	2,8	0,3	5,7	4,4 %
Indien	0,0	0,0	5,3	4,1 %
Kasachstan	k.A.	0,0	2,0	1,6 %
Übrige	318,8	5,3	1,4	1,0 %
Insgesamt	384,5	159,8	128,9	100,0 %

Mit einem Anteil von knapp 58 % bzw. 31 % an den Chromerzimporten waren Südafrika und die Türkei die wichtigsten Lieferanten. Damit ist der Import an Chromerz auf sehr wenige Länder konzentriert. Der hohe Wert des Herfindahlindex von rund 0,45 macht dies deutlich.

Die Importe an Chromerzen nahmen in der Vergangenheit in Deutschland ähnlich wie in den USA und Japan deutlich ab. So machten die deutschen Chromerzimporte 2004 nur noch rund ein Viertel der Importe von 1970 aus. Ausgeglichen wurde dies durch deutlich ansteigende Ferrochromimporte. Der Rückgang der Chromerzimporte der Industrieländer USA, Japan und Deutschland konnte durch die massive Zunahme der chinesischen Importe allerdings nicht ausgeglichen werden, so dass die Höhe der Chromerzimporte insgesamt weltweit gesunken ist. **Mittlerweile hat China die Rolle des größten Erzimporteurs von Japan übernommen.**

Chromerzimport nach Ländern in 1 000 t (Haid und Wettig 2000b)

	1970	1980	1990	1997	Anteile 1997
China	-	50,0	641,3	894,0	23,8 %
Japan	1 149,6	950,0	789,2	577,4	15,3 %
USA	1 275,1	892,3	305,5	303,6	8,1 %
Schweden	196,9	332,5	190,3	300,0	8,0 %
Deutschland	491,5	328,8	245,5	180,3	4,8 %
UK	164,5	92,6	154,9	157,9	4,2 %
Italien	142,8	171,0	179,7	105,0	2,8 %
Jugoslawien	70,0	278,8	283,5	101,2	2,7 %
Norwegen	78,6	0,3	159,5	100,0	2,7 %
Übrige	1 198,3	1 195,7	882,3	1 044,2	27,6 %
Insgesamt	4 767,3	4 292,0	3 831,7	3 763,6	100,0 %

Ferrochrom wurde 2004 zu fast drei Vierteln aus Südafrika importiert. Die Konzentration auf ein Förderland ist damit noch ausgeprägter als bei Chromerz. Der Wert des Herfindahlindex ist mit rund 0,56 entsprechend höher. Südafrika verfügt nicht nur über sehr umfangreiche Lagerstätten an Chromerzen, sondern kann daraus auf sehr kostengünstige Weise Ferrochrom herstellen. Die Niederlande trug 11,5 % zur deutschen Ferrochromversorgung bei. Das Nachbarland konnte seinen Anteil gegenüber 1994 erheblich ausbauen, wenngleich nicht so massiv wie Südafrika.

Ferrochrom-
importe

Deutsche Importe an Ferrochrom in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	k.A.	117,8	323,6	73,4 %
Niederlande	0,3	0,9	50,8	11,5 %
Russland	0,0	65,2	22,6	5,1 %
Simbabwe	34,0	52,6	18,0	4,1 %
Kasachstan	0,0	20,8	10,2	2,3 %
Indien	0,0	11,6	3,9	0,9 %
Übrige	253,0	175,5	11,8	2,7 %
Insgesamt	287,3	444,4	441,0	100,0 %

Die Ferrochromimporte nahmen in Deutschland seit 1970 stark zu und hatten 2004 mit 0,441 Mio. t einen mehr als 8 Mal so großen Umfang. Die zusätzlichen Ferrochromimporte glichen den Rückgang bei den Chromerzimporten mehr als aus. In Japan und den USA waren die Entwicklungen ähnlich.

Importe an Ferrochrom in 1 000 t nach Ländern (BGR 2005)

	1970	1980	1990	1997	Anteile 1997
Japan	25,5	257,2	441,7	811,6	23,1 %
Deutschland	54,1	301,0	327,3	396,7	11,3 %
USA	37,5	269,6	415,9	388,9	11,0 %
Korea, Rep.	-	2,6	76,9	299,3	8,5 %
Taiwan	0,1	0,6	35,2	285,7	8,1 %
Frankreich	10,2	113,9	218,4	266,3	7,6 %
Italien	30,8	86,9	96,7	230,0	6,5 %
Spanien	3,6	31,4	100,4	188,8	5,4 %
Niederlande	2,6	9,0	8,1	150,8	4,3 %
UK	78,6	43,4	69,8	118,9	3,4 %
Übrige	107,1	164,4	294,4	383,7	10,8 %
Insgesamt	350,1	1 280,0	2 084,8	3 520,7	100,0 %

In der Edeltahlerzeugung existieren begrenzte Substitutionsmöglichkeiten für Ferrochrom, etwa durch Mangan. Diese Alternativen sind kostenintensiver und zudem mit Qualitätseinbußen verbunden (USGS 2005). In der Metallurgie ist Chrom dadurch zu 60 % substituierbar (BGR, DIW 1997:130). Für Farben eingesetztes Chrom muss wegen seiner Toxizität zwingend substituiert werden. Bislang

[Substitution](#)

mangelt es indessen an entsprechenden Möglichkeiten (BGR 2005b).

Angebot

Die weltweiten Reserven an Chromit summierten sich 2004 auf 810 Mio. t (BGR 2005a). Sehr große Reserven befinden sich im südlichen Afrika (STAHL 2006). Der Bushveld-Komplex in Südafrika ist die weltweit größte bekannte Lagerstätte für Chromerz. Die meterdicken und nahezu planar ausgebildeten Erzflöze erstrecken sich über mehr als 300 km (Borg 2001:14). Die daraus resultierenden Reserven lassen sich daher relativ genau bestimmen. Eine ebenfalls umfangreiche Lagerstätte namens Great Dyke befindet sich im benachbarten Simbabwe. In diesen beiden Lagerstätten befinden sich mehr als 80 % der weltweiten Reserven (DME 2003:100).

Reserven

Die Ressourcen an Chromit überstiegen 2004 den Wert von 12 Mrd. t (USGS 2006).

Ressourcen

Die weltweite Chromitförderung belief sich 2004 auf 17,46 Mio. t. Dies bedeutet nahezu eine Verdopplung gegenüber 1975 und eine Steigerung um rund ein Viertel im Vergleich zu 1995. Verglichen mit der Förderung anderer Rohstoffen wie Bauxit oder Kupfererz ist dieses Wachstum als eher moderat zu bezeichnen.

Weltförderung

Auf Basis der Reserven in Höhe von 810 Mio. t bzw. der Ressourcen von 12 Mrd. t und einer Förderung von 17,46 Mio. t im Jahr 2004 beträgt die Statische Reichweite rund 46 Jahre und die Ressourcenreichweite 687 Jahre.

Reichweiten

Die weltweite Förderung von Chromerz konzentriert sich stark auf Südafrika. Dort wurden 2004 rund 44 % der Erzmenge gefördert. Neben Südafrika förderten Kasachstan, Indien, Simbabwe, Finnland, Brasilien und die Türkei in nennenswerter Größenordnung. Deutschland besitzt zwar keine eigenen Chromerzvorkommen, hält aber Beteiligungen an Chromitgruben in Südafrika und der Türkei (BGR 2004). So betreibt Bayer ein Chromerzbergwerk in Südafrika (BGR 2005a). Zur Bewertung der politischen und wirtschaftlichen Stabilität der Chromerz fördernden Länder wurde ein mit den

Länderkonzentration der Förderung

Anteilen der Förderländer gewogenes Mittel der jeweiligen Werte der Hermes- bzw. Weltbank-Indikatoren berechnet. Der gewogene Hermesindikator liegt bei 3,44 und zeigt bei einer von 0 bis 7 reichenden Skala lediglich ein moderates Risiko an. Der Wert des gewogenen Weltbankindicators errechnet sich zu -0,62 und erlaubt bei einem Wertebereich, der von -2,24 für Somalia bis 2,04 für Island reicht, dieselbe Schlussfolgerung.

Förderung von Chromit in Mio. t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	2,08	3,70	5,09	7,63	43,7 %
Kasachstan	0,00	0,00	2,42	3,27	18,7 %
Indien	0,50	0,57	1,70	2,95	16,9 %
Simbabwe	0,88	0,53	0,71	0,67	3,8 %
Finnland	0,33	0,51	0,60	0,58	3,3 %
Brasilien	0,17	0,19	0,45	0,46	2,6 %
Türkei	0,95	0,88	1,53	0,44	2,5 %
Übrige	3,92	4,46	1,38	1,46	8,5 %
Insgesamt	8,83	10,84	13,88	17,46	100,0 %

Die Ferrochromproduktion findet heute größtenteils bereits in den Chromerzförderländern statt, vor allem in Südafrika, das für beinahe die Hälfte der Produktion verantwortlich ist. Kasachstan spielt mit einer Produktion von rund 1 Mio. t ebenfalls eine bedeutende Rolle. Die massive Zunahme der Ferrochromproduktion Südafrikas wurde erst durch die Einführung des so genannten AOD-Verfahrens bei der Edeltahlerzeugung in den 70er Jahren ermöglicht. Dieses Verfahren erlaubte es, die zuvor nicht geeigneten südafrikanischen Chromerze für die Metallurgie zu nutzen.

Ferrochrom-
produktion

Dadurch wurde es möglich, „Charge Chrom“ zu verwenden, das kostengünstig aus südafrikanischen Chromerzen gewonnen werden kann (Haid und Wettig 2000b). Charge Chrom zeichnet sich durch einen hohen Kohlenstoffanteil und einen charakteristischen Chromanteil von 50 bis 55 % aus (Papp 2000).

Ferrochromproduktion in Mio. t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	0,22	0,86	1,52	3,10	46,6 %
Kasachstan	-	-	0,51	1,05	15,8 %
China	0,06	0,23	0,60	0,60	9,0 %
Indien	0,01	0,07	0,30	0,53	8,0 %
Russland	-	-	0,35	0,45	6,8 %
Finnland	0,00	0,13	0,25	0,26	3,9 %
Brasilien	0,05	0,14	0,10	0,20	3,0 %
Simbabwe	0,20	0,21	0,26	0,19	2,9 %
Übrige	1,25	1,81	1,00	0,27	4,1 %
Insgesamt	1,79	3,45	4,89	6,65	100,0 %

Als Folge davon verlagerte sich die Ferrochromproduktion von den westlichen Verbraucherländern vor allem in die Erzförderländer. Der Ferrochromhandel nimmt seither beständig zu Lasten des Erzhandels zu. Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe von Ferrochromproduzentenländern mit substantiellem Output. Dazu gehören Kasachstan, China und Indien. Die deutsche Ferrochromproduktion ist stattdessen seit Jahrzehnten tendenziell rückläufig (BGR 2005). Sie sank auf unter ein Drittel des in den siebziger Jahren herrschenden Niveaus von rund 75 000 t und spielt verglichen mit der Importmenge an Ferrochrom in Höhe von rund 440 000 t nur noch eine geringe Rolle. Neben Kostenvorteilen von Ländern wie Südafrika haben Kostensteigerungen beim Faktor Energie sowie verschärfte Umweltauflagen in Europa zu dieser Entwicklung beigetragen.

Die acht größten Bergbaugesellschaften waren 2003 für drei Viertel der weltweiten Chromerzförderung verantwortlich. Xstrata besitzt als Weltmarktführer bei der Förderung von Chromit einen Anteil von über 20 % an der Weltproduktion. Die Förderung von Xstrata konzentriert sich vor allem auf den südafrikanischen Bushveld-Komplex (XSTRATA 2006). Offenbar liegt eine Kartellbildung südafrikanischer Förderunternehmen, wie es in der Vergangenheit häufig befürchtet wurde, angesichts der einflussreichen indischen und kasachischen Konkurrenz nicht mehr im Bereich des Möglichen.

Unternehmens-
konzentration der
Chromitförderung

Die größten Chromitbergbaugesellschaften 2003 (BGR 2005)

	1993			2003	
	Mio. t	Anteile		Mio. t	Anteile
Gencor	0,90	9,5 %	Xstrata	3,31	20,1 %
Anglo American	0,90	9,4 %	BHP Billiton	1,69	10,3 %
Tata Iron & Steel	0,60	6,3 %	Tata Iron & Steel	1,52	9,2 %
Outokumpu	0,51	5,4 %	Anglo American	1,15	7,0 %
Bayer	0,34	3,6 %	Orissa Mining	0,71	4,3 %
Orissa Mining	0,30	3,2 %	Zimbabwe Mining & Smelting	0,56	3,4 %
Anglovaal	0,20	2,1 %	Outokumpu	0,55	3,3 %
Glencore	0,20	2,1 %	Harmony Gold Mining	0,31	1,9 %
Übrige	5,55	58,4 %	Übrige	6,70	40,5 %
Insgesamt	9,50	100,0 %	Insgesamt	16,50	100,0 %

Die weltweit größten Ferrochromproduzenten sind weitgehend mit den größten Chrombergbaugesellschaften identisch. Die Chromaktivitäten von BHP Billiton und Anglo American waren zwischen 1998 und 2005 im Unternehmen Samancor gebündelt (Samancor 2006). Mit rund 30 % Marktanteil stellte Samancor den weltgrößten Produzenten dar. Mitte 2005 erfolgte der Verkauf der Chromsparte von Samancor an die Kermas Gruppe.

Unternehmens-
konzentration der
Ferrochromer-
zeugung

Die größten Ferrochromproduzenten 2003 (BGR 2005)

		Produktion in 1 000 t	Anteile	Kumulierte Anteile
Xstrata	Schweiz	1 103	19 %	19 %
State of Kazakhstan	Kasachstan	900	16 %	35 %
BHP Billiton	Australien	658	12 %	47 %
Anglo American	UK	478	8 %	55 %
Outokumpu Oyj	Finnland	250	4 %	59 %
Mining & Smelting	Zimbabwe	205	4 %	63 %
State of South Africa	Südafrika	186	3 %	66 %
Cia de Ferro Ligas de Bahia	Brasilien	180	3 %	69 %
Mitsubishi	Japan	170	3 %	72 %
Übrige		1 571	28 %	100 %
Insgesamt		5 700	100 %	

Gegenwärtig scheint es kein Unternehmen mit einem derart hohen Marktanteil zu geben. (Rückschlüsse von Produktionszahlen auf die

Bedeutung einzelner Produzenten sind mit Vorsicht zu ziehen, da vielfach Kapazitäten nicht ausgeschöpft werden, um die Preise zu stützen.)

Chrom wird hauptsächlich aus Edelstahlschrott wieder gewonnen. Beispielsweise beträgt der Chromanteil bei RHS-Stählen 18 %. Die allgemeine Recyclingrate wird bei Chrom auf 15 bis 20 % geschätzt (BGR 2004:54). Seit einiger Zeit wird in Südafrika Ferrochrom aus chromhaltigen Schlacken gewonnen. Dadurch sinkt das Volumen an umweltschädlichen Schlacken (BGR, DIW 1997:129).

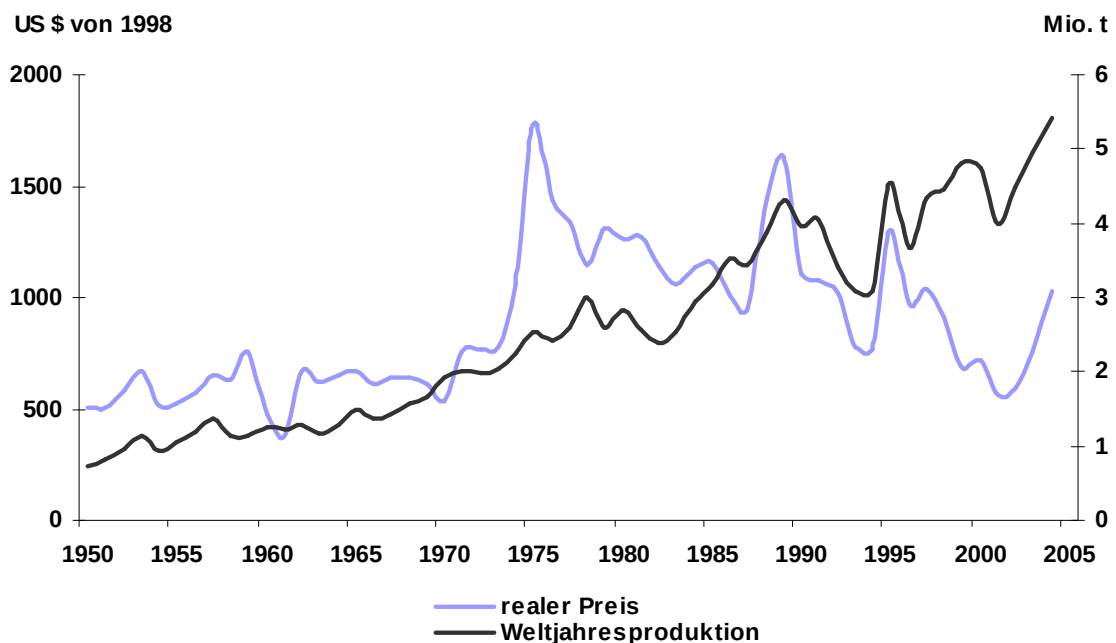
Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

Die Weltjahresproduktion an Chrom zeigt seit 1950 einen deutlichen Aufwärtstrend, der 2005 in einer Produktionsmenge von 5,6 Mio. t Chrominhalt gipfelte. Die Entwicklung der realen Chrompreise folgt hingegen offenbar keinem aufwärts gerichteten Trend. So gab es zwischen 1950 und Mitte der 70er Jahre kaum Veränderungen des realen Preises. Dieser schwankte in diesem Zeitraum um 500 US \$ pro t. Tendenziell ist der reale Preis für Chrom seit 1975 gefallen, die Volatilität der Preise ist allerdings im Vergleich zu früher deutlich gestiegen.

Historische Produktions- und Preisentwicklung

Reale Chrompreise in US \$/t und Weltjahresförderung in Mio. t (USGS 2005, USGS 2006)

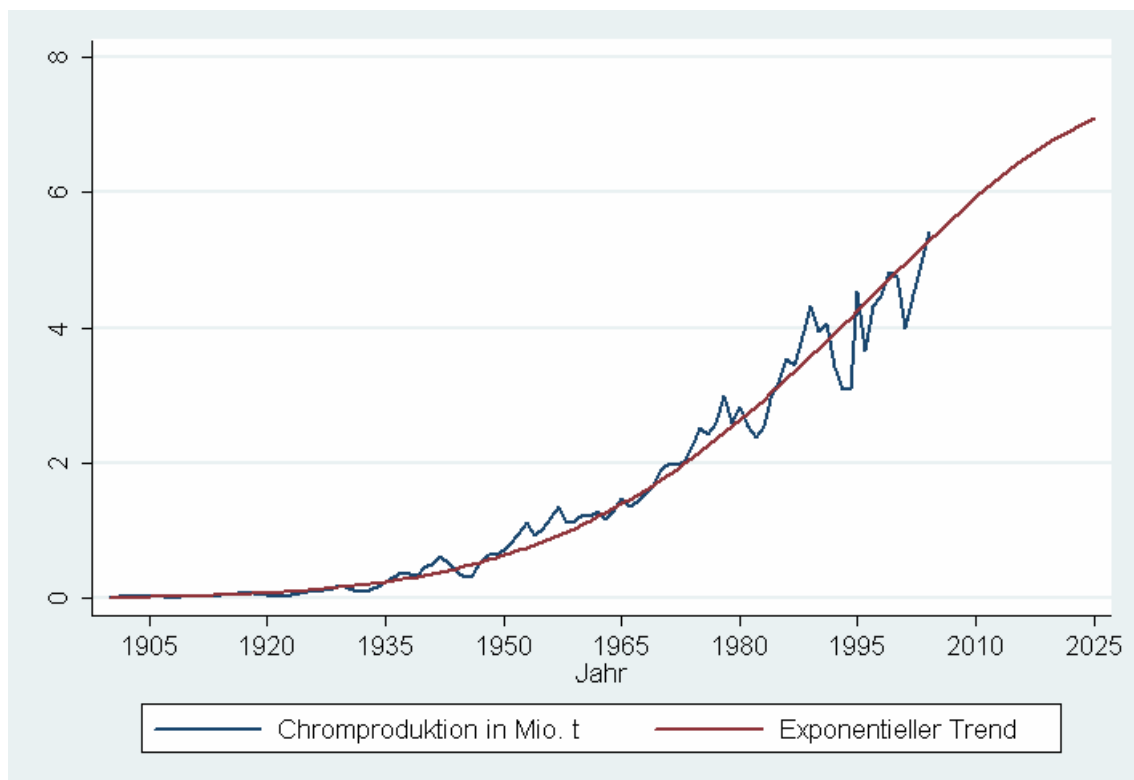


Trotz einer Ausweitung der Produktionsmenge waren zwischen 2002 und 2006 stark steigende Preise pro Tonne Chrom zu verzeichnen. Als Gründe hierfür werden die steigenden Preise der Ferrochromproduktion, Wechselkursschwankungen, eine steigende Nachfrage nach Ferrochrom und ein beschränktes Edelstahl-schrottangebot gesehen (USGS 2006).

Die derzeit hohen Preise erlauben es Staaten wie China und Indien, Ferrochrom auf den Markt zu bringen, das andernfalls nicht konkurrenzfähig zu südafrikanischer Ware wäre (USGS 2006). Es wird erwartet, dass sich insbesondere die chinesischen Produktionskapazitäten in den nächsten Jahren weiter erhöhen werden. So soll sich die Produktion von Ferrochrom bis 2008 gegenüber 2002 mehr als verdreifachen.

Die Schätzung eines exponentiellen Trends ergibt für 2010 eine Chromproduktion von 5,9 Mio. t und für 2025 von 7,1 Mio. t. Bei einer Chromproduktion von 5,4 Mio. t im Jahr 2004 bedeutet dies bis 2025 eine Erhöhung um rund 30 %.

Chromproduktion in Mio. t (USGS 2005, USGS 2006)



Das größte Potential für eine Produktionsausweitung wird in Südafrika und Kasachstan gesehen, die damit ihre beherrschende Marktposition ausbauen könnten (Mining Technology 2005). Dennoch ist die ehemals für möglich gehaltene „Monopolisierung“ der Ferro-

chromproduktion durch die weitgehende oder gar alleinige Konzentration der Produktion auf Südafrika infolge des Hinzukommens einer ganzen Reihe neuer Ferrochromproduzentenländer mit substantiellem Output wie Indien und Kasachstan genannt (Haid und Wettig 2000b).

Bedingt durch eine nach wie vor steigende Edelstahlproduktion ist auch weiterhin mit einer steigenden Nachfrage nach Ferrochrom zu rechnen (USGS 2006). Getragen wird dieses Nachfragewachstum vor allem durch den asiatischen Markt (Mining Technology 2005). Wie auch bei der Edelstahlproduktion werden dabei Schwankungen auftreten, die typischerweise die Folge der zyklischen Bewegungen des Weltwirtschaftswachstums sind. Die in Kapitel 8 erfolgte Abschätzung der Wirkungen des Technischen Wandels auf die Chromnachfrage deutet auf eine Verdoppelung des Chrombedarfs bis 2025 hin. Wenn dies zutreffend wäre, müsste die Chromproduktion sehr viel stärker als in der Vergangenheit ausgeweitet werden, denn die Fortschreibung der historischen Produktion ergibt lediglich eine Steigerung um etwas mehr als 30 % bis 2025.

Nachfragetrends

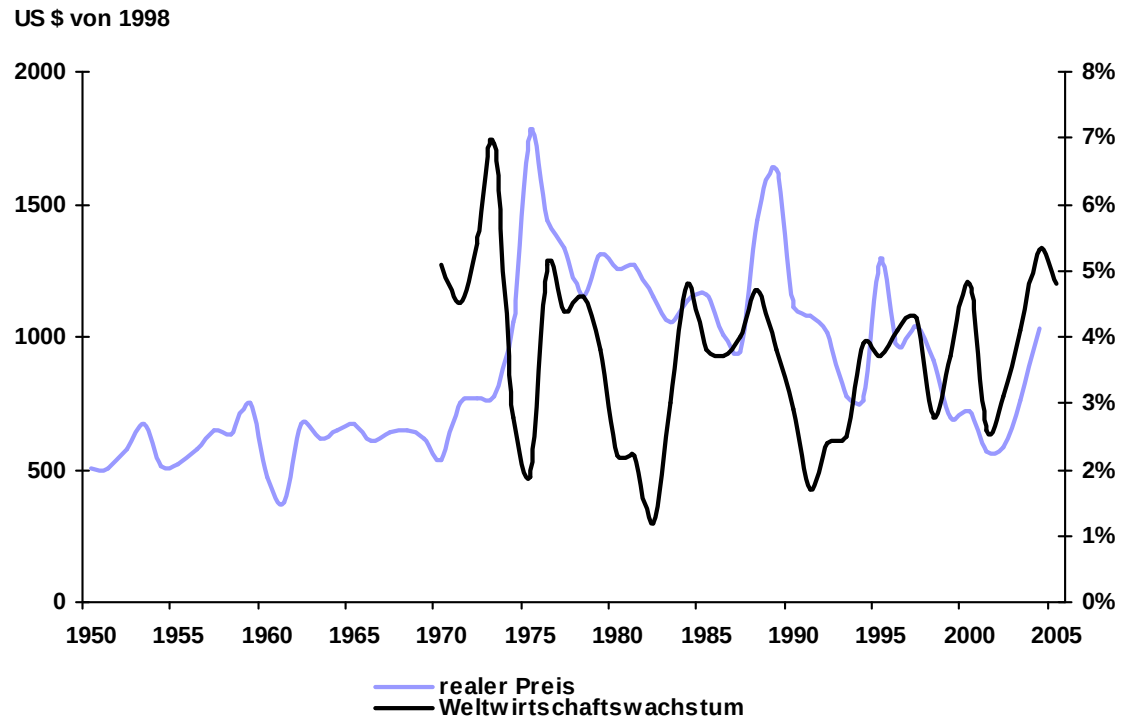
Die Preise für Ferrochrom befanden sich im letzten Jahr auf dem höchsten Stand seit zehn Jahren. 2005 waren indessen bei allen Ferrochromqualitäten fallende Preise festzustellen (STAHL 2005b). Dieser Entwicklung versuchen vor allem die südafrikanischen Produzenten durch Produktionsunterbrechungen entgegenzusteuern (STAHL 2005b). Mittelfristig dürften sich die Pläne zur Kapazitätsausweitung in Kasachstan, Russland und Indien weiter senkend auf die Preise für Ferrochrom auswirken, wobei ein entscheidender Faktor für diese Ausbaupläne eine sichere Stromversorgung sein dürfte (STAHL 2005).

Preistrends

Die empirische Evidenz weist auf einen gewissen Zusammenhang zwischen weltwirtschaftlichem Wachstum und den Chrompreisen hin. Ein Abschwächen des weltwirtschaftlichen Wachstums führte in der Vergangenheit meist zu einer vorübergehenden Abschwächung der Stahlproduktion und deshalb mit einer gewissen Verzögerung oft zu sinkenden Chrompreisen. Durch die insbesondere bei hohen Preisen verstärkt aufkommende Konkurrenz für Südafrika scheint ein drastischer Anstieg der Preise dauerhaft unrealistisch zu sein. Die Zeiten, in denen südafrikanische Unternehmen als „Swingproduzenten“ erfolgreich einem Preisver-

fall entgegenwirken konnten, in dem sie die Exporte entsprechend zurückführen, könnten somit vorbei sein.

Reale Chrompreise in US \$/t und Weltwirtschaftswachstum in Prozent (USGS 2005, IMF 2006)



8.6 Germanium

Verwendung

Germanium ist ein Halbmetall, das als Nebenprodukt der Verhüttung von Zink- und Kupfererzen anfällt. Spuren von Germanium sind auch in der Asche bestimmter Kohlesorten enthalten. Die Gewinnung reinen Germaniums verläuft in zwei Stufen (Butterman, Jorgenson 2004:6): Aus germaniumhaltigen Erzen wird Germaniumdioxid extrahiert, das in Pulverform auf den Markt gelangt. Durch Raffinierung des Oxids im so genannten „Zonenschmelzverfahren“ wird hochreines Germanium („Zone Refined Germanium“) hergestellt, welches als Metallnugget oder -granulat gehandelt wird.

Gewinnung von
Germanium

Germanium ist ein Halbleiter und fand in den ersten Transistoren Verwendung, wurde in dieser Funktion jedoch bald von Silizium abgelöst. Die derzeitigen Verwendungszwecke liegen in der optischen und optoelektronischen Industrie. Aus Germanium gefertigte Linsen und Scheiben sind zentrale Bauteile optischer Infrarotsysteme. Dazu gehören beispielsweise Nachtsichtgeräte und Wärmeleitbildkameras für die militärische Nutzung. Rund 23 % des gesamten Endverbrauchs an Germanium floss 2004 in diesen Verwendungszweck (Wilson 2005:7). Rund 24 % der weltweiten Nachfrage wurde zur Produktion von Glasfaserkabeln für die Datenübertragung verwendet (Wilson 2005:7).

Primäre Verwendung

Der bedeutendste Verwendungszweck ist die Produktion von synthetischem Polyester (PET), bei der Germaniumdioxid als Katalysator eingesetzt wird. Rund 31 % der weltweiten Germaniumnachfrage ging 2004 auf die PET-Produktion zurück (Wilson 2005:7). In geringem Umfang wird Germanium in jüngerer Zeit als Dotierungselement für Mehrschicht-Photovoltaikzellen genutzt. Darüber hinaus wird Germanium in der Chemotherapie, der Metallurgie und in Form von Silizium-Germanium-Speicherchips in der Elektronik verwendet (USGS 2006:73).

Nachfrage

Der weltweite Verbrauch von Germanium wird für 2004 auf 87 bis 88 t geschätzt. Davon entfielen 25 t auf die USA (Wilson 2005, USGS 2006:73). Weltweiter Verbrauch

Plausible amtliche Daten bezüglich des deutschen Außenhandels mit hochreinem Germanium und Germaniumdioxid sind leider nicht verfügbar: Deutschland hat 2004 angeblich fast 2 800 t Germaniumdioxid importiert und gut 426 t exportiert. Ein Teil der Importe wird in Deutschland zu hochreinem Germaniummetall raffiniert. Einzige Germaniumraffinerie in Deutschland ist die „PPM Pure Metals“, die zur französischen „Metaleurope SA“ gehört. Dementsprechend ist Frankreich der Haupthandelspartner für Germaniumdioxid. Importe

Importquellen für Germaniumdioxid in t (BGR 2005)

	1995	2004	Anteile 2004
Frankreich	608,5	809,2	29,2 %
USA	67,4	633,1	22,9 %
China	2,1	512,1	18,5 %
Großbritannien	822,5	367,5	13,3 %
Ukraine	7,3	187,5	6,8 %
Südafrika	0,3	157,0	5,7 %
Übrige	55,8	101,1	3,6 %
Insgesamt		2 767,5	100,0 %

Der bedeutendste Verwendungszweck von Germanium ist die Nutzung als Katalysator bei der Produktion von PET. Hier steht mit Antimontrioxid ein weit verbreitetes Substitut zur Verfügung. Vor allem bei der Nutzung von PET für Lebensmittelverpackungen und Trinkwasserflaschen ist in jüngerer Zeit Antimontrioxid aufgrund der potenziell toxischen Wirkung hinterfragt worden. Neuere Entwicklungen in der Katalysatorentechnik nutzen Titan oder Aluminium als Katalysator (USGS 2002:32.4, USGS 2006:73). Ein bedeutender Teil der Germaniumnachfrage dient der Glasfaserproduktion. Mit auf Zirkonium und Indium basierenden Fluoridgläsern wird in Deutschland derzeit an Alternativen zur herkömmlichen Glasfaser geforscht (TU Braunschweig 2006). Mit Silizium- Substitution

Germaniumspeicherchips hat sich erst jüngst eine erneute kommerzielle Verwendung von Germanium als Halbleiter eröffnet. Reine Siliziumchips haben demgegenüber eine schlechtere Performance hinsichtlich der Arbeitsgeschwindigkeit (USGS 2006:73).

Angebot

Der Umfang der weltweiten Ressourcen an Germanium ist unbekannt. Die bedeutendsten Germaniumvorkommen befinden sich in den afrikanischen Staaten Namibia und der demokratischen Republik Kongo. Beide Staaten gehörten bis Ende der 70er Jahre zu den größten Förderländern. Die Tsumeb-Mine in Namibia ist bereits seit 1996 geschlossen. Im Kongo wird derzeit ebenfalls nicht produziert (BGR 2006). Bedeutende Vorkommen gibt es auch in den USA, für die die technisch abbaubaren Vorkommen auf etwa 500 t beziffert werden (USGS 2006:73).

Ressourcen

Derzeit werden 450 t als ökonomisch sinnvoll abbaubar angesehen (USGS 2006:73). Bedeutende Mengen an Germanium befinden sich ferner in den Händen des amerikanischen Militärs, welches 1998 seine Lagerbestände zum Verkauf freigegeben hat. Am 30. September 2005 hielt die US-Armee noch rund 30 t Germanium vor (NDS 2006:51). Davon stehen derzeit jährlich 8 t zum Verkauf (NDS 2006:6).

Reserven

Der Abbau findet vornehmlich in Alaska statt, wo die kanadische Teck Cominco die weltgrößte Zinkmine betreibt. Eine 2004 eröffnete Zinkmine im Bundesstaat Washington gewinnt Germaniumerze, die in der Regel nach Kanada exportiert werden (USGS 2004e).

Weltförderung

Für 2004 ergibt sich bei Division der Reserven von 450 t bzw. der Ressourcen in Höhe von 500 t durch die Fördermenge von 87 t eine Statische Reichweite von 5 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 6 Jahren. Im Fall von Germanium ist dies weniger auf einen tatsächlichen Mangel an Vorkommen zurückzuführen, sondern nicht zuletzt das Resultat einer mangelnden statistischen Datengrundlage.

Reichweiten

Die Höhe der weltweiten Raffinierung von Germanium aus Erzen oder Kohlestaub wurde für 2003 auf 50 t geschätzt. Hinzu kommt

Germaniumraffinierung

die Sekundärgewinnung aus recyceltem Germanium in einer Größenordnung von geschätzt 30 t (USGS 2003:31.3). Aus amerikanischen Armeebeständen sind zwischen Oktober 2002 und September 2003 rund 1,9 t Germanium auf den Markt gelangt (NDS 2003:12). Das Weltmarktangebot betrug demnach 2003 rund 82 t Germaniummetall. Für 2004 schätzt Wilson (2005) das Weltmarktangebot auf etwa 87 t.

Teck Cominco betreibt in der Nähe von Vancouver die bedeutendste Germaniumraffinerie. Diese bezieht das notwendige Erz vornehmlich aus dem Zinkerzabbau in den USA. Rund 29 % des Weltangebots wird in Kanada produziert (USGS 2006:73). Als zweitgrößter Produzent fungiert China mit etwa 27 % des Angebots an Germanium (Wilson 2005, USGS 2006:73). In Deutschland wurden 2004 rund 6,9 t Germaniummetall produziert (BGR 2005).

Länderkonzentration der Raffinerung

Germaniumraffinierung und Anteil der produzierenden Länder 2004 (USGS 2006, BGR 2005)

	Produktion in t Inhalt	Anteile	kumulierte Anteile
Kanada	25,2	29 %	29 %
China	23,5	27 %	56 %
USA	4,4	5 %	61 %
Übrige	33,9	39 %	100 %
Insgesamt	87,0	100 %	

Rund 30 t bzw. knapp 38 % des weltweiten Angebots werden aus recyceltem Germanium gewonnen. Für die USA nennt Jorgenson (2006) Glasfasern als Hauptrecyclingquelle, deren Anteil fast 50 % ausmacht. Die Verwertung elektronischer Bauteile trägt nur geringfügig zum Recyclingaufkommen bei. Für Europa wird erwartet, dass der Recyclinganteil durch die Einführung der EU-Richtlinie 2002/96/EG zur Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten nennenswert steigen wird.

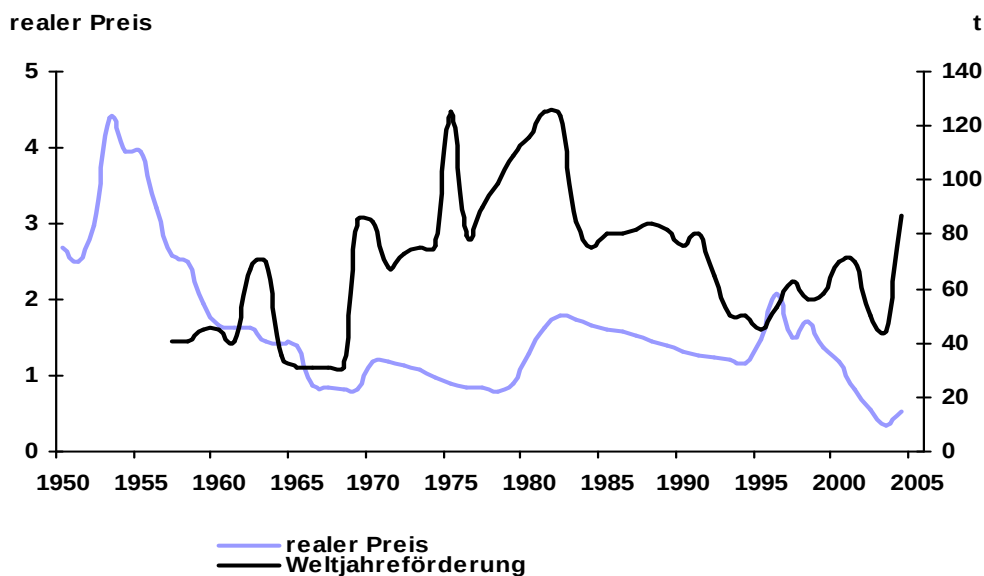
Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

Die Produktionsmenge von Germanium ist 2004 in etwa auf das Niveau der 60er Jahre zurückgefallen. Zwischenzeitlich nahm die Germaniumextraktion trotz real fallender Preise deutlich zu und lag mit 125 t in den Jahren 1975 und 1981 rund zweieinhalb Mal über dem heutigen Niveau.

Historische Produktions- und Preisentwicklung

Reale Germaniumpreise in Mio. US \$/t und Weltjahresproduktion in t (USGS 2005)



Die Produktionsentwicklung folgte der Nachfrage in der Regel zeitversetzt. Die Förderung von Germanium ist dabei an den Abbau von Zinkerzen gekoppelt und reagiert nur träge auf Preissignale. Bis Mitte der 60er Jahre wurde Germanium vor allem als Halbleiter in der Transistorentechnologie verwendet, in den 80er Jahren durch Silizium weitgehend verdrängt (USGS 1998). Der Anfang der 70er Jahre zu verzeichnende deutliche Produktionszuwachs geht auf die Verwendung von Germanium in der Infrarottechnik zurück. Ende der 70er gewann zudem die Glasfasertechnik an Bedeutung. Dies führte zu enormen Preissteigerungen: Zwischen 1978 und 1982 stieg der Nominalpreis um mehr als das Dreifache auf 1 060 US \$ je kg. Auf diesem Niveau verharrte der Nominalpreis 13 Jahre lang, real sank er indessen um fast 35 % (USGS 2005).

1993 nahm die Nachfrage nach Germanium aus dem Bereich der zur Infrarottechnik deutlich ab. Dieser Entwicklung stand 1995 eine deutliche Zunahme des Germaniumverbrauchs für die Glasfaserproduktion gegenüber. Seit 1996 wird Germanium in den USA bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen und Polyme-

ren eingesetzt (USGS 2004a). Die Nachfragesteigerung führte zu einem starken Preisanstieg und anschließender Ausweitung der Gewinnung von Germanium. Anfang des neuen Jahrtausends brach der Glasfasermarkt deutlich ein, was bis heute andauernde Auswirkungen auf die Nachfrage und den Preis von Germanium hat.

2004 entsprach das weltweite Angebot an Germanium mit 87 t in etwa der Nachfrage von 88 t. Der Preisverfall zwischen 2000 und 2002 von real 1 180 US \$ auf real 561 US \$ führte zur Reduzierung der Raffinations- und Förderkapazitäten (USGS 2005). In Tennessee (USA) wurde 2003 die Förderung von germaniumhaltigen Erzen auf Kalksteinförderung umgestellt. Die Schließung der in den USA gelegenen Raffinerie in Clarkesville wurde für 2004 angekündigt (USGS 2003). Die Zinkschmelze in Noyelles-Godault in Frankreich wurde bereits Anfang 2003 geschlossen. Inwiefern die seit 2003 gültige EU-Richtlinie 2002/96/EG zur Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, die 2005 durch das Elektro- und Elektronikgerätegesetz in nationales Recht umgesetzt wurde, das Germaniumangebot durch recyceltes Halbmetall erhöhen wird, kann derzeit noch nicht beurteilt werden.

Angebotstrends

Dem stehen neue Verwendungsmöglichkeiten gegenüber. Sollte die Verwendung von Antimon als Katalysator für die PET-Produktion aus gesundheitlichen Gründen untersagt werden, dürfte die Nachfrage nach Germanium deutlich steigen. Die Entwicklung neuer Silizium-Germanium-Chips in der Halbleiterindustrie könnte ebenfalls für eine steigende Nachfrage sorgen. Neue Anwendungsgebiete der Infrarotsensorik sind bereits heute abzusehen, beispielsweise im Automobilsektor. Sollten die Forschungen zu zirkonium- und indiumbasierten Glasfasertechniken zum Erfolg führen, könnte dies die Nachfrage dämpfen.

Nachfragetrends

Kurzfristig könnte sich ein Nachfrageüberschuss nach Germanium einstellen und der Preis demzufolge steigen. Für die zu derzeitigen Preisen unwirtschaftlichen Produktionskapazitäten könnte dies zu einer Reaktivierung führen. Dementsprechend dürften die Germaniumpreise weiterhin sehr volatil bleiben.

Preistrends

8.7 Vanadium

Verwendung

Vanadium ist ein silbergraues Metall, das sehr gut mit anderen Metallen legiert werden kann. Vanadium wird vor allem in der Metallurgie eingesetzt. Die wichtigsten Zwischenprodukte sind Ferrovanadium und Vanadiumpentoxid, die aus mineralischen Vorkommen, insbesondere Titanomagniten gewonnen werden. Zwei Drittel der weltweit hergestellten Vanadiummenge resultiert als Kuppelprodukt aus der Erzeugung von Eisen, Phosphor oder Titan (MB 2003a). Ferner kann Vanadium aus Rückständen der Steinkohleverbrennung oder Erdölraffination gewonnen werden. Vanadium wird in Form von Vanadiumpentoxid, Ferrovanadium und vanadiumhaltigen Schlacken, Aschen und Rückständen gehandelt.

Primäre Verwen-
dung

Etwa 87 % der Vanadiumproduktion wird als Ferrovanadium in der Eisen- und Stahlerzeugung eingesetzt (MMR 2006). Da es die Warm- und Zugfestigkeit der Stähle erhöht, kann eine Gewichtsreduktion bei gleichzeitigem Erhalt der Festigkeit erzielt werden. Hauteinsatzgebiete sind dementsprechend der Hoch- und Brückenbau und die Herstellung von Rohren, beispielsweise für Erdgasleitungen. Vanadium wird außerdem in der Rüstungsindustrie genutzt und deshalb häufig als strategisch wichtiger Rohstoff angesehen. Aus diesem Grunde sind Produktions-, Förder- und Außenhandelsdaten nicht immer verfügbar.

Verarbeitende
Industrien

Weitere 7 % des weltweit gewonnenen Vanadiums werden zur Legierung mit anderen Metallen verwendet. In der Luft- und Raumfahrt ist Vanadium kaum zu ersetzen. Vanadiumoxide werden ferner als Katalysatoren in der chemischen Industrie und als Pigmente in der keramischen Industrie verwendet.

Nachfrage

Zahlen zum Vanadiumverbrauch in Deutschland sind nicht verfügbar.

Inländischer
Verbrauch

Angaben zur Entwicklung des weltweiten Verbrauchs sind ebenso wenig verfügbar. Dennoch kann festgestellt werden, dass der Vanadiumverbrauch in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen ist, obwohl keine neuen Anwendungen entwickelt wurden, für die Vanadium benötigt würde. Der Nachfrageanstieg ist in erster Linie auf den zunehmenden Einsatz von Vanadium als Legierungsmetall in der Stahlproduktion und das Wachstum der Stahlnachfrage zurückzuführen. So enthielten 100 t Rohstahl 1960 noch durchschnittlich 2,5 kg Vanadium, während es in den 90er Jahren 3,5 kg waren (DME 2002).

Weltweiter
Verbrauch

Deutschland importiert Vanadium vor allem in Form von Ferrovanadium, das 2004 netto im Wert von etwa 40 Mio. € importiert wurde. Mehr als die Hälfte wurde dabei aus Österreich bezogen. Weitere wichtige Bezugsquellen sind Russland, Luxemburg, die Niederlande und die Tschechische Republik. Die für Deutschland bedeutendsten Bezugsländer für Ferrovanadium sind mit Ausnahme von Russland Mitgliedsstaaten der EU.

Nettoimporte

Importquellen für Ferrovanadium mit Angaben in t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Österreich	581	840	2 010	50,2 %
Russland	k. A.	677	446	11,1 %
Luxemburg	k. A.	k. A.	363	9,1 %
Niederlande	112	70	345	8,6 %
Tschechien	k. A.	823	295	7,4 %
China	-	74	158	3,9 %
Weißrussland	k. A.	k.A.	100	2,5 %
Belgien	k. A.	k. A.	89	2,2 %
Übrige	2 062	1 412	200	5,0 %
Insgesamt	2 754	3 895	4 006	100,0 %

Die Nettoimporte von Vanadiumoxiden fallen mit einem Wert von etwa 1 Mio. € gering aus. Es werden zwar Oxide im Wert von

3,7 Mio. € importiert, hauptsächlich aus Südafrika. Zugleich wurden sie aber in Höhe von 2,7 Mio. € exportiert. Vanadiummetall und –schrott wird ebenso netto exportiert (im Wert von 2,6 Mio. €) wie Erze und Konzentrate (im Wert von 0,5 Mio. €). Teile der exportierten Vanadiumprodukte werden von der Nickelhütte Aue hergestellt. Dort werden Reststoffe aufbereitet und unter anderem Vanadium gewonnen (WM 2006).

In der Stahlverarbeitung kann Vanadium in der Regel durch andere Legierungsmetalle wie Niob, Molybdän, Mangan, Titan oder Wolfram ersetzt werden. In seiner Funktion als Katalysator in der chemischen Industrie ist Vanadium durch Platin und Nickel substituierbar (USGS 2006:185). So reagierte der Stahlhersteller Arcelor bereits auf die extrem hohen Vanadiumpreise des Jahres 2005, indem er Vanadium verstärkt durch Niob ersetzt (MB 2005b). Die Titan-Vanadium Legierungen, die in der Luftfahrt zum Einsatz kommen, sind jedoch gegenwärtig nicht zu ersetzen (USGS 2006:185).

Substitution

Angebot

Die weltweiten Ressourcen übersteigen 63 Mio. t (USGS 2006).

Ressourcen

Davon sind gegenwärtig etwa 13 Mio. t wirtschaftlich gewinnbar. Die Vorkommen konzentrieren sich auf China, Russland und Südafrika.

Reserven

2003 wurden 51 260 t Inhalt weltweit gefördert (BGR 2005).

Weltförderung

Bei Division der Reserven in Höhe von 13 Mio. t bzw. der Ressourcen von mindestens 63 Mio. t durch die weltweite Förderung in Höhe von 51 260 t ergibt sich für 2003 eine Statische Reichweite von etwa 254 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 1 229 Jahren.

Reichweiten

Über die Hälfte der weltweiten Förderung findet in Südafrika statt. Es ist bemerkenswert, dass China seine Fördermenge zwischen 1990 und 2003 verdreifacht hat (BGR 2005, MMR 2005a). Südafrika, China und Russland erbringen gemeinsam fast die gesamte

Länderkonzentration der Förderung

Weltförderung. Der Herfindahlindex der Länderkonzentration ist mit 0,38 entsprechend hoch.

Weltweite Vanadiumförderung in 1 000 t Inhalt (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2003	Anteile 2003
Südafrika	10,65	14,02	14,12	27,17	53,0 %
China	k.A.	4,48	13,70	13,20	25,8 %
Russland	k.A.	k.A.	11,00	8,50	16,6 %
Kasachstan	k.A.	k.A.	0,92	1,00	2,0 %
Australien	0,00	0,00	0,00	0,39	0,7 %
Übrige	15,46	14,01	3,00	1,00	2,0 %
Insgesamt	26,11	32,51	42,75	51,26	100,0 %

Die politische Stabilität in den Förderländern ist als kritisch einzustufen. Die Hermes-Klassifizierung bewertet Südafrika mit 3, China mit 2 und Russland mit 4. Weitere Vorräte in Australien und den USA sollen aber in absehbarer Zukunft gewonnen werden (MMR 2006). Australien hat erst im Jahr 2000 angefangen, Vanadium in nennenswertem Maße zu fördern, 2003 die Förderung aber wieder nahezu eingestellt (BGR 2005, DME 2003).

Anglo American ist die größte Vanadium fördernde Bergbaugesellschaft und für 22,5 % der Weltförderung verantwortlich. Die Schweizer Firma Xstrata fördert etwa 12 %, so dass gut ein Drittel der weltweiten Fördermenge von zwei Unternehmen erbracht wird. Über die weiteren Fördergesellschaften liegen keine Informationen vor. Selbst wenn jedoch fünf weitere Firmen ebenfalls 12 % Anteil an der Weltproduktion hätten, ergäbe sich ein Herfindahl-Index von 0,14. Damit ist die Unternehmenskonzentration als gering einzuschätzen.

Unternehmens-
konzentration der
Förderung

Die größten Vanadiumbergbaugesellschaften im Jahr 2003 (BGR 2005)

	Produktion in 1 000 t	Anteile	Kumulierte Anteile
Anglo American	13,50	22,5 %	22,5 %
Xstrata	7,22	12,0 %	34,5 %
Übrige	39,28	65,5 %	100,0 %
Insgesamt	60,00	100,0 %	

Ferrovanadium wird hauptsächlich von fünf Unternehmen produziert: Xstrata, Highveld, Precious Metals Australia, Stratcor und Treibacher (MMR 2005a). Der europäische Markt wird häufig als oligopolistisch eingeschätzt (MB 2005a).

In der Regel gehen beim Stahlrecycling die Stahlveredler verloren. Die wiederverwertete Vanadiummenge macht deshalb nur einen sehr geringen Anteil des Verbrauchs aus (USGS 2006:184). In den USA wird Vanadium gelegentlich aus Werkzeugschrott wieder gewonnen.

Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarktes

Während die Weltjahresproduktion zwischen 1960 und 2004 von 5 000 t auf 44 000 t angestiegen ist, ist der reale Vanadiumpreis von knapp 30 000 US \$/t in 1960 auf knapp 18 000 US \$/t im Jahr 2004 gesunken. Nach den Tiefstwerten um die Jahrtausendwende, als eine Tonne Vanadium teilweise unter 5 000 US \$ gehandelt wurde, zogen die Preise in den letzten Jahren wieder stark an. Die von der BGR (2005) dokumentierten nominalen Preise für Ferrovanadium und Vanadiumpentoxid lagen 2005 durchschnittlich sechs bis sieben Mal so hoch wie 2003. Allerdings setzte sich 2006 die bereits Mitte 2005 begonnene Preisberuhigung fort. Gegenüber 2005 lagen die Preise im April 2006 deutlich niedriger, auf etwa der Hälfte des Vorjahreswertes.

Produktions- und
Preisentwicklung

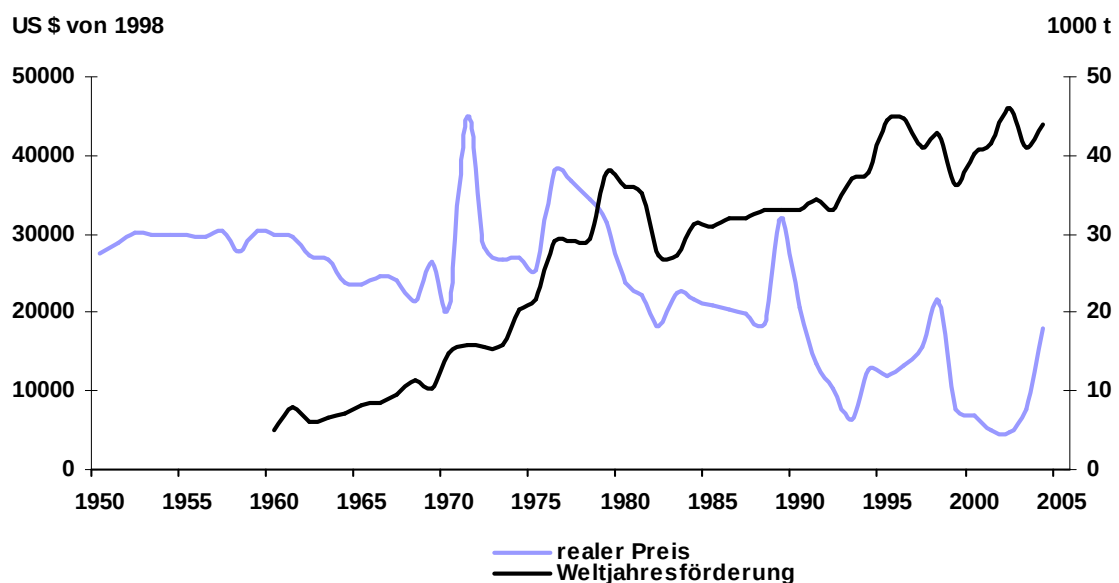
Auch im Falle von Vanadium greifen die üblichen Mechanismen der Rohstoffmärkte: Nachdem Ende der 1980er Jahre mit Russland und China neue Anbieter ihre Förderung und die US-Armee ihre Vanadiumbestände auf den Markt gebracht hatten, fiel der Preis über die 1990er Jahre hinweg ab (USGS 1998). Dieser Preisverfall veranlasste Russland 1997, Kapazitäten abzubauen: Die russische Förderung sank zwischen 1996 und 1998 von 11 000 t auf 7 000 t (BGR 2005). Dadurch stiegen die Vanadiumpreise bereits merklich an, bevor vom wieder anziehenden Stahlmarkt eine zusätzliche Nachfrage nach Vanadium ausgelöst wurde (DME 2002). Andere Förderländer reagierten durch einen signifikanten Ausbau ihrer Fördermenge. Südafrika erhöhte die Vanadiumförderung zwischen 1996 und 1998 um 35 %, um sie bis 2003 sogar beinahe zu verdoppeln. Da auch Australien, das bis dato nicht zu den Vanadiumproduzenten gehörte, innerhalb eines Jah-

res 7 % der Weltförderung bereitstellte, konnte die durch den Stahlboom ausgelöste starke Nachfragesteigerung Anfang des Jahrtausends mehr als aufgefangen werden (DME 2002, BGR 2005).

Hinzu kommt, dass die Stahlnachfrage vor allem in China entstand, wo der hergestellte Stahl bis dato nicht die Qualität westlicher Produzenten erreichte. Der Vanadiumbedarf für solche Stähle ist niedriger (MW 2003). Das Angebot wuchs dadurch schneller als die Nachfrage. Die entstehenden Überkapazitäten lösten bis 2003 sogar einen Verfall des Vanadiumpreises aus. Infolgedessen wurden erneut Kapazitäten abgebaut (MB 2003b). Australien fuhr seine Produktion sogar fast vollständig wieder zurück (BGR 2005).

Folge dieses zyklischen Angebotsverhaltens ist, dass das Angebot die in den letzten beiden Jahren massiv steigende Nachfrage nicht bedienen konnte und der Preis somit in die Höhe schnellte (USGS 2006). Es war außerdem zu beobachten, dass das Wachstum des Vanadiumverbrauchs in China wesentlich höher war, als das der Stahlproduktion. Während die Stahlproduktion von 2003 auf 2004 um 15 % gestiegen ist, verzeichnete der Vanadiumverbrauch ein Wachstum von 67 % (MMR 2006). Offenbar wurden in China verstärkt höherwertige Stähle produziert. Eine weitere Ursache für die ab 2003 beginnende Hausse war die massive Nachfrage aus der Raumfahrt (USGS 2006).

Reale Vanadiumpreise in US \$/t und Weltjahresproduktion in 1 000t (USGS 2005, USGS 2006)



Etwa 90 % der Vanadiumproduktion fließt als Ferrovanadium in die Stahlverarbeitung. Die entscheidende Determinante für die Nachfrage nach Vanadium ist somit die globale Stahlnachfrage (MW 2003). Für die Weltstahlproduktion wird gegenwärtig bis 2015 ein jährliches Wachstum von 5 % erwartet. Diese Prognose liegt damit 1 Prozentpunkt über dem zwischen 1994 und 2004 verzeichneten jährlichen Wachstum (DBR 2005). Vor allem die chinesische Produktion wird das Wachstum nach oben treiben. Steigt dort der Anteil hochwertiger Stähle erwartungsgemäß weiter an, kann das der Vanadiumnachfrage einen zusätzlichen Schub geben. Eine entsprechende Entwicklung war bereits in den letzten beiden Jahren zu beobachten (MMR 2006). Die im Anhang C erfolgte Abschätzung des Wachstums des Primärvanadiumbedarfs ergab einen Anstieg um 45 % bis 79 %. Dies ist etwa im Rahmen des Verbrauchsanstiegs der vergangenen 20 Jahre bzw. etwas darüber.

Bemerkenswert ist, dass die durch das hohe Weltwirtschaftswachstum ausgelöste Vanadiumnachfrage aus eben demselben Grund auch befriedigt wird, denn das Weltwirtschaftswachstum sorgt gleichzeitig für eine hohe Öl- und Kohlenachfrage und ein entsprechendes Angebot, da **Vanadium** größtenteils als **Kuppelprodukt** aus der Gewinnung anderer Rohstoffe wie Öl und Kohle resultiert.

Mittelfristig werden die - verglichen mit den Jahren 1999 bis 2002 - nach wie vor hohen Preise den Kapazitätsausbau weiterhin stimulieren und zur Ausweitung des Angebots führen (MMR 2006). Folglich wird von zunächst leicht sinkenden Preisen ausgegangen (WV Stahl 2006). MMR (2006) rechnet überdies damit, dass die gegenwärtig stattfindenden Ausbaumaßnahmen der Produktionskapazitäten für ein elastisches Angebot sorgen. Hohe Preisausschläge wie jener Mitte 2005 könnten damit in Zukunft möglicherweise vermieden werden.

Wegen der weiter wachsenden Stahlproduktion kann langfristig mit Preisen gerechnet werden, die über denen der Jahrtausendwende liegen. Die leichte Substituierbarkeit von Vanadium mildert allerdings in jedem Fall die Wirkung von exzessiven Preisspitzen, selbst wenn diese in Zukunft wieder einmal auftreten sollten.

8.8 Flussspat

Flussspat ist ein Mineral, das hauptsächlich zur Produktion von Fluor Verwendung findet. Als Synonym für Flussspat ist auch Fluorit gebräuchlich. Unbehandelter Flussspat enthält zwischen 25 % und 30 % Calciumfluorid. Dieser Anteil kann durch Konzentrationsprozesse gesteigert werden, indem Verunreinigungen und unerwünschte Beimengungen entfernt werden. In Abhängigkeit des Calciumfluoridanteils werden die Flussspatqualitäten Hütten-, Säure-, Keramik- und Kristallspat unterschieden.

Flussspatqualitäten und deren Calciumfluoridanteil (cefic 2005:5)

	Haupteinsatzgebiet	Calciumfluoridanteil
Flussspat		25 % bis 30 %
Hüttenspat	Stahl- und Gusseisenerzeugung	75 % bis 82 %
Keramikspat	Emaile und Glasuren	94 % bis 97 %
Säurespat	Chemische Industrie	mindestens 97 %
Kristallspat	Optische Anwendungen	mindestens 99 %

Verwendung

Die Benennung der Flussspatqualitäten entspricht den traditionellen Einsatzgebieten. Hüttenspat wird in der Stahlproduktion zur Senkung des Schmelzpunktes und zur Erhöhung der Fließfähigkeit der Schlacke angewendet. Säurespat findet in der chemischen Industrie zur Herstellung von Fluorwasserstoff sowie zur Herstellung von synthetischem Kryolith und Aluminiumfluorid für die Aluminiumindustrie Verwendung, während Keramikspat in der Produktion von Emaille und Glasuren eingesetzt wird. (BGR 2003a:74). Kristallspat wird zur Herstellung von Gläsern und Linsen im Bereich der Spektroskopie verwendet und findet Anwendung in Hochenergie-Lasersystemen (Lorenz W., Gwosdz W. 2003:74).

Verwendung

Der überwiegende Teil des Säurespates wird in der chemischen Industrie verarbeitet. Unter Hinzugabe von Schwefelsäure wird daraus Fluorwasserstoff produziert. 60 % des Fluorwasserstoffes wird für die Produktion von Fluorkohlenwasserstoffen und Fluorpolymeren eingesetzt (cefic 2005:9). Fluorpolymere basieren zumeist auf Kombinationen von Fluorkohlenstoffen und zeichnen

Verarbeitende
Industrien

sich durch Feuerbeständigkeit und Isoliervermögen aus. Ein prominentes Beispiel für ein Fluorpolymer ist Teflon (cefic 2005:6).

Anwendungsgebiete von Fluorwasserstoff (ASTDR 2003:199)

	Anteile
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und Fluorpolymere	60,0 %
sonstige Chemikalien	18,0 %
Aluminiumherstellung	6,0 %
Stahlbeizen	5,0 %
Petrochemie	4,0 %
Urananreicherung	3,0 %
Übrige	4,0 %
Insgesamt	100,0 %

Halogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) kommen nicht mehr zum Einsatz. Übergangsweise wurde FCKW durch teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FCKW) und schließlich durch chlorfreie Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) ersetzt. Letztere dienen als Kältemittel und dem Verschäumen von Kunststoffen. FKW finden Anwendung vom Haushaltsgerätebereich über die Bauwirtschaft, die Lebensmittelverarbeitung und den Verpackungsbereich bis hin zur Kältetechnik.

Die Elektronikindustrie nutzt Fluorwasserstoff zur Herstellung von Halbleitern. Zudem findet es Anwendung in der Aluminiumgewinnung aus Bauxit und dient der Oberflächenbehandlung von Metallen zur Entfernung von Verunreinigungen. Fluorwasserstoff ist darüber hinaus ein Katalysator in der Petrochemie und Bestandteil pharmazeutischer Produkte und von Pflanzenschutzmitteln (cefic 2005:6-7). Beispielsweise werden Zahnpasten Fluorverbindungen zur Kariesprophylaxe beigemischt (cefic 2005:9).

Nachfrage

Weltweit lag der Verbrauch an Flussspat 2004 bei ca. 4,5 Mio. t (Cefic 2005). Mit einem Anteil von rund einem Drittel am weltweiten Flussspatverbrauch war China 2002 mit weitem Abstand vor den USA größter Verbraucher. Innerhalb der EU ist Frankreich der einzige Netto-Exporteur von Fluorit. In den USA und Kanada wurden die letzten Bergwerke 1993 geschlossen. Japan als drittgrößter

[Weltweiter Fluoritverbrauch](#)

Flussspatverbraucher besitzt keine Ressourcen. Demzufolge wird über 50 % international gehandelt. Weltweit erreichte der Flussspatverbrauch Ende der 80er Jahre seinen bisherigen Höhepunkt. Anfang der 90er Jahre sank der weltweite Flussspatverbrauch deutlich und erreichte 1994 mit ca. 3,9 Mio. t seinen Tiefstand. Dies ist insbesondere auf die Umsetzung des Montrealer Protokolls zurückzuführen, in dem sich die beteiligten Staaten zum Ausstieg aus der Produktion voll halogener Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) verpflichteten. Dadurch kam es zur Schließung vieler Bergwerke. Mit der Einführung von FCKW-Ersatzstoffen, den teilhalogenierten FCKW und letztendlich den chlorfreien Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) ist die Nachfrage nach Fluorit wieder deutlich gestiegen, da die derzeit verwendeten Fluorkohlenwasserstoffe bis zu dreimal mehr Fluorwasserstoff benötigen als die bisherigen. In den letzten 10 Jahren ist demzufolge ein stetiger Anstieg des Verbrauchs zu verzeichnen gewesen.

Entwicklung des weltweiten Flussspatverbrauchs in 1 000 t (BGR 2005)

	1998	1999	2000	2001	2002
China	1 034	1 009	1 042	1 341	1 443
USA	452	398	476	501	477
Japan	545	535	562	519	396
Russland	345	324	361	396	312
Deutschland	305	309	283	281	285
Mexiko	300	252	288	288	285
Italien	209	223	264	259	185
Spanien	151	140	146	152	158
Kanada	186	170	180	164	154
Indien	89	80	67	112	89
Südkorea	78	84	92	74	82
Übrige	770	626	688	633	801
Welt	4 464	4 150	4 449	4 720	4 667

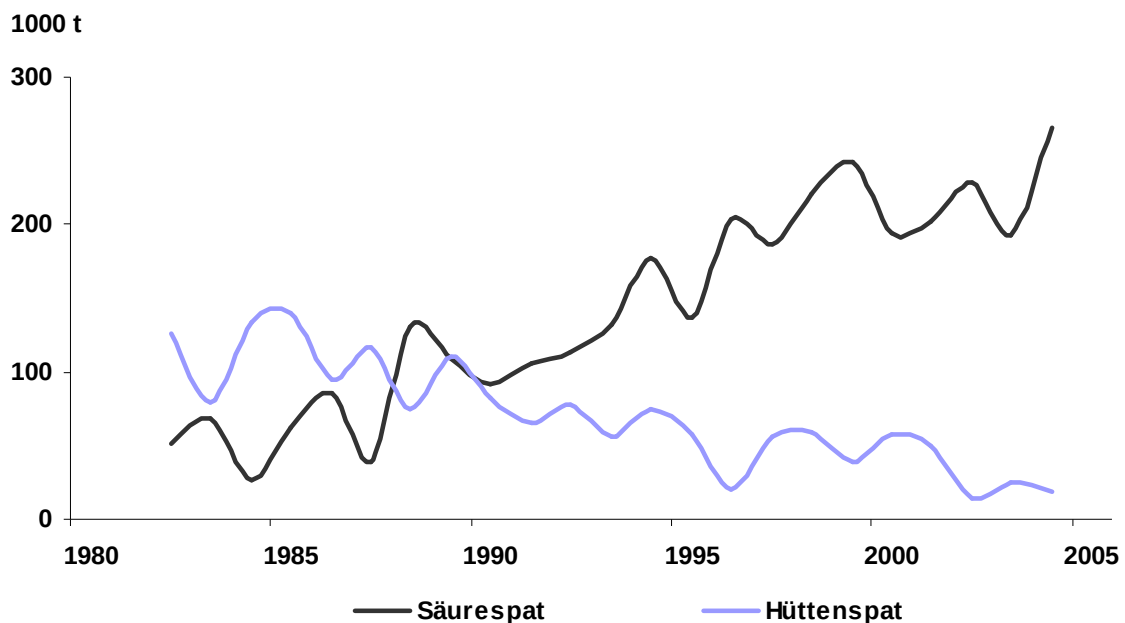
Deutschland gehört weltweit zu den größten Verbrauchern an Flussspat. Der inländische Verbrauch schwankte in der letzten 25 Jahren zwischen 230 000 t und 320 000 t und lag 2005 bei rund 276 000 t. Davon entfallen in etwa 258 000 t auf Säurespat und lediglich etwa 18 000 t auf Hüttenspat. Bis Mitte der 1980er Jahre wurde vorwiegend Hüttenspat verbraucht. Heute dominiert

Inländischer
Verbrauch

der Säurespatverbrauch den Flussspatverbrauch (BGR 2005). Auch in der Metall verarbeitenden Industrie wird Säurespat mittlerweile neben dem traditionell genutzten Hüttenspat eingesetzt (USGS 1999a:2).

Die Importe reflektieren den Trend zu höheren Säurespatanteilen. [Nettoimporte](#)
Der Anteil der heimischen Förderung reduzierte sich zwischen 1980 und 2004 von 30 % auf 10 %.

Nettoimporte an Säure- und Hüttenspat in 1 000 t (BGR 2005)



90 % der Säurespatimporte erfolgen aus Südafrika, China und Namibia.

Importquellen Säurespat (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	0	67 549	92 185	33,6 %
China	1 000	22 268	86 345	31,4 %
Namibia	0	14 772	69 363	25,3 %
Kenia	0	21 605	18 205	6,6 %
Mongolei	0	0	4 938	1,8 %
Frankreich	2 829	492	1 509	0,6 %
Tschechien	0	4 786	1 307	0,5 %
Übrige	66 487	10 317	732	0,3 %
Insgesamt	70 316	141 789	274 584	100,0 %

Der Herfindahlindex für die Konzentration der Säurespatimporte zeigt mit einem Wert von 0,28 eine relativ starke Konzentration an.

Nach Deutschland importierter Hüttenspat stammt zu fast 98 % aus China. Der Herfindahlindex zur Konzentrationsmessung liegt bei 0,95. Allerdings macht der Hüttenspatverbrauch nur noch einen kleinen Teil des Flussspatverbrauchs aus.

Importquellen für Hüttenspat in t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	32 377	53 441	26 846	97,7 %
Tschechien	0	10 572	331	1,2 %
Frankreich	0	1 972	284	1,0 %
Iran	0	0	20	0,1 %
Belgien	0	0	6	0,0 %
Belgien/Luxemburg	147	0	0	0,0 %
Großbritannien	201	0	0	0,0 %
Italien	11 418	0	0	0,0 %
Namibia	30 913	1	0	0,0 %
Übrige	72 229	14 085	0	0,0 %
Insgesamt	147 285	80 071	27 487	100,0 %

Während die Hüttenspatimporte 2004 fast vollständig aus China stammten, war dies 1985 nur zu knapp 22 % der Fall. Umgekehrt stammten 1984 noch 11,5 % des Hüttenspats aus Europa, so waren es 2004 noch 2,2 %. Säurespat wurde 2004 zu mehr als 30 % aus China importiert, während 1985 lediglich 1,4 % der Importe von dort stammten. Gleichzeitig hat die Bedeutung der Versorgung mit Säurespat aus europäischen Ländern abgenommen. Während 1984 mehr als 60 % des Säurespates aus dem europäischen Ausland erfolgte, lag dieser Anteil 2004 nur noch bei 0,6 %.

Mit einem gewogenen Risikowert für das politische und wirtschaftliche Risiko von 0,07 ergibt sich bei Säurespat eine vergleichsweise sichere Versorgungssituation. Bei einer Skala, die von -2,24 für Somalia und 2,04 für Island reicht, ist die Situation, als ob sämtliche Säurespatimporte aus Panama stammten.

Importquellen und Versorgungsrisiko für Säurespat in 2004 (BGR 2005, Weltbank)

	Anteile	Risikowert	gewogener Risikowert
Südafrika	33,6 %	0,34	0,11
China	31,4 %	-0,28	-0,09
Namibia	25,3 %	0,32	0,08
Kenia	6,6 %	-0,81	-0,05
Mongolei	1,8 %	-0,02	-0,00
Frankreich	0,5 %	1,13	0,01
Tschechien	0,5 %	0,69	0,00
USA	0,1 %	1,38	0,00
UK	0,1 %	1,6	0,00
Italien	0,0 %	0,65	0,00
Insgesamt	100,0 %		0,07

Je nach Einsatzgebiet kann Flussspat durch andere Stoffe ersetzt werden. Kryolith, Sellait und Villiaumit stellen Flussspatsubstitute mit geringer wirtschaftlicher Bedeutung dar (Lorenz W., Gwosdz W. 2003:69). Versuche, statt Hüttenspat Substitute wie Colemanit, als Flussmittel zu verwenden, waren bisher nicht sehr erfolgreich. Zum Teil werden auch Flussmittelgemische mit Fluorit als Basis eingesetzt. Borate, Kalk- und Dolomitstein, Bauxit, Olivin, Serpentin, Mangan- oder Ferromanganerze, Titanerze und Soda sind als Substitute für Hüttenspat bedingt geeignet. Ein Teil des Fluorbedarfs kann auch aus den bei der Nassphosphorsäure-Herstellung anfallenden Fluor-Silizium-Verbindungen gedeckt werden. Substitute

Im Bereich der Kältetechnik besteht die Möglichkeit, Buthan und Propan als Substitut für Fluorkohlenwasserstoffe zu verwenden. Allerdings weisen diese Stoffe negative Eigenschaften wie höhere Entflammbarkeit und geringere Effizienz auf. Der British Geological Survey hält es dennoch für möglich, dass sich die Substitute Buthan und Propan im Bereich der Kältetechnik durchsetzen könnten (BGS 2005a). In der Aluminiumproduktion wirkt die Substituierung von Aluminiumfluorid durch Hexafluorkieselsäure bereits dämpfend auf die Nachfrage.

Angebot

Wirtschaftlich sind gegenwärtig etwa 237 Mio. t gewinnbar (USGS [Reserven](#) 2006:65). Südafrika und Mexiko verfügen mit 17,3 % bzw. 13,5 % über die größten Anteile an Flussspatreserven, gefolgt von China mit 8,9 % und der Mongolei mit 5,1 %. Damit entfallen knapp 45 % auf die vier reservenreichsten Länder. Die übrigen Länder weisen Anteile von weniger als 5 % auf. Die Konzentration der Flussspatreserven ist somit begrenzt: Der Herfindahlindex weist einen geringen Wert von unter 0,07 auf.

Weltweite Flussspatreserven nach Ländern im Jahr 2004 (USGS 2006:65)

	in Mio. t	Anteile	kumulierte Anteile
Südafrika	41,0	17,3 %	17,3 %
Mexiko	32,0	13,5 %	30,8 %
China	21,0	8,9 %	39,7 %
Mongolei	12,0	5,1 %	44,7 %
Frankreich	10,0	4,2 %	48,9 %
Spanien	6,0	2,5 %	51,5 %
Namibia	3,0	1,3 %	52,7 %
Kenia	2,0	0,8 %	53,6 %
Übrige	110,0	46,4 %	100,0 %
Insgesamt	237,0	100,0 %	

Die Flussspatressourcen werden auf etwa 480 Mio. t geschätzt ([USGS 2006:65](#)). Neben Flussspat hat insbesondere Fluorapatit, das in sedimentären Phosphatlagerstätten und in Apatitlagerstätten vorkommt, als Fluorträger Bedeutung (Lorenz W., Gwosdz W. 2003:69). Schätzungen des USGS gehen davon aus, dass weltweit etwa 18 Mrd. t Phosphatgesteine mit einem Fluorgehalt von etwa 630 Mio. t existieren. Der in der geschätzten Menge in den Phosphatgesteinen gebundene Fluorgehalt entspricht einem Flussspatäquivalent von ungefähr 1,3 Mrd. t (USGS 2006). Dies entspricht dem 2,6-fachen der bekannten Flussspatressourcen. Cissarz et al. (1974) schätzen den Fluorgehalt in den Phosphatlagerstätten auf 1,8 Mrd. t. Dies stellt ein Flussspatäquivalent von 3,7 Mrd. t dar (Lorenz W., Gwosdz W. 2003).

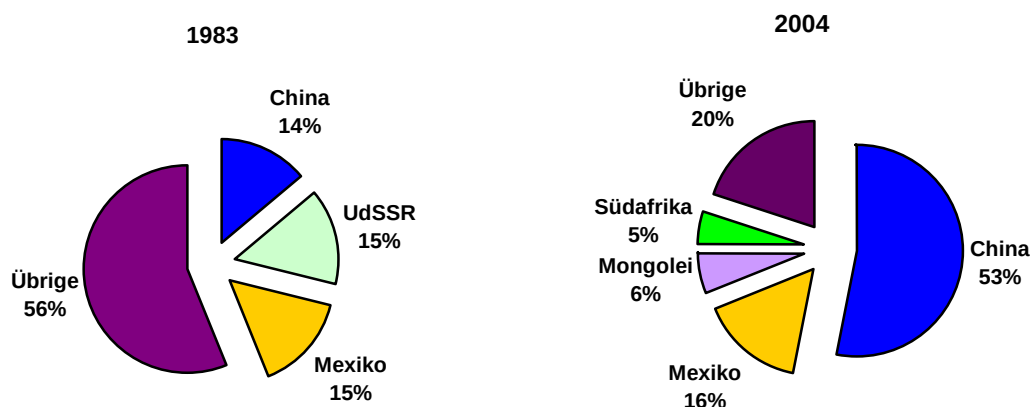
2004 wurden weltweit etwa 5,06 Mio. t Flussspat gefördert (BGR Weltförderung 2005). Verglichen mit der Förderung von 1994 entspricht dies einer Steigerung um knapp 30 % (BGR 2005).

Weltweite Flussspatförderung in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	350	850	2 000	2 700	53,4 %
Mexiko	1 089	697	523	808	16,0 %
Mongolei	121	176	120	295	5,8 %
Südafrika	203	349	196	265	5,2 %
Russland	0	0	250	170	3,4 %
Spanien	335	290	118	140	2,8 %
Kenia	55	58	74	108	2,1 %
Namibia	0,	0	37	105	2,1 %
Frankreich	318	224	130	90	1,8 %
Marokko	47	74	106	81	1,6 %
Übrige	1 919	1 627	617	294	5,8 %
Insgesamt	4 436	4 345	4 171	5 055	100,0 %

Nahezu 70 % der weltweiten Förderung an Flussspat wurde 2004 von China und Mexiko erbracht, wobei China über die Hälfte der weltweiten Fördermenge bereitstellte. Konzentration der Förderung

Anteile der Länder an der Flussspatförderung 1983 und 2004 (BGR 2005)



Auf die fünf bedeutendsten Produzentenländer China, Mexiko, Mongolei, Südafrika und Russland entfielen nahezu 84 % der Förderung. Spanien und Frankreich sind die größten Förderländer Europas. Die chinesische Flussspatproduktion wies in den letzten Jahren ein deutliches Wachstum auf. Der Anteil an der weltweiten

Produktion erhöhte sich zwischen 1983 und 2004 von 14 % auf über 53 %. Der Herfindahlindex zur Messung der Konzentration in der Weltförderung liegt bei 0,32 und spiegelt die Dominanz Chinas wider. China ist mit 2,7 Mio. t nicht nur der bedeutendste Fluoritproduzent. Das Land entwickelt sich auch zu einem bedeutenden Fluoritkonsumenten. Das Exportvolumen Chinas lag 2005 bei 750 000 t.

Bei Division der Reserven von 237 Mio. t bzw. der Ressourcen von 480 Mio. t durch die Fördermenge von 5,06 Mio. t ergibt sich eine Statische Reichweite von ca. 47 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 95 Jahren.

Reichweiten

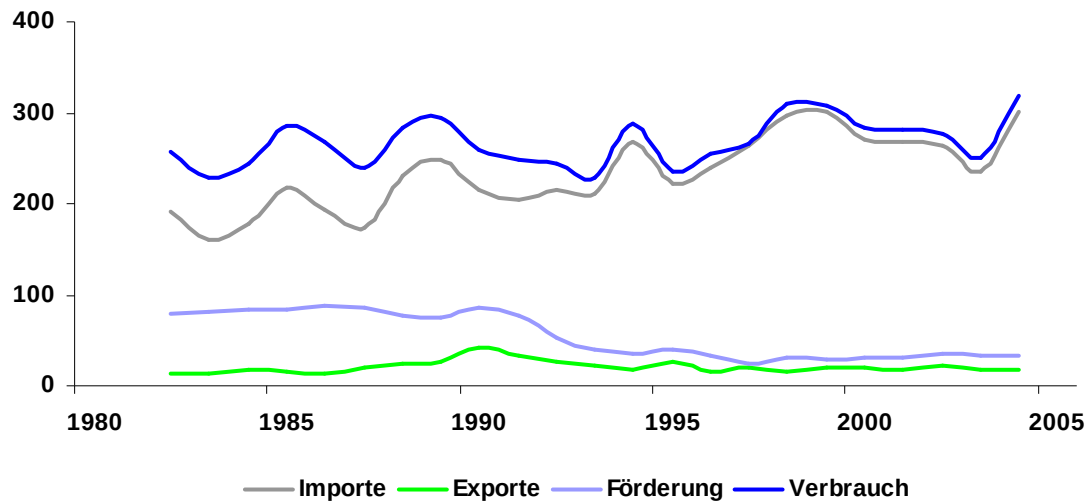
Der größte Fluoritproduzent kommt aus Mexiko. Annähernd 10 % bzw. 500 000 t der weltweiten Flussspatförderung werden von einer mexikanischen Firma erbracht. Es gibt zahlreiche weitere bedeutende Produzenten mit einem Fördervolumen um die 100 000 t, vor allem aus der Mongolei und China, aber auch aus Russland, Spanien, Mexiko, Südafrika und Kenia (Crossley 2004). Die Flussspatproduktion ist demzufolge auf eine große Anzahl von Unternehmen verteilt, so dass der Markt als nicht konzentriert bezeichnet werden kann.

Unternehmens-
konzentration der
Förderung

1954 erreichte die Produktion von Flussspat in Westdeutschland mit 173 000 t ihren Höhepunkt, bevor sie bis 1990 auf etwa 85 000 t sank (BGR 2005). Mit der Wiedervereinigung kam es zur Schließung der ostdeutschen Bergwerke. Die Produktion ging 1991 auf ca. 76 500 t zurück und erreichte 1997 infolge der Schließung des Bergwerkes Käfersteige einen Tiefststand von ca. 24 000 t. Seitdem ist die Grube Clara die einzige fördernde Grube in Deutschland. 2005 wurde bei Gehren in Thüringen ein neues Bergwerk eröffnet, eine Förderung erfolgt bisher nicht.

Produktion von
Flussspat in
Deutschland

Verbrauch, Importe, Exporte und heimische Förderung von Flussspat in 1 000 t (BGR 2005), ab 1991 Gesamtdeutschland



Während das Recycling von Flussspat auf Nischenbereiche beschränkt ist, gilt dies nicht für das Hauptprodukt, die Fluorwasserstoffsäure (BGS 2006:6). Bei einer ordnungsgemäßen Altautoentsorgung wird das Kältemittel der Klimaanlage vor dem Schreddern der Karosse entzogen. Das gebrauchte Kältemittel ließe sich aufbereiten und wieder verwenden. Inwieweit dies geschieht, ist unbekannt. Bei der Rauchgaswäsche in der Metallverhüttung wird Fluorwasserstoffsäure ausgewaschen und zum Teil einer Aufbereitung und Verwendung zugeführt. Ein Teil der eingesetzten Fluorverbindungen geht unwiederbringlich verloren, etwa durch Verdunsten von Kältemitteln, in Schmelzprozessen und bei Trinkwasserzusätzen. Insgesamt ist das wirtschaftliche Recyclingpotential als begrenzt einzuschätzen. Nach Angaben des USGS werden in den USA einige tausend Tonnen Flussspat pro Jahr zurück gewonnen (USGS 2006). Das sind weniger als 1 % des Flussspatverbrauchs in den USA, der 600 000 t pro Jahr beträgt.

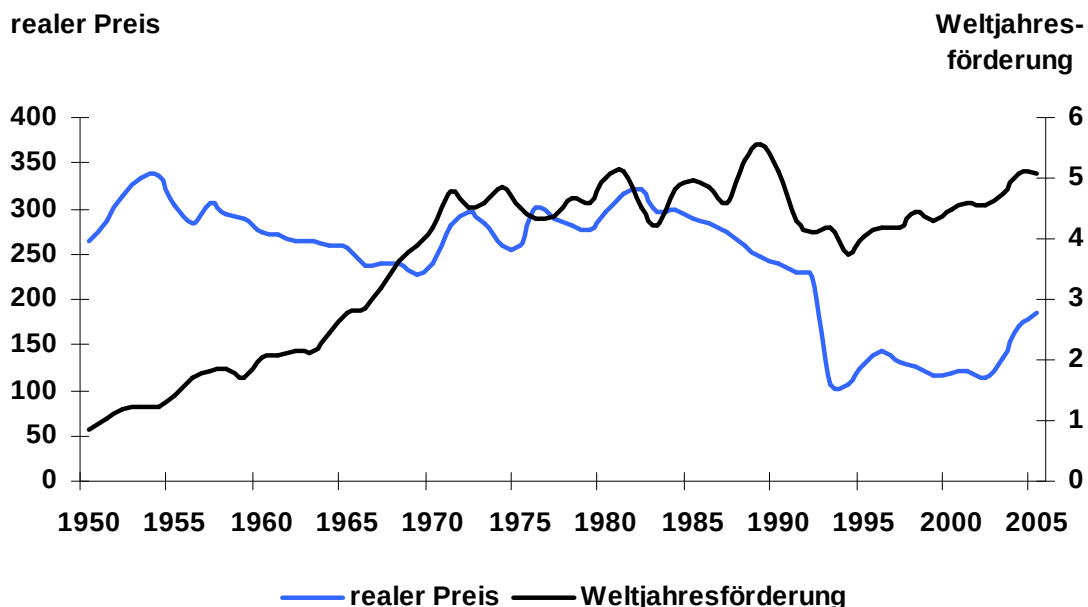
[Recycling](#)

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

Zwischen 1950 und 2004 hat sich das weltweite Fördervolumen versechsfacht. Zum Januar 2006 lag der Preis für eine Tonne trockenen Säurespates bei 235 US \$ (BGR 2005). 2003 betrug der Nominalpreis für eine Tonne chinesischen Säurespats CIF US Gulf Port 153 US \$. 2004 lag er bei 197 US \$, um 2006 die Marke von 235 US \$ zu erreichen (BGR 2005). Die momentane Dominanz von chinesischem Fluorit auf dem Weltmarkt wirkt sich seit etwa 1990 deutlich auf die Preisentwicklung aus. Obwohl im Jahre 1993 Europa und die USA Exportsteuern mit China aushandelten sowie Fluorit aus China mit Antidumpingzöllen belegten, zeigten diese Maßnahmen nur wenig Erfolg (WVB 2005:36). Die Preise blieben auf relativ niedrigem Niveau. Erst seit 2003 sind steigende Preise aufgrund der anhaltend hohen Nachfrage aus China und deshalb sinkender chinesischer Exporte zu verzeichnen. Die Antidumpingzölle der EU liefen im September 2005 aus.

Historische Preis-
und Förderent-
wicklung

Reale Flussspatpreise in US \$/t und Weltjahresförderung in Mio. t (USGS 2005, BGR 2005)



Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) besitzen stark negative Auswirkungen auf die Ozonschicht. Mit der Verabschiedung des Montrealer Protokolls wurde 1987 der Einsatz dieser Stoffe auf Bereiche beschränkt, für die keine Substitute existieren. Als Ersatz werden nun chlorfreie Stoffe eingesetzt, deren Fluoranteil höher

Nachfragetrends

ausfällt. Damit ist sowohl der markante Rückgang in der weltweiten Fluoritproduktion Anfang der 90er mit den damit verbundenen erheblichen Rationalisierungen in der Produktion sowie Bergwerkstilllegungen als auch die steigende Nachfrage an Fluorit zur Herstellung von FCKW-Ersatzstoffen in den Folgejahren erklärt.

Die chemische Industrie, weltweit der bedeutendste Abnehmer an Fluorit, verbrauchte 2003 ca. 1,8 Mio. t Fluorit. Die Hälfte davon ging in die Produktion von Fluorkohlenwasserstoffe. Der Rest verteilt sich auf weitere chemische Anwendungen sowie Anwendungen in den Bereichen Metallurgie, Landwirtschaft, Medizin u. a. Eine weitere bedeutende Anwendung liegt in der Aluminiumproduktion. Auch dort muss in den nächsten Jahren mit einer erhöhten Nachfrage gerechnet werden (BGS 2005a). Die Nachfrage von Fluorit ist im Bereich der Produktion von Fluorpolymeren und Fluorelastomeren zurzeit sehr stark, so dass 2006 mit einem Wachstum von 5 % gerechnet wird. Die Plastik- und Elektronikindustrie macht verstärkten Gebrauch von Fluorpolymeren. Dies lässt sich auf deren Eigenschaften hinsichtlich von Hitze- und chemischer Resistenz, geringem Reibungswiderstand und elektrischer Isolierfähigkeit zurückführen (BGS 2006).

Der USGS (2004c:5) geht für Nordamerika von weiterhin starker Nachfrage nach Flussspat infolge des wachsenden Bedarfs nach fluorhaltigen Kühlmitteln und starkem Wachstum auf den Märkten für Fluorpolymere als auch Fluorelastomere aus. Ein stark wachsender Anwendungsbereich der Fluorchemie stellt die Herstellung von Flachbildschirmen und Halbleitern dar. In diesen Bereichen wird das fluorhaltige Gas Stickstofftrifluorid zu Reinigungszwecken eingesetzt (BGS 2006). Insgesamt wurde daher im Anhang C mit einem um 50 % bis 70 % steigenden Bedarf bis 2025 gerechnet.

Bei der Herstellung von Phosphatdünger aus Phosphorsäure entstehen Fluoremissionen (BGS 2006:6). Sofern staatliche Regulierungen den Einsatz von end-of-pipe-Technologien erzwingen, um diese Emissionen zu vermeiden, könnte dies zu einer Erhöhung der Angebotsmenge an Fluorwasserstoff führen (Sinden 2000:49) und somit die Nachfrage nach Flussspat senken.

Auf der Produktionsseite haben die geringeren Exporte an Fluorit aus China sowie der allgemeine Nachfrageanstieg zu Produktionserhöhungen in Mexiko, der Mongolei und dem Iran geführt. Da-

Angebotstrends

neben gibt es neue Bergwerksprojekte u. a. in Vietnam und West-australien sowie Pläne zur Wiederinbetriebnahme der Burin-Mine in Kanada. Das Thüringer Bergwerk in Gehren ist bereits erschlossen und kann jederzeit die Förderung aufnehmen. In den nächsten Jahren ist daher weltweit mit Produktionssteigerungen von jährlich 0,5 % für Fluorit bzw. 0,9 % für Säurespat zu rechnen (Industrial Minerals 2005).

8.9 Tantal

Tantal ist ein Übergangsmetall mit hohem Schmelzpunkt, das leicht zu bearbeiten ist, eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweist und einen guten Leiter für Elektrizität und Wärme darstellt (USGS 2005b). Es wird direkt durch den Abbau des tantalhaltigen Erzes Tantalit oder als Nebenprodukt durch die Aufarbeitung von tantalhaltigen Zinnschlacken gewonnen (GSWA 2004:6). Der Abbau von Tantalit erfolgt im Wesentlichen im Tagebau.

Tantal kommt ausschließlich in Verbindung mit Niob vor. Die Trennung beider Elemente ist aufwendig und erfolgt mittels chemischer Verfahren. Das dabei gewonnene Tantalpulver wird für die Herstellung von Kondensatoren oder auch zur metallurgischen Verarbeitung verwendet.

Weltweit existieren nur acht Unternehmen, die das geförderte Erz zu Pulvern, Barren, speziellen Legierungen oder Chemikalien verarbeiten.

Verwendung

Tantal wird überwiegend im Bereich der Elektronik eingesetzt. Neben der Herstellung von Kondensatoren mit hohen Kapazitäten, auf die etwa die Hälfte des Tantalverbrauchs entfällt, werden daraus Drähte hergestellt, die die Tantalkondensatoren mit den Mikroschaltkreisen verbinden. Tantal wird zudem zur Herstellung von hochfesten und -schmelzenden Legierungen eingesetzt. Als Legierungszusatz wird es zur Herstellung karbidhaltiger Werkzeug- und Schneidstähle, zur Herstellung von Superlegierungen, in der chemischen Prozessindustrie und für Raketenteile verwendet.

Primäre Verwendung

In der Medizin kann Tantal verwendet werden, um die Helligkeit von Röntgenbildern zu erhöhen. Damit könnte die Röntgenstrahlung je Aufnahme gesenkt werden (GSWA 2004:54). Da Tantal nicht mit Körpergeweben und -flüssigkeiten reagiert, findet es auch Anwendung bei der Herstellung von medizinischen Instrumenten und Implantaten. Tantalmetalle kommen wegen der Eigenschaft, Neutronen zu absorbieren, als Hitze- und Strahlungsschild in der Atomindustrie zum Einsatz. Zudem werden tantalhaltige Metalle als Transportbehälter für radioaktive Abfälle genutzt (GSWA 2004:54).

Nachfrage

Der Tantalverbrauch hat im Jahr 2000 mit 2 268 t sein Maximum erreicht und ist bereits 2001 mit 1 560 t deutlich geringer ausgefallen (GSWA 2004:60).

[Weltweiter Tantalverbrauch](#)

Tantal wird sowohl in verarbeiteter Form als auch in Form von Schrott importiert. Das Importvolumen an Tantalmetallen stieg zwischen 1985 und 2004 von 36,1 t auf 138,1 t. 2004 machte der Wert der Metallimporte 32,7 Mio. € aus. Es ergab sich eine zunehmende Diversifikation der Importquellen: 1985 gab es lediglich einen bedeutenden Versorger, 1995 bereits zwei große Lieferantenländer, 2004 schließlich sogar vier größere Versorger. Deutschland ist insgesamt Nettoexporteur von Tantalprodukten und exportierte 2004 etwa 294 t Tantalmetalle im Wert von 83 Mio. € (STABUA 2004).

[Nettoimporte](#)

2004 bezog Deutschland aus insgesamt acht Ländern Tantalmetall, wobei vier Lieferantenländern so gut wie keine Bedeutung beizumessen ist. Die vier bedeutendsten Bezugsländer, Japan, Kasachstan, USA und Estland, lieferten zusammen mehr als 97 % des Tantalmetalls. Der Herfindahlindex zur Konzentrationsmessung liegt bei knapp 0,36 und spiegelt die hohe Konzentration auf wenige Importquellen wider.

Importe von Tantalmetall in t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Japan	0,1	33,7	74,8	54,2%
Kasachstan	0,0	6,6	23,8	17,3%
USA	29,2	21,7	22,1	16,0%
Estland	0,0	0,0	13,5	9,8%
Thailand	0,0	0,0	1,6	1,2%
Großbritannien	0,1	0,7	1,3	1,0%
China	0,0	0,0	0,7	0,5%
Portugal	0,0	0,0	0,2	0,1%
Übrige	6,7	2,3	0,0	0,0%
Insgesamt	36,1	64,9	138,1	100,0%

Die Bezugsländer Japan, USA und Estland sind politisch und wirtschaftlich als stabil einzuschätzen, so dass 80 % der Importe aus

sicheren Quellen stammen. Kasachstan schneidet in der politischen wie auch wirtschaftlichen Bewertung deutlich schlechter ab.

Neben Tantalmetall wird Schrott zwecks Wiederaufbereitung importiert. Hauptlieferanten von Tantalschrott waren Großbritannien, die USA, Japan und Rumänien und Portugal, welche 2004 einen Anteil von knapp 94 % an den Tantalschrottimporten hatten. Der Herfindahlindex zur Konzentrationsmessung liegt bei 0,26 und zeugt ebenfalls von einer hohen Konzentration. Von den fünf wichtigsten Importländern können mit Großbritannien, den USA, Japan und Portugal vier als politisch und wirtschaftlich stabil eingeordnet werden. Rumänien wird mit einem Risikowert von -0,08 als politisch und wirtschaftlich deutlich schlechter beurteilt. Insgesamt stammen jedoch mehr als 85 % der Schrottlieferungen aus unbedenklichen Quellen.

Importe von Tantalschrott in t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
UK	7,6	32,3	38,9	39,8%
USA	78,1	11,8	26,9	27,5%
Japan	2,6	1,8	9,9	10,1%
Rumänien	0,0	0,0	9,7	9,9%
Portugal	0,0	0,0	6,4	6,6%
Südkorea	0,0	0,0	1,7	1,8%
Österreich	7,8	12,5	1,6	1,6%
China	0,0	0,0	1,0	1,0%
Tschechien	0,0	0,8	0,6	0,6%
Litauen	0,0	3,1	0,5	0,5%
Übrige	32,5	31,8	0,5	0,5%
Insgesamt	128,6	94,0	97,7	100,0%

Angebot

Die weltweiten Reserven wurden 1999 auf etwa 19 000 t geschätzt. Für 2004 werden sie nur für Brasilien und Australien angegeben und zusammen auf etwa 43 000 t beziffert (USGS 1999b, USGS 2006). Die tatsächliche Menge an Reserven liegt oberhalb dieses Wertes, da in anderen Förderländern wie Mosambik, Kongo oder Kanada ebenfalls Reserven vorhanden sind. Der Geological Survey of Western Australia (GSWA) geht davon aus, dass Austra-

Reserven

lien 75 % der weltweiten Reserven aufweist. Hochgerechnet ergibt sich damit eine weltweite Reservenmenge von ungefähr 57 000 t (GSWA 2004:57).

Wurden die weltweiten Ressourcen 1999 auf mehr als 24 000 t beziffert, so werden sie aktuell auf 150 000 t geschätzt (USGS 1999b, USGS 2006). [Ressourcen](#)

Die weltweite Förderung von Tantal stieg innerhalb der letzten 10 Jahre um das Vierfache. Mit 1 511 t im Jahr 2004 lag die Förderung nahe des bisherigen Höchststandes des Jahres 2002 (BGR 2005). Allein zwischen 1999 und 2000 hat sich die Förderung verdoppelt. In Deutschland findet keine Tantalerzförderung statt. Roskill (2005) schätzt die gegenwärtige Fördermenge als wenig komfortabel ein: Der Ausfall einer einzigen größeren Mine könnte den Tantalmarkt in Turbulenzen bringen. Neben Tantalerzen bilden Zinnschlacken eine wichtige Rohstoffquelle für Tantal. Rund 13 % der weltweiten Tantalproduktion stammten 2003 aus tantalhaltigen Zinnschlacken, die während der Zinnverhüttung anfallen. Die Tendenz ist jedoch abnehmend (Roskill 2005). [Förderung](#)

Bei Division der geschätzten Reserven von 57 000 t bzw. der Ressourcen von 150 000 t durch die Fördermenge von 1 510 t ergibt sich für 2004 eine Statische Reichweite von etwa 38 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 99 Jahren. [Reichweiten](#)

In der Metallverarbeitung ist eine Substitution von Tantal durch Niobkarbide möglich. Hochwarmfeste Werkstoffe wie Niob, Wolfram, Rhenium, Hafnium, Iridium oder Molybdän könnten in der Luft- und Raumfahrt und dem Fahrzeugbau als Ersatzstoffe eingesetzt werden (GSWA 2004). Glas, Niob, Platin, Titan und Zirkonium können als Substitute bei der Herstellung von korrosionsbeständigen Produkten für die chemische und pharmazeutische Industrie verwendet werden. [Substitution](#)

Prinzipiell ist die Substitution von Tantal in Kondensatoren durch herkömmliche Aluminium-, Niob- oder Keramik Kondensatoren möglich. Da Tantalkondensatoren die höchste Leistungsfähigkeit pro Volumeneinheit besitzen (GSWA 2004:54-55), handelt es sich allerdings nicht um perfekte Substitute. Da ein erheblicher Teil des Tantalverbrauchs auf die Herstellung von Kondensatoren entfällt,

wird in diesem Bereich intensiv nach Ersatzstoffen gesucht. Dabei stellt sich bisher heraus, dass Tantalsubstitute nur einige der notwendigen Eigenschaften in Bezug auf Spannung, Belastbarkeit und Temperatur aufweisen. Schätzungen zufolge könnten Kondensatoren aus Niob etwa 10 % der Tantalkondensatoren ersetzen (GSWA 2004:55). Mittlerweile jedoch ist der Verbrauch von Tantalpulver in Kondensatoren dank des technologischen Fortschritts erheblich gesunken.

Hauptförderländer sind Australien, Mosambik und Brasilien, auf die knapp 83,4 % entfallen. Auf die übrigen 8 der 12 Förderländer entfallen 16,6 %. Der Herfindahlindex zur Konzentrationsmessung liegt bei 0,30 und spiegelt den hohen Konzentrationsgrad wider.

Länderkonzentration der Förderung

Weltweite Tantalförderung in t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
Australien	40,0	274,0	730	48,3 %
Mosambik	4,5	0,0	280	18,5 %
Brasilien	97,2	50,0	250	16,6 %
Kanada	31,9	33,0	69	4,6 %
Kongo	41,3	1,0	60	4,0 %
Ruanda	5,9	0,0	40	2,7 %
Äthiopien	0,0	35,8	35	2,3 %
Nigeria	6,4	3,0	21	1,4 %
Namibia	1,4	0,1	11	0,7 %
Burundi	0,0	0,0	6	0,4 %
Uganda	0,0	1,8	5	0,3 %
Simbabwe	14,1	24,0	4	0,3 %
Übrige	122,6	12,7	0	0,0 %
Insgesamt	365,3	435,4	1 511	100,0 %

Das australische Unternehmen „Sons of Gwalia“ erbringt mehr als 60 % der weltweiten Tantalförderung. Nach eigenen Angaben verfügt dieses Unternehmen über erhebliche Reserven und Ressourcen. Zwischen 1993 und 2003 konnte der Marktanteil des Unternehmens mehr als verdoppelt werden, was zur Konzentration in der Branche maßgeblich beigetragen hat. Hinzu kommt eine ebenfalls kleine Anzahl von Unternehmen, die Tantal aus Zinnschlacken gewinnt (GSWA 2004:41).

Unternehmenskonzentration der Förderung

Tantalerz fördernde Bergbauunternehmen (BGR 2005)

	1993			2003	
	t	Anteile		t	Anteile
Sons of Gwalia	122,0	24,9 %	Sons of Gwalia	765,0	61,2 %
Paranapanema	50,0	10,2 %	Cabot	67,0	5,4 %
McIntosh	32,5	6,6 %			
Pancontinental Mining	32,5	6,6 %			
Cabot	30,0	6,1 %			
Prima Resources	30,0	6,1 %			
Übrige	193,0	39,4 %	Übrige	418,0	33,4 %
Insgesamt	490,0	100,0 %	Insgesamt	1 250,0	100,0 %

Die Verarbeitung von Tantalerzen zu Pulvern, Barren, Drähten oder Rohren wird hauptsächlich von acht Unternehmen aus den USA, China, Japan, Brasilien, Estland und Kasachstan betrieben. In Deutschland ist das Unternehmen H.C. Starck der einzige Verarbeiter (GSWA 2004:41).

[Verarbeitende Unternehmen](#)

Für Deutschland liegen keine Recyclingwerte vor. Mit der Umsetzung gesetzlicher Vorgaben über die Rücknahme und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sollte mit einer deutlichen Zunahme des Tantalrecyclings zu rechnen sein. In den USA liegt die Rate zwischen 10 und 20 %. Verwendet wird hauptsächlich Neuschrott aus der Fertigung von Elektronikbauteilen, sowie Alt- und Neuschrott aus Karbiden und Legierungen (USGS 2006).

[Recycling](#)

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

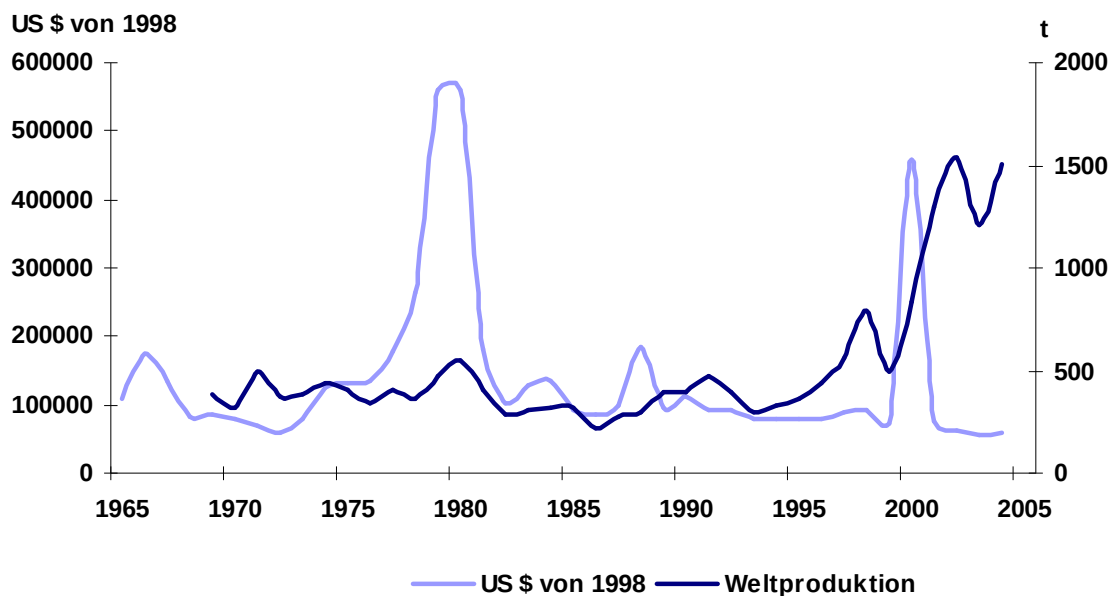
Zwischen 1969 und 2000 hat sich die Tantalförderung mehr als verdreifacht. Um die Jahre 1980 und 2000 herum kam es zu starken Preisanstiegen. Mitte der 70er Jahre baute die Tantal verbrauchende Industrie Lagerbestände auf, um erwarteten Versorgungsengpässen entgegen zu wirken. Die erhöhte Nachfrage nach Tantal führte bei gleichzeitiger Erwartung von sinkenden Reserven zu Preiserhöhungen. 1979 und 1980 stiegen die Tantalpreise stark an, fielen 1986 aber auf ein Zehnjahrestief. Während der Hochpreisphase kam es zu Substitutionsreaktionen der Verarbeiter. Hohe Lagerbestände und eine schwache Nachfrage nach Tantal erhöhten den Druck auf die Preise (USGS 2005b).

[Historische Förder- und Preisentwicklung](#)

Der starke Preisanstieg im Jahr 2000 wird mit mehreren Faktoren begründet. Zum einen war der Realpreis zum Ende der 90er so niedrig, dass Investitionen der Bergbauunternehmen infolge der geringen zu erwartenden Profite ausblieben. Der niedrige Tantalpreis führte zu einer erhöhten Nachfrage. Infolge des Nachfrageüberschusses sanken die Vorräte und die Preise erholten sich wieder (H.C. Starck 2003).

Um Preisvolatilitäten entgegenzuwirken, werden langfristige Lieferverträge zwischen den Bergbaugesellschaften und deren Kunden vereinbart (GSWA 2004:59). So hat die australische Bergbaugesellschaft Sons of Gwalia mit den beiden Hauptkunden, H.C. Starck (Deutschland) und Cabot (USA), Fünfjahresverträge vereinbart (USGS 2005b).

Weltförderung in t und realer Tantalpreis in US \$/t (USGS 2005, USGS 2006)



Die Haupteinsatzgebiete von Tantal – Elektronik-, Luft- und Raumfahrtindustrie und die Medizintechnik – sind Wirtschaftssektoren mit überdurchschnittlichen Wachstumserwartungen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Tantal hoch bleiben wird. Nach den in den Kapiteln 5 und im Anhang C erfolgten Abschätzungen des Einflusses des Technischen Wandels auf die Nachfrage halten sich den Bedarf steigernde und mindernde Faktoren aber in etwa die Waage, so dass der künftige Tantalbedarf überwiegend vom Wachstum der Nachfragesektoren bestimmt sein wird. Insgesamt könnte der Bedarf an Primärtantal demnach bis 2025 um etwa 75 % steigen, weil sich die Tantalnachfrage bis dahin leicht verdoppeln könnte. Dies entspräche einem durchschnitt-

Nachfragetrends

lichen jährlichen Wachstum von 3,3 %. Das Tantalum-Niobium International Study Center geht für die nächsten Jahre sogar von einem jährlichen Verbrauchswachstum für Tantal von etwa 7 % aus. Dies wird hauptsächlich auf die Nachfrage nach Kondensatoren für elektronische Bauteile zurückgeführt (USGS 2005b).

Der zu erwartende Nachfrageanstieg von mehr als 1 500 t sollte durch eine zusätzliche Angebotskapazität von etwa 2 500 t im Bedarfsfall befriedigt werden können (H.C. Starck 2003:13). Der starke Preisanstieg in den Jahren 2000 und 2001 führte bereits in jüngster Vergangenheit zu starken Explorationsbemühungen (H.C. Starck 2003:13). Zukünftig könnte Tantal aus Grönland, Ägypten oder Saudi-Arabien stammen, wobei sich die Bergbauprojekte in Ägypten und Saudi-Arabien im fortgeschrittenen Stadium befinden (USGS 2005b). Diese Aussichten bewegten H.C. Starck (2003:15) zu der Aussage, dass es in Zukunft nie wieder zu einer Angebotsknappheit kommen würde. Angebotstrends

Diese optimistische Aussage muss vor dem Hintergrund der intensiven Suche nach Substituten für Tantal in diesem Bereich gesehen werden, weshalb der einzige deutsche Verarbeiter wie auch sein australischer Hauptlieferant zu versichern bemüht sind, dass Engpässe zukünftig vermieden werden können. Dies soll durch eine verbesserte Kommunikation zwischen Verarbeiter und Abnehmer und einer dadurch ermöglichten koordinierten Planung geschehen (H.C. Starck 2003:15).

In der Tat wird die Angebotssituation weithin als unproblematisch eingestuft, da die australische Produktion „jederzeit ausbaufähig“ ist (BGR 2005c). Technologische Innovationen im Bereich der Tantalextraktion aus Erzen könnten zudem den aktuellen Ausbeutungsgrad von 70 % des enthaltenen Tantals auf ungefähr 95 % erhöhen (GSWA 2004:42). Dies könnte zu Kosteneinsparungen von mindestens 30 % führen.

8.10 Magnesit

Verwendung

Magnesit bzw. Magnesiumcarbonat ist das häufigste und wichtigste magnesiumhaltige Mineral. Es findet hauptsächlich in kalzinierter Form (kaustische Magnesia) und totgebrannter Form (Sintermagnesia) Verwendung. Haupteinsatzgebiet für Sinter- und Schmelzmagnesia ist die Feuerfestindustrie. Wegen seiner Hitzebeständigkeit ist Magnesit hervorragend zur Herstellung feuerfester Steine für Schmelzöfen geeignet, so dass etwa 70 % der mit Magnesit hergestellten Refraktärprodukte in der Stahlindustrie verwendet werden (Kandianis 2002). Daneben ist Rohmagnesit als Düngemittel, Zuschlagsstoff für die Glas- und Keramikindustrie sowie als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Magnesiummetall einsetzbar.

Primäre Verwendung

Kaustische Magnesia werden vor allem in der chemischen Industrie (39 %), zu Umweltschutzzwecken wie der Wasseraufbereitung und Rauchgasentschwefelung (28 %), in der Landwirtschaft (15 %), der Bauindustrie (8 %), in der verarbeitenden Industrie (Flussmittel-, Elektro-, Gummi-Industrie) sowie zu einem geringen Anteil in der pharmazeutischen und Nahrungsmittelindustrie angewendet.

Nachfrage

Der Verbrauch von Magnesit belief sich in Deutschland für 1985 auf etwa 400 000 t und stieg bis 1995 auf etwa 580 000 t an, um bis 2005 auf etwa 510 000 t wieder leicht abzusinken.

Inländischer Verbrauch

2004 wurden etwa 355 000 t Rohmagnesit und Magnesia im Wert von 89 Mio. € importiert (BGR 2003a). Wichtigste Bezugsquelle war dabei China, das fast ein Drittel des importierten Magnesits lieferte. Gemeinsam mit den Niederlanden und der Slowakei ist China für zwei Drittel der deutschen Magnesitimporte verantwortlich. Mit Blick auf die politische Stabilität der Bezugsquellen kann festgestellt werden, dass gut 60 % des importierten Magnesits aus politisch zuverlässigen Ländern stammt.

Importe

Importquellen für in Deutschland verwendetes Magnesit in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	50,1	183,6	115,9	32,8 %
Niederlande	50,7	59,2	81,7	23,1 %
Slowakei	0,0	70,6	36,6	10,3 %
Spanien	13,7	16,6	20,9	5,9 %
Australien	0,0	21,1	17,4	4,9 %
Frankreich	3,9	3,9	12,8	3,6 %
Türkei	5,3	24,2	12,7	3,6 %
Jordanien	0,0	0,0	9,6	2,7 %
Irland	18,9	18,6	8,2	2,3 %
Brasilien	0,0	22,7	6,0	1,7 %
Übrige	258,1	164,9	31,6	8,9 %
Insgesamt	400,8	585,5	353,5	100,0 %

Magnesit zur Herstellung Kaustischer, Sinter- oder Schmelzmagnesia kann durch Seewassermagnesia substituiert werden (Lorenz W., Gwosdz W. 1998). Je nach Anwendungsgebiet bestehen für Magnesit Substitutionsmöglichkeiten durch andere mineralische Rohstoffe. Bei Füllstoffen kann Magnesit z.B. durch Talk, Kalkstein/Kreide, Kaolin, Diatomit oder Tone ersetzt werden. In der Futtermittelindustrie werden kaustische Magnesia u. a. durch Dolomitstein, Kalkstein oder Talk substituiert. Im Feuerfestbereich ist eine Substitution durch Andalusit, Bauxit, Chromit, Dolomit, Graphit, Olivin, Sillimanit und Zirkon möglich. In den temperaturmäßig stark beanspruchten Zonen von Öfen können Sintermagnesia durch Spinellsteine ersetzt werden.

[Substitute](#)

Angebot

Die weltweiten Ressourcen betragen ca. 12 Mrd. t (USGS 2006). Magnesit und Magnesia können prinzipiell auch aus Meerwasser und magnesiumhaltigen Solen gewonnen werden. Daher sind die Ressourcen nahezu unendlich groß (USGS 2006).

[Ressourcen](#)

2,2 Mrd. t der Ressourcen sind gegenwärtig wirtschaftlich gewinnbar (USGS 2006). Auf Russland, Nordkorea, China und Australien entfallen mit insgesamt knapp 72 % die größten Reserven. Die

[Reserven](#)

verbleibenden 28 % entfallen auf Länder, deren Reservenanteile nicht über 3 % hinausgehen.

2004 wurden 14,5 Mio. t Magnesit gefördert (BGR 2005).

Förderung

Bei Division der Reserven in Höhe von 2,2 Mrd. t bzw. der Ressourcen von 12 Mrd. t durch die weltweite Förderung in Höhe von 14,5 Mio. t ergibt sich eine Statische Reichweite von etwa 152 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 828 Jahren.

Reichweiten

Verteilung der Magnesitreserven in Mio. t (USGS 2006)

	Reserven	Anteile	kumulierte Anteile
Russland	650	29,5%	29,5%
Nordkorea	450	20,4%	49,9%
China	380	17,2%	67,2%
Australien	100	4,5%	71,7%
Türkei	65	2,9%	74,6%
Brasilien	45	2,0%	76,7%
Slowakei	45	2,0%	78,7%
Griechenland	30	1,4%	80,1%
Österreich	15	0,7%	80,8%
Indien	14	0,6%	81,4%
USA	10	0,5%	81,9%
Spanien	10	0,5%	82,3%
Übrige	390	17,7%	100,0%
Insgesamt	2 204	100,0%	

Fast ein Drittel der weltweiten Förderung findet in China statt. Weitere wichtige Förderländer sind die Türkei, Russland, Nordkorea und die Slowakei. Der Herfindahlindex der Länderkonzentration ist mit 0,19 moderat. Die politische Stabilität der wichtigsten Förderländer ist als kritisch einzustufen. China weist eine Hermes-Klassifizierung von 2, die Türkei von 5 auf. Der viertgrößte Produzent Nordkorea muss mit einer Hermes-Klassifizierung von 7 besonders kritisch bewertet werden. Der gewogene Hermes-Indikator beträgt 3,19. Der gewogene Weltbank-Indikator zur Charakterisierung des politischen und wirtschaftlichen Risikos liegt bei -0,09.

Länderkonzentration der Förderung

Weltweite Magnesitförderung in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	1 000	2 000	8 000	4 650	32,0 %
Türkei	457	1 137	1 928	3 800	26,2 %
Russland	k. A.	k. A.	3 687	1 200	8,3 %
Nordkorea	1 500	1 900	1 600	1 000	6,9 %
Slowakei	k. A.	k. A.	815	995	6,9 %
Österreich	1 266	1 255	783	700	4,8 %
Griechenland	1 426	884	566	500	3,4 %
Indien	313	421	345	370	2,6 %
Australien	21	58	263	325	2,2 %
Brasilien	440	265	316	269	1,9 %
Übrige	4 258	4 580	1 556	713	4,9 %
Insgesamt	10 681	12 500	19 859	14 522	100,0 %

Die Magnesitproduktion verteilt sich auf eine Vielzahl von Unternehmen. In China versuchten Unternehmen in den letzten Jahren mehrmals, Exportkartelle zu initiieren. 2004 wurde die *China Magnesite Self Disciplined Association* gegründet. Diese Vereinigung scheiterte jedoch ebenso wie ihre vier Vorgängerorganisationen an ausscherenden Mitgliedern (O'Driscoll 2005).

Förderunternehm-
men

Magnesiumverbindungen werden nur in geringem Ausmaß in der Feuerfestindustrie recycelt (USGS 2006). Dies ist darauf zurückzuführen, dass sie bei ihrer Verwendung verbraucht werden.

Recycling

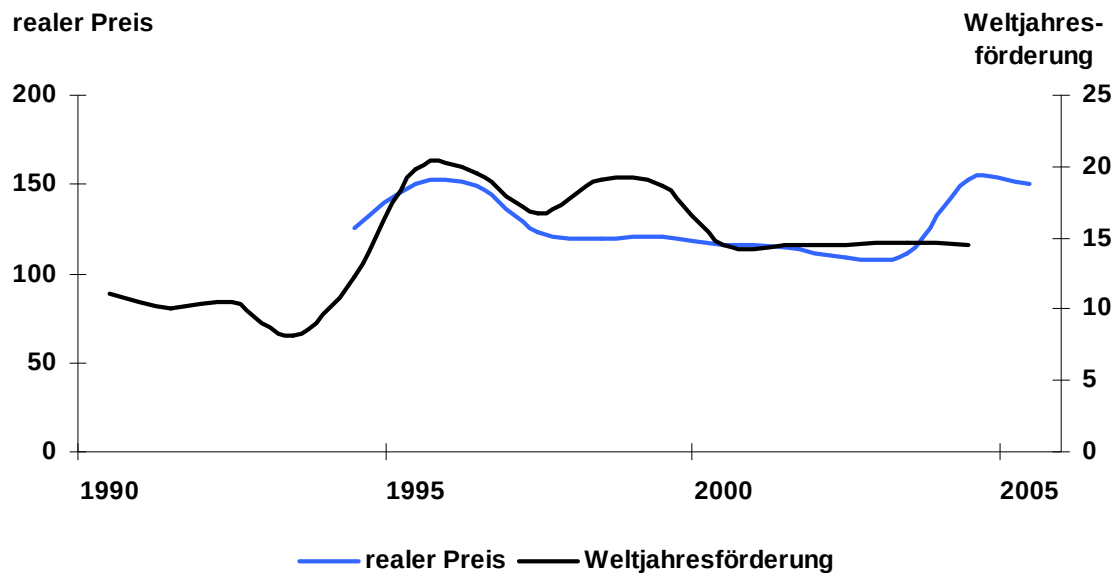
Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

Die Nachfrage nach Magnesit und Magnesita hängt stark mit der Entwicklung auf dem Stahlmarkt zusammen. In Industrieländern werden Magnesiumverbindungen zu 60 % als Sinter- und Schmelzmagnesita für die Herstellung feuerfester Materialien verwendet, welche hauptsächlich in der Stahlindustrie genutzt werden (Kramer 2005). Einhergehend mit der Erhöhung der Stahlproduktion hat sich die Weltjahresbruttoproduktion von Magnesit zwischen 1950 und 2004 verzehnfacht und ist von 1,2 Mio. t auf 14,5 Mio. t gestiegen. Seit Mitte der 90er Jahre stagniert indessen die Magnesitförderung weitgehend, nachdem sie von 1994 auf 1995 von 12 Mio. t auf etwa 20 Mio. t anstieg, um anschließend wieder zu

Historische Preis-
und Nachfrage-
trends

fallen. Ab dem Jahr 2000 stabilisierte sich die Magnesitförderung auf einem Niveau von 14,5 Mio. t. Von 1995 bis 2003 fiel der reale Magnesitpreis von 126 US \$ je Tonne auf 112 US \$/t ab, um dann bis 2004 auf 152 US \$/t anzusteigen. Der reale Preis lag 2005 mit knapp 150 US \$ unter dem des Vorjahres.

Reale Magnesitpreise in US \$/t von 1998 und Weltjahresförderung von Magnesit in Mio. t (BGR 2005)



Die Option, Magnesia aus Meer- und Quellwasser zu gewinnen, [Angebotstrends](#) macht das Angebot sehr elastisch. 2004 wurden dadurch in den USA 52 % der Produktion von Magnesia bereitgestellt. Das Lagerstättenangebot an Magnesit kann im wichtigsten Förderland China ohne weiteres ausgeweitet werden (Kramer 2005).

Wegen der Abhängigkeit der Magnesitnachfrage von der Stahlproduktion spielt die Entwicklung des Stahlverbrauchs eine wichtige Rolle. Für China wird bis 2011 mit einem Anstieg des Bedarfs um 70 % gegenüber 2004 gerechnet (Richmond et al. 2006:117). Insgesamt ist weltweit eine steigende Stahlnachfrage zu erwarten (Richmond et al. 2006:120, AIECE 2005:22), so dass auch der Bedarf an Magnesit wachsen wird. Die im Anhang C erfolgte Abschätzung der Nachfrage nach Magnesiumverbindungen lässt zwischen 2005 und 2025 einen Verbrauchsanstieg um 70 % erwarten. Das elastische Angebot sollte diese Bedarfssteigerung befriedigen können. [Nachfragetrends](#)

Wegen des überaus elastischen Angebots werden bei Magnesit [Preistrends](#) nicht die für viele Rohstoffe üblichen langen Zyklen mit sich stark ändernden Preisen erwartet. Selbst wenn auf Grund einer stark wachsenden Stahlnachfrage auch der Magnesitbedarf erheblich steigen sollte, sollten die enormen Reserven und Ressourcen sowie die Möglichkeit, Seewassermagnesia zu nutzen, dafür sorgen, dass langfristig keine Preisanstiege auftreten werden.

8.11 Graphit

Kohlenstoff kommt in der Natur in zwei allotropen Formen vor, als Graphit und als Diamant. Unter Normalbedingungen ist Graphit die vorherrschende Form.

Verwendung

Graphit wird sowohl im Tagebau als auch unter Tage abgebaut, kann aber auch künstlich hergestellt werden. Dies geschieht durch Pyrolyse von Kohle oder Erdöl. Graphit besitzt unter den Nichtmetallen die höchste elektrische und thermische Leitfähigkeit (USGS 2004b). Aufgrund seines hohen Schmelzpunktes bietet sich Graphit für den Einsatz in feuerfesten Anwendungen an. Graphit wird daher hauptsächlich in der Feuerfestindustrie eingesetzt, beispielsweise als Schmelztiegel in Stahlföfen. Zudem wird Graphit in größeren Mengen als Schmiermittel, in Batterien, in Gießereien und bei Bremsbelägen genutzt (USGS 2006).

Primäre Ver-
wendung

Nachfrage

2004 wurden in Deutschland 42 000 t Graphit verbraucht. Dies entspricht einem Anteil von 4,2 % am weltweiten Graphitverbrauch.

Inländischer
Verbrauch

Importquellen von natürlichem Graphit im Jahr 2004 in 1 000 t (BGR 2005)

	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	8,4	13,8	19,8	36,9 %
Niederlande	0,1	0,0	19,4	36,1 %
Brasilien	0,0	2,4	1,4	2,6 %
Österreich	4,1	0,3	1,3	2,3 %
Tschechien	0,0	1,1	1,2	2,2 %
Rumänien	0,0	0,0	0,6	1,2 %
Madagaskar	2,5	3,8	0,3	0,5 %
USA	0,2	0,1	0,3	0,5 %
UK	0,3	0,5	0,2	0,4 %
Südkorea	0,0	0,2	0,2	0,3 %
Übrige	18,4	13,9	9,1	17,0 %
Insgesamt	34,0	36,1	53,6	100,0 %

Die bedeutendsten deutschen Verarbeiter sind die Graphit Kropfmühl AG, SGL Carbon, CP Graphite und NGS Naturgraphit (BGR 2005b).

Der Wert der Nettoimporte von Graphit betrug 2004 rund 15 Mio. € (BGR 2005). Mit einem Anteil von jeweils etwas mehr als einem Drittel sind China und die Niederlande die für Deutschland wichtigsten Lieferanten, wobei die Niederlande lediglich als Zwischenhändler fungieren. Alle anderen Länder besitzen Anteile von weniger als drei Prozent an den deutschen Graphitimporten. [Nettoimporte](#)

Deutschlands Importquellen für Graphit sind relativ sicher. Gemäß der Hermes-Länderklassifizierung wird der wichtigste Lieferant China mit 2 bewertet und gilt damit als politisch stabil. Politisch weniger stabil sind einige Länder wie Madagaskar, Brasilien und Rumänien, aus denen allerdings geringe Importmengen stammen.

Graphit ist teilweise nur sehr schwer zu substituieren (BGR 2005b). Dies dürfte in seiner Einzigartigkeit geschuldet sein, da es sowohl mit Eigenschaften von Metallen als auch von Nichtmetallen ausgestattet ist (USGS 1998a). Synthetischer Graphit hat sich nur in bestimmten Bereichen nahezu vollständig durchsetzen können, zum Beispiel bei der Herstellung von Elektroden. Es gibt indessen Anwendungsbereiche, die aufgrund seiner speziellen Eigenschaften dem Naturgraphit vorbehalten bleiben. Hier ist insbesondere die Feuerfestindustrie zu nennen. Alle übrigen wesentlichen Anwendungsbereiche können sowohl von Naturgraphiten als auch von synthetischem Graphit abgedeckt werden. In Batterien bilden Lithium und seltene Erden mögliche Ersatzstoffe (BGR 2005b). Bei Schmiermitteln kann Graphit durch Molybdändisulfid, Lithiumfette u.a. ersetzt werden. In einigen Bereichen, wie beim Stranggussverfahren in der Stahlindustrie, den in der chemischen Industrie häufig benutzten Wärmetauschern oder bei Raketendüsen ist Graphit ein essentieller Werkstoff. [Substitute](#)

Angebot

Die weltweiten Graphitressourcen belaufen sich auf 800 Mio. t (USGS 2006:77). [Ressourcen](#)

Es existieren weltweit 86 Mio. t Reserven natürlichen Graphits, davon 64 Mio. t (74 %) in China und 11,4 Mio. t (13 %) in Tschechien (USGS 2006:77).

Reserven

2004 wurden weltweit 985 000 t Graphit gefördert (BGR 2005).

Förderung

Durch die Division der 86 Mio. t an Reserven bzw. der Ressourcen von 800 Mio. t und der Weltfördermenge von 0,985 Mio. t lässt sich für 2004 eine Statische Reichweite von 87 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 812 Jahren ermitteln.

Reichweiten

71 % der weltweiten Graphitförderung stammen aus China. Auch Indien, Brasilien, Nordkorea und Kanada fördern bedeutende Mengen an Graphit. Der Anteil aller anderen Förderländer beträgt ein Prozent und weniger. Offensichtlich hat die Konzentration der Graphitproduktion zugenommen. Besaßen die drei größten Förderländer 1975 einen Anteil von zusammen 23 % an der Graphitförderung, so ist dieser Anteil bis 1995 auf 63,7 % gestiegen und erreichte 2004 knapp 90 %. In den letzten zehn Jahren haben die Förderanteile von China und Brasilien zugenommen, während Indien und Nordkorea an Bedeutung verloren haben.

Länderkonzentration der Förderung

Weltweite Graphitförderung in 1 000 t (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
China	49,9	185,0	204,0	700,0	71,3%
Indien	30,9	33,9	136,3	120,0	12,2%
Brasilien	5,3	43,7	28,0	61,0	6,2%
Nordkorea	20,0	25,0	40,0	30,0	3,1%
Kanada	k. A.	k. A.	25,0	25,0	2,5%
Simbabwe	k. A.	10,5	11,4	10,3	1,0%
Tschechien	k. A.	k. A.	27,0	10,0	1,0%
Übrige	333,3	298,9	124,8	26,0	2,6%
Insgesamt	439,4	597,0	596,5	982,3	100,0%

Die politische Stabilität in den drei größten Förderländern ist bedenklich. Der größte Graphitproduzent wird in der Hermes-Länderklassifizierung zwar mit 2 eingestuft, Indien erhält aber lediglich eine 3 und Brasilien eine 5. Die Wiederaufnahme der Graphitförderung in Kanada Ende der 80er Jahre dürfte zu einer größeren An-

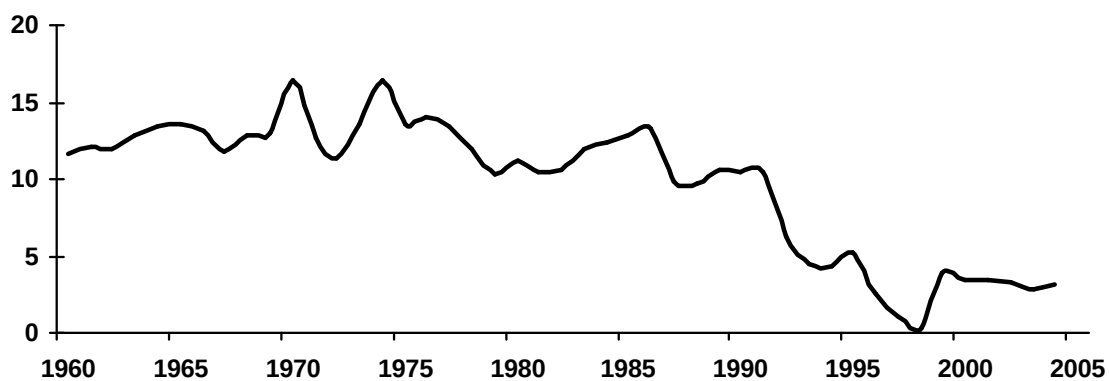
gebotssicherheit beigetragen haben. Allerdings ist der Anteil von Kanada mit 2,5 % an der weltweiten Graphitförderung nur sehr gering.

2004 wurden in Deutschland nur noch 3 155 Tonnen Graphit gefördert. Das einzige Unternehmen, das in Deutschland derzeit Graphit abbaut, ist die Graphit Kropfmühl AG. Der Anteil des Graphits aus der eigenen Förderung an der gesamten Produktion ist aber sehr gering. Das benötigte Graphit stammt fast ausschließlich aus Importen (BGR 2005a).

Inländische Förderung

Graphitförderung in Deutschland in 1 000 t (BGR 2005)

in 1000 t



Es gibt keine Angaben bezüglich der Menge und des Wertes rezyklierten Graphits. Jenes aus feuerfesten Anwendungen wird mittlerweile für die Nutzung als Bremsbelag und zur Wärmedämmung zurück gewonnen. Ansonsten stocken die Bemühungen, Graphit wiederzuverwerten, da der Rohstoff in ausreichender Menge vorhanden ist (USGS 2006).

Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarkts

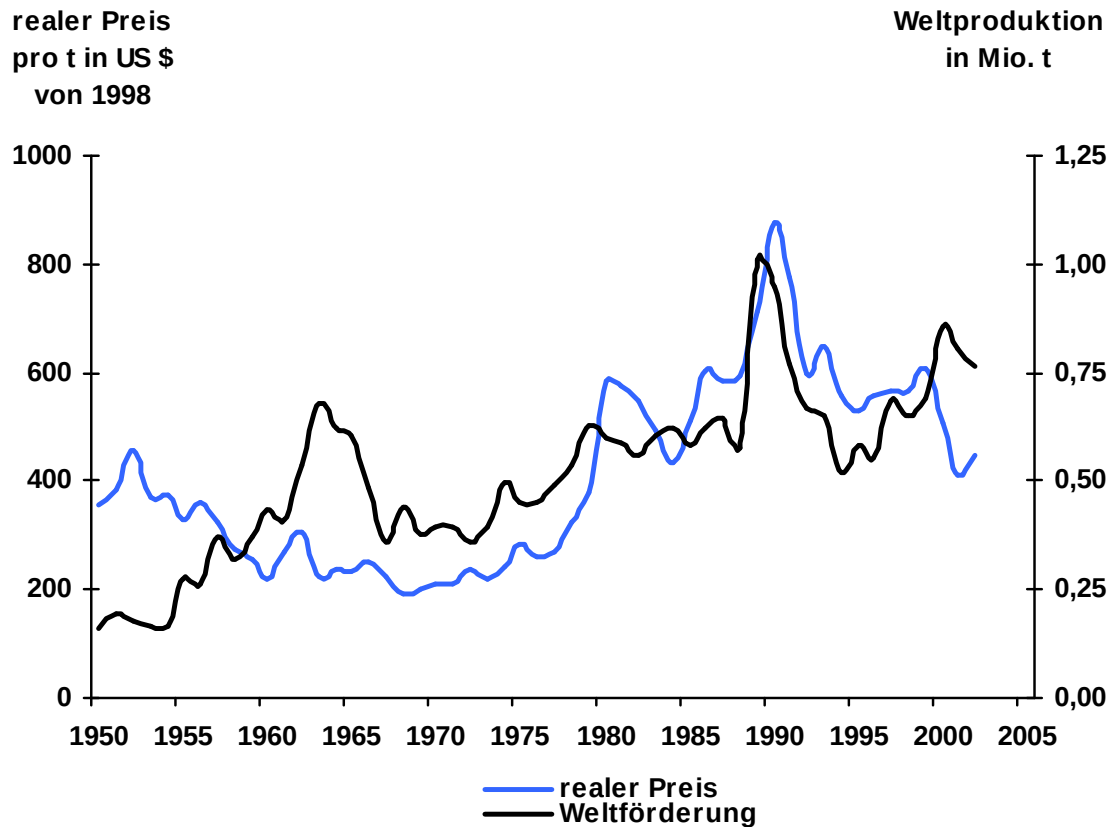
Die Weltjahresproduktion von Graphit ist seit 1950 tendenziell angestiegen. Allerdings weist sie dabei große Schwankungen auf. 1989 erreichte die Weltgraphitproduktion mit über 1 Mio. t ihren Höhepunkt. Danach ging die Fördermenge bis 1994 um die Hälfte zurück. 2004 wurden rund 1 Mio. t Graphit produziert (BGR 2005). Auch die Entwicklung der Graphitpreise verläuft seit 1950 mit grö-

Historische Preis- und Nachfragetrends

ßen Schwankungen. Von 1968 bis 1990 ist der reale Graphitpreis bis zu seinem Maximum von 874,70 US \$/t angestiegen.

Der Anstieg in der Weltjahresproduktion von Graphit zwischen 1994 und 2002 wurde von einem Rückgang des realen Graphitpreises begleitet. Dieser fiel von 557 auf 448 US \$/t.

Reale Graphitpreise in US \$/t und Weltjahresproduktion in Mio. t (USGS 2005)



Die Graphitnachfrage ist vom Stahlbedarf abhängig, da Graphit in feuerfesten Schmelztiegeln für Stahlföfen verbaut wird. Aufgrund der sehr wahrscheinlichen Zunahme der Stahlnachfrage dürfte auch die Nachfrage nach Graphit ansteigen. Die wachsende Automobilproduktion führt zu einem höheren Graphitbedarf bei der Produktion von Bremsbelägen. Daneben werden weitere Anwendungsbereiche für Graphit erschlossen, beispielsweise durch neue Raffinadetechniken. Das so gewonnene höherwertige Material wird unter anderem in der Elektronikbranche genutzt werden. Die Nachfrage nach hochreinem Graphit für Batterien dürfte ebenfalls wachsen, so dass zukünftig eine steigende Graphitproduktion zu beobachten sein dürfte (USGS 2004b). Daneben könnte Graphit in Brennstoffzellen an erheblicher Bedeutung gewinnen, frühestens jedoch in ein bis zwei Jahrzehnten.

8.12 Platin

Platin ist eines der sechs Elemente der Platinmetallgruppe, zu denen auch Palladium, Ruthenium, Rhodium, Osmium und Iridium gehören. Diese Metalle sind untereinander weitgehend substituierbar.

Verwendung

Platinmetalle werden vor allem in der Schmuck- und Automobilindustrie eingesetzt. In der **Automobilindustrie** werden Platin und Palladium für den Bau von Katalysatoren verwendet. Weitere katalytische Anwendungen finden sich in der **chemischen Industrie**. In der **Petrochemie** werden schwere Fraktionen des Erdöls mit Hilfe von Platin-Katalysatoren in leichte Fraktionen konvertiert. Zusammen mit der Erdölindustrie (10,6 %) hatte die Automobilindustrie mit 7,2 % das höchste durchschnittliche Nachfragewachstum zwischen 1988 und 2004 (JM 2006). Für die **Schmuckindustrie** wird Platin zu sehr dünnen Folien oder Drähten gewalzt bzw. gezogen. Platin ist härter und stabiler als Gold und wird für Schmuckfassungen oder für die Herstellung von Präzisionsuhrwerken verwendet.

Primäre Verwendung

Platinnachfrage verschiedener Verwendungsbereiche 2004 (JM 2006)

	1988		2004	
	in kg	Anteile	in kg	Anteile
Automobilindustrie	38 724	33,6 %	108 551	48,3 %
Schmuckindustrie	36 702	31,9 %	67 183	29,9 %
Chemische Industrie	4 977	4,3 %	10 109	4,5 %
Elektroindustrie	5 754	5,0 %	9 331	4,1 %
Glasindustrie	4 043	3,5 %	9 020	4,0 %
Erdölindustrie	1 555	1,4 %	4 666	2,1 %
Investmentbereich	19 595	17,0 %	1 400	0,6 %
Übrige	3 732	3,2 %	14 619	6,5 %
Insgesamt	115 082		224 879	

In der **Elektroindustrie** finden Platin und Platinlegierungen wegen ihrer Korrosionsbeständigkeit in Elektroden, Sensoren, Kontakten, Widerständen und Computerbauteilen Verwendung. In der chemi-

schen und **Glasindustrie** ist es das bevorzugte Material zur Herstellung von Laborgeräten bzw. Fertigungsanlagenkomponenten wie Wannen und Düsen zur Glasfaser- und Glasherstellung. In der **Medizin- und Dentaltechnik** kommt Platin aufgrund seiner Bioverträglichkeit z.B. in Herzschrittmachern zum Einsatz. Wie Gold wird auch Platin als langfristige Wertanlage gesehen und spielte daher bis vor kurzem im **Investmentbereich** noch eine bedeutende Rolle.

Nachfrage

Weltweit wurden 2004 rund 225 Tonnen Platin verbraucht. Den größten Bedarf hatten Europa, Japan und Nordamerika. Zwischen 1988 und 2004 lag das jahresdurchschnittliche Wachstum des globalen Verbrauchs bei 4,4 %. In Europa lagen die Wachstumsraten aufgrund des hohen Bedarfs für Autokatalysatoren im selben Zeitraum im Jahresdurchschnitt sogar bei 9,6 %, in China wuchs der Platinverbrauch noch weitaus stärker. In Japan hingegen ging er seit der Asienkrise zumeist sogar zurück.

Weltweiter
Verbrauch

2001 lag der Bedarf an Platingruppenmetallen in Deutschland bei rund 38 t (Hagelüken et al. 2005). Rund 21 t mussten über Importe gedeckt werden, der Rest wurde durch inländisches Recycling gewonnen. Über die Hälfte des Bedarfs an Platingruppenmetallen entfielen auf Platin.

Inländischer
Verbrauch

2004 wurden netto rund 28 t Platinmetall im Wert von knapp 200 Mio. € nach Deutschland importiert. 2005 lag die Nettoimportmenge mit 46,4 t weitaus höher. Die größten Primärlieferanten waren Südafrika, die USA und Russland. Darüber hinaus wurden 6,6 t platinmetallhaltige Abfälle und Schrotte im Wert von 400 Mio. € bzw. Halbzeug und Waren in Höhe von 60 t aus Südafrika, den USA, Österreich und anderen Ländern importiert (STABUA 2004).

Nettoimporte

In Abgaskatalysatoren kann anstelle von Platin das gegenwärtig günstigere Palladium eingesetzt werden. Nach dem derzeitigen Stand der Technik wird Platin überwiegend in diesel-, Palladium in benzinbetriebenen Fahrzeugen eingesetzt. In anderen Anwendungen sind Platingruppenmetalle prinzipiell wechselseitig austausch-

Substitute

bar, zum Teil muss aber eine Verringerung in der technischen Leistungsfähigkeit in Kauf genommen werden (USGS 2006).

Platinmetallimporte in kg (BGR 2005)

	1985	1995	2005	Anteile 2005
Südafrika	k.A.	10 788	15 363	33,1 %
Belgien	k.A.	k.A.	12 260	26,4 %
UK	3 877	2 719	7 620	16,4 %
USA	4 191	768	5 764	12,4 %
Russland	k.A.	303	1 126	2,4 %
Hongkong	k.A.	55	942	2,0 %
Frankreich	570	267	782	1,7 %
Japan	43	3	591	1,3 %
Übrige	8 817	2 087	1 972	4,3 %
Insgesamt	17 498	16 990	46 420	100,0 %

Angebot

Die Ressourcen der Platinmetallgruppe werden auf über 100 000 t geschätzt (USGS 2006:127). [Ressourcen](#)

Die weltweiten Reserven der Platingruppenmetalle werden für 2005 mit 71 000 t angegeben (USGS 2006). 88,5 % befinden sich in der Republik Südafrika, 8,7 % in Russland, den USA (1,3 %) und Kanada (0,5 %). [Reserven](#)

Die weltweite Bergwerksförderung von Platin lag 2004 bei 214 t (JM 2006), die Fördermenge der Platinmetallgruppe bei insgesamt 402 t. [Förderung](#)

Bei Division der Reserven der Platinmetallgruppe von 71 000 t bzw. der Ressourcen in Höhe von 100 000 t durch die Fördermenge der Platinmetallgruppe von 402 t ergibt sich eine Statische Reichweite von 177 Jahren und eine Ressourcenreichweite von 249 Jahren für das Jahr 2004. [Reichweiten](#)

Die beiden größten Bergbauländer Südafrika und Russland hatten 2004 einen Anteil von 74,9 % bzw. 16,8 % an der Weltbergwerksförderung. Zusammen mit Kanada decken diese Länder 94 % der weltweiten Bergwerksförderung ab. Die Länderkonzentration der [Länderkonzentration der Förderung](#)

Bergwerksförderung ist somit sehr hoch, wie ein Herfindahlindex in Höhe von 0,59 beweist. 1994 lag der Herfindahlindex indessen sogar bei 0,67. Seit 1994 ist die Konzentration gesunken, weil Russland seinen Anteil an der weltweiten Platinproduktion ausbauen konnte. Der gewogene Hermes-Indikator für das politische und wirtschaftliche Risiko der Förderländer liegt auf einer Skala zwischen 0 und 7 bei 3,14. Der gewogene Weltbank-Indikator für das Länderrisiko liegt bei 0,20. Zum Vergleich: Der Risikowert für Tunesien liegt bei 0,21, der für Kroatien bei 0,20.

Weltweite Bergwerksförderung von Platin in kg Inhalt (BGR 2005)

	1975	1985	1995	2004	Anteile 2004
Südafrika	50 947	76 689	104 800	160 020	74,6 %
UdSSR/GUS/Russland	23 079	29 550	27 000	36 000	16,8 %
Kanada	5 339	4 530	9 882	7 000	3,3 %
Simbabwe	k.A.	19	7	4 438	2,1 %
USA	295	233	1 590	4 040	1,9 %
Kolumbien	640	336	1 000	1 400	0,7 %
Finnland	9	35	60	500	0,2 %
Australien	13	95	74	230	0,1 %
China	k.A.	280	300	k.A.	0,0 %
Übrige	193	696	740	805	0,4 %
Insgesamt	80 515	112 463	145 453	214 433	100,0 %

Platinproduzenten 1994 und 2004

	1994			2004	
	t	Anteile		t	Anteile
Gencor	35,7	27,4 %	Anglo American	74,7	35,9 %
Johannesburg Cons	28,4	21,9 %	Impala Platinum	48,0	23,1 %
Anglo American	20,9	16,1 %	Norilsk Nickel	30,5	14,7 %
Norilsk Mining & Metallurgical	15,2	11,7 %	Lonmin	20,9	10,0 %
Lonrho	11,5	8,9 %	Aquarius Platinum	5,8	2,8 %
Inco	3,5	2,7 %	Inco	5,5	2,6 %
Gold Fields of South Africa	3,2	2,5 %	Mvelaphanda	3,0	1,4 %
Manville	2,0	1,51 %	Royal Bafokeng Nation	2,9	1,4 %
Übrige	9,7	7,5 %	Übrige	16,8	8,1 %
Insgesamt	130,0	100,0 %	Insgesamt	208,0	100,0 %

Der größte Platinproduzent ist die britische Anglo American, die mit 35,9 % des 2004 geförderten Platins den Weltmarkt unangefochten beherrscht (BGR 2005). Die drei größten Förderunternehmen erbrachten beinahe 70 % der Weltförderung. Dennoch ist die Konzentration der Förderung auf Unternehmen mit einem Wert von rund 0,22 für den Herfindahlindex weit geringer ausgeprägt als die Konzentration der Förderung auf Länder. Gegenüber 1994 ist die Unternehmenskonzentration nur leicht gestiegen. Der Herfindahlindex liegt für 1994 bei etwa 0,17 und zeigt damit eine vergleichsweise geringe Konzentration an.

Unternehmens-
konzentration der
Förderung

Deutschland besitzt keine Primärquellen für Platin und auch keine primäre Raffinadeproduktion.

Inländische För-
derung

Als eines der teuersten Edelmetalle ist die Rückgewinnung selbst kleinster Mengen von Platin wirtschaftlich lohnend. Der durch Recycling gewonnene Anteil Platins stieg jährlich um durchschnittlich 9,4 % an. Das Recycling von Platin deckte 2004 rund 10 % des weltweiten Verbrauchs. In Deutschland werden gar 45 % des heimischen Bedarfs durch Recycling gewonnen. Die Recyclingquoten für Platin liegen in Deutschland am höchsten in der Glasindustrie (98 %), gefolgt von der Rückgewinnung aus Industriekatalysatoren (65 %), Schmuck (38 %), Dentalbereich (27 %), Elektronik (15 %), Autokatalysatoren (12 %) und Galvanik (5 %) (Hagelüken et al. 2005). Zukünftig ist mit einer weiteren Steigerung der Recyclingquote in den jeweiligen Industriesektoren zu rechnen.

Recycling

Einschätzung der Entwicklung des Weltmarktes

Seit 1960 stieg die Bergwerksproduktion von Platin in enormem Maße an, von 18,5 t auf 214 t im Jahr 2004. Die jahresdurchschnittliche Wachstumsrate betrug für diesen Zeitraum 6,5 %. Seit 1995 liegt das jahresdurchschnittliche Wachstum der Bergwerksförderung mit 6,0 % auf weiterhin hohem Niveau. Die Preise bewegten sich zwischen 1979 und 1999 um die 400 US \$ je Feinunze. Seit 1999 gehen die Preise indessen steil nach oben und lagen im Mai 2006 bei rund 1 264 US \$ je Feinunze.

Historische För-
der- und Preis-
entwicklungen

Wesentliche Auslöser für die Preisentwicklung ist die seit 2002 um 50 % gestiegene Nachfrage nach Katalysatoren für die Automobilindustrie und das dadurch seit über fünf Jahren beste-

hende Angebotsdefizit. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass Spekulationsaktivitäten die Preise haben anziehen lassen. Diese waren beispielsweise verantwortlich für die Preisspitze im Jahr 1980.

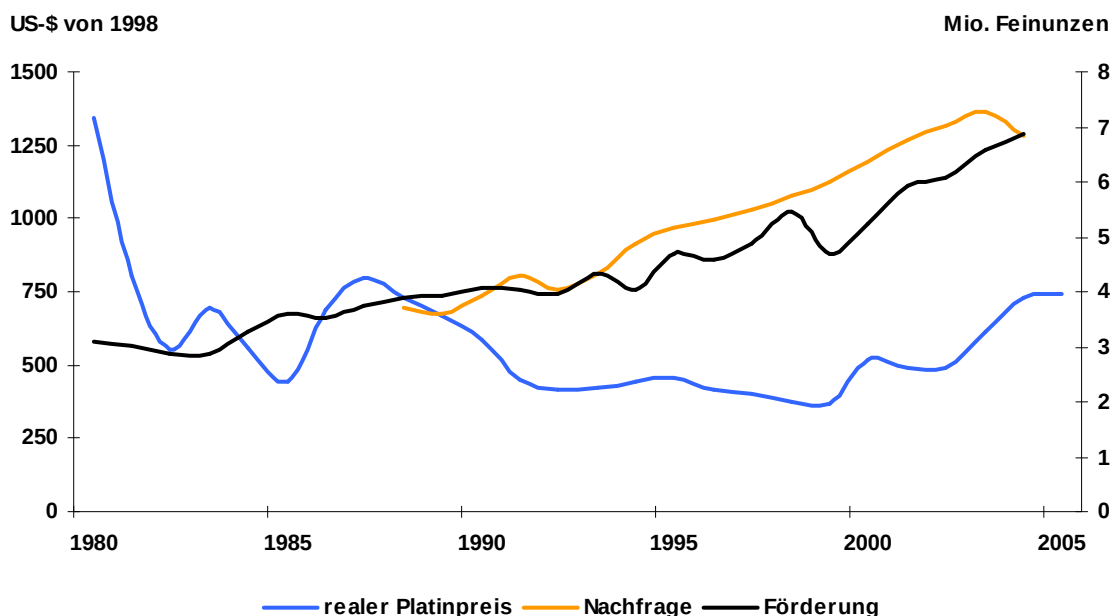
Während der Platinpreis zwischen 2001 und 2005 um 67 % angestiegen ist, sank der Palladiumpreis im gleichen Zeitraum um 69 %. Dadurch sind Abgaskatalysatoren für benzingetriebene Kraftfahrzeuge das bevorzugte Einsatzgebiet für Palladium geworden. Der seit 2001 rückläufige Palladiumpreis hat in der Zwischenzeit das Niveau von vor der Verteuerung erreicht. Insgesamt hat sich somit die Preisrelation von Palladium und Platin stark verändert. Real liegt der Platinpreis jedoch noch weit unter der Preisspitze von 1980 und in etwa auf dem Hoch der 1980er Jahre.

Preisentwicklung von Platin und Palladium in US \$ je Feinunze (USGS 2006)

	2001	2002	2003	2004	2005
Platin	533	542	694	849	890
Palladium	610	340	203	232	190

Zu den größten derzeitigen Bergbauprojekten in Südafrika zählen [Angebotstrends](#) Leeuwkop, Bafokeng Styldri, Pandora, Twickenham und Everst South mit einer geplanten Jahresförderkapazität zwischen fünf und neun Tonnen Platin.

Weltweite Produktion, Nachfrage und reale Platinpreise je Feinunze (BGR 2005)



Weiterhin werden zahlreiche südafrikanische Bergwerken erweitert, auch Norilsk Nickel in Russland führt Betriebserweiterungen

durch, die in wenigen Jahren zusätzliche Platinkapazitäten an den Markt bringen werden. Bei der Förderung sind hohe Kostensteigerungen zu verzeichnen, vor allem in südafrikanischen Bergwerken. Die Produktionskosten stiegen hier in den vergangenen fünf Jahren um rund 50 %.

2004 bestand für Platin ein im Vergleich zu früheren Jahren geringes Angebotsdefizit von insgesamt 1,55 Tonnen. Dies könnte als ein Hinweis auf eine Entspannung der Marktsituation gewertet werden. Wie in früheren Jahren, als weitaus höhere Angebotsdefizite von 10-22 Tonnen vorlagen, konnte das Angebotsdefizit durch Veräußerung von Lagerbeständen gedeckt werden. Die Intransparenz hinsichtlich der Höhe der Lagerbestände bei Produzenten, Banken und Investoren könnte zur Spekulation beitragen (JM 2006).

Der Automobilsektor, das Haupteinsatzgebiet von Platin, ist ein Wirtschaftsbereich mit hohen Wachstumsraten. Es ist daher zu erwarten, dass die Nachfrage nach Platin auch in den kommenden Jahren hoch bleiben wird. Ein zukünftiger Einsatzbereich von Platin könnte die Brennstoffzelle werden. Diese spielt derzeit nur eine unbedeutende Rolle. Das Versorgungsdefizit könnte daher nach einer vorübergehenden leichten Erholung im Jahr 2004 in den kommenden Jahren wieder ansteigen. Die in Kapitel 8 erfolgte Nachfrageabschätzung ergab eine potentielle Steigerung des Platinbedarfs bis 2025 um knapp 70 % bis 100 %, wobei der Anstieg der Primärplatinbedarfs etwa zwischen 55 % und knapp 90 % liegen könnte. Demnach ist bis 2025 ungefähr mit demselben Nachfrageanstieg nach Platin zu rechnen wie in den letzten 25 Jahren.

Nachfragetrends

9 Chinas Nachfrage nach bedeutenden Rohstoffen

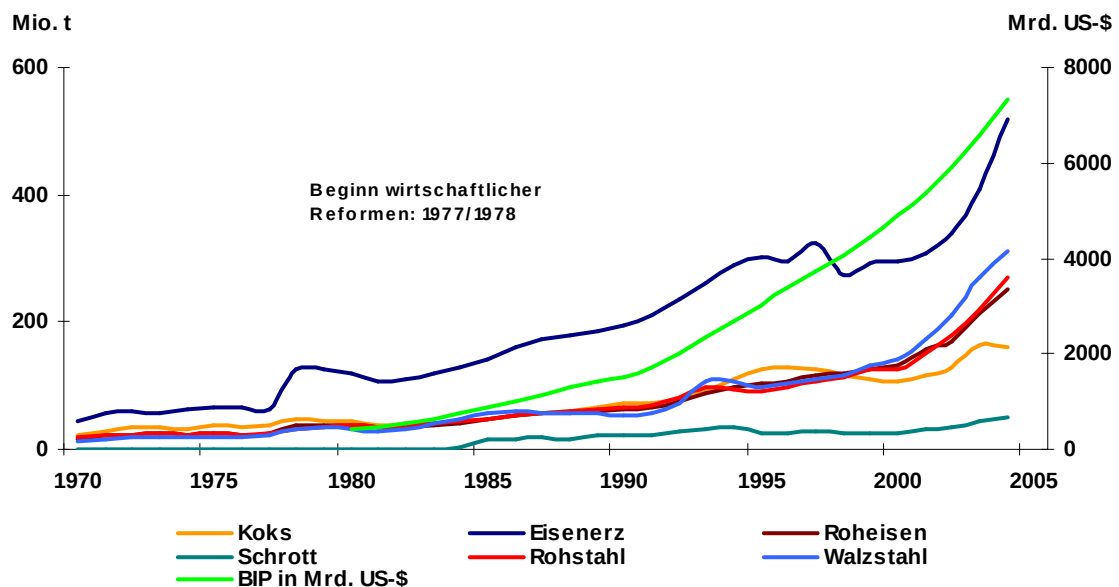
China ist mittlerweile zum weltgrößten Stahlhersteller avanciert. Die chinesische Rohstahlerzeugung ist zwischen 1975 und 2004 von 23,9 auf 272,5 Mio. t angestiegen (IISI 2005:12). Der Stahlverbrauch hat im gleichen Zeitraum sogar von knapp 70 Mio. t auf über 302 Mio. t zugenommen. Die somit steigende Nachfrage nach Rohstoffen zur Eisen- und Stahlerzeugung führte zu einer überrasgenden Bedeutung Chinas auf den internationalen Rohstoffmärkten. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel dieses Kapitels, die zukünftige Bedeutung Chinas für die Nachfrage nach bedeutenden Rohstoffen im Bereich der Eisen- und Stahlerzeugung sowie wichtigen metallischen Rohstoffen auf Basis der historischen Entwicklung abzuschätzen.

Zunehmende
Bedeutung Chi-
nas auf den in-
ternationalen
Rohstoffmärkten

9.1 Die wachsende Rohstoffnachfrage Chinas

Chinas internationale Bedeutung bei der Herstellung von Eisen und Stahl ist in den vergangenen Jahrzehnten eminent angestiegen, insbesondere seit den wirtschaftlichen Reformen von 1977/78 und der dadurch verbesserten wirtschaftlichen Entwicklung.

Verbrauch ausgewählter Rohstoffe in Mio. t und reales BIP in China in Mrd. US \$



Die Datenquellen für diese Abbildung und der folgenden Schaubilder bzw. Tabellen sind – soweit nicht anders angegeben – BGR

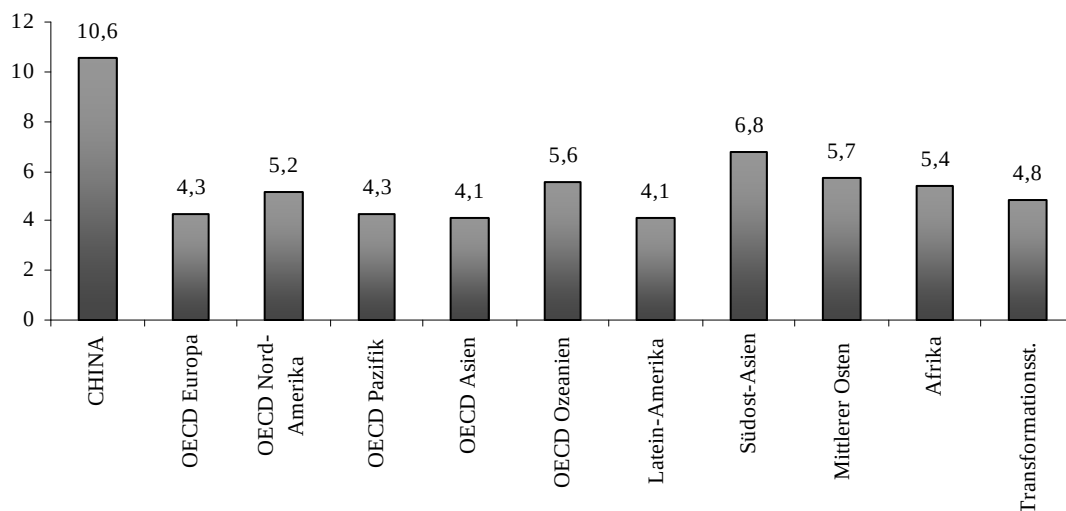
(2006) und verschiedene Jahrgänge des State Statistical Bureau China.

Von Beginn der wirtschaftlichen Reformen bis 2000 lagen die Wachstumsraten des realen Bruttoinlandsprodukts (BIP) in China im Durchschnitt bei 8,4 %. Insgesamt nahm das BIP zwischen 1977 und 2004 real um 776 % zu. Ziel der chinesischen Regierung ist eine Vervierfachung des realen BIP zwischen 2000 und 2020.

Zwischen 1980 und 2004 ist das BIP in China jährlich um 10,6 % gestiegen. Damit hatte China in Kaufkraftparitäten gemessen nach den USA das zweithöchste BIP in der Welt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit dem anderer Staaten wird üblicherweise das Bruttoinlandsprodukt in Kaufkraftparitäten verwendet. Das Wechselkursbezogene BIP gibt die Einkommensunterschiede hingegen nur unzureichend wider, da ein unterbewerteter Wechselkurs zu einem zu niedrigen Ausweis des Inlandsproduktes führen würde.

Bessere internationale Vergleichbarkeit des BIP in Kaufkraftparitäten

Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten (1980-2004) des BIP in Mrd. US \$ und Kaufkraftparitäten (Weltbank 2006)



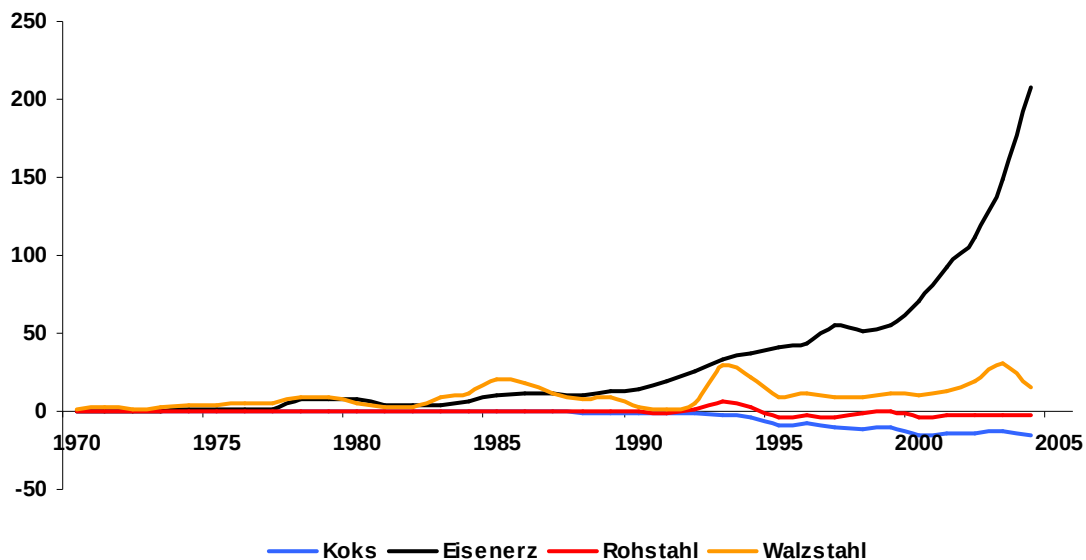
Die Wachstumsraten des Verbrauchs an Eisenerz, Roheisen und Rohstahl waren zum Teil deutlich höher als die des BIP. Das Verbrauchswachstum an Koks lag allerdings darunter. Mit zunehmendem Verbrauch stiegen auch die inländische Produktion und der Import dieser Rohstoffe an. China ist mittlerweile der weltweit größte Produzent von Kohle, Koks, Roheisen und Rohstahl.

Bei Rohstoffen mit geringen Reserven erhöht sich der Importbedarf

Anteile Chinas an der Weltproduktion

	Kohle	Koks	Eisenerz	Roheisen	Rohstahl
1960	21,0 %	25,3 %	6,8 %	10,5 %	5,4 %
1970	17,1 %	7,2 %	3,2 %	4,0 %	3,0 %
1980	22,7 %	13,5 %	6,6 %	7,6 %	5,2 %
1990	30,6 %	22,4 %	10,6 %	11,8 %	8,6 %
1995	37,1 %	39,2 %	13,5 %	20,1 %	13,3 %
2000	28,7 %	37,3 %	12,2 %	22,7 %	15,2 %
2004	34,1 %	45,8 %	13,3 %	35,1 %	25,8 %

Lediglich bei der Eisenerzförderung hat China einen geringen Weltmarktanteil von 13,3 % und ist zunehmend auf Importe angewiesen. Allein zwischen 2000 und 2004 sind die Eisenerzimporte um etwa 200 % gestiegen.

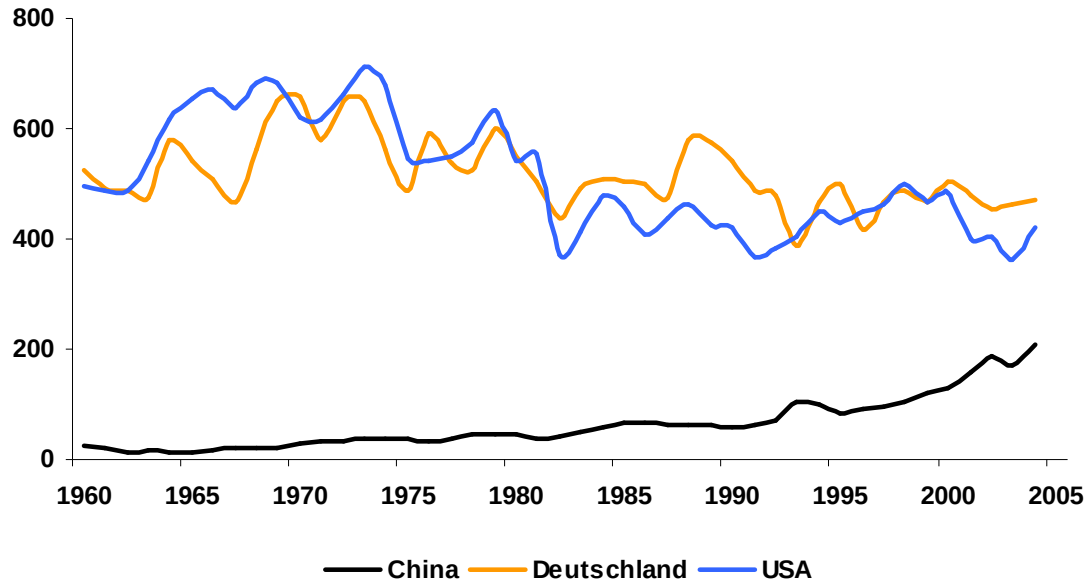
Nettoimporte ausgewählter Rohstoffe, Halbfertig- und Fertigwaren in Mio. t

Die Nettoimporte an Walzstahl lagen in den vergangenen Jahren zwischen 10 und 30 Mio. t und machten 5-10 % des Verbrauchs aus. Um sich auch in Zukunft die Importe an Eisenerz zu sichern, hat China - wie auch im Öl- und Gassektor - Abkommen zur Rohstoffexploration abgeschlossen. Beim Eisenerz vor allem mit Unternehmen aus Australien und Brasilien (USGS 2006e).

Vergleicht man den spezifischen Rohstahlverbrauch Chinas mit Industriestaaten wie Deutschland oder USA, so bewegen sich diese Entwicklungen auf einander zu. 2004 betrug der Pro-Kopf

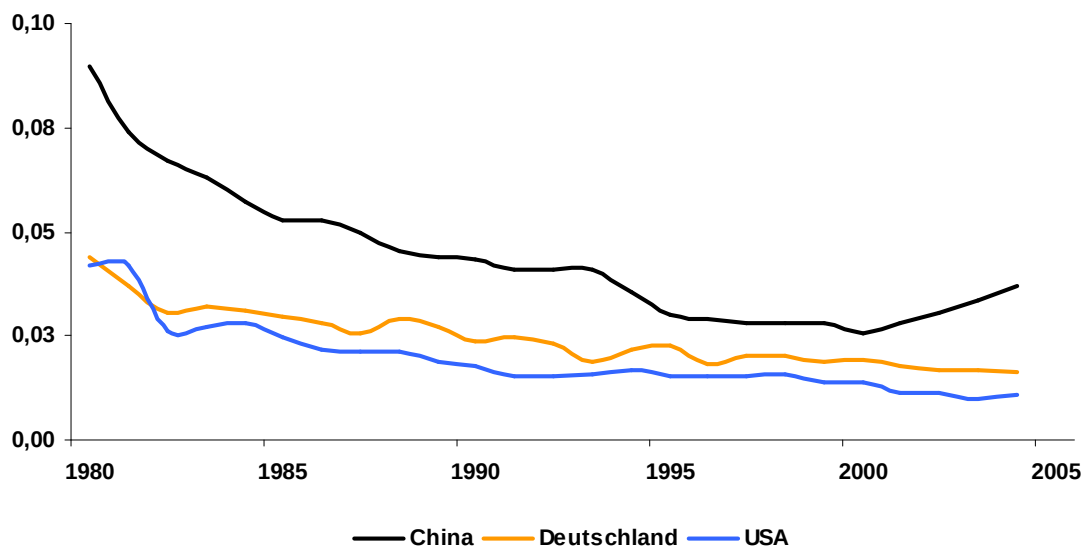
Verbrauch an Rohstahl in China etwa 200 kg, in Deutschland und den USA lag er mehr als doppelt so hoch.

Pro-Kopf-Verbrauch an Rohstahl in China, Deutschland und den USA in kg



Bezieht man den Rohstahlverbrauch Chinas auf das BIP in Kaufkraftparitäten, ergeben sich eine bis 2000 fallende Stahlintensität sowie ein seit 2000 stetiges Anwachsen des Rohstahlverbrauchs je BIP.

Sichtbare Rohstahlintensität des Bruttoinlandsprodukts in China, Deutschland und den USA in kg/US \$ in Kaufkraftparitäten



9.2 Szenarien der wirtschaftlichen Entwicklung in China

Um den Unsicherheiten der zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung Rechnung zu tragen, wird ein **Szenarienansatz** gewählt: Für das BIP, welches 2004 bei 7,3 Billionen US \$ lag, werden drei Szenarien angenommen, zwischen denen sich die tatsächliche Entwicklung der Rohstoffnachfrage in China bewegen könnte:

Szenarienansatz
bei der Schätzung
der zukünftigen
Rohstoffnachfrage

- **HIGH:** Fortschreibung des Trends der vergangenen 10 Jahre: 8 % p.a. Das resultierende BIP läge im Jahr 2025 bei 37 Billionen US \$.
- **LOW:** Niedriges Wachstum von 4 % p.a. Das BIP läge dann im Jahr 2025 17 Billionen US \$.
- **MEDIUM:** Nach anfänglich hohen Wachstumsraten von 10 % p.a. bis 2010 sinken diese bis 2025 langsam auf durchschnittlich 4 % p.a. ab. 2025 läge das BIP bei 29 Billionen US \$.

Als am wahrscheinlichsten kann das Medium-Szenario angesehen werden.

9.3 Abschätzung des Rohstoffverbrauchs

Ausgangspunkt ist die Annahme, dass die wirtschaftliche Entwicklung Chinas die wesentliche Determinante der Rohstahlnachfrage ist. Dabei wird angenommen, dass der Rohstahlverbrauch in Mio. t im Wesentlichen durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Mio. US \$ bestimmt wird. Gleichung (1) zeigt die OLS-Schätzung dieses Zusammenhangs auf der Basis der Werte von 1980 bis 2004:

$$(1) \log (\text{Rohstahlverbrauch}) = -0,422 + 0,635 \log (\text{BIP})$$

t-Werte (-1.869) (21.428)

Verwendet man logarithmierte Variablen, lassen sich die Koeffizienten als Elastizitäten interpretieren. Demnach induziert ein Wachstum des BIP in China um 1 % eine Steigerung des Rohstahlverbrauchs um rund 0,64 %.

Der Nettoimport an Rohstahl lag in der Vergangenheit nur bei etwa 2 Mio. Tonnen, was verglichen mit der Produktion von 272,5 Mio. t im Jahr 2004 vernachlässigbar ist. Zur Vereinfachung wird daher im Folgenden der zukünftige Nettoimport Chinas an Rohstahl auf Null gesetzt.

Um eine grobe Abschätzung des zukünftigen Verbrauchs an Elektrostahl zu gewinnen, wird davon ausgegangen, dass dessen Anteil zukünftig leicht steigen wird, von 19 % im Jahr 2005 auf 21,5 % im Jahr 2025. Elektrostahl wurde in China bislang nur in vergleichsweise geringen Mengen hergestellt. 2004 machte dies lediglich 18,4 % an der gesamten Rohstahlproduktion aus. Zum Vergleich: Die entsprechenden Anteile betrugen in Deutschland 30,7 % und in den USA 52,1 %. Für den niedrigen Anteil der Elektrostahlproduktion in China sind insbesondere die schlechte Schrottqualität, notorische Stromknappheiten und ein immer noch subventionierter Kohle- und damit Kokspreis verantwortlich, denn diese Faktoren begünstigen die Produktion von Oxygenstahl.

Differenzierung der Produktion von Oxygen- und Elektrostahl

Nimmt man einen bivariaten Zusammenhang zwischen dem Verbrauch an Roheisen in Mio. t und der Produktion an Rohstahl in Mio. t an, so ergibt sich empirisch:

$$(2) \log(\text{Roheisenverbrauch}) = -0,050 + 1,009 \log(\text{Rohstahlproduktion})$$

t-Wert (-0,519) (45,882)

Der Nettoimport von Roheisen schwankt im Zeitablauf um den Wert Null und wird konstant auf diesen Wert gesetzt. Der Verbrauch ist damit gleich der Produktion.

Weiterhin wird angenommen, dass die Produktion von Roheisen im Oxygenstahlverfahren den Verbrauch von Eisenerz und Koks determiniert:

(3) $\log(\text{Eisenerzverbrauch}) = 1,691 + 0,638 \log(\text{Roheisenproduktion})$
t-Wert (9,476) (15,756)

$$(4) \log(\text{Koksverbrauch}) = 0,874 + 0,802 \log(\text{Roheisenproduktion})$$

t-Wert
(4,977)
(20,115)

Die Förderung von Eisenerz und Koks wird mit der durchschnittlichen Wachstumsrate der vergangenen 30 Jahre fortgeschrieben. Die Nettoimporte von Eisenerz und Koks ergeben sich aus der Differenz von Verbrauch und Förderung bzw. Produktion.

9.4 Ergebnisse

Träfe das HIGH-Szenario zu, wäre etwa mit einer Verfünfffachung des Rohstahlverbrauchs zu rechnen. Bei einem niedrigen Wirtschaftswachstum von jährlich 4 % ist lediglich eine Verdoppelung des Rohstahlverbrauchs zu erwarten. Träfe das MEDIUM-Szenario

zu, könnte es etwa zu einer Vervierfachung des Rohstahlverbrauchs kommen.

Geschätzter Verbrauch an Rohstahl in China in Mio. t

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH	290	427	638	951	1 413
LOW	278	334	410	504	621
MEDIUM	295	478	674	912	1 121

Die Rohstahlintensität des BIP wird in allen drei Szenarien leicht ansteigen und mit 0,036-0,038 kg/US \$ etwa im Bereich des Niveaus der Industrieländer in den 1980er Jahren liegen (0,030-0,045 kg/US \$). Dabei wird die Oxygenstahlroute in China aus den genannten Gründen die weitaus wichtigere Technik zur Stahlerzeugung bleiben. Die Oxygenstahlproduktion könnte 2005 bis 2025 im LOW-Szenario um 260 Mio. t auf 488 Mio. t ansteigen. Im HIGH-Szenario läge der Anstieg bei 875 Mio. t auf 1 111 Mio. t. Die Produktion an Elektrostahl wird im gleichen Zeitraum nur zwischen 80 Mio. t auf 132 Mio. t (LOW) und um etwa 245 Mio. t auf 302 Mio. t (HIGH) anwachsen.

Nur leichtes Ansteigen der Rohstahlintensität des BIP

Geschätzter Verbrauch an Oxygen- und Elektrostahl in China in Mio. t

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH-Szenario					
Oxygenstahl	235	340	505	750	1 111
Elektrostahl	55	86	133	201	302
LOW-Szenario					
Oxygenstahl	226	267	325	398	488
Elektrostahl	53	67	84	106	132
MEDIUM-Szenario					
Oxygenstahl	239	381	533	719	880
Elektrostahl	56	97	141	194	241

Je nach Szenario der wirtschaftlichen Entwicklung könnte der Verbrauch an Roheisen bis 2025 um 126 % auf 624 Mio. t (LOW) bzw. 400 % auf 1 434 Mio. t (HIGH) steigen. Da Roheisen international kaum gehandelt wird, wurde angenommen, dass die Nettoimporte Null betragen. Daher sind Produktion und Verbrauch identisch.

Steigender Verbrauch an Roheisen (125 %-400%)

Geschätzter Verbrauch an Roheisen in China in Mio. t

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH	288	426	641	961	1 434
LOW	276	333	409	505	624
MEDIUM	294	479	678	921	1 134

Das starke Wachstum der Oxygenstahlproduktion induziert einen starken Anstieg der Produktion und Nettoimporte an Eisenerz. Bei einem durchschnittlichen Wachstum des BIP um 8 % p.a. (HIGH-Szenario) würde der Verbrauch an Eisenerz zwischen 2005 und 2020 um 430 % steigen, bei einem niedrigen Wachstum von 4 % p.a. wären es 120 %. Das MEDIUM-Szenario liefert einen Zuwachs des Verbrauchs von 310 %.

Steigender
Verbrauch an
Eisenerz (104 %-
384 %)

Schätzwerte für Verbrauch, Förderung und Importe an Eisenerz in Mio. t

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH-Szenario					
Verbrauch	266	408	621	939	1 412
Förderung	115	139	167	202	243
Nettoimporte	151	270	453	738	1 168
LOW-Szenario					
Verbrauch	270	328	397	486	597
Förderung	115	139	167	202	243
Nettoimporte	155	190	230	284	353
MEDIUM-Szenario					
Verbrauch	284	485	695	942	1 158
Förderung	115	139	167	202	243
Nettoimporte	169	346	528	740	914

Von 2000 bis 2004 lag die Eisenerzintensität der Roheisenerzeugung im Durchschnitt bei 1,13 t Eisenerz je Tonne Roheisen (IISI 2005). Die Substitution von Stückerz durch Sinter und die damit verbundene Reduktion der Eisenerzintensität der Roheisenerzeugung setzt sich nur im LOW-Szenario bis 2025 von 0,93 auf 0,91 t Eisenerz je Tonne Roheisen fort. Im MEDIUM und HIGH-Szenario wird heimischer Sinter durch Import-Eisenerz substituiert und die Intensität steigt wieder leicht.

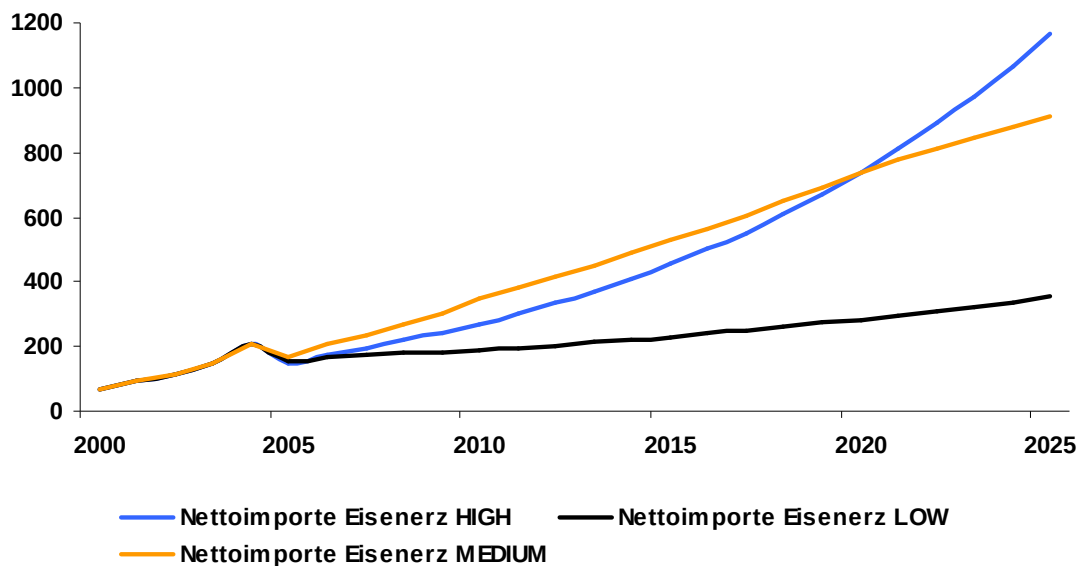
Reduktion der
Eisenerzintensität
der Roheisener-
zeugung

Geschätzte Eisenerzintensität der Roheisenerzeugung in China in t_{Fe} je t Roheisen

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH	0,92	0,96	0,97	0,98	0,98
LOW	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91
MEDIUM	0,92	0,97	0,98	0,98	0,92

Für die Weltmärkte bedeutsam ist das Wachstum der Importnachfrage Chinas nach Eisenerz zwischen 2005 und 2025. Es bewegt sich zwischen 155 % (LOW) und 560 % (HIGH). Im MEDIUM-Szenario liegt die Zuwachsrate bei 390 %.

Nettoimporte an
Eisenerz

Geschätzte Nettoimporte an Eisenerz in China in Mio. t Eiseninhalt

Die wichtigsten Gründe für die steigende Importnachfrage in China sind der geringe Eisengehalt des chinesischen Eisenerzes und des daraus erzeugten Sinters sowie die abnehmende Verfügbarkeit profitabler heimischer Vorräte. Der Eisengehalt des chinesischen Erzes liegt nur bei 32-33%, in reichen Lagerstätten in Brasilien oder Australien ist der Eisen-Gehalt des Erzes mit ca. 60 % erheblich höher. Dies bedeutet, eine Tonne importiertes Eisenerz kann zwei Tonnen heimisches Eisenerz substituieren. Zudem präferieren Sektoren, die Stahl mit einer hohen Wertschöpfung verarbeiten (z.B. der Automobilbau) importiertes Erz (USGS 2006e). Folge dieser Entwicklung sind ein geringerer Ausbau der heimischen Förderkapazitäten (LOW: 85 %, HIGH: 270 %) im Vergleich zum Verbrauch (LOW: 120 %; HIGH: 430 %).

Geringer Eisen-
gehalt des chine-
sischen Eisener-
zes

Darüber hinaus nehmen die chinesischen Reserven an Eisenerz rechnerisch ab (BGR 2006). Lagen die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte im Jahr 1999 noch bei 7,8 Mrd. t Eiseneintrag, so machten diese 2004 mit ca. 7 Mrd. t Eiseneintrag nur noch 8,9 % der Weltreserven aus. Das Abnehmen der Reserven bedeutet jedoch nicht, dass nicht mehr genug Eisenerz in den Lagerstätten vorhanden ist. Das Abnehmen der Reserven spiegelt vielmehr die Tatsache wider, dass ein wachsender Teil des vorhandenen chinesischen Eisenerzes derzeit nicht mehr zu wettbewerbsfähigen Kosten abgebaut werden kann.

Geschätzte Kenngrößen zu Schrott in Mio. t

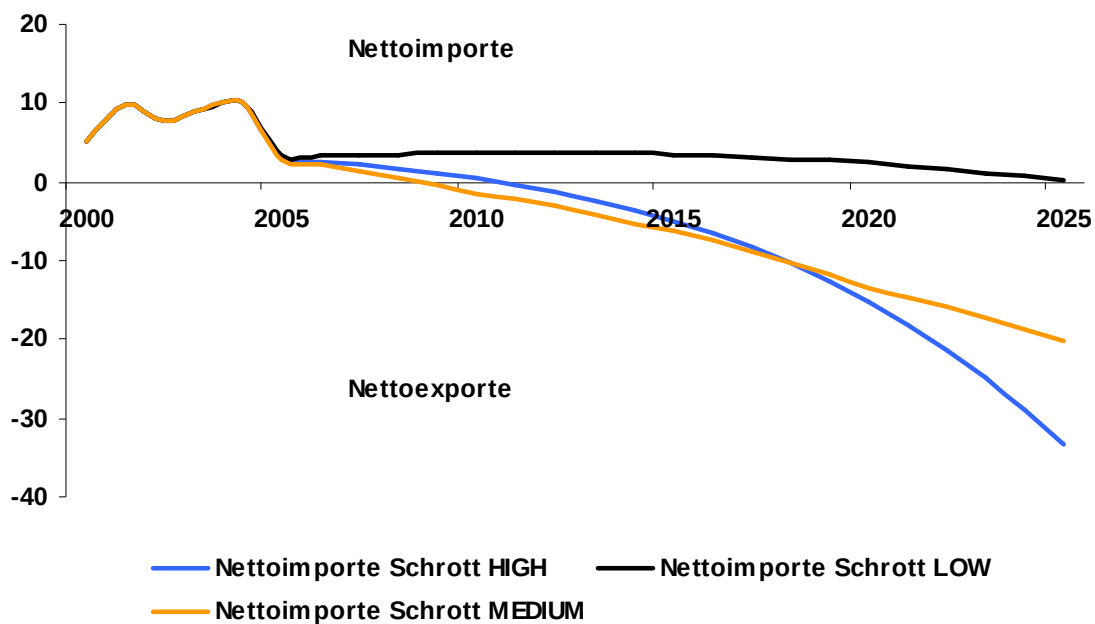
	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH-Szenario					
Verbrauch an Schrott	60	86	120	166	229
Anfall an Schrott	57	86	125	181	263
Schrottintensität der Rohstahlerzeugung (t je t)	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16
LOW-Szenario					
Verbrauch an Schrott	58	73	88	105	125
Anfall an Schrott	54	69	85	103	124
Schrottintensität der Rohstahlerzeugung (t je t)	0,21	0,22	0,22	0,21	0,20
MEDIUM-Szenario					
Verbrauch an Schrott	60	94	126	161	191
Anfall an Schrott	58	96	132	175	212
Schrottintensität der Rohstahlerzeugung (t je t)	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17

Der Verbrauch an Schrott steigt in den verschiedenen Szenarien nur unterproportional. Im HIGH-Szenario sind es im Zeitraum 2005 bis 2025 282 %, im MEDIUM-Szenario 218 % und im LOW-Szenario 116 %. Der wichtigste Grund für die geringe Substitution von Roheisen durch Schrott und der damit verbundene Rückgang der Schrottintensität der Rohstahlerzeugung ist ein nur leichter Anstieg der Bedeutung der Elektrostahlerzeugung (2004: 18,4 %; 2025: 20,6 %). Der relativ geringe Anstieg ist insbesondere in der großen Kohlelastigkeit des chinesischen Primärenergieverbrauchs mit geringen Förderkosten, die die Oxygenstahlerzeugung günstiger macht sowie in anhaltenden Stromknappheiten begründet, welche zu ständigen Engpässen bei der Elektrostahlerzeugung führen.

Legt man eine durchschnittliche Verweildauer von 15-20 Jahren beim Primärmaterial des Schrotts (Walzstahl) an, so lässt ein geschätzter Verbrauch von Walzstahl (2005: 339 Mrd. t; 2010: 517 Mrd. t) einen heimischen Schrottanfall von ca. 260 Mrd. t im Jahr 2025 durchaus zu, setzt aber erhebliche Recyclinganstrengungen in China voraus. Ermutigende Initiativen zur Einführung einer Kreislaufwirtschaft in China (Oberheitmann, 2005:51) lassen dies nicht unwahrscheinlich erscheinen.

Potenzial für Schrottanfall vorhanden, Voraussetzung für Realisierung: erhebliche Recyclinganstrengungen

Geschätzte Nettoimporte an Schrott in China in Mio. t



Vor dem Hintergrund des deutlich stärkeren Wachstums des Schrottanfalls (HIGH: 361 %; MEDIUM: 266 %, LOW: 130 %) im Vergleich zur Schrottnachfrage, sind ab 2008 sogar Exportüberschüsse an Schrott möglich (MEDIUM). Im HIGH-Szenario ab 2012, im LOW-Szenario erst ab 2025. Befürchtungen, China könnte langfristig den Schrottmarkt leer kaufen, erscheinen insofern als nicht berechtigt.

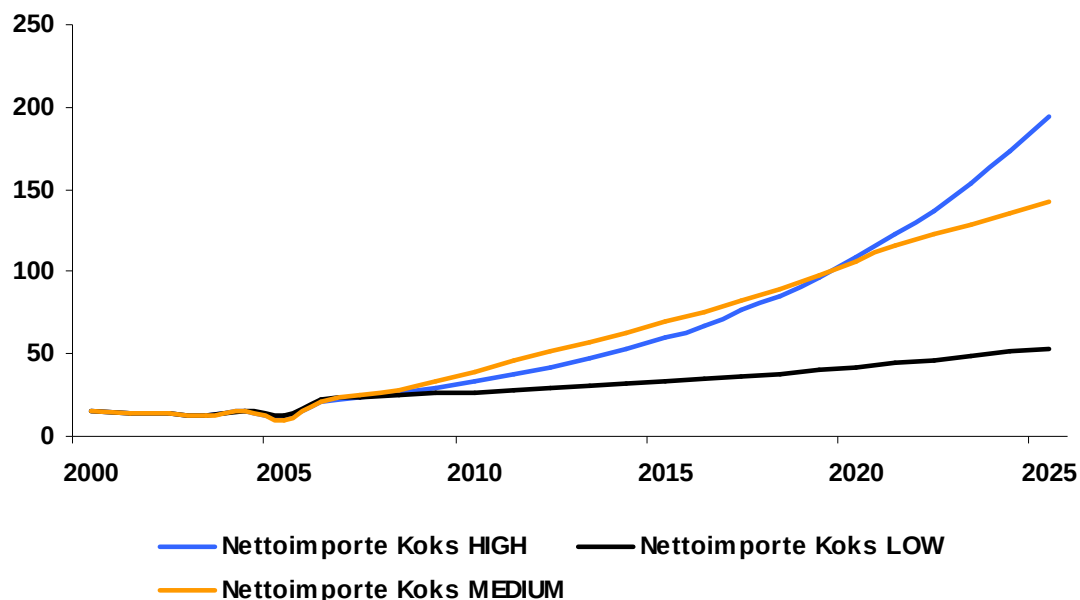
Die geringe Abnahme der Bedeutung des Oxygenstahlverfahrens führt nur zu einem mäßigen Absinken des spezifischen Kokeinsatzes zur Roheisenerzeugung von 0,69 t Koks je Tonne Roheisen im Jahr 2004 auf 0,58 (LOW) und 0,53 (HIGH) im Jahr 2025. Damit ist China auch im Jahr 2025 noch weit vom internationalen Niveau entfernt (Deutschland: 0,23 t). Der Koksverbrauch steigt deshalb im HIGH-Szenario um 244 %, im MEDIUM-Szenario um 170 % und im LOW-Szenario um 73 %.

Sinkender spezifischer Kokeinsatz zur Roheisenerzeugung

Geschätzte Kenngrößen zu Koks in Mio. t

	2005	2010	2015	2020	2025
HIGH-Szenario					
Verbrauch	224	307	425	588	811
Produktion	235	340	485	697	1 005
Koksintensität der Roheisenerzeugung (t je t)	0,78	0,72	0,66	0,61	0,57
LOW-Szenario					
Verbrauch	217	251	297	352	416
Produktion	230	279	330	394	470
Koksintensität der Roheisenerzeugung (t je t)	0,78	0,76	0,73	0,70	0,67
MEDIUM-Szenario					
Verbrauch	228	337	445	569	672
Produktion	238	375	515	675	845
Koksintensität der Roheisenerzeugung (t je t)	0,77	0,70	0,66	0,62	0,59

Deutlich höhere Wachstumsraten der Produktion bedingt durch hohe Potenziale zur Kohleförderung und –verkokung sowie bestehende Überkapazitäten sollten den Nettoexport von Koks begünstigen.

Nettoexporte an Koks in China in Mio. t

2025 könnten die Nettoexporte zwischen 55 Mio. t (LOW) und 200 Mio. t (HIGH) liegen. Für die internationale Koksversorgung sollte dies langfristig einen stabilisierenden Effekt haben.

9.5 Chinas Nachfrage nach bedeutenden Metallrohstoffen

Auch Chinas Nachfrage nach Nichteisenmetallen ist erheblich: Zwischen 1980 und 2004 wuchs der jährliche Verbrauch an Kupfer im Durchschnitt um 12 %, bei Aluminium um 12,6 %, bei Zink um 12,5 % und der Bedarf an Chrom stieg sogar um 19,5 %. Das Verbrauchswachstum stimmte in diesem Zeitraum bei Kupfer, Zink und Aluminium in etwa mit dem durchschnittlichen wirtschaftlichen Wachstum von 12,7 % überein, während der Chrombedarf einen deutlich stärkeren Anstieg aufwies.

Chinas Verbrauch bedeutender Metalle in Mio. t

	Kupfer	Aluminium	Zink	Chrom
1980	0,2	0,4	0,2	0,0
1990	0,4	0,9	0,5	0,7
2000	1,7	3,7	1,5	1,3
2004	2,7	6,2	2,7	2,4
Metallintensität	0,36	0,85	0,37	0,32

Bezieht man den Metallverbrauch auf das BIP, so stimmen die resultierenden Kupfer-, Zink- und Aluminiumintensitäten für 2004 mit rund 0,35 kg je 1 000 US \$ BIP in etwa überein, wohingegen die Aluminiumintensität deutlich höher ausfällt. In den 1980er Jahren hatte sich die Metallintensität bei Kupfer, Aluminium und Zink zum Teil deutlich verringert, in den 1990er Jahren war sie mehr oder weniger konstant, um ab dem Jahr 2000 wieder leicht anzusteigen. Die entsprechende Chromintensität ist bis Mitte der 1990er Jahre gestiegen, danach aber wieder gesunken. Unterstellt man vor diesem Hintergrund über die Zeit konstante Metallintensitäten, wie sie in der Tabelle dargestellt sind, so lassen sich entsprechend den unterschiedlichen Wachstumsszenarien auch für diese Metalle unterschiedliche Verbrauchsentwicklungen prognostizieren.

Annahme: konstante Metallintensität des BIP des Jahres 2004 im Zeitraum 2005 bis 2025.

Kupfer

Sollte das BIP mit 8 % pro Jahr bis 2025 in ähnlicher Weise wachsen wie in den vergangenen 25 Jahren (HIGH), so würde der Verbrauch an Kupfer um 365 % anwachsen, von 3 Mio. t im Jahr 2005 auf 13 Mio. t bis 2025. Im eher unwahrscheinlichen LOW-

Szenario mit einem jährlichen Wirtschaftswachstum von nur 4 % pro Jahr läge der Verbrauch im Jahr 2025 lediglich bei 6 Mio. t. Im MEDIUM-Szenario würde sich der Verbrauch um 265 % auf rund 11 Mio. t erhöhen und würde damit knapp 40 % des in Kapitel 8.1 für 2025 prognostizierten weltweiten Kupferverbrauchs ausmachen. Im HIGH-Szenario läge der Anteil Chinas sogar bei nahezu der Hälfte.

Chinas Verbrauch an Kupfer in Mio. t

	HIGH	LOW	MEDIUM
2005	3	3	3
2010	4	3	5
2015	6	4	7
2020	9	5	9
2025	13	6	11

Aluminium

Im HIGH-Szenario würde der Verbrauch von Aluminium bis 2025 auf 31 Mio. t ansteigen. Im MEDIUM-Szenario nähme der Verbrauch auf 25 Mio. t. Damit würde China auch bei Aluminium etwa 40 % bis 50 % des in Kapitel 4 für 2025 geschätzten Angebotes an Primäraluminium absorbieren.

Chinas Verbrauch an Aluminium in Mio. t

	HIGH	LOW	MEDIUM
2005	7	6	7
2010	10	8	11
2015	15	10	15
2020	21	12	21
2025	31	14	25

Zink

Im HIGH-Szenario würde der Zinkverbrauch auf 14 Mio. t im Jahr 2025 zunehmen, im MEDIUM-Szenario auf 11 Mio. t. Träfe eines dieser beiden Szenarien tatsächlich zu, würde China weit mehr als die Hälfte des in Kapitel 9.4 für das Jahr 2025 geschätzten Zinkangebotes benötigen.

Chinas Verbrauch an Zink in Mio. t

	HIGH	LOW	MEDIUM
2005	3	3	3
2010	4	3	5
2015	6	4	7
2020	9	5	9
2025	14	6	11

Chrom

Chinas Chrombedarf könnte 2025 nach dem MEDIUM- bzw. High-Szenario zwischen 9 Mio. t und 12 Mio. t liegen. Diese Mengen würden nahezu bzw. mehr als das Doppelte der Chromproduktion von 2004 bedeuten und deutlich über der in Kapitel 8.5 für das Jahr 2025 geschätzten Chromproduktion von 7,1 Mio. t. Ohne eine deutliche Reduktion des spezifischen Chromverbrauchs Chinas könnte es in Zukunft folglich zu massiven weltweiten Versorgungsproblemen bei Chrom kommen.

Chinas Verbrauch an Chrom in Mio. t

	HIGH	LOW	MEDIUM
2005	3	2	3
2010	4	3	4
2015	6	4	6
2020	8	4	8
2025	12	5	9

9.6 Die Rohstoffdiplomatie der chinesischen Regierung

Bei derartigen Perspektiven ist es nahe liegend, dass Rohstoffe längst zum bedeutenden Faktor chinesischer Außenhandelspolitik geworden sind. China knüpft vermehrt bilaterale Handelsbeziehungen zu rohstoffreichen Staaten aus Afrika, dem Mittleren Osten und Lateinamerika. Bei Direktinvestitionen ist China im Gegensatz zu westlichen Staaten auch in solchen Regionen aktiv, in denen westliche Unternehmen aus politischen Gründen weniger präsent sind, so zum Beispiel in Ländern wie Angola, Sudan, Nigeria und Iran. Gemäß kanadischen Angaben gehen 10 % der chinesischen Investitionen in politisch instabile Gebiete und 20-30% in lediglich moderat stabile Regionen (Jen 2006). Hier nimmt China einerseits

ein größeres Risiko in Kauf, hat aber andererseits weniger Konkurrenz durch die Industriestaaten zu fürchten.

Die hauptsächlich auf bilateralen Beziehungen zu einzelnen Exportländern beruhende Rohstoffdiplomatie der chinesischen Regierung umfasst strategische Maßnahmen wie

- den Abschluss von Freihandelsabkommen,
- wirtschaftliche Hilfen in Form von Schuldenerlassen sowie weichen Krediten, d.h. Krediten mit geringeren Zinssätzen, einer langen Laufzeit und einer hohen Anzahl von tilgungsfreien Jahren,
- die Unterstützung beim Bau von Infrastrukturprojekten.

Im Gegenzug sichert sich China die Nutzungsrechte an den ausländischen Ressourcen.

So hat sich China etwa im Rahmen eines Freihandelsabkommens mit Chile langfristig rund 50 % der chilenischen Kupferförderung gesichert (China Daily 2005), unter anderem durch Direktinvestitionen der China Minmetal Corporation.

Zunehmende Bedeutung bilateraler Beziehungen zwischen China und seinen Handelspartnern

Chinesische Anteile an ausländischen Explorationsprojekten

Unternehmen	Rohstoffe	Ausländische Explorationen
Asia Minerals	Kupfer, Gold, Zink	Aurora (Philippinen)
China Minmetals	Kupfer	Gaby (Chile)
China National Nonferrous metals	Chrom, Gold, Blei, Silber, Dinegat Zink	
Direkte Beteiligungen der chinesischen Regierung	Eisenerz	Channar (Australien)
Transpacific Mining	Gold	Danao (Philippinen); Lascongon (Philippinen)
Laishou Gold	Gold	Laizhou Gold (Kasachstan)
Sinopec	Öl, Ölsand	Northern Lights Project (Kanada)

Quelle: Mine and Quarry Data (2006), China Daily (2005).

Bei einem Anteil Chiles von 35-40 % der weltweiten Förderung hat China nun Zugriff auf bis zu 20 % der weltweiten Produktion von Kupfer. Besonders aktiv ist China im Öl- und Gasbereich. 2004 haben die Sinopec und andere chinesische Ölfirmen etwa 7 Mrd. US \$ für 65 Explorationsprojekte in 30 Ländern investiert (Asia Pacific Energy Research Centre 2006). 2005 und im erstem Halbjahr 2006 wurden vom Amerikanischen Energieministerium 36 Projekte gezählt (US Department of Energy 2006), darunter die

Langfristige Sicherung von 20 % der weltweiten Kupferproduktion durch Direktinvestitionen in Chile

40 % Beteiligung der Sinopec am kanadischen Northern Lights Project. Zudem beteiligte sich die chinesische Regierung durch das Ministry of Water and Resources direkt an ausländischen Minenunternehmen.

Der Erwerb von Beteiligungen im ausländischen Rohstoffsektor hat für China bzw. chinesische Unternehmen Vorteile gegenüber dem Kauf am Markt:

- Reduzierung des Risikos der Volatilität der Rohstoffpreise,
- Beschaffung der Rohstoffe unter dem Marktpreis,
- Erhöhung der Unabhängigkeit durch den Wegfall von Zwischenhändlern.

Durch Direktinvestitionen staatseigener chinesischer Unternehmen oder gar der Regierung selbst wird eine teure Risikominderungsstrategie betrieben, die für Planwirtschaften typisch sein dürfte, aber in marktwirtschaftlichen Systemen weder vorstellbar noch adäquat wäre. Mehr als eine Risikominderungsstrategie ist dieses Vorgehen Chinas indessen nicht: Die Nachfrage des Landes nach Rohstoffen ist ehemals hoch und beeinflusst so die Rohstoffpreise, gleichgültig auf welche Weise China seinen enormen Rohstoffbedarf befriedigt.

Risikominderung
durch Erwerb von
Beteiligungen an
ausländischen
Unternehmen

Ausländische Anteile an chinesischen Unternehmen und Förderstätten

Unternehmen/Förderstätte Rohstoffe		Ausländische Anteile
Alaishang	Gold	Hanfang Evergreen (Kanada) Transax International (USA) Mineral Resources (China)
Guizhou JVCO	Kupfer, Gold	Bactec Mining (Kanada) - 100%
Sino-Top Resources and Technologies	Kupfer, Blei, Silber, Zinn, Wolfram, Zink	Silver Dragon Resources (Kanada) - 60 %
Tongguan Country Glory Mining	Gold	WC Exploration Company (Kanada) - 70 %
Yunnan Longten Mining	Kobalt, Gold	Magnus International Resources (Kanada) - 90 % Team 209 (China) - 10 %

Quelle: Mine and Quarry Data (2006)

Darüber hinaus ist die internationale Verflechtung Chinas keine Einbahnstraße. Internationale Direktinvestitionen in chinesische Unternehmen, insbesondere aus Kanada, gehen bis hin zu vollständigen Übernahmen. Wie die Namen der Investoren verraten, sind dies in vielen Fällen Unternehmen von Chinesen, die im Aus-

land leben und in ihr Heimatland investieren. Diese haben allein auf Grund der sprachlichen Vorteile mit geringeren Hemmnissen zu rechnen als andere ausländische Investoren.

9.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

China ist nicht nur der weltweit größte Nachfrager nach Stahl und den dafür benötigten Rohstoffen, sondern auch der weltweit größte Produzent wichtiger Einsatzstoffe für die Eisen- und Stahlerzeugung. So ist das Land der weltweit größte Förderer von Kohle und Flussspat und der bedeutendste Koksproduzent. Nach den hier erfolgten Abschätzungen könnte China bis 2025 eine wachsende Nettoexportposition bei Koks und Stahlschrott aufbauen, während andererseits mit einer Vervielfachung der Importnachfrage nach Eisenerz zu rechnen ist. Der wesentliche Grund dafür ist der mit etwa 32 % geringe Eisengehalt des chinesischen Eisenerzes, während der Eisengehalt der Erzimporte etwa bei 60 % liegt. Die schlechte Qualität und die somit mangelnde Wettbewerbsfähigkeit des chinesischen Eisenerzes haben bereits in den vergangenen Jahren zu einem im Vergleich zum Verbrauchswachstum unterproportionalen Ausbau heimischer Förderkapazitäten geführt.

Bei vielen anderen Rohstoffen wie Kupfer oder Aluminium, so die in diesem Kapitel erfolgten Abschätzungen, wird der chinesische Verbrauch ebenfalls massiv ansteigen, so dass Chinas Anteil am weltweiten Bedarf dieser Rohstoffe 2025 durchaus bei rund 40 % liegen könnte. Allerdings muss die in diesem Zusammenhang oftmals benutzte Bezeichnung des chinesischen Rohstoffverbrauchs als regelrechtem „Rohstoffhunger“ relativiert werden: Erstens ist der Pro-Kopf-Verbrauch Chinas bei den meisten Rohstoffen weit unterhalb des entsprechenden Verbrauchs der Industrieländer. Zweitens ist die Importabhängigkeit bei vielen Rohstoffen weitaus geringer als dies bei anderen Industrieländern der Fall ist. So fördert China mehr Flussspat als es selbst benötigt und deckt seinen Zinkverbrauch praktisch durch die inländische Förderung von Zinkerzen. Drittens kann nicht missachtet werden, dass viele Produktionsstätten nach China verlagert wurden und werden, so dass der dadurch zunehmende Rohstoffverbrauch letztlich auch globale Ursachen hat und nicht nur auf die Befriedigung der Bedürfnisse Chinas zurückgeht.

Internationale
Rohstoffversor-
gung bei vielen
Rohstoffen durch
Chinas Nachfra-
gewachstum
nicht gefährdet

Chinas „Rohstoff-
hunger“ hat auch
globale Ursachen

10 Anhang A: Tabellen

Tabelle A1: Risikowerte der Förderländer

Land	Risikowert	Land	Risikowert	Land	Risikowert
Island	2,04	Puerto Rico	0,90	Südafrika	0,34
Finnland	2,00	Taiwan	0,89	Buthan	0,33
Luxemburg	1,98	Ungarn	0,85	Namibia	0,32
Singapur	1,97	Zypern	0,85	Belize	0,26
Neuseeland	1,93	Botswana	0,81	Tunesien	0,21
Dänemark	1,88	Oman	0,77	Kroatien	0,20
Schweiz	1,88	Litauen	0,73	Jordanien	0,18
Schweden	1,78	Brunei	0,73	Bulgarien	0,13
Norwegen	1,78	Costa Rica	0,70	Mikronesien	0,13
Niederlande	1,74	Tschechien	0,69	Panama	0,08
Australien	1,69	Griechenland	0,68	Thailand	-0,02
Kanada	1,68	Slowakei	0,67	Mauretanien	-0,02
Österreich	1,64	Monaco	0,66	Mongolei	-0,02
UK	1,60	Lettland	0,66	Mexiko	-0,03
Hongkong	1,53	Italien	0,65	Surinam	-0,05
Irland	1,51	Bahrain	0,60	Brasilien	-0,06
Liechtenstein	1,51	Quatar	0,59	Lesotho	-0,08
Deutschland	1,43	Guam	0,59	Rumänien	-0,08
USA	1,38	Dominica	0,59	Marokko	-0,12
Belgien	1,38	Südkorea	0,59	El Salvador	-0,13
Chile	1,28	Malaysia	0,52	Saudi Arabien	-0,13
Malta	1,25	Franz. Guyana	0,49	Madagaskar	-0,16
Japan	1,16	Granada	0,48	Jamaika	-0,17
Frankreich	1,13	Kuwait	0,46	Türkei	-0,17
Spanien	1,11	Uruguay	0,45	Ghana	-0,18
Portugal	1,10	Israel	0,44	Gambia	-0,24
Estland	1,05	Polen	0,43	Senegal	-0,25
Arabische Emirate	1,03	Samoa	0,41	Sri Lanka	-0,26
Aruba	0,98	Palau	0,36	Mali	-0,27
Slowenien	0,96	San Marino	0,35	China	-0,28

Tabellenanhang

Land	Risikowert	Land	Risikowert	Land	Risikowert
Guyana	-0,34	Guatemala	-0,70	Venezuela	-1,07
Ägypten	-0,34	Dschibuti	-0,70	Laos	-1,09
Dom. Republik	-0,36	Kambodscha	-0,73	Tschad	-1,12
Indien	-0,37	Kasachstan	-0,74	Tadschikistan	-1,14
Armenien	-0,38	Syrien	-0,74	Kongo	-1,19
Nicaragua	-0,40	Ecuador	-0,75	Angola	-1,19
Vietnam	-0,41	Kirgisien	-0,75	Nigeria	-1,32
Peru	-0,41	Kuba	-0,77	Elfenbeinküste	-1,37
Benin	-0,41	Libyen	-0,77	Nordkorea	-1,40
Burkina Faso	-0,41	Niger	-0,77	Usbekistan	-1,40
Gabon	-0,42	Eritrea	-0,78	Zentralafrika	-1,43
Mozambique	-0,44	Indonesien	-0,79	Turkmenistan	-1,46
Mazedonien	-0,47	Kamerun	-0,81	Burundi	-1,46
Tansania	-0,47	Algerien	-0,81	Sudan	-1,46
Libanon	-0,49	Kenia	-0,81	Simbabwe	-1,55
Philippinen	-0,50	Iran	-0,86	Haiti	-1,61
Argentinien	-0,51	Papua Neuguinea	-0,86	Myanmar	-1,65
Bolivien	-0,51	Paraguay	-0,89	Afghanistan	-1,69
Swasiland	-0,53	Georgien	-0,90	Liberia	-1,70
Sambia	-0,56	Togo	-0,91	Zaire	-1,71
Malawi	-0,56	Guinea-Bissau	-0,92	Irak	-1,92
Kolumbien	-0,57	Nepal	-0,93	Somalia	-2,24
Albanien	-0,58	Guinea	-0,94		
Russland	-0,60	Aserbeidschan	-0,96		
Honduras	-0,61	Pakistan	-0,97		
Serb.-Montenegro	-0,62	Sierra Leone	-0,99		
Uganda	-0,63	Westjordanland	-0,99		
Ukraine	-0,63	Äthiopien	-1,00		
Ost Timor	-0,63	Bangladesch	-1,01		
Ruanda	-0,63	Weißrussland	-1,03		
Moldawien	-0,67	Äquatorialguinea	-1,04		
Bosn.-Herzegowina	-0,67	Yemen	-1,06		

Tabelle A.2: Förderung und reale Preise von Legierungsmetalle zwischen 1950 und 2002

	Förderentwicklung (in %) seit			Preisentwicklung (in %) seit		
	1950	1970	1990	1950	1970	1990
Antimon	196	111	145	-60	-87	-22
Arsen	-26	-29	-34	-23	10	4
Beryllium	-53	-49	-56	-47	37	1
Magnesium	841	95	21	-38	-31	-41

Quelle: USGS (2005).

Tabelle A.3: Förderung und reale Preise von Industriemineralien zwischen 1950 und 2002

	Förderentwicklung (in %) seit			Preisentwicklung (in %) seit		
	1950	1970	1990	1950	1970	1990
Baryt	315	53	3	-24	-22	-27
Bor	k.A.	1 694	58	66	-2	0
Feldspat	1 252	285	63	30	-10	0
Flussspat	439	9	-11	-57	-52	-53
Gips	347	96	-3	-50	-36	-20
Graphit	380	94	-19	25	112	-49
Kalisalz	747	46	-4	-47	1	-9
Kieselgur	271	21	14	34	1	-15
Phosphat	477	42	-17	-33	3	-6
Steinsalz	337	44	15	-10	-21	-13
Schwefel	434	38	0	-89	-89	-91
Talk	520	84	-5	-23	-14	-18
Vermiculit	62	-4	-34	72	24	15
Zirkon	2 900	89	-11	3	37	-29

Quelle: USGS (2005)

Tabelle A.4: Förderung und reale Preise sonstiger Metalle zwischen 1950 und 2002

	Förderentwicklung (in %) seit			Preisentwicklung (in %) seit		
	1950	1970	1990	1950	1970	1990
Lithium	950	159	16	k.A.	-12	-16
Quecksilber	-64	-82	-56	-74	-92	-55
Rhenium	k.A.	k.A.	-31	k.A.	-88	-34
Seltene Erden	20 794	518	86	-76	235	-48
Strontium	k.A.	474	43	217	279	37
Wismut	191	9	18	-80	-89	-36

Quelle: USGS (2005).

Tabelle A.5: Förderung und reale Preise von Stahlveredlern zwischen 1950 und 2002

	Förderentwicklung (in %) seit			Preisentwicklung (in %) seit		
	1950	1970	1990	1950	1970	1990
Chrom	524	135	14	50	40	-31
Kobalt	564	97	13	-38	-24	-32
Mangan	202	-7	-16	-11	50	-50
Molybdän	790	57	2	-68	-71	-37
Titan	k.A.	k.A.	k.A.	-90	-40	-45
Vanadium	k.A.	304	81	-77	-77	-83
Wolfram	223	82	14	-69	-65	-22

Quelle: USGS (2005).

Tabelle A.6: Tests auf Trendstationarität der Preise von „Stahlveredlern“

	ADF	KPSS	Fazit
Chrom	Ja	Nein	Nein
Kobalt	Ja	Ja	Ja
Molybdän	Nein	Ja	Nein
Nickel	Nein	Ja	Nein
Tantal	Nein	Nein	Nein
Titan	Ja	Nein	Nein
Vanadium	Nein	Nein	Nein
Wolfram	Ja	Ja	Ja

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A.7: Tests auf Trendstationarität der Preise von Edelmetallen

	ADF	KPSS	Fazit
Gold	Nein	Ja	Nein
Platinmetalle	Nein	Ja	Nein
Silber	Nein	Ja	Nein

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A.8: Tests auf Trendstationarität der Preise von Legierungsmetallen

	ADF	KPSS	Fazit
Antimon	Ja	Ja	Ja
Arsen	Ja	Nein	Nein
Beryllium	Ja	Nein	Nein
Magnesium	Ja	Nein	Nein

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A.9: Trendextrapolation der Fördermengen von Edelmetallen in t

	2000	2010	2020	2025	Ins- gesamt	Jährlich
Gold	2 590	2 884	3 588	4 017	55,1 %	1,8 %
Platinmetalle	365	438	517	556	52,3 %	1,7 %
Silber	18 400	22 632	27 736	30 540	66,0 %	2,0 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A.10: Trendextrapolation der Fördermengen von Legierungsmetallen in 1 000 t

	2002	2010	2020	2025	Ins- gesamt	Jährlich
Antimon	118,0	116,1	133,0	141,9	20,3 %	0,7 %
Arsen	29,4	34,1	35,4	36,2	23,2 %	0,8 %
Magnesium	428,0	468,7	536,0	569,6	33,1 %	1,2 %

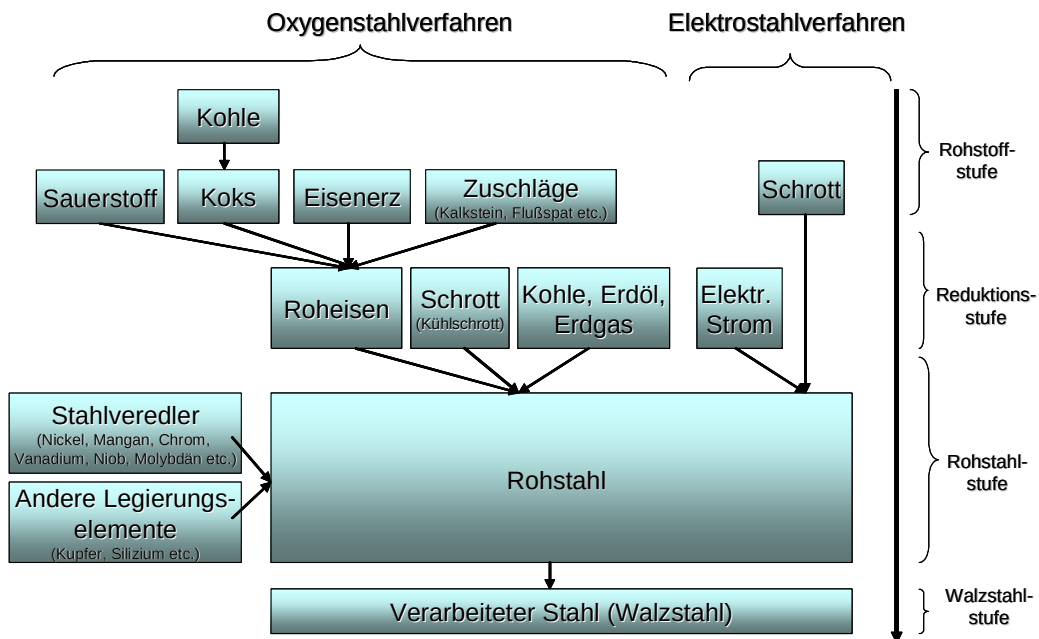
Quelle: Eigene Berechnungen.

11 Anhang B: Eisen- und Stahlerzeugung

Die Herstellung von Rohstahl basiert derzeit im Wesentlichen auf zwei Verfahrenswegen, dem Oxygenstahlverfahren im Hochofen-Sauerstoffaufblaskonverter sowie dem Elektrostahlverfahren, bei dem Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen wird.

Wertschöpfungs-
kette bei der
Stahlerzeugung

Wertschöpfungskette in der Eisen- und Stahlerzeugung (Wienert 1996:26)



Die rohstoffliche Wertschöpfungskette der Eisen- und Stahlerzeugung lässt sich in vier Stufen einteilen: Die Rohstoffgewinnung, Reduktionsstufe, Rohstahlstufe sowie die Walzstufe. Diese Stufen werden im Folgenden für das Oxygenstahl- und Elektrostahlverfahren beschrieben. Das früher bedeutende Siemens-Martin-Verfahren spielt auch in China nur noch eine untergeordnete Rolle (Wienert, 1996: 23).

Stufen der roh-
stofflichen Wert-
schöpfungskette
in der Eisen- und
Stahlerzeugung

Rohstahlerzeugung in der Oxygenstahlroute

Beim Oxygenstahlverfahren wird Stahl aus Eisenerz gewonnen, wobei Koks als Reduktionsmittel verwendet wird. Im Hochofen wird daraus Roheisen gewonnen, das im Konverterstahlwerk zu Rohstahl umgewandelt wird. Eisenerz wird in Form von Stückerzen, Sinter und Pellets eingesetzt. Diese Eisenerzträger enthalten Sauerstoff, der im Hochofenprozess durch „Reduktion“ entfernt wird. Durch Aufbereitungs- und Anreicherungsprozesse zur Anhe-

Einsatz verschie-
dener Rohstoffe
zur Roheisener-
zeugung

bung des Eisen-Gehaltes fallen allerdings in den Eisenerzgruben zunehmend sehr feinkörnige Erze an, die agglomeriert werden müssen. Dies erfolgt durch Pelletieren und Sintern, in der Regel auf dem Gelände der Stahlproduzenten.

Zur Reduktion wird Kohlenstoff eingesetzt, der den Sauerstoff an sich bindet. Der wichtigste Kohlenstoffträger zur Reduktion ist Hochofenkoks, der in Kokereien aus der qualitativ hochwertigen Kokskohle gewonnen wird.

Wichtigstes Reduktionsmittel:
Koks

Zur Optimierung des Prozesses und Senkung der Herstellungskosten werden als Koksersatz auch andere Kohlenstoffträger, wie Kohle, Öl, Gas oder aufbereitete Altkunststoffe verwendet. Der Betrieb eines Hochofens ganz ohne Koks ist allerdings nicht möglich, denn der Koks dient als Stützgerüst im Hochofen

Daher sind auch Verfahren entwickelt worden, die Erze unter Umgehung von Koks reduzieren, die Direkt- und die Schmelzreduktion. Sowohl die Direkt-, als auch die Schmelzreduktion sind jedoch von der Wirtschaftlichkeit her auf bestimmte Regionen und Anlagenkonfigurationen begrenzt und können die Produktionsleistungen eines großen Hochofens nicht erreichen.

Alternative Reduktionsverfahren haben ihre Grenzen

Bei der Direktreduktion wird kein flüssiges Roheisen erzeugt. Den Erzen wird lediglich der Sauerstoff entzogen. Die Reduktionsgaserzeugung erfolgt bei den meisten Direktreduktionsverfahren durch Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Der entstehende Eisenschwamm wird im Wesentlichen im Lichtbogenofen eingesetzt. Bei der Schmelzreduktion wird zweistufig gearbeitet. Dabei werden die Erze zu Eisenschwamm reduziert. Dieser wird anschließend unter Einsatz von Kohle und Sauerstoff zu einem hochofenähnlichen Roheisen umgewandelt. Von den Schmelzreduktionsprozessen wird bisher lediglich das sog. „Corex-Verfahren“ betrieblich angewendet.

Das im Hochofen erzeugte Roheisen enthält noch störende Begleitelemente wie Kohlenstoff, Silizium, Schwefel und Phosphor. Diese Bestandteile werden im Konverter-Stahlwerk entfernt. Dabei werden bestimmte Mengen Schrott von bis zu 25 % der Gesamtcharge als Kühlmittel zugesetzt, da der Oxidationsprozess eine starke Wärmeentwicklung verursacht. Neben Roheisen und Schrott werden Kalk zur Schlackenbildung und Legierungsrohstoffe wie Chrom oder Vanadium zur Verbesserung oder Anpassung der Stahleigenschaften an die Anforderungen des Endprodukts Stahl eingesetzt.

Entfernung störender Begleitelemente und Zusatz von Legierungsmitteln

Rohstahlerzeugung in der Elektrostahlroute

Beim Elektrostahlverfahren wird anstatt Eisenerz Stahlschrott verwendet. Zum Einschmelzen des Schrotts wird heute der Elektrolichtbogenofen eingesetzt. Durch den Lichtbogen lässt sich elektrische Energie mit einem sehr hohem Wirkungsgrad und einer großen Energiedichte in Schmelzwärme umwandeln. Mit Lichtbogenöfen lässt sich unabhängig vom Schrottanteil jede beliebige Stahlsorte erzeugen.

Schmelzen des
Schrotts im
Lichtbogenofen

Erzeugung von
Rohstahl unab-
hängig vom
Einsatzmaterial

Der elektrische Strom kann nicht ohne weiteres dem öffentlichen Netz entnommen werden, sondern muss durch einen Transformator in einen Strom mit niedrigerer Spannung und hoher Stromstärke umgewandelt werden. Graphitelektroden leiten den elektrischen Strom und bilden den Lichtbogen zum metallischen Einsatz.

Walzstahlerzeugung

Der flüssige Rohstahl wird auf der Walzstahlstufe zu Walzstahl bzw. Walzstahlerzeugnissen weiterverarbeitet. Zu diesem Zweck wird er durch das Vergießen in bestimmte Formen, Abmessungen und Gewichte gebracht. Rohstahl kann in zwei Verfahren vergossen werden, im Blockguss- sowie im Stranggussverfahren. Heute wird der zur Warmumformung durch Walzen bestimmte flüssige Stahl in der Regel im Stranggießverfahren vergossen. In Deutschland beträgt der Strangguss-Anteil rund 97% der gesamten Walzstahlerzeugung, weltweit sind es rund 90%. Das Stranggießen bringt gegenüber dem Blockguss beträchtliche Energie- und Rohstoffeinsparungen mit sich. Zudem ist der Reinheitsgrad beim Stranggießen infolge des Gießens unter Luftabschluss besser als beim Blockguss.

Verfahren der
Walzstahlerzeu-
gung

12 Anhang C: Technischer Wandel bei ausgewählten Rohstoffen

12.1 Kupfer

Materialeigenschaften

Kupfer ist gut verformbar und besitzt mit Ausnahme von Silber die höchste elektrische Leitfähigkeit aller Metalle. Deshalb wird Kupfer bevorzugt in elektrotechnischen Anwendungen genutzt. Kupfer verfügt über eine hohe Wärmeleitfähigkeit, welche ebenfalls nur von Silber übertroffen wird. Aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit wird Kupfer manchmal auch als Halbedelmetall bezeichnet. Kupferoberflächen bilden bei Kontakt mit Luft eine schützende Schicht aus, die als Patina oder Grünspan bezeichnet wird. Seine bakterienhemmende Wirkung verhindert die Ansiedlung von Keimen auf kupferhaltigen Oberflächen, wie beispielsweise Türgriffen aus Messing. Diese Eigenschaften von Kupfer sind beim Eintrag in Gewässer unerwünscht, weshalb es Bestrebungen gibt, Anwendungen von Kupfer, aus denen Kupferionen in Gewässer gelangen können, zu beschränken. Darunter fallen beispielsweise Kupferdächer und -fassaden, Regenrinnen und Regenfallrohre.

Kupfer ist ein wichtiger Basiswerkstoff für die Industrie

Verwendung

Die Hauptverwendungsgebiete von Kupfer liegen in den Sektoren Bauwesen, Elektrotechnik und Elektronik. Diese Bereiche beanspruchen zusammen über zwei Drittel des Kupferbedarfs. Die Nutzung im Sektor Maschinenbau, Fahrzeug- und Verkehrstechnik fällt dagegen mengenmäßig deutlich ab.

Technische Trends in den Nachfragesektoren

Ein Segment der Kupferverwendung im Bausektor ist die **Trinkwasserleitungsinstallation** in Gebäuden. Der Kupferverbrauch ist in diesem Bereich seit Anfang der 90er Jahre rückläufig. Dies beruht auf dem Vormarsch von Kunststoffrohren, die sich durch technologische Verbesserungen beim Werkstoff und der Verbindungstechnik heute schnell und kostengünstig verlegen lassen. Lag der Anteil von Kupferrohren 1992 noch bei 66 % der verlegten

Die Kupfernutzung im Bausektor ist rückläufig

Trinkwasserleitungen, fiel der Anteil auf 40 % im Jahr 2004 (KRV 2005). Wozu auch der Rückgang der Bauleistungen beigetragen hat. 2004 wurden dafür rund 50 000 t Kupfer verbraucht (IZT 2004).

Anteile der Verwendungssektoren (WVM 2006)

	Produktbeispiele	Anteile
Bauwesen	Trinkwasserrohre, Fassadenverkleidungen, Dachrinnen, Regenfallrohre, Armaturen, Türklinken, Beschläge, elektrische Leitungen	37 %
Elektrotechnik und Elektronik	Hochspannungskabel und -leitungen, Elektromotoren, Transformatoren, Schalter, Spulen und Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik, Haushaltsgeräte, Platinen, elektronische Bauelemente, Solarmodule	32 %
Maschinenbau	Wärmetauscher und Kühlmittelrohre, Ventile, Lagerwerkstoffe, Flussmittel und Schweißzusätze, Bleche und Bänder	14 %
Fahrzeugbau und Verkehrstechnik	Elektrische Stellmotoren, Anlasser, Lichtmaschine, Zündspule, Kabel, Elektrische Traktionsmotoren für Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Kühler, Bremsleitungen, Stromschienen für Schienenfahrzeuge	8 %
Sonstiges	Feimechanik, Schmuck, Münzen, Pflanzenschutzmittel- und Holzschutzmittelzusatz	9 %
Insgesamt		100 %

Offene Kupferanwendungen im Außenbereich von Bauwerken, zum Beispiel Dächer, Regenrinnen, Regenfallrohre und Fassadenverkleidungen, aus denen durch Witterungseinflüsse Kupferionen herausgelöst und in Gewässer gelangen können, stehen in Europa und den USA unter Beobachtung. Durch die biozide Wirkung von Kupfer können solche Einträge Wasserorganismen schädigen. Die Schweizer Umweltbehörden haben die Empfehlung ausgesprochen, auf den Einsatz von Kupfer in diesen Verwendungen zu verzichten (UBA 2005).

Bei **elektrischen Installationen** wird durch die Computerisierung und Mechanisierung von Verstellvorgängen der Installationsaufwand weiter zunehmen. Darunter fallen Verstellvorgänge von Rollläden, Fenstern, Türen sowie die Ansteuerung von Leuch-

ten, Haushaltsmaschinen, Kommunikationsgeräten und Computern. Begrenzt wird der Zuwachs durch die verstärkte Nutzung sicherer Funktechnik, die in den zurückliegenden Jahren große Fortschritte gemacht hat.

Bedarfseffekte des Technischen Wandels

Produktsegment	Anteile 2004	Anteile 2025
Trinkwasserrohre	4,5 %	2,3 %
Dachdeckung und -entwässerung, Fassaden	3,6 %	0,0 %
Elektrische Gebäudeinstallationen	16,6 %	16,6 %
Übrige	12,3 %	12,3 %
Bauwesen insgesamt	37,0 %	31,2 %
IKT Kabel	8,0 %	4,0 %
Übrige	24,0 %	24,0 %
Elektrotechnik, Elektronik gesamt	32,0 %	28,0 %
Stellmotoren in Fahrzeugen	0,8 %	1,6 %
Elektrische Traktionsmotoren in Fahrzeugen	0,0 %	7,5 %
Übrige	7,2 %	7,2 %
Fahrzeugbau insgesamt	8,0 %	16,3 %
Maschinenbau und Übrige	23,0 %	23,0 %
Insgesamt	100,0 %	98,5 %

Im Bereich der **Informations- und Kommunikationstechnik** stößt die Kupferleitung bei Breitbandanwendungen an technische Grenzen (MMR 2005). Der Bedarf, die Übertragungsraten zu steigern, hält ungebrochen an und wird nicht nur durch die Einführung des High Definition Fernsehen Standards (HDTV) forciert. In diesem Bereich werden Kupferleitungen zunehmend durch Glasfaserkabel ersetzt werden.

Im Fahrzeugbau hält der Trend zur Mechanisierung von Verstellvorgängen an. Waren 1992 im Mittel noch 19 elektrische **Stellmotoren im Fahrzeug** vorhanden, so stieg die Zahl 2002 auf 30 an (IZT 2004, CC 2000). Fensterheber, Sitzverstellung, Türschließer sind nur einige Beispiele für solche Anwendungen, welche zusätzlichen Kupferbedarf für die Motorwicklungen auslösen.

Der Kupfer-einsatz im Fahrzeugbau steigt

Der Kupferbedarf für **Traktionsmotoren in Fahrzeugen** spielt gegenwärtig noch eine untergeordnete Rolle. Mit der gelungenen Markteinführung von Hybridfahrzeugen, wie beispielsweise dem Toyota Prius, ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer breiten Anwendung dieser emissionsarmen und Kraftstoff sparenden Antriebstechnik gelungen. Die Einführung der Brennstoffzelle als Energiequelle des Fahrzeugantriebs könnte diesen Trend noch verstärken und einen starken Nachfrageschub nach Kupfer bei Fahrzeugtraktionsmotoren auslösen.

Insgesamt könnten sich die den Kupferbedarf steigernden und senkenden technischen Einflüsse beinahe die Waage halten. Der erwartete Rückgang der Kupferanwendungen im Baubereich und in der Elektrotechnik sollte durch die Steigerung der Kupfernachfrage in der Fahrzeugtechnik in etwa kompensiert werden können, so dass im Saldo bis 2025 eine sehr leichte Abnahme des spezifischen Kupferbedarfs um 1,5 % gegenüber 2004 erwartet wird. Da der spezifische Kupferbedarf folglich beinahe konstant bleiben sollte, dürfte die Nachfrage nach Kupfer bis 2025 in etwa proportional zum Wachstum der Nachfragesektoren verlaufen.

Der spezifische
Kupferbedarf
ändert sich nur
wenig

Recycling

Kupfer lässt sich ohne Einbuße der Werkstoffqualität beliebig oft recyceln: Aus Kupferabfällen raffiniertes Sekundärkupfer unterscheidet sich qualitativ nicht von Primärkupfer, das aus Erzen hergestellt wird.

Kupfer lässt sich
ohne Qualitäts-
einbußen recy-
celn

Die Recyclingquote hat in Deutschland einen Wert von 56 % erreicht (BGR 2005), d.h. 56 % des jährlichen Verbrauchs wird mit Sekundärkupfer gedeckt. In der EU beträgt die Recyclingquote 45 % (IPTS 2000), in den USA 41 % (Edelstein 2005). Sekundärkupfer aus Kupferschrott, der aus gebrauchten Produkten stammt, deckt in den USA lediglich 9 % des Kupferverbrauchs (Edelstein 2005). Diese Zahlen sind allerdings unsicher. Die gleiche Quelle, das United States Geological Survey, spricht in einer anderen Publikation von einer Recyclingquote von 30 % für Sekundärkupfer aus Produktionsabfällen und Kupferschrott (USGS 2006). Weltweit beträgt die Recyclingquote für Kupfer 13 % (ICSG 2005). Es besteht demnach noch ein erhebliches Potential inner- und außerhalb der Industriestaaten für den Ausbau des Kupferrecyclings. In den

In Deutschland
hat die Recyc-
lingquote von
Kupfer den hohen
Wert von 56 %
erreicht

industrialisierten Ländern werden die Recyclingquoten stark vom Stand der Sammellogistik bestimmt.

Bei der Nutzung in Brems- und Reibbelägen von Fahrzeugen, beim Abrieb von Fahrdrähten und Stromschienen in elektrischen Schienenfahrzeugen, und beim Abtrag von Dächern, Fassaden, Entwässerungsrinnen und -rohren sowie beim Kupferzusatz in Pflanzenschutzmittel geht Kupfer verloren. Derartige dissipative Nutzungen von Kupfer sind mengenmäßig indessen wenig bedeutsam. Insgesamt wird der aus dem Kupferbestand in Produkten technisch rückgewinnbare Anteil auf über 90 % geschätzt.

Über die erwartete globale Recyclingquote im Jahre 2025 finden sich in der Literatur keine Abschätzungen. Kupferschrott ist weltweit ein begehrter Sekundärrohstoff, dessen Verarbeitung zum Teil die gleichen Prozessstufen erfordert wie Kupfererze (Rombach 2003). Nach der elektrolytischen Raffination besitzt Sekundärkupfer die gleiche Qualität wie Primärkupfer. Der erzielbare Wert von Kupferschrott schafft Anreize für den Aufbau von Sammelsystemen.

Weltweit besteht ein großes Potential für den Ausbau des Kupferrecyclings

Unbekannt ist, welcher Kupferbestand in Produkten in den Schwellen- und Entwicklungsländern bis 2025 aufgebaut sein wird. In den entwickelten Ländern dagegen ist bereits ein großes Reservoir an kupferhaltigen Produkten vorhanden. Dieser Bestand wird in Deutschland auf 10,5 Mio. t Kupfer geschätzt (IZT 2004). Schätzungen für Nordamerika (USA, Kanada, Mexiko) kommen zu einem Kupferbestand in noch in der Nutzungsphase befindlichen Produkten von 70 Mio. t; zusätzlich sollen 56 Mio. t Kupfer in gebrauchten Produkten auf Deponien lagern (Gordon et al 2006).

Inwieweit der Anteil des Kupferrecyclings künftig weltweit steigen wird, ist angesichts der erheblichen regionalen Unterschiede unklar und letztlich vor allem eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Um die enorme Bedeutung des Recyclings einmal zu verdeutlichen, sollen im Folgenden zwei recht unterschiedliche Szenarien betrachtet werden. Szenario A geht mit einer Recyclingquote von 35 % von einem deutlichen Ausbau des weltweiten Kupferrecyclings bis 2025 aus. Szenario B geht mit einer Recyclingquote von 50 % davon aus, dass die technischen Möglichkeiten bei der Erfassung und Verarbeitung von Kupferschrott weltweit weitgehend ausgeschöpft werden.

Bedarf an Primärkupfer ohne Wirtschaftswachstum

Recyclingszenario A	2004	2025
Kupferbedarf	100,0 %	98,5 %
Weltweite Recyclingquote	13,0 %	35,0 %
Angebot an Sekundärkupfer	13,0 %	34,5 %
Bedarf an Primärkupfer	87,0 %	64,0 %
Relative Änderung des Primärkupferbedarfs	- 26,4 %	

Beide Szenarien zeigen, dass durch einen erheblichen Ausbau des Recyclings die Ausbeutung geologischer Ressourcen massiv gebremst würde.

Bedarf an Primärkupfer ohne Wirtschaftswachstum

Recyclingszenario B	2004	2025
Kupferbedarf	100,0 %	98,5 %
Weltweite Recyclingquote	13,0 %	50,0 %
Angebot an Sekundärkupfer	13,0 %	49,2 %
Bedarf an Primärkupfer	87,0 %	49,3 %
Relative Änderung des Primärkupferbedarfs	- 43,3 %	

Bei einer unveränderten Kupfernachfrage würde sich der Bedarf an Primärkupfer bei einer Recyclingquote von 35 % um 26 % reduzieren, bei einer Recyclingquote von 50 % sogar um 43 %.

Schätzung des Kupferbedarfs 2025

Bei der Untersuchung des Einflusses des Technischen Wandels wurde festgestellt, dass die den Bedarf steigernden und senkenden Faktoren sich beinahe die Waage halten. Damit dürfte die künftige Nachfrage nach Kupfer beinahe proportional zur Entwicklung der Wirtschaftleistung der Verbrauchssektoren verlaufen.

Der Bedarf an Primärkupfer nähme bei einer Recyclingquote von 35 % im Jahr 2025 zu, wenn das mittlere wirtschaftliche Wachstum der Kupfer verwendenden Sektoren zwischen 2004 und

2025 über 1,4 % pro Jahr liegen würde, wovon mit großer Wahrscheinlichkeit auszugehen ist. Bei einem mittleren Wachstum von 3,6 % pro Jahr wäre der Primärkupferbedarf 2025 um 55 % höher als 2004 und würde damit jährlich um 2,1 % wachsen.

Zur Einschätzung dieser Wachstumsraten soll ein Blick auf die Entwicklung der historischen Raten des weltwirtschaftlichen Wachstums geworfen werden. Nach Angaben des Internationalen Währungsfonds ist die Weltwirtschaft in den zehn Jahren zwischen 1987 und 1996 mit jährlich 3,3 % und zwischen 1997 und 2006 mit 3,9 % gewachsen (IMF 2005). Daraus ergibt sich für den Zeitraum von 20 Jahren zwischen 1987 und 2006 ein mittleres Wachstum von 3,6 % pro Jahr.

Bei einem sehr starken Ausbau der SekundärkupfERNutzung auf eine Recyclingquote von 50 % würde der Bedarf an Primärkupfer nur zunehmen, wenn das mittlere wirtschaftliche Wachstum über 2,7 % liegen würde. Würde diese Recyclingquote tatsächlich erreicht, dann läge der Primärkupferbedarf 2025 selbst bei einem jährlichen Wachstum von 5 % nur um 58 % über dem des Jahres 2004.

Diese Abschätzungen zeigen die enorme Bedeutung und das erhebliche Potential des Recyclings für die Entkopplung von Primärkupferbedarf und der wirtschaftlichen Entwicklung der Nachfragesektoren. Käme es zu einer massiven Nachfragesteigerung nach Kupfer, die eine erhebliche Herausforderung für die Gewinnung geogener Ressourcen darstellen würde, würden die entsprechenden wirtschaftlichen Anreize für hohe Recyclingquoten sorgen, die den Druck auf die geogenen Ressourcen deutlich senken könnten.

Der Ausbau des Recyclings entkoppelt den Primärkupferbedarf von der wirtschaftlichen Entwicklung der Nachfragesektoren

12.2 Aluminium

Materialeigenschaften

Aluminium ist ein sehr leichtes, weiches Metall, das sich walzen, gießen und verformen lässt. Eine Oxidschicht, die sich an der Luft schnell bildet, macht es korrosionsbeständig. Es ist darüber hinaus ein guter elektrischer Leiter

Aluminium: Sehr leichter und guter elektrischer Leiter

Verwendung

Aluminium wird aufgrund seines geringen spezifischen Gewichtes vor allem im Verkehrssektor eingesetzt. Aluminium wird außerdem häufig in der Verpackungs- und Bauindustrie verwendet (Rio Tinto 2005).

Aluminium wird zunehmend in Fahr- und Flugzeugen eingesetzt

Weltweite Anteile der Aluminium verarbeitenden Sektoren

Sektor	Produktbeispiele	Anteile
Verkehrsindustrie	Automobile, Flugzeuge	32 %
Verpackungsindustrie	Getränkedosen, Lebensmittel	21 %
Bauindustrie	Türen und Fenster, Dachbedeckung	19 %
Elektrotechnik	Überlandleitungen, Stromkabel	8 %
Maschinenbau	Maschinenelemente für Industrieroboter	8 %
Haushaltsartikel	Küchengeräte	6 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

In der **Automobilindustrie** hat sich der Aluminiumanteil eines PKW in den letzten 15 Jahren auf nunmehr durchschnittlich 120 kg verdoppelt (Metall 2005). Während der GDA (2006e) von einer Erhöhung auf etwa 140 bis 160 kg je PKW bis 2008 ausgeht, erwarten Hagen und Rüttimann (2004) für die nächsten 10 Jahre sogar eine Steigerung um weitere 50 %. 2005 wurden erstmalig mehr Motorblöcke aus Aluminium als aus Gusseisen hergestellt (ALU 2005a). Eine zunehmende Nachfrage nach Aluminium besteht auch im Karosseriebau, wo es vor allem wegen seiner Korro-

Aluminium ist im Karosseriebau gefragt

sionsbeständigkeit und guten Crashabsorptionseigenschaften geschätzt wird (Metall 2000, Hagen und Rüttimann 2004).

In erster Linie ist der Trend zur vermehrten Aluminiumverwendung auf das Bestreben zurückzuführen, den Treibstoffverbrauch und damit die Treibhausgasemissionen zu senken. Bei PKW reduziert sich der Treibstoffverbrauch um ca. 0,4 l/100 km pro 100 kg eingesparten Gewichts (Hagen und Rüttimann 2004). Die Ausschöpfung dieses Potenzials wird vor allem bei weiter steigenden Treibstoffpreisen oder zunehmenden CO₂-Restriktionen reizvoll werden. Initiiert durch die so genannten CAFE-Standards wird insbesondere auf dem US-Markt der Anreiz verstärkt, sparsamere Automobile herzustellen. Diese Standards definieren Ziele für den Treibstoffverbrauch, die Hersteller in den nächsten 6 Jahren erfüllen müssen (MBM 2005).

Alternativen zu Aluminium im Bereich des Leichtbaus ergeben sich zum einen durch neue, bisher nicht verwendete Materialien, aber auch durch Innovationen beim in der Automobilindustrie traditionell verwendeten Material Stahl. Während Aluminium verglichen mit Stahl nach wie vor teuer ist, können neue Stahllegierungen den Gewichtsachteil gegenüber Aluminium in bestimmten Anwendungen beinahe ausgleichen. Durch eine hohe Festigkeit dieser Legierungen kann der Materialeinsatz reduziert werden, ohne an Stabilität zu verlieren. BMW erzielt weitere Gewichtseinsparungen, indem Magnesium für Teile des Motors eingesetzt wird. Dieses Metall ist bis zu 75 % leichter als Stahl und 35 % leichter als Aluminium. Langfristig könnte Magnesium auch im Karosseriebau zum Einsatz kommen (VDI 2005a). Bei Audi wird dieses Metall allerdings zumindest mittelfristig als zu teuer eingeschätzt (VDI 2005b). Außerdem ist es deutlich weniger korrosionsbeständig als Aluminium und erfordert somit einen höheren Aufwand für Korrosionsschutz.

Es ist außerdem eine Übertragung der bereits im Flugzeugbau zum Einsatz kommenden Kunststoff- und Kohlefasertechnologien auf den Automobilbau vorstellbar. Dort werden zunehmend durch Kohlenstoff- und Glasfasern verstärkte Kunststoffe verwendet (Röhrle 2004). Die Luftfahrtindustrie wird im Zusammenhang mit technischen Entwicklungen bei Leichtbaukonstruktionen als richtungweisend für den gesamten Verkehrssektor angesehen (Röhrle 2004). Die Entwicklung in der Flugzeugherstellung deutet

Starke Konkurrenz zwischen Stahl und Aluminium im Automobilbau

Kunststoffe könnten Aluminium in Flugzeugen ersetzen

darauf hin, dass Aluminium langfristig gegenüber anderen Materialien wie Kunststoffen an Bedeutung verlieren könnte. Das Ende 2006 an den Markt gehende Großraumflugzeug Airbus A380 besteht zu 60 % aus Aluminiumlegierungen. Seine Herstellung erfordert damit eine zehnmal größere Menge des Leichtmetalls als ein Flugzeug der Typklasse A320 (MBM 2005). Dass diese Entwicklung hin zu Aluminium jedoch nicht ohne Alternativen ist, zeigt Boeing: Dessen Großraumflugzeug 787 wird voraussichtlich ab 2008 eingesetzt und besteht lediglich zu 20 % aus Aluminium, während über die Hälfte des Materials aus Kunststoff und Kohlefaser ist. Da diese Materialien allerdings erheblich aufwändiger zu reparieren sind, wird Aluminium insbesondere an sensiblen Stellen weiterhin eine Rolle spielen. Außerdem ist Aluminium wesentlich besser wiederverwerten als Kunststoffe (GDA 2006e). Bedingt durch einen insgesamt weiter wachsenden Bedarf in der Automobilindustrie, wird im **Verkehrssektor** kurz- bis mittelfristig mit einer **mäßig steigenden spezifischen Nachfrage** gerechnet: $q_i=1,25$.

Aluminium ist wegen seiner guten Korrosionseigenschaften und physiologischen Unbedenklichkeit als **Verpackungsmaterial** insbesondere für Lebensmittel sehr gut geeignet. Auch bei sehr geringen Dicken ist es dicht und kann damit auch sensible Stoffe dauerhaft schützen. So verhindert eine 0,006 mm dicke Aluminiumschicht das Eintreten von Sauerstoff in Getränkekartons (GDA 2006e). Auch Im Verpackungsbereich kommt dem Metall sein geringes Gewicht zugute.

Aluminium ist als luftundurchlässiges Verpackungsmaterial kaum zu ersetzen

Aluminium konnte im Zuge des Trends zu bereits verzehrfertigen Lebensmitteln in den letzten Jahren Marktanteile erobern (GDA 2006e). In Deutschland konnte der Materialeinsatz im Verpackungsbereich in den letzten 20 Jahren um 40 % reduziert werden, ohne dass die Funktionalität der Verpackungen beeinträchtigt wird (GDA 2006a).

Insbesondere auf Verpackungsmärkten mit obligatorischen Rücknahmesystemen führt der hohe Materialwert von Aluminiumschrott zu einem verstärkten Einsatz des Leichtmetalls (ALU 2005b). Wurden Getränkedosen in Deutschland bis vor einigen Jahren noch überwiegend aus Weißblech hergestellt, fördert das Rücknahmesystem den Aluminiumeinsatz (GDA 2006e).

Die wichtigste Materialeigenschaft des Aluminiums im Verpackungsbereich ist die Diffusionsdichtheit. Kunststoffe können dies

bei vertretbaren Dicken nicht leisten. Aluminium hat in diesem Bereich einen festen Platz (GDA 2006e). Insgesamt ist deshalb mit einer **mäßig steigenden spezifischen Nachfrage nach Aluminium im Verpackungssektor** zu rechnen: $q_i=1,25$.

Aluminium wird im **Gebäudebereich** vor allem in Form von Türen, Fenstern, in Fassaden, Dächern und Wänden eingesetzt (GDA 2006b). Neben gestalterischen und architektonischen Vorzügen machen seine Belastbarkeit, die Dauerhaftigkeit und sein Gewicht es zu einem beliebten Material. Aluminium steht im Baubereich mit anderen Materialien im Wettbewerb. **Es wird daher mit einer konstant bleibenden Nachfrage in der Bauindustrie gerechnet:** $q_i=1$.

Aluminium ist im Gebäudebereich leicht substituierbar

Auch im Bereich der **Elektrotechnik** profitiert Aluminium von seinem niedrigen spezifischen Gewicht. Da es zugleich ein guter elektrischer Leiter ist, wird es vor allem für Hochspannungsleitungen zum Stromtransport über größere Distanzen eingesetzt (GDA 2006c). In den Industrieländern kommt es wegen des bereits gut ausgebauten Stromnetzes häufig nur zu Ersatzinvestitionen (GDA 2006e).

Hochspannungsleitungen sind aus Aluminium

Im Falle von Überlandleitungen ist Aluminium dabei ohne Alternativen. Auch in Leitungen mit niedriger Spannung kam in den letzten Jahren verstärkt Aluminium zum Einsatz. Allerdings bleibt Kupfer in diesem Bereich technisch überlegen (MMR 2005). Da Aluminium den elektrotechnischen Bereich der Überlandleitungen bereits vollständig erobert hat und neue Verwendungen nicht erwartet werden, **dürfte die spezifische Nachfrage in der Elektrotechnik insgesamt gleich bleiben:** $q_i=1$.

Im **Maschinenbau** wird Aluminium verwendet, weil es beispielsweise Wärme schnell ableitet. Diese Vorteile scheinen gegenwärtig alternativlos (GDA 2006e). Im Bereich des Maschinenbaus wird der Verwendung von Aluminiumschaum immer wieder großes Entwicklungspotenzial attestiert. Dieses Material weist hervorragende Energie absorbierende Eigenschaften auf und kann so als Vibrations-, Schall- oder Wärmedämmmaterial verwendet werden (ISI 2004:100). Andererseits ist diese Technologie schon seit einigen Jahrzehnten bekannt und konnte sich bislang nicht entscheidend durchsetzen. **Insgesamt dürfte der spezifische Materialeinsatz von Aluminium im Maschinenbau konstant bleiben:** $q_i=1$.

Hat Aluminiumschaum im Maschinenbau Zukunft?

Die Aluminiumverwendung für **Haushaltsartikel** ist in den letzten Jahren angestiegen. Neben Funktionalität spielen dabei zunehmend ästhetische Aspekte eine Rolle (GDA 2006d). Da Aluminium in dieser Hinsicht nicht zwangsläufig erforderlich wäre, könnte ein weiterer Anstieg des Preises diesen Trend aufhalten. Aus funktionalen Gründen wird Aluminium im Haushaltsbereich beispielsweise wegen seiner guten Reflektionseigenschaften zur besseren Nutzung des elektrischen Lichts eingesetzt. Da sich auf Aluminiumbeschichteten Geräten Bakterien nicht vermehren können, wird es häufig auch aus hygienischen Gründen genutzt (GDA 2006e). **Der spezifische Verbrauch im Bereich der Haushaltsartikel dürfte konstant bleiben.** $q_i=1$.

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Aluminiumbedarf. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliche Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus.

Geschätzte Änderung des Aluminiumbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Verkehrsindustrie	32 %	1,25	40 %
Verpackungsindustrie	21 %	1,25	26 %
Bauindustrie	19 %	1,00	19 %
Elektrotechnik	8 %	1,00	8 %
Maschinenbau	8 %	1,00	8 %
Haushaltsartikel	6 %	1,00	6 %
Insgesamt	100 %	1,07	107 %

Ohne jegliches sektorales Wachstum läge der Aluminiumbedarf 2025 um 7 % höher als 2004. Das heißt: Der Technische Wandel führt zu einem nur leicht steigenden Aluminiumverbrauch. Wie bei

vielen anderen der hier untersuchten Rohstoffe wird die Nachfrage ganz wesentlich vom wirtschaftlichen Wachstum der Verbrauchssektoren bestimmt, wie die Szenarien 2 und 3 zeigen. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren würde der Bedarf um 93 % steigen (Szenario 2). Noch deutlich stärker steigen würde der Aluminiumbedarf im Falle eines um einen Prozentpunkt höheren Wachstums der Verbrauchssektoren (Szenario 3). In diesem Falle könnte der Anstieg des Aluminiumverbrauchs bis 2025 bis zu 136 % betragen.

Geschätzter Anstieg des Aluminiumbedarfs bis 2025 mit moderatem sektoralem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Verkehrsindustrie	4 %	32 %	73 %	1,25	91 %
Verpackungsindustrie	2 %	21 %	32 %	1,25	40 %
Bauindustrie	2 %	19 %	29 %	1,00	29 %
Elektrotechnik	2 %	8 %	12 %	1,00	12 %
Maschinenbau	2 %	8 %	12 %	1,00	12 %
Haushaltsartikel	2 %	6 %	9 %	1,00	9 %
Insgesamt		100 %	167 %	1,16	193 %

Nicht berücksichtigt wurde dabei das **Recycling** des Metalls. Aluminium kann ohne Qualitätsverluste wieder verwendet werden (FT 2004a). Es können deshalb theoretisch 100 % des eingesetzten Rohstoffs wiederverwertet werden. So wird beispielsweise in der deutschen Transportindustrie 95 % des verwendeten Aluminiums recycelt (ISI 2004:111). Während Länder, die im Verpackungsbereich obligatorische Rücknahmesysteme betreiben, dort um die 90 % des verwendeten Materials wiederverwerten, liegt der europäische Durchschnitt bei lediglich 50 % (ALU 2005c). Weltweit beträgt der Anteil des recycelten am neu hergestellten Aluminium, rund 30 %. Das Internationale Aluminium Institut (IAI) schätzt, dass bis 2020 immerhin 50 % der weltweiten Produktion aus Schrott hergestellt werden (FT 2004b). Insgesamt wird somit mit einem massiven Anstieg der Wiederverwertung von Aluminium gerechnet.

[Berücksichtigung von Recycling](#)

Geschätzter Anstieg des Aluminiumbedarfs bis 2025 mit hohem sektoralen Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Verkehrsindustrie	5 %	32 %	89 %	1,25	111 %
Verpackungsindustrie	3 %	21 %	39 %	1,25	49 %
Bauindustrie	3 %	19 %	35 %	1,00	35 %
Elektrotechnik	3 %	8 %	15 %	1,00	15 %
Maschinenbau	3 %	8 %	15 %	1,00	15 %
Haushaltsartikel	3 %	6 %	11 %	1,00	11 %
Insgesamt		100 %	204 %	1,16	236 %

Selbst ohne unterstützende Politikmaßnahmen wird in den meisten Fällen der hohe Wert des Altschrotts für eine Rückführung in den Produktionszyklus führen. Die stark wachsende Recyclingquote fängt einen Teil des zusätzlichen Primäraluminiumbedarfs in den Branchen auf. Der Primäraluminiumbedarf könnte nach der hier vorgenommenen Abschätzungen bis 2025 zwischen 20 % und 48 % steigen. Dieser Bedarf könnte durch das Wachstum des Angebots an Primäraluminium gedeckt werden, wenn in Kapitel 4 prognostizierten Anstiege um 38 % bis 81 % zutreffen würden.

Zunahme des Recyclings mildert den Anstieg des Primäraluminiumbedarfs

Geschätzter Bedarfsanstieg an Primäraluminium bis 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Aluminiumbedarf	100 %	193 %	236 %
Recyclingquote	20 %	50 %	50 %
Angebot an Sekundäraluminium	20 %	97 %	118 %
Bedarf an Primäraluminium	80 %	96 %	118 %
Änderung des Bedarfs		+ 20 %	+ 48 %

12.3 Eisen

Materialeigenschaften

Eisen ist eines der am häufigsten in der Erdkruste vorhandenen Elemente (USGS 2006b). Es kommt in der Natur nicht in reiner Form, sondern als Erz vor. Eisenerz besteht im Wesentlichen aus Eisenoxiden, das heißt chemischen Verbindungen von Eisen und Sauerstoff. Aus dem Erz wird Eisen gewonnen, indem Sauerstoff durch Reduktion entzogen wird.

Eisen ist eines der am häufigsten in der Natur vorkommenden Elemente

Verwendung

Eisenerz wird zu 98 % zur Eisen- und Stahlerzeugung verwendet. Die übrigen 2 % werden beispielsweise für Farbstoffe und Chemikalien benutzt (USGS 2006c). Über 40 % der Stahlproduktion wird weltweit im Bauwesen verwendet.

Eisenerznachfrage korreliert stark mit der Stahlnachfrage

EU-weite Anteile der Stahl verarbeitenden Sektoren (Mittal 2005).

Sektor	Produktbeispiele	Anteile
Bauwesen	Bürobauten	44 %
Transport	Karosserien, Schiffe, Schienen	24 %
Maschinenbau	Industrielle Maschinen	22 %
Rohre	Öl- und Gasleitungen	5 %
Verpackungen		4 %
Übrige		1 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

Stahl weist Eigenschaften auf, die ihn zu einem attraktiven Baustoff machen. So spielen ästhetische Gründe beim Bau von repräsentativen Gebäuden eine Rolle. Der Stahlleichtbau ermöglicht im **Bauwesen** die Vorfertigung von Bauteilen, was zu kürzeren Bauzeiten führt (Mangerig 2002:6). Vor allem die Modulbauweise, bei der die tragenden Elemente aus Stahl bestehen, ermöglicht einen hohen Vorfertigungsgrad. Die einzelnen Module werden be-

Stahl ist als Baustoff attraktiv

reits fertig an die Baustelle geliefert und müssen nur noch montiert werden. Dadurch wird Stahl auch im Wohnungsbau immer bedeutender (vergleiche auch www.livingsteel.org). Hierbei ist zu beachten, dass dies vor allem für den mehrgeschossigen Wohnungsbau gilt, der besonders in bevölkerungsreichen Regionen zum Einsatz kommt. In Amerika konnte beispielsweise der Absatz in der Stahlständerbauweise in den letzten Jahren um 300 % gesteigert werden. Auch in Japan ist die Modulbauweise sehr beliebt. Dort werden pro Jahr ca. 150 000 Einfamilienhäuser durch Stahlbausysteme errichtet (SIZ 2002b). Bei den Stahlprodukten, die in diesem Bereich zum Einsatz kommen, handeln es sich hauptsächlich um „Standardbauprodukte“.

Im **Brückenbau** ist Stahl nach wie vor ein sehr wichtiger Werkstoff bei Bauwerken mit großen Spannweiten. Unmittelbarer Konkurrenzwerkstoff ist dabei Beton. Durch innovative Verbundsysteme wie dem Stahl-Beton-Verbund behält der Werkstoff Stahl aber nicht nur bei Brücken mit großen Spannweiten seine Bedeutung, sondern findet seit einigen Jahren auch bei Brücken mit kleinen und mittleren Spannweiten Verwendung. So kann der Einsatz von höherfesten Feinkornbaustählen im Brückenbau als Innovation bezeichnet werden. In diesem Bereich sind zukünftig weitere Entwicklungen zu erwarten. Laut Bayer und Ruth (2004) werden indessen Kunststoffe beim Bau von kleinen Straßen- sowie Fußgängerbrücken mit Stahl in Konkurrenz treten. Entsprechende Verbundwerkstoffe besitzen vor allem ein weitaus geringeres Gewicht als Stahl und ihre Korrosionsbeständigkeit ist höher als die von Stahl. Bei der Tragfähigkeit ergeben sich keine Einbußen (PN 2005).

Stahl ist im Brückenbau nach wie vor der bedeutendste Werkstoff

Ein weiteres Einsatzgebiet von Kunststoffen im Bauwesen ist die **Bausanierung**. Zur Verstärkung von Bauwerken werden vermehrt Laschen aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen anstatt Stahllaschen eingesetzt (Schlimbach und Neitzel 2004:13). Zudem sind mit kohlefaserverstärktem Kunststoff ummantelte Träger leistungsfähiger als mit herkömmlichem Baustahl bewehrte Träger (Kirchner und Schröder 2004:22). Dennoch sollte der Werkstoff Stahl bei der Bausanierung besonders maßgebend bleiben. Neben der Anwendung von Stahlprodukten für Dach, Wand und Fassade, bietet die Stahlindustrie Produkte zur Verbesserung und Ertüchtigung von Tragwerk und Gebäudestrukturen an. Dieser Bereich ist

aufgrund des für die nächsten Jahre prognostizierten Renovierungsbedarfs besonders wichtig (Stahl-Zentrum 2006).

Für **Tragwerke und Gebäudestrukturen** sieht Tichelmann (2006) Stahl vorerst ohne Alternative: Auch die Stahlbranche arbeitet im Baubereich an der Entwicklung verbesserter Materialien. Um Brandschutzbestimmungen einzuhalten, wurde beispielsweise die Temperaturbeständigkeit des Stahls weiterentwickelt (Kolb 2000:15). Neu entwickelte Stähle weisen außerdem einen besseren Korrosionsschutz und höhere Festigkeit auf (SIZ 2000:5).

Weitere Innovationen wie die so genannten Feinkornbaustähle können im Bauwesen besser verarbeitet werden als herkömmliche Stähle und erhöhen so die Attraktivität von Stahl als Baustoff (Stahl-Zentrum 2006). Auch die neu entwickelten DAVEX-Profile eröffnen neue Möglichkeiten für die Verwendung von Stahl in Kombination mit anderen Werkstoffen (Floßdorf und Wieland 2003:6). Tragwerke und Gebäudestrukturen werden nicht nur aus Stahl sondern auch aus Stahlverbund, Beton und Holz hergestellt. Die Stahlbauweise bietet hier ideale Lösungen. Neben den genannten DAVEX Profilen und den feuerresistenten Stählen müssen hier besonders der Einsatz höherfester Stähle für Brücken, Stadien und Hochhäuser, die Verbundbauten aus Stahl und Beton oder Stahl-Glaskonstruktionen, die Stahlverbunddecken mit thermischer Aktivierung und die Stahllösungen für den Hallen- und Industriebau genannt werden (Stahl-Zentrum 2006). Für den Wohnungsbau werden neue dünnwandige Stahlbleche mit optimierten Dämmwerkstoffen zunehmend attraktiver (SIZ 2002a:4). Es ist anzunehmen, dass durch Forschungsaktivitäten die Einsatzmöglichkeiten für Stahl als Baustoff weiter erhöht werden.

Zusammenfassend lässt sich für das Bauwesen ein Trend zu einem zunehmenden Einsatz von Stahl als Werkstoff feststellen. Auch wenn Kunststoffe Stahl bereits in einigen Bereichen ersetzen können, ist **für das Bauwesen insgesamt mit einer leicht steigenden spezifischen Stahlnachfrage zu rechnen:** $q_i=1,25$.

In den vergangenen Jahrzehnten hat der Stahlanteil im **Transportsektor** zugunsten von leichteren Werkstoffen wie Aluminium kontinuierlich abgenommen. Ursache für diese Entwicklung ist das Ziel, durch leichtere Bauweise den Treibstoffverbrauch und damit die Emission von Treibhausgasen zu vermindern. Bei einer

Leicht zunehmende Stahlnachfrage im Bauwesen

Tendenz zum Leichtbau in der Automobilindustrie

Gewichtsreduktion von 100 kg kann der Treibstoffverbrauch eines Autos um ca. 5 % gesenkt werden (BMBF 2005:40). Da Automobile zusätzliche Sicherheitskomponenten und Sonderausstattungen besitzen, wird versucht das hinzukommende Gewicht in anderen Bereichen einzusparen. Mittlerweile beträgt der Stahlanteil in einem Mittelklassewagen nur noch ca. 50 %, nachdem dieser in den siebziger Jahren noch bei 60 bis 75 % lag. Bis 2025 soll er weiter auf ca. 45 % sinken (Rudolph 2006:5). Im Gegenzug soll der Aluminiumanteil bis 2010 deutlich steigen (SE 2003). Beispielsweise ist bei Motoren ein Rückgang von Eisenguss zugunsten von Aluminiumguss zu beobachten (SE 2003). Allerdings nimmt der Stahlanteil in jüngster Zeit aufgrund der Neuentwicklungen wieder zu und beträgt bei den Karosserien einiger Neuwagen wieder praktisch 100 % (Stahl-Zentrum 2006).

Für bestimmte Anwendungen bietet sich Magnesium als Substitut für Stahl an. Magnesium ist der leichteste metallische Konstruktionswerkstoff. In den letzten zehn Jahren hat sich dessen Verbrauch für Gussprodukte ungefähr verzehnfacht (FM 2002:9). Auch Kunststoffe werden zunehmend im Automobilbau eingesetzt. Metall-Kunststoff-Bleche sorgen für eine Gewichtsersparnis von 50 % gegenüber herkömmlichen Metallblechen (FM 2002:12). Im Motorsport finden Faserverbundwerkstoffe aus Gewichtsgründen bereits breite Verwendung. Eine serienmäßige Anwendung in der Automobilindustrie wird weiter erforscht (Schlimbach und Neitzel 2004:13).

Konkurrenz durch
Magnesium und
Kunststoffe

Neue Fügeverfahren werden erforscht, um eine Verbindung verschiedener Werkstoffe wie Stahl, Aluminium, Magnesium und Kunststoffe zu ermöglichen (FM 2002). Dass diese Verfahren zur Substitution von Stahl führen, ist indessen noch nicht absehbar. Hier steht der optimierte Leichtbau im Vordergrund. Oftmals bedingen die Stahl-Neuentwicklungen neue Fügeverfahren. Auf den wachsenden Substitutionsdruck reagiert die Stahlindustrie ihrerseits durch rege Forschungsaktivitäten. Die Erforschung der Metallschaumtechnologie war zunächst auf Aluminium fokussiert. Es wird aber nun versucht, die Erkenntnisse auf Stahl zu übertragen (DGM 2002). Bislang hat die Metallschaumtechnologie allerdings noch keine Relevanz in diesem Bereich.

Es wurden neue so genannte hoch- und höherfeste Stähle entwickelt, die eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig guter Verform-

barkeit gewährleisten (Floßdorf und Wieland 2003:4). Damit bleibt Stahl weiterhin ein wichtiger Werkstoff im Automobilbau. Der Porsche Cayenne beispielsweise besitzt einen Anteil von hoch- und höherfesten Stählen von über 60 % (SM 2005). In dem 1994 begonnenen Projekt ULSAB (**U**ltra **L**ight **S**teel **A**uto **B**ody) entwickelten Forscher im Auftrag eines Konsortiums internationaler Stahlproduzenten eine leichte Stahlkarosserie. Im Ergebnis wurde das Gewicht gegenüber vergleichbaren Modellen um 25 % gesenkt und die Steifigkeit um bis zu 80 % erhöht (SIZ 2006a).

Die Stahlindustrie
verteidigt alte
Einsatzgebiete
und erschließt
neue

Eine weitere Neuerung sind die so genannten *Tailored Blanks*, die ebenfalls geringes Gewicht mit hoher Stabilität verbinden. *Tailored Blanks* sind Platinen, die gezielt für spezielle Beanspruchungen hergestellt werden. Die Stahlsorten und Stahlblechdicken eines Stahlprodukts variieren dabei, je nach punktueller Belastung. Floßdorf und Wieland (2003:5) verzeichnen in Europa einen verstärkten Einsatz dieser Technik, bei der es bereits weitere Neuentwicklungen wie Tailored Rolled Blanks gibt (Stahl-Zentrum 2006).

Nachdem Aluminium zwischenzeitlich Stahl aus der Felgen- und Räderproduktion verdrängt hat (FM 2002:11, Floßdorf und Wieland 2003:5), konnte der Gewichtsachteil von Stahl gegenüber Aluminiumrädern mittlerweile ausgeglichen werden. Während das 16 Zoll-Rad aus Stahl beim Ford Mondeo 8,25 kg wiegt, wiegt das Aluminiumrad 9,25 kg. Gegenüber herkömmlichen Stahlrädern ist das neue Stahlrad 2,54 kg leichter (Floßdorf und Wieland 2003:5).

Neben der Verteidigung traditioneller Einsatzgebiete für Stahl wird versucht, neue Felder zu erschließen. So kommt Stahl nun auch beim Katalysatorbau zum Einsatz (SIZ 2006b) und ist wieder zu einem attraktiven Werkstoff für Tanks geworden (SIZ 2006c).

Aufgrund der Tendenz zum Leichtbau in der Automobilindustrie werden Komponenten zunehmend aus Leichtmetallen oder Kunststoffen hergestellt. Dennoch hat die Stahlbranche in der Vergangenheit viele Anwendungsmöglichkeiten für Stahl verteidigt bzw. neu erschlossen. Zudem erscheint die weitgehend Konstruktion einer Autokarosserie aus Aluminium, Magnesium oder Kunststoff in den nächsten Jahren immer noch als Herausforderung. **Insgesamt könnte im Transportsektor mit**

einer leicht abnehmenden spezifischen Stahlnachfrage zu rechnen sein: $q_i=0,75$.

Im **Maschinenbau**, vor allem im Anlagen- und Maschinenbau, ist Stahl der Werkstoff nach wie vor als der Konstruktionswerkstoff Nr. 1 zu bezeichnen (Stahl-Zentrum 2006). Allerdings spielt auch in diesem Bereich das Gewicht der Bauteile zunehmend eine Rolle. Wie in anderen Sektoren gilt das besonders leichte Metall Magnesium als zukunftssträchtiger Werkstoff für Gussteile, Bleche und Profile (BMBF 2005:39). Da Magnesium sich langsam abnutzt, ist es vor allem für Teile attraktiv, die schnelle Bewegungen ausführen (FM 2002:9). Im leichten Maschinenbau könnten daher Magnesium und andere Leichtbaustoffe Stahl verdrängen. **Die spezifische Nachfrage nach Stahl könnte im Maschinenbau dennoch weitgehend konstant bleiben:** $q_i=1,00$.

Stahl ist im Anlagen und Maschinenbau Werkstoff Nr. 1

In der **Rohrindustrie** werden vermehrt Kunststoffe eingesetzt. Unter den Rohrwerkstoffen, die in der Kanalisation genutzt werden, ist der Anteil von Kunststoff zwischen 2001 und 2004 von drei auf sechs Prozent gestiegen. Dieser immer noch geringe Anteil beruht auf der Unsicherheit, die viele Kanalnetzbetreiber mit Kunststoffrohren verbinden. Die Vorteile liegen allerdings im geringeren Gewicht, gerade gegenüber Stahlrohren, sowie der chemischen Beständigkeit (IKT 2006).

Kunststoffrohre werden vermehrt eingesetzt

Auch bei Gasinstallationen werden vermehrt Kunststoffrohre eingesetzt (BE 2004). In gewissen Bereichen dürften Stahlrohre jedoch kaum substituierbar sein. Bei Ölplattformen oder Unterwasserleitungen sind hohe Belastungen auszuhalten. Durch die Entwicklung neuer hochfester Stähle können in diesen Bereichen Gewichtsersparnisse erzielt werden. Dies ist bei einer Tendenz zu größeren Rohrlängen vorteilhaft (BBR 2005:36). **Deshalb ist in der Rohrindustrie mit einer leicht abnehmenden spezifischen Stahlnachfrage zugunsten von Kunststoff zu rechnen:** $q_i=0,75$.

Für Metallwaren sind keine technischen Trends auszumachen. Deswegen wird dafür eine konstante Stahlnachfrage angenommen.

Bedarfsanalyse

Die beschriebenen Trends bilden die Grundlage der folgenden Szenarien. In einem ersten Szenario, in dem das Wirtschaftswachstum der jeweiligen Anwendungsbereiche ignoriert wird, würden der Stahl- und damit der Eisenerzbedarf zwischen 2004 und 2025 um 4 % steigen.

Änderung des Stahlbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	44 %	1,25	55 %
Transport	24 %	0,75	18 %
Maschinenbau	22 %	1,00	22 %
Rohre	5 %	0,75	4 %
Verpackungen	4 %	1,00	4 %
Übrige	1 %	1,00	1 %
Insgesamt	100 %	1,04	104 %

Nimmt man realistischerweise ein moderates Wirtschaftswachstum in den verschiedenen Sektoren an, wie in Szenario 2 dargestellt, so lägen Stahl- und der Eisenerzbedarf 2025 um 72 % höher als 2004. Bei einem höheren jeweiligen wirtschaftlichen Wachstum, dargestellt in Szenario 3, würde der Bedarf sich nach dieser groben Abschätzung bis 2025 um 110 % erhöhen. Die jährlichen Wachstumsraten für die einzelnen Verwendungsbereiche orientieren sich an den Wachstumsraten aus Abschnitt 8.2.

Geschätzter Stahlbedarf 2025 bei moderatem sektorialem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	2 %	44 %	67 %	1,25	84 %
Transport	4 %	24 %	55 %	0,75	41 %
Maschinenbau	2 %	22 %	33 %	1,00	33 %
Rohre	2 %	5 %	8 %	0,75	6 %
Metallwaren	2 %	4 %	6 %	1,00	6 %
Übrige	2 %	1 %	2 %	1,00	2 %
Insgesamt		100 %	171 %	1,01	172 %

Stahl wird derzeit mittels zweier unterschiedlicher Verfahren produziert. Beim Oxygenstahlverfahren beträgt der Schrotteinsatz 20 bis 30 %, das Elektrostahlverfahren arbeitet hingegen mit bis zu 100 % Stahlschrott (BDSV 2001). Stahlschrotte können beliebig oft und ohne Qualitätsverlust eingesetzt werden (BDSV 2001). 2004 wurden weltweit 33,2 % des Rohstahls im Elektrostahlverfahren und 63,6 % im Oxygenstahlverfahren hergestellt (WV Stahl 2005). Es ist zu erwarten, dass vor allem außerhalb der EU der Anteil des im Elektrostahlverfahren hergestellten Rohstahls ansteigt (BDSV 2001). Neben Kostenvorteilen spricht der geringere Energiebedarf für das Elektrostahlverfahren (USGS 2004). Diese Entwicklung dürfte den Anteil von Schrott bei der Stahlerzeugung weiter erhöhen. 2005 lag der Schrottanteil bei der Stahlerzeugung bei 42,7 % (IISI 2006:4).

[Recycling](#)

Insgesamt erscheint ein weltweiter Schrottanteil von 50 % im Jahr 2025 als möglich. In diesem Falle könnte nach den hier vorgenommenen, groben Abschätzungen der Bedarf an Eisenerz bis 2025 um 48 % bis 81 % ansteigen.

Geschätzter Stahlbedarf 2025 bei hohem sektoralem Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	3 %	44 %	82 %	1,25	103 %
Transport	5 %	24 %	67 %	0,75	50 %
Maschinenbau	3 %	22 %	41 %	1,00	41 %
Rohre	3 %	5 %	9 %	0,75	7 %
Verpackungen	3 %	4 %	7 %	1,00	7 %
Übrige	3 %	1 %	2 %	1,00	2 %
Insgesamt		100 %	208 %	1,01	210 %

Geschätzter Bedarfsanstieg an Oxygenstahl bis 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Stahlbedarf	100 %	172 %	210 %
Recyclingquote	42 %	50 %	50 %
Angebot an Sekundärstahl	42 %	86 %	105 %
Bedarf an Primärstahl	58 %	86 %	105 %
Änderung des Bedarfs		+ 48 %	+ 81 %

12.4 Zink

Materialeigenschaften

Zink ist ein weiches, sprödes und unedles Schwermetall. In der Natur kommt es nur in Verbindungen, nicht in reiner Form vor. **An der Luft bildet Zink eine dünne, witterungsbeständige Oxidschicht.** Zwischen 100° C und 200° C lässt es sich spanlos verformen und ist besonders gut ist bei 100° C bis 150° C zu bearbeiten. Ab 200° C ist es sehr spröde. Zink ist unbeständig gegen Säuren und Salzlösungen und ein guter elektrischer Leiter. Es besitzt 28 % der Leitfähigkeit von Kupfer und ist in hohen Konzentrationen giftig.

Zink ist ein Schwermetall, das in hohen Konzentrationen giftig ist

Verwendung

Ungefähr die Hälfte des gewonnenen Zinks wird zur Verzinkung von Stahl eingesetzt, um diesen vor Korrosion zu schützen. Die Entwicklung des Bedarfs an Zink korreliert daher stark mit der Nachfrageentwicklung für Stahl. Die Bauindustrie ist Hauptabnehmer für Zinkprodukte.

Verzinkung von Stahl als Korrosionsschutz

Weltweite Anteile der Zink verarbeitenden Sektoren (IZA 2006)

	Produktbeispiele	Anteile
Bauwesen	Dachdeckung, Regenrinnen	45 %
Transport und Verkehr	Signalmasten, Fahrzeuge aller Art	25 %
Konsumgüter	Batterien, Salben	23 %
Maschinenbau	Druckgussteile	7 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

Im **Bauwesen** spielt Stahl seit Jahren eine wichtige Rolle, beispielsweise im Brücken- und Hochhausbau. Aber auch ästhetische Gründe sind von Bedeutung, insbesondere bei repräsentativen Bürobauten. Zink wird als Korrosionsschutz für Stahlkonstrukte verwendet, wobei verschiedene Verfahren und Materialien eingesetzt

Zink ist für den Korrosionsschutz sehr bedeutend

werden. Bei der Feuerverzinkung wird eine gleichmäßige Zinkschicht auf den Stahl aufgetragen. Alternativen hierzu sind Galfan und Galvalume, Legierungen mit einem Zinkanteil von 95 % bzw. 43,4 %. Beide Überzüge sind der Feuerverzinkung im Korrosionsschutz überlegen und werden deshalb verstärkt eingesetzt (BMS 2000:3, IKB 2005:4). Da außerdem auch Zinküberzüge mit der Zeit korrodieren, gewinnt das so genannte Duplex-System an Attraktivität. Dabei wird der Zinküberzug durch eine Kunststoffbeschichtung zusätzlich vor Korrosion geschützt. Dadurch wird gleichzeitig der Anteil an Zink reduziert und der Korrosionsschutz erhöht (IZA 2006b).

In Ländern mit hohen Umweltstandards hat die Korrosionsaggressivität in den letzten Jahren deutlich abgenommen. Grund hierfür ist die geringere SO₂-Konzentration in der Atmosphäre. So ist der durch Korrosion entstandene Stahlverlust in Dresden zwischen 1996 und 2001 von 520 g/m² auf 200 g/m² zurückgegangen (Schulz 2002:4). Weltweit ist allerdings damit zu rechnen, dass die SO₂-Konzentration in der Atmosphäre noch bis 2020 zunehmen wird (Stier et al. 2005:12785). Langfristig sollte die Korrosion hingegen abnehmen und weniger Zink benötigt werden.

Tichelmann (2006) erwartet auf Grundlage der Prognosen der Studie *Future Trend* eine positive Entwicklung im **Stahlbau**, vor allem im Bereich der Stahl-Leichtbauweisen und Trockenbauweisen und damit bei den kaltgeformten Profilen. Aufgrund der positiven Korrelation zwischen der Stahl- und der Zinknachfrage dürfte diese Entwicklung mit einer höheren Zinknachfrage einhergehen.

Zink wird in der Form von Titanzink zudem bei der Dachdeckung und –entwässerung eingesetzt. Dabei kommen sowohl technische Anforderungen als auch ästhetische Gründe zum Tragen. Das Umweltbundesamt warnte indessen im Jahr 2003 vor der Verwendung von Zink in diesem Bereich, da durch Korrosion abgetragene Teile der Metallschicht mit dem Regenwasser fortgespült werden und Zink dadurch in Flüsse oder Seen gelangt. Dort kann das Schwermetall zur Schädigung des Tierbestands führen. Das UBA (2003) forderte in einem Sachstandsbericht von der Industrie, alternative Beschichtungsmaterialien wie z.B. Kunststoffe zu erforschen. Auch die Schweiz rät von einem weit verbreiteten Einsatz von Titanzink ab (UBA 2005:120).

Zunehmende
Zinknachfrage im
Stahlbau

Zink gelangt in
Gewässer und
kann somit den
Tierbestand ge-
fährden

Allerdings kommt eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2005 zu dem Ergebnis, dass ein Ersatz von Zink durch andere Metalle oder Kunststoffe mit höheren Umweltbelastungen einhergehen würde (UBA 2005). Ob der Werkstoff Zink in diesem Bereich mittelfristig tatsächlich durch andere Materialien ersetzt wird, ist damit unklar. Darüber hinaus steht Zink nicht auf der Liste der prioritär zu vermeidenden Stoffe der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EG 2001). Somit sind aus EU-Sicht derzeit keine Maßnahmen zur Reduzierung der Einleitungen von Zink notwendig.

Kein umweltfreundlicher Ersatz für Zink

Für das Bauwesen lässt sich feststellen, dass Zink als notwendiger Korrosionsschutz für Stahl durch die weltweit weiter wachsende Stahlproduktion eine weiterhin wichtige Rolle spielen wird. Kunststoffbeschichtungen und Legierungen reduzieren jedoch die Zinkmenge, die eingesetzt werden muss, um einen gegebenen Korrosionsschutz zu erzielen. Sofern sich weniger toxische Alternativen im Bereich der Dachdeckung und -entwässerung finden lassen, ist dort mit einem sinkenden Zinkeinsatz zu rechnen. **Insgesamt kann von einer konstanten spezifischen Nachfrage nach Zink im Bauwesen ausgegangen werden:** $q_i=1$.

Im Bereich **Transport und Verkehr** wird Zink vor allem in der Automobilindustrie eingesetzt. Dies geschieht unter anderem als Korrosionsschutz für Stahlteile. Aber auch Teile aus Zinkdruckguss werden in Automobilen verbaut. In den USA werden durchschnittlich 20 Kilo Zink in einem PKW verarbeitet. Allerdings ist vor allem die Verwendung von Zink in Druckgussteilen zugunsten von Aluminium zurückgegangen (WEFA 2001).

Zink bietet Korrosionsschutz für Fahrzeuge

Aufgrund der zunehmenden Konkurrenz durch Aluminium ist die Stahlindustrie zudem gezwungen, neue Materialien für den Karosseriebau zu entwickeln. Durch die Tendenz zum Leichtbau, mit deren Hilfe der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden soll, hat Aluminium klare Vorteile. Betrug der Stahlanteil in einem Mittelklasse-Wagen in den 70er Jahren noch 60 – 75 %, so ist er mittlerweile auf 50 % gesunken. Bis 2025 wird ein Rückgang auf 45 % prognostiziert (Rudolph 2006:5). Nicht nur Aluminium gilt für den Leichtbau als attraktives Material, auch Magnesium und Kunststoffe werden langfristig zu Konkurrenzwerkstoffen für Stahl.

Stahl trotz der Konkurrenz durch leichtere Materialien

Andererseits ist es gelungen, leichtere Stahlkarosserien zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür ist der Ultra Steel Auto Body (UL-

SAB), der 1998 auf den Markt kam und 25 % leichter als herkömmliche Stahlkarosserien ist. Der für den ULSAB verwendete Stahl ist zu 100 % mit Zink beschichtet. Ein weiteres Modell ist der Galvauto, auch hier ist der Stahl mit einer Zinklegierung beschichtet (MMR 2002). Diese mit Zink veredelten Stahlkarosserien verbinden leichtes Gewicht mit einem guten Korrosionsschutz. Die Entwicklung von neuen Stählen, die hohe Festigkeit und gute Umformbarkeit miteinander verbinden sollen, wird weiter vorangetrieben (Rudolph 2006).

In Folge der Entwicklungen im Karosseriebau ist dennoch von einer abnehmenden Stahl- und damit Zinknachfrage auszugehen. Zudem werden Zinkdruckgussteile zunehmend durch Konkurrenzwerkstoffe substituiert. **Insgesamt ist daher im Verkehrssektor mit einer abnehmenden spezifischen Nachfrage nach Zink zu rechnen:** $q_i=0,75$.

Der für die Zinknachfrage bedeutendste Teil der Güterindustrie sind **elektronische Anwendungen**. Dort ist es Forschern gelungen, ein transparentes Display zu entwickeln. Das sonst üblicherweise zur Herstellung von Displays verwendete Silizium wird durch eine dünne Zink-Zinn-Oxidschicht ersetzt. Diese ist für ca. 90 % des sichtbaren Lichts durchlässig. Mögliche Einsatzgebiete dieser Displays sind die Chirurgie und Windschutzscheiben, auf denen so zusätzliche Informationen angezeigt werden können. Weil Zinkoxid relativ günstig ist, können die Displays durchaus ein Massenprodukt werden.

Ein weiterer Trend liegt in der Nutzung von Zink-Luft-Batterien, die sowohl eine größere Reichweite als auch ein geringeres Gewicht als Bleibatterien haben, und zudem umweltverträglicher sind (EM 2002). Aufgrund ihres geringen Gewichts sind Zink-Luft-Batterien für einen Einsatz in der wachstumssträchtigen Elektroautomobilbranche attraktiv (IZA 2006c) und wären auch für Mobiltelefone und portable Elektronikgeräte geeignet. Durch ihren Einsatz könnte die Stand-By-Zeit eines Mobiltelefons um einige Stunden gesteigert werden. Auch in Hörgeräten werden diese Brennstoffzellen eingesetzt (Goldstein et al. 1999). In Mobiltelefonen werden Zink-Luft-Batterien aber wohl nur schwerlich Lithium-Ionen-Batterien ersetzen können. Diese besitzen einen Marktanteil von 99 % (BMBF 2005:47). **In der Elektronikindustrie könnte**

Gute Perspektiven für Zink in elektronischen Anwendungen wie Displays

die spezifische Zinknachfrage aufgrund dieser Neuerungen leicht steigen: $q_i=1,25$.

Im **Maschinenbau** wird Zink als Korrosionsschutz für Stahl und in Form von Zinkdruckgussteilen eingesetzt. Auch in diesem Bereich besteht die Tendenz zum Leichtbau. Magnesium gilt nicht nur für Gussteile, sondern auch in Form von Blechen und Profilen als attraktiver Ersatzwerkstoff (BMBF 2005:39). Eine wichtige Einsatzmöglichkeit für Magnesium liegt im Bereich von Bauteilen, die schnellen Bewegungen ausgesetzt sind. Die Vorzüge von Magnesium liegen in einem geringen Verschleiß und in einer guten Verarbeitung (FM 2002:9). Es ist damit zu rechnen, dass Magnesium andere Werkstoffe, darunter auch Stahl und Zink, weiterhin substituieren wird. Völlig wird man im Maschinenbau aber nicht auf verzinkten Stahl verzichten können. **Für den Maschinenbau kann daher eine leicht sinkende spezifische Nachfrage nach Zink angenommen werden:** $q_i=0,75$.

Magnesium konkurriert mit Zink im Maschinenbau

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Zinkbedarf. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliche Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus.

Änderung des Zinkbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	45 %	1,00	45 %
Transport und Verkehr	25 %	0,75	19 %
Elektronikindustrie	23 %	1,25	29 %
Maschinenbau	7 %	0,75	5 %
Insgesamt	100 %	0,98	98 %

Ohne jegliches sektorales Wachstum läge der Zinkbedarf 2025 um 2 % niedriger als 2004. Das heißt: Der Technische Wandel spielt bei diesem Rohstoff eine insgesamt sehr untergeordnete Rolle. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren würde der Bedarf hingegen um 63 % steigen. Noch deutlich stärker steigen würde der Zinkbedarf im Falle eines um einen Prozentpunkt höheren Wachstums der Sektoren.

Geschätzter Anstieg des Zinkbedarfs bis 2025 mit moderatem sektoralen Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	2 %	45 %	68 %	1,00	68 %
Transport und Verkehr	4 %	25 %	57 %	0,75	43 %
Elektronikindustrie etc.	2 %	23 %	35 %	1,25	44 %
Maschinenbau	2 %	7 %	11 %	0,75	8 %
Insgesamt		100 %	171 %	0,95	163 %

Nach dem dritten Szenario mit einem vergleichsweise hohen wirtschaftlichen Wachstum der Branchen, in denen Zink verwendet wird, könnte der Zinkbedarf bis 2025 um 101 % wachsen.

Geschätzter Anstieg des Zinkbedarfs bis 2025 mit hohem sektoralem Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Bauwesen	3 %	45 %	84 %	1,00	84 %
Transport und Verkehr	5 %	25 %	70 %	0,75	53 %
Elektronikindustrie etc.	3 %	23 %	43 %	1,25	54 %
Maschinenbau	3 %	7 %	13 %	0,75	10 %
Insgesamt		100 %	210 %	0,96	201 %

Zu berücksichtigen ist zudem das **Recycling** des Metalls. Zink kann ohne Qualitätsverluste rezykliert werden. Es muss dabei nur ca. 5 % der Energie aufgewendet werden, die benötigt wird, um [Bedeutung von Recycling](#)

Zink aus Erz zu gewinnen (Initiative Zink 2006). Dies verdankt Zink seinem relativ niedrigen Schmelzpunkt.

Die Menge des rezyklierten Zinks liegt weltweit jährlich bei ca. 2 Mio. t (Initiative Zink 2006). Ein Großteil wird dabei aus Messingschrott gewonnen. Der Anteil von Sekundärzink an der Zinkproduktion liegt weltweit derzeit bei ca. 30 %. In Europa liegt die Recyclingquote mit 40 % am höchsten, während sie in Afrika und Australien weniger als ein Prozent beträgt (IZA 2006e). Aufgrund des technologischen Fortschritts in der Zinkproduktion und im Zinkrecycling ist damit zu rechnen, dass dieser Anteil weiterhin steigt. Aber auch der in der Vergangenheit gestiegene Verbrauch von Zink wird dafür sorgen, dass in Zukunft mehr Sekundärzink zur Verfügung steht. Recyclingquoten, wie sie für einige andere Metalle erreicht werden, sind aber nicht zu erwarten (USGS 2004:D6). Mittel- bis langfristig erscheint eine weltweite Recyclingquote von 40 % realistisch (AZA 2006).

Bei Berücksichtigung der wachsenden Recyclingquote kann ein Teil des zusätzlichen Zinkbedarfs in den Branchen durch Sekundärzink gedeckt werden. Der Primärzinkbedarf könnte demzufolge bis 2025 zwischen 40 % und 73 % gegenüber 2004 steigen.

Geschätzter Anstieg des Bedarfs an Primärzink bis 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Zinkbedarf	100 %	163 %	201 %
Recyclingquote	30 %	40 %	40 %
Angebot an Sekundärzink	30 %	65 %	80 %
Bedarf an Primärzink	70 %	98 %	121 %
Änderung des Bedarfs		+ 40 %	+ 73 %

12.5 Chrom

Materialeigenschaften

Chrom ist ein hartes korrosionsbeständiges Schwermetall, das hauptsächlich vor allem aus Chromiterzen gewonnen wird. Ungefähr 85 % des Chromiterzes werden bei hohen Temperaturen in Ferrochrom umgewandelt (DME 2001:108). Ferrochrom wird in der metallurgischen Industrie eingesetzt, hauptsächlich zur Produktion rostfreien Stahls. In seiner reinen Form ist Chrom zäh sowie dehn- und schmiedbar.

Chrom wird in Form von Ferrochrom vor allem bei der Stahlveredelung benutzt

Verwendung

Wurden in den 60er Jahren noch 50 % des Chromerzes in der metallurgischen Industrie verwendet (Haid und Wettig 2000), ist deren Anteil an der Chromverarbeitung auf mittlerweile 92 % gestiegen. Es besteht somit eine hohe Korrelation zwischen Chrombedarf und der Nachfrage für rostfreien Stahl, für den 78 % des abgebauten Erzes verwendet werden (DME 2001:108).

Die metallurgische Industrie ist Hauptverbraucher von Chrom

Weltweite Anteile der Chrom verarbeitenden Sektoren (ICDA 2006a)

	Produktbeispiele	Anteile
Metallurgische Industrie	Rostfreier Stahl	92 %
Feuerfestindustrie und Gießereien	Verkleidungsmaterial in Öfen	4 %
Chemische Industrie	Gerbstoff, Holzschutzmittel, Farben	4 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

In der **metallurgischen Industrie** ist das Legierungsmetall Chrom unverzichtbar. Es wird hier hauptsächlich als Ferrochrom eingesetzt (USGS 2004d). Dieses kann in der Produktion von rostfreiem Stahl nicht substituiert werden, da Ferrochrom diesem die entscheidenden Eigenschaften Korrosionsbeständigkeit und Hygiene verleiht (MBM 2005a). Chrom bewirkt zudem den Glanz und das attraktive Aussehen des Endproduktes (DME 2003). Aus ästhe-

Chrom ist als Korrosionsschutz unverzichtbar.

tischen Gründen wird rostfreier Stahl in der Architektur zunehmend beliebter, sowohl im Fassadenbau als auch in der Innenarchitektur (Papp 2000). Auch in der Lebensmittelindustrie, im Bergbau und in der Automobilindustrie gewinnt rostfreier Stahl als Werkstoff zunehmend an Bedeutung (ICDA 2006b). Damit dürfte auch ein erhöhter Bedarf an Chrom einhergehen.

Chrom wird als Legierungsmetall bei der Produktion einer Vielzahl von Metall- und Nichtmetalllegierungen eingesetzt. In der Eisenmetallurgie sorgt es unter anderem für eine höhere Wärme- und Verschleißbeständigkeit (Haid und Wettig 2000). In Superlegierungen, bei denen es vor allem wegen seiner Hitzebeständigkeit gefragt ist, ist Chrom nicht zu ersetzen (USGS 2006). **In der metallurgischen Industrie ist daher insgesamt von einer konstanten spezifischen Chromnachfrage auszugehen: $q_i=1$.**

In der **chemischen Industrie** wird Chrom vor allem wegen seiner Dauerhaftigkeit und Farbbeständigkeit benutzt. Der größte chemische Anwendungsbereich von Chrom ist die Ledergerbung (ICDA 2006b). Natürlichen Materialien wie Leder und Holz wird durch Chromsalze Langlebigkeit verliehen. Weltweit wird die Chromgerbung mittels Chrom-III-Salzen in 80 bis 90 % der Gerbereien angewandt (UBA 2003a). In einigen fernöstlichen Ländern werden allerdings auch die gesundheitlich bedenklichen Chrom-VI-Verbindungen in der Ledergerbung genutzt (VMBG 2005:29). Die schwermetallischen Rückstände, die durch chromhaltige Gerbstoffe entstehen, können allergische Reaktionen hervorrufen. Chrom-VI-Verbindungen gelten sogar als krebserregend (ÖIB 1996:22). Ob chromhaltiges Leder tatsächlich ein Gesundheitsrisiko darstellt, wird jedoch kontrovers diskutiert. Bei der Chromgerbung fallen zudem chromhaltiges Abwasser (Umsicht 2002:3) und toxische Abfälle an, deren Verbrennung problematisch ist (Müller-Sämann et al. 2002:65).

Deshalb gibt es Bemühungen, schwermetallfreie Gerbstoffe zu finden, die Chrom substituieren können. Es ist theoretisch möglich, Chrom als Gerbstoff zu substituieren. Dies würde aber mit Qualitätseinbußen bzw. höheren Kosten einhergehen (Zuther und Marschner, o.A.). Mit Rhabarbergerbstoffe können Leder hergestellt werden, die chromgegerbte Leder in den meisten Bereichen substituieren können. In Anwendungen, die mit hohen Temperaturen einhergehen, sind die mit Rhabarber gegerbten Leder den

Der Einsatz von Chrom in der Leder- und Holzverarbeitung wird wegen möglicher gesundheits-schädlicher Wirkungen kontrovers diskutiert.

Mögliche Substitute für Chrom in der Lederverarbeitung

chromgegerbten Ledern sogar überlegen: Mit Rhabarber gegerbte Leder schrumpfen bei großer Hitze nur um 2-7 %, mit Chrom gegerbtes Leder hingegen um 15 %. Allerdings müssen die Extraktionsverfahren und die Kenntnisse bezüglich der Verwendung von Rhabarbergerbstoffen in der Lederproduktion noch erheblich verbessert werden, um das mittelfristig mögliche Substitutionspotential von 15 % von Chromgerbstoffen zu erreichen. Zudem besitzt Rhabarber erhebliche Preisnachteile gegenüber Chrom (Müller-Sämann et al. 2002:68). Außerdem ist zu bezweifeln, dass in Ländern, in denen die Umweltstandards niedriger als in Europa sind, ein Verzicht auf die Chromgerbung gefordert wird.

Aus Umweltschutzgründen ist der Einsatz von Chrom in Holzschutzmitteln ebenfalls unerwünscht. Chromathaltige Salze können gesundheitsschädlich wirken und gelten als stark wassergefährdend (HBG 1999:6). Ebenso problematisch ist auch die Verwendung von Kupfer-Chrom-Arsenverbindungen (CCA) in Holzschutzmitteln. Die Environmental Protection Agency (EPA) der USA ist mit den entsprechenden Herstellern übereingekommen, dass mit CCA behandeltes Holz seit Anfang 2004 nicht mehr in Neubauten genutzt werden darf (EPA 2003). Für die USA wird mit einem Rückgang von 70 % bis 80 % bei CCA-behandeltem Holz gerechnet (Lebow 2004). Auch die EU-Richtlinie 2003/2/EG enthält entsprechende Regelungen. Die EPA ist darüber hinaus bestrebt, weitere Gefährdungspotenziale zu identifizieren und möglicherweise weitere Verbote auszusprechen. Besonders im Fokus sind Spielplätze, die mit CCA-belastetem Holz ausgestattet sind (EPA 2003).

Holzschutzmittel sind der zweitgrößte Markt für Chromsäure. Es wird deshalb ein großer Einbruch der Nachfrage nach Chromsäure erwartet (IM 2002a). Alternative Holzschutzmittel basieren häufig auf Kupfer und enthalten in der Mehrzahl kein Chrom (Lebow 2004). Bei den Holzschutzmitteln ist somit eine stark abnehmende spezifische Chromnachfrage zu erwarten.

Nicht unbedenklich ist die Verwendung von Chrom wegen seiner mangelnden Gesundheits- und Umweltverträglichkeit auch im Bereich des Oberflächenschutzes. Die EU verbietet im Rahmen der EU-Altauto-Richtlinie einige Gefahrstoffe, unter anderem mit sechswertigem Chrom passivierte Teile. In den USA bemüht man sich um Grenzwerte für sechswertiges Chrom am Arbeitsplatz (OSHA 2006). In Asien scheint die Verchromung mit sechswerti-

Potentielle Gesundheitsgefährdung führt zu Vermeidungsstrategien.

Sechswertiges Chrom wird in der EU und den USA als gesundheitsschädlich angesehen

gem Chrom hingegen nicht als problematisch wahrgenommen zu werden. Alternative Beschichtungsmethoden konnten sich bisher noch nicht durchsetzen, da sie meistens mit höheren Kosten verbunden sind (Thintri 2005). Die weitere Entwicklung bleibt hier abzuwarten. Auch das weniger bedenkliche dreiwertige Chrom kommt als Substitut für sechswertiges Chrom in Frage, was allerdings die Chromnachfrage nicht beeinflussen würde.

Somit ist unklar, wie sich die Nachfrage nach Chrom in diesem Bereich zukünftig entwickeln wird. Es bleibt insbesondere abzuwarten, in welchem Umfang der Einsatz von Chrom aufgrund der Umweltproblematik in chemischen Anwendungen eingeschränkt wird. **Für die chemische Industrie ist mit einer starken Abnahme der spezifischen Chromnachfrage zu rechnen:** $q_i=0,5$.

In der **Feuerfestindustrie** sind chromhaltige Verkleidungen von Öfen infolge von gestiegenen Anforderungen im Produktionsprozess zum Teil durch wassergekühlte Teile ersetzt worden. Diese teilweise stattgefundene Substitution ist durch die Einführung neuer, ebenfalls auf Chrom basierender, Feuerfeststoffe zurückgedrängt worden (ICDA 2006b). **Für die Feuerfestindustrie und Gießereien wird eine konstant bleibende spezifische Chromnachfrage angenommen:** $q_i=1,00$.

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Chrombedarf. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliche Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus.

Ohne jegliches sektorales Wachstum läge der Chrombedarf 2025 um 2 % niedriger als 2004. Das heißt: Der Technische Wandel spielt bei diesem Rohstoff eine insgesamt sehr untergeordnete Rolle. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren würde der Bedarf hingegen um 48 % steigen. Noch deutlich stärker steigen würde der Chrombedarf im Falle eines um einen Prozentpunkt höheren Wachstums der Sektoren.

Änderung des Chrombedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Metallurgische Industrie	92 %	1,00	92 %
Chemische Industrie	4 %	0,50	2 %
Feuerfestindustrie und Gießereien	4 %	1,00	4 %
Insgesamt	100 %	0,98	98 %

Geschätzter Anstieg des Chrombedarfs mit moderatem sektoralem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Metallurgische Industrie	2 %	92 %	139 %	1,00	139 %
Chemische Industrie	2 %	4 %	6 %	0,50	3 %
Feuerfestindustrie und Gießereien	2 %	4 %	6 %	1,00	6 %
Insgesamt		100 %	151 %	0,98	148 %

Nach dem dritten Szenario mit einem vergleichsweise hohen wirtschaftlichen Wachstum der Branchen, in denen Chrom verwendet wird, könnte der Chrombedarf bis 2025 um 82 % wachsen.

Geschätzter Anstieg des Chrombedarfs bei hohem sektoralem Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Metallurgische Industrie	3 %	92 %	171 %	1,00	171 %
Chemische Industrie	3 %	4 %	7 %	0,50	4 %
Feuerfestindustrie und Gießereien	3 %	4 %	7 %	1,00	7 %
Insgesamt		100 %	186 %	0,98	182 %

Schließlich muss zur Berechnung des Primärbedarfs an Chrom das **Recycling** berücksichtigt werden. Rezykliertes Chrom wird hauptsächlich aus Edelstahlschrott gewonnen. Diese Schrotte fallen sowohl beim Herstellungsprozess von Edelstahl als auch in Form von

[Bedeutung von Recycling](#)

ausrangiertem Material an (USGS 1997). Die Recyclingrate von Chrom wird in Deutschland derzeit auf 15 bis 20 % geschätzt (BGR 2005b). Zudem gibt es Bemühungen, Chrom aus Abwasserschlämmen der Gerbereiindustrie zurück zu gewinnen (UMSICHT 2006). Bei einer Weiterentwicklung der Möglichkeiten des Chromrecyclings könnte die Recyclingquote bis 2025 möglicherweise bei 25 % liegen. Bei einer solchen Recyclingquote könnte sich der Chrombedarf nach den in Szenario 2 und 3 erfolgten Abschätzungen bis 2025 um etwa ein bis zwei Drittel erhöhen.

Geschätzter Bedarfsanstieg an Primärchrom bis 2025

	2004	2025	
		Szenario 2	Szenario 3
Relativer Chrombedarf	100 %	148 %	182 %
Recyclingquote	18 %	25 %	25 %
Angebot an Sekundärchrom	18 %	37 %	46 %
Bedarf an Primärchrom	82 %	111 %	136 %
Änderung des Bedarfs an Primärchrom		+ 35 %	+ 66 %

12.6 Germanium

Materialeigenschaften

Das harte grau-weiße Halbmetall Germanium wird hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verhüttung von Zink- und Kupfererzen gewonnen. Eine weitere wichtige Germaniumquelle sind kohlehaltige Aschen. Eine der herausragenden Eigenschaften des Halbleiters Germanium ist, dass es gegenüber Teilen der Infrarotstrahlung transparent ist.

Germanium ist ein Halbleiter

Verwendung

Germanium hat vielfältige Anwendungsgebiete. Zunächst wurde es zum Bau von Transistoren verwendet. Heute wird es allerdings vor allem in der Form von Germaniumdioxid als Katalysator in der Produktion von synthetischem Polyester (PET) nachgefragt.

PET-Katalysatoren besitzen den höchsten Verwendungsanteil bei Germanium

Weltweite Anteile der Germanium verarbeitenden Sektoren (MM 2005)

	Produktbeispiele	Anteile
PET-Katalysatoren	Plastikflaschen	35 %
Infrarotoptiken	Nachtsichtgeräte	25 %
Faseroptiken	Telekommunikation-Faserkabel	20 %
Elektronische und Solartechnik	Computerchips, Solarzellen	12 %
Übrige	Legierungen	8 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

Germaniumdioxid wird als Katalysator bei der PET-Produktion genutzt. Mit Hilfe von Germaniumdioxid erhalten PET-Produkte eine höhere Transparenz als dies bei anderen Katalysatoren der Fall ist. Mögliche Substitute sind Antimonoxid und Titanium-Alkoxid, allerdings nur für Produkte, deren farbliche Erscheinung weniger wichtig ist (USGS 2005c). In Asien wurde Anfang 2005 tatsächlich ein neuer Katalysator auf Titanium-Basis verwendet (USGS 2006).

Substitute für Germanium

Diese substitutiven Stoffe sind zwar weniger effizient (MM 2005), aber billiger als Germanium. Hier ist mit einer zunehmenden Substitution von Germanium zu rechnen. Darüber hinaus wird PET in einigen Anwendungsbereichen, wie fotografische Filme und Magnetbänder, zunehmend durch Polyethylennaphthalat (PEN) ersetzt. Bei der Produktion von PEN werden bevorzugt germaniumfreie Katalysatoren eingesetzt (USGS 2005c). Dieser Wechsel geht also mit einer sinkenden Germaniumnachfrage einher.

Gleichzeitig wurde eine neue Möglichkeit für den Einsatz von Germanium als Katalysator entdeckt. Umweltfreundliche Hydrofluorocarbon (HFC)-Kühlschränke ersetzen zunehmend Chlороfluorocarbon (CFC)-Kühlschränke. Germanium könnte in der Produktion von HFC-Kühlschränken als Katalysator für die Fluorierung verschiedener Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden. Der entsprechende Prozess kann beim Einsatz von Germanium bei niedrigeren Temperaturen und niedrigerem Druck, und somit wesentlich energieeffizienter, ablaufen (USGS 2005c).

Neue Anwendungsbereiche für Germaniumkatalysatoren

Trotz dieser neuen Einsatzmöglichkeiten scheint aber der Trend zur Substitution von Germanium als **Katalysator in der PET-Produktion** zu überwiegen, weshalb hier **mit einer leicht sinkenden spezifischen Germaniumnachfrage zu rechnen ist**: $q_i=0,75$.

Da Germanium für Teile infraroter Strahlung durchlässig ist, wird es entsprechend von der infrarotoptischen Industrie nachgefragt. Im militärischen Bereich wird es beispielsweise zur Produktion von Infrarotlinsen für Nachtsichtgeräte genutzt und auch in PKW ergeben sich entsprechende Einsatzmöglichkeiten. Germanium wird im Bereich der Nah-Infrarot-Strahlung eingesetzt. Dem hier möglichen Substitut Zinksulfid ist Germanium überlegen, so dass ein Ersatz von Germanium mit Qualitätseinbußen einhergeht (USGS 2005c). Auch ein Verzicht auf Germaniummetall zu Gunsten von Germaniumglas äußert sich in einer schlechteren Qualität der Geräte (USGS 2006). Da Germanium in der Infraroptik nur schwer substituiert werden kann und momentan keine neuen Anwendungsfelder zu erkennen sind, sollte die spezifische Nachfrage in diesem Bereich konstant bleiben: $q_i=1,00$.

Einsatz von Germanium in der Infraroptik

In der **Faseroptik** wird Germanium Siliziumfasern zugesetzt, um deren Brechungsindex zu erhöhen, ohne Licht zu absorbieren (USGS 2004e). Diese Stoffkombination hat sich als die bes-

Germanium wird für Glasfaserkabel benötigt

te erwiesen. Die Faserkabel werden wiederum von der Telekommunikationsindustrie genutzt. Germanium wird in zwei verschiedenen Arten optischer Faser eingesetzt. Die „single-mode“ Faser ist eine dünne Faser, die in Langstreckenkabeln verarbeitet wird. Die „multi-mode“ Faser wird hingegen zur Überbrückung kürzerer Distanzen benötigt. Das Langstrecken-Kommunikationsnetz gilt als „überbaut“, weshalb in Zukunft vermutlich vor allem „multi-mode“ Fasern nachgefragt werden. Da diese ein größeres Volumen besitzen und der Germaniumanteil in ihnen höher ist als dies bei den „single-mode“ Fasern der Fall ist, dürften sie den Nachfragerückgang bei den „single-mode“ Fasern auffangen (USGS 2005c).

Auch wenn die Nutzung von Silizium-Germanium-Fasern am weitesten verbreitet ist, so gibt es doch Fasern, die zumindest in einigen Bereichen als Substitut in Frage kommen. Ob diese Silizium-Germanium-Fasern großflächig verdrängen können, ist fraglich. Die Innovation fiber-to-the-home dürfte für eine erhöhte Germaniumnachfrage sorgen. Mittels dieser Technologie können Haushalte und Unternehmen vielfältige telekommunikative Anwendungen nutzen. Jeder Teilnehmer bekommt dabei eine eigene Glasfaser, die bis in das eigene Haus verlegt werden kann. **In der faseroptischen Industrie ist dennoch insgesamt mit einer konstant bleibenden spezifischen Germaniumnachfrage zu rechnen:** $q_i = 1,00$.

Die **elektronische Industrie** war in der Vergangenheit der Sektor mit der größten Nachfrage nach dem Halbleiter Germanium. Transistoren und Dioden werden heute aber zum Großteil aus dem günstigeren Silizium gefertigt. Siliziumdioden sind leichter zu bearbeiten und halten höheren Temperaturen stand. Germaniumdioden bieten allerdings den Vorteil bereits bei niedriger Spannung einsetzbar zu sein. Germaniumdioden werden zur Produktion von LEDs verwendet, welche aber zunehmend durch LCDs ersetzt werden (USGS 2005c). Dies dürfte in einer geringeren Germaniumnachfrage resultieren.

Renaissance als
Halbleiter

In jüngerer Zeit wird Germanium dennoch wieder zu einem beliebten Werkstoff, vor allem in der Verbindung mit Silizium. Es ist gelungen, eine Methode zu entwickeln, mittels derer dünne Schichten von Germanium auf Silizium aufgetragen werden können (USGS 2005c). Transistoren auf Basis von Silizium-Germanium und Germanium-Antimon-Tellur werden in Chips für

Mobiltelefone, Computer und Laser verarbeitet. Sie arbeiten schneller als die herkömmlichen Silizium- und Indium-Phosphat-Transistoren und benötigen dabei weniger Energie (USGS 2005, Wettig 2004). Auch die bisher im Bereich der Mobilkommunikation verwendeten Gallium-Arsen-Komponenten scheinen durch leistungsfähigere und kostengünstiger zu produzierende Silizium-Germanium-Bauteile ersetzt werden zu können (MM 2005).

Doch nicht nur das preiswertere Silizium konkurriert mit Germanium um den Einsatz in elektronischen Anwendungen. Auch andere Halbleiter können Germanium ersetzen. Ob es tatsächlich zu einer Substitution kommt hängt aber von verschiedenen Faktoren ab (USGS 2005c). Da Germanium als vergleichsweise verlässlicher Werkstoff gilt (USGS 2006) und einige Anwendungsbereiche erobert werden könnten, ist für die **elektronische Industrie mit einer leicht steigenden spezifischen Germaniumnachfrage zu rechnen: $q_i=1,25$.**

Aufgrund der zuletzt stark gestiegenen Energiekosten wird Germanium bei der Produktion von mehrschichtigen **Solarzellen** genutzt. Diese Solarzellen können einen größeren Anteil der Sonnenstrahlung in Energie umwandeln als dies bei konventionellen Solarzellen der Fall ist. **Sollten sich diese Solarzellen auf dem Markt durchsetzen können, ist für die Solarindustrie mit einer stark steigenden Germaniumnachfrage zu rechnen** (USGS 2005c). Für die elektronische und Solarindustrie wird angenommen, dass die spezifische Nachfrage nach Germanium leicht steigt: $q_i=1,25$.

Germanium
könnte zukünftig
auch in Solar-
zellen verwendet
werden

In den **übrigen** Sektoren bestehen weitere vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Germanium. Die bedeutendste technische Neuerung lag hier in der Entwicklung einer anlaufgeschützten Sterlingsilber-Legierung mit ca. 1,2 % Germaniumgehalt. Diese Legierung lässt sich leicht reinigen, ist härter und sicherer vor Einbeulungen (USGS 2004e). Es ist aber fraglich, ob diese Entwicklung alleine dazu führt, dass die Germaniumnachfrage bedeutend zunimmt. **Für die übrigen Sektoren wird deshalb mit einer konstant bleibenden Germaniumnachfrage gerechnet: $q_i=1,00$.**

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Germaniumbedarf. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliches Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus. Ohne jegliches sektorales Wachstum läge der Germaniumbedarf 2025 um 6 % niedriger als 2004. Auch bei diesem Rohstoff spielt der Technische Wandel offenbar eine insgesamt untergeordnete Rolle.

Änderung des Germaniumbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
PET-Katalysatoren	35 %	0,75	26 %
Infrarotoptiken	25 %	1,00	25 %
Faseroptiken	20 %	1,00	20 %
Elektronische und Solartechnik	12 %	1,25	15 %
Übrige	8 %	1,00	8 %
Insgesamt	100 %	0,94	94 %

Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren würde der Bedarf hingegen um 43 % steigen. Deutlich stärker stiege der Chrombedarf im Falle eines um einen Prozentpunkt höheren Wachstums der Sektoren. Dann läge der Bedarf im Jahr 2025 um rund 76 % höher als 2004. Das wirtschaftliche Wachstum der Branchen, die Germanium verwenden, scheint somit auch bei diesem Rohstoff die wesentliche, den Verbrauch bestimmende Kraft zu sein.

Geschätzter Anstieg des Germaniumbedarfs bei moderatem sektoralen Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
PET-Katalysatoren	2 %	35 %	53 %	0,75	40 %
Infrarotoptiken	2 %	25 %	38 %	1,00	38 %
Faseroptiken	2 %	20 %	30 %	1,00	30 %
Elektronische und Solartechnik	2 %	12 %	18 %	1,25	23 %
Übrige	2 %	8 %	12 %	1,00	12 %
Insgesamt		100 %	151 %	0,94	143 %

Die meisten Produkte besitzen nur einen sehr geringen Germaniumanteil, vor allem solche der infrarotoptischen und elektronischen Industrie. Deshalb ist es schwierig, Germanium aus Altschrotten zu rezyklieren (USGS 2006). Die Recyclingeffizienz für Altschrott liegt in den USA derzeit bei 76 % (USGS 2000). Das bedeutet, dass genau dieser Anteil des rezyklierbaren Germaniums auch tatsächlich wiederverwertet wird. Hier sind also noch Verbesserungen möglich. Die EU-Altschrott-Richtlinie 2002/96/EG regelt die Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten und könnte eine höhere Recyclingeffizienz innerhalb der EU bewirken.

Bedeutung des
Germaniumrecycling

Geschätzter Anstieg des Germaniumbedarfs bei hohem sektoralen Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
PET-Katalysatoren	3 %	35 %	65 %	0,75	49 %
Infrarotoptiken	3 %	25 %	47 %	1,00	47 %
Faseroptiken	3 %	20 %	37 %	1,00	37 %
Elektronische und Solartechnik	3 %	12 %	22 %	1,25	28 %
Übrige	3 %	8 %	15 %	1,00	15 %
Insgesamt		100 %	186 %	0,94	175 %

Der Großteil des rezyklierten Germaniums stammt aus Abfällen, die während der Produktion entstehen, sogenannter neuer Schrott.

In der elektronischen und optischen Industrie werden beispielsweise mehr als 60 % des Neuschrotts rezykliert (USGS 2006). Weltweit liegt der Anteil von Sekundärgermanium an der insgesamt eingesetzten Menge an Germanium bei ca. 35 % (USGS 2006). Da das Recycling von neuem Schrott noch weiter ansteigen dürfte und auch noch Steigerungspotential beim Recycling von Altschrott besteht, könnte sich dieser Anteil zukünftig auf ca. 49 % erhöhen (USGS 2006). Geht man von für 2025 einer Steigerung der Recyclingquote von 35 % auf 45 % aus, so könnte sich die Germaniumverbrauchs Zunahme bis 2025 nach den Szenarien 2 und 3 im Bereich von 22 % bis 49 % bewegen.

Geschätzter Bedarfsanstieg an Primärgermanium bis 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Germaniumbedarf	100 %	143 %	176 %
Recyclingquote	35 %	45 %	45 %
Angebot an Sekundärgermanium	35 %	64 %	79 %
Bedarf an Primärgermanium	65 %	79 %	97 %
Änderung des Primärbedarfs		+ 22 %	+ 49 %

12.7 Vanadium

Materialeigenschaften

Vanadium ist ein silbrig glänzendes Metall, das nichtmagnetisch, zäh und schmiedbar ist. Seine Korrosionsbeständigkeit ist gut. Vanadium besitzt eine hohe mechanische Festigkeit und hat mit 1 902° C einen recht hohen Schmelzpunkt.

Vanadium wird vor allem als Kuppel- und Nebenprodukt gewonnen

Vanadium gilt als ein seltenes Element, dessen Gewinnung relativ teuer ist. Deshalb wird es häufig als Neben- oder Kuppelprodukt gewonnen (MMR 2006, MB 2003a). So liefern Eisenschlacken, Aschen und Rückstände fossiler Energieträger Vanadium (USGS 2004f). Nur ein Viertel des eingesetzten Vanadiums stammt aus Erzen (MMR 2006). Vanadium kann in geringen Anteilen auch in mineralischen Vorkommen wie Titanomagnetiten und Phosphorerzen gefunden werden.

Das aus den verschiedenen Rohstoffquellen gewonnene Vanadium wird zur Erzeugung von Vanadiumpentoxid, Ferrovanadium und Vanadiummetall verwendet (USGS 2004f).

Verwendung

Vanadium wird fast ausschließlich als Legierungsmetall genutzt. 87 % des gewonnenen Vanadiums werden als Ferrovanadium in der Stahlindustrie eingesetzt, weshalb die Entwicklung der Vanadiumnachfrage eng mit der der Stahlnachfrage korrelieren dürfte. In der chemischen Industrie wird Vanadium hauptsächlich als Katalysator eingesetzt.

Vanadium wird vor allem als Stahlveredler verwendet

Weltweite Anteile der Vanadium verarbeitenden Sektoren (MMR 2006)

Sektor	Produktbeispiele	Anteile
Stahlindustrie	Hochfeste Stähle	87 %
Legierungen	Bauteile für die Raumfahrt	7 %
Chemische Industrie	Katalysator	6 %
Insgesamt		100 %

Technologische Trends

In der **Stahlindustrie** wird Ferrovanadium genutzt, um Stählen eine höhere Festigkeit zu verleihen. Ferrovanadiumlegierungen enthalten zwischen 45-50 % bzw. 80 % Vanadium. Entsprechend wird zwischen niedrig- und hochlegierten Stählen mit einem Vanadiumgehalt von 0,15 % bzw. 5 % unterschieden.

Diese hochfesten Stähle ersetzen zunehmend unlegierte Stähle in den verschiedensten Anwendungsbereichen. Unter anderem im Rohrbau und in der Automobilindustrie bieten die mit Vanadium legierten hochfesten Stähle größere Stabilität und erhöhte Schweißbarkeit bei gleichzeitig geringerem Gewicht (MMR 2006). Vor allem in China und in den USA ist ein Trend zu einer verstärkten Verwendung hochfester Stähle festzustellen, was sich positiv auf die weltweite Vanadiumnachfrage auswirken dürfte (USGS 2004f).

Allerdings ist Vanadium bis zu einem gewissen Grad problemlos durch andere Legierungsmetalle wie Niob, Mangan, Molybdän oder Titan zu substituieren (USGS 2006). Besonders Niob scheint hier ein beliebter Ersatz für Vanadium zu sein. So hat Arcelor bei hohen Preisen Vanadium bereits durch Niob ersetzt (MB 2005b).

Vanadium ist
recht problemlos
durch andere
Legierungsmetal-
le ersetzbar

Die Entwicklung der Vanadiumnachfrage der Stahlindustrie ist nur schwer zu beurteilen. Durch den zunehmenden Einsatz von neuartigen Stählen in Branchen wie dem Bauwesen und der Automobilindustrie ist mit einer verstärkten Stahl- und damit Vanadiumnachfrage zu rechnen. Andererseits wird Stahl weiterhin durch Leichtbaustoffe wie Aluminium oder Magnesium substituiert. Inwiefern Vanadium zusätzlich durch andere Legierungsmetalle ersetzt werden wird, ist ebenfalls nicht genau vorherzusagen. **Deshalb dürfte insgesamt der Technische Wandel im Bereich der Stahlerzeugung nicht zu einer Veränderung des spezifischen Vanadiumeinsatzes führen.**

Ein weiterer Anwendungsbereich für Vanadium im Bereich der metallurgischen Industrie besteht in **Titanium-Aluminium-Legierungen**. Das zulegierte Vanadium dient als Stabilisator für Bauteile der Raumfahrtindustrie (MMR 2006). Da Vanadium in diesem Bereich nicht zu substituieren ist (USGS 2006), **dürfte die**

spezifische Vanadiumnachfrage bei den Titanium-Aluminium-Legierungen konstant bleiben.

In der **chemischen Industrie** wird Vanadium hauptsächlich als Katalysator bei der Produktion von Maleinsäureanhydrid und Schwefelsäure eingesetzt (USGS 2006). Außerdem dient es dem „Cracken“ von Erdölprodukten (MMR 2006). Platin und Nickel kommen in einigen Katalyseprozessen als Vanadiumsubstitute in Frage (USGS 2006). Vanadium wird mittlerweile verstärkt in Batterien genutzt. Vanadium-Redox-Flow-Batterien gelten als sehr guter Puffer und Energielieferant bei Stromausfällen (MMR 2006). Da Vanadium in einigen Bereichen verstärkt nachgefragt wird, aber andererseits teilweise gut substituiert werden kann, **wird auch für die chemische Industrie mit einer konstant bleibenden spezifischen Vanadiumnachfrage gerechnet.**

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Vanadiumverbrauch. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliche Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus.

Änderung des Vanadiumbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Stahlindustrie	87 %	1,00	87 %
Titanium-Aluminium-Legierungen	7 %	1,00	7 %
Chemische Industrie	6 %	1,00	6 %
Insgesamt	100 %	1,00	100 %

Ohne jegliches sektorales Wachstum würde der Vanadiumbedarf 2025 unverändert dem des Jahres 2004 entsprechen. Das heißt: Der Technische Wandel würde bei diesem Rohstoff gar keine Rolle spielen. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren

würde der Bedarf hingegen um 50 % steigen. Deutlich stärker stiege der Chrombedarf im Falle eines um einen Prozentpunkt höheren sektoralen Wachstums.

Annahmegemäß verändert der Technische Wandel somit die Nachfrage nach Vanadium in Zukunft nicht. Berücksichtigt man das zu erwartende Wachstum der nachfragenden Sektoren, so dürfte die Vanadiumnachfrage bis 2025 um rund 50 % ansteigen. Dies liegt vor allem an der zu erwartenden stark ansteigenden Stahlproduktion. Bei einem noch höheren jährlichen Wachstum könnte der Vanadiumverbrauch sogar um 84 % steigen.

Geschätzter Anstieg des Vanadiumbedarfs bei moderatem sektorialem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Stahlindustrie	2 %	87 %	132 %	1,00	132 %
Legierungen	1 %	7 %	9 %	1,00	9 %
Chemische Industrie	2 %	6 %	9 %	1,00	9 %
Insgesamt		100 %	150 %	1,00	150 %

Geschätzter Anstieg des Vanadiumbedarfs mit hohem sektorialem Wachstum

Szenario 3	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Stahlindustrie	3 %	87 %	162 %	1,00	162 %
Legierungen	2 %	7 %	11 %	1,00	11 %
Chemische Industrie	3 %	6 %	11 %	1,00	11 %
Insgesamt		100 %	184 %	1,00	184 %

Berücksichtigt man das **Recycling** von Vanadium, ändert sich das Bild nur geringfügig. Da der Anteil von Vanadium in Stählen oder anderen Legierungen oft weniger als 1 % beträgt, ist das Recycling von Vanadium als Legierungselement vernachlässigbar gering (USGS 1997). Die Stahlveredler gehen an die Schlacke verloren (USGS 2006).

Recycling spielt bei Vanadium eine sehr geringe Rolle

Eine geringe Menge an Vanadium wird aus vanadiumhaltigen Katalysatoren rezykliert. Das wiedergewonnene Material wird üblicherweise wieder als Katalysator eingesetzt (USGS 2004f). Da nur ein geringer Anteil des insgesamt nachgefragten Vanadiums

auf Katalysatoren entfällt, wird insgesamt nur ein geringer Prozentsatz Vanadium rezykliert (USGS 2006). In den USA beträgt der Anteil von Katalysatoren an der Vanadiumnachfrage lediglich 1 % (USGS 1997). Berücksichtigt man, dass außerdem eine geringe Menge Vanadium aus Legierungen rezykliert wird, wird hier in Ermangelung weiterer Zahlen eine Recyclingquote von 2 % angenommen.

Geht man außerdem davon aus, dass die Möglichkeiten zum Vanadiumrecycling bis 2025 weiterentwickelt werden, so dass man auf eine Recyclingquote von 5 % hoffen kann, könnte der Bedarf an Primärvanadium zwischen 2004 und 2025 um 45 % bis 79 % steigen.

Geschätzter Bedarfsanstieg an Primärvanadium bis 2025

	2004	Szenario 2	Szenario 3
Relativer Vanadiumbedarf	100 %	150%	184%
Recyclingquote	2 %	5%	5%
Angebot an Sekundärvanadium	2 %	8%	9%
Bedarf an Primärvanadium	98 %	142%	175%
Änderung des Primärbedarfs		+ 45 %	+ 79 %

12.8 Flussspat

Materialeigenschaften

Flussspat ist ein Mineral, das hauptsächlich zur Produktion von Fluor Verwendung findet. Synonym ist die Bezeichnung Fluorit gebräuchlich. Flussspat enthält Calciumfluorid und besitzt ebenso wie andere Fluoride eine für die Metallverhüttung wichtige Eigenschaft: die Herabsetzung der Schmelztemperatur.

Verwendung von Flussspat

70 % der Flussspatproduktion geht in den industrialisierten Ländern, welche den Bedarf dominieren, in die Chemische Industrie und wird dort zu Fluorwasserstoffsäure (HF) verarbeitet (Winnacker, K., Küchler L. 2005). Weitere Verwendungen von Flussspat sind

Die Chemische Industrie dominiert die Flussspatnachfrage

- die Stahlherstellung, die 7 % der Produktion erfordert,
- die Schmelzflusselektrolyse von Aluminium und anderen Metallen,
- die Zementherstellung und
- der Zusatz als Trübungsmittel für farbige Gläser und Überzüge metallischer und keramischer Werkstoffe.

Verwendung von Fluorwasserstoffsäure

Fluorwasserstoffsäure ist der Ausgangsstoff für praktisch alle fluorierten Verbindungen. 60 % der HF-Produktion wird für die Herstellung von Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) verwendet (Winnacker, K., Küchler L. 2005). Mit dem Ausstieg der Industrienationen aus der ozonschädlichen Nutzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) fiel die Flussspatproduktion. Durch die zunehmende Substitution von FCKW durch FKW hat sich die Nachfrage wieder erholt und lag 2005 bei 5 Mio. t weltweit (Roskill 2005). Aber auch die chlorfreien FKW, welche die stratosphärische Ozonschicht nicht schädigen, geraten durch ihr hohes Treibhauspotential unter um-

Fluorwasserstoffsäure ist die Basis fast aller synthetischen Fluorverbindungen

weltpolitischen Druck. FKW R134a, das weltweit beinahe ausschließlich als Kältemittel für Autoklimaanlagen benutzt wird (Miller 2004), weist die 1 300-fache Klimawirksamkeit von CO₂ auf.

11 % der Fluorwasserstoffsäure-Produktion werden für die Herstellung von Kryolith genutzt (Winnacker, K., Küchler L. 2005). Kryolith dient als Elektrolyt bei der Schmelzflusselektrolyse von Aluminium. Weitere Verwendungen von Fluorwasserstoffsäure sind die Kraftstoffherstellung, die Glasindustrie, die Halbleiterfertigung, die Formsandentfernung beim Stahl- und Eisenguss, die Trennung von Niob und Tantal, die in der Natur vergesellschaftet vorkommen, Beizen von Edelstahl, Fluorpolymere (Teflon), Schwefelhexafluorid, die Urananreicherung und Natriumfluorid als Trinkwasserzusatz.

Technischer Wandel

Die Nutzung von FKW wird aus Gründen des Klimaschutzes eingeschränkt werden. Die EU bereitet eine Direktive vor, welche die Nutzung von R134a für Autoklimaanlagen ab 2017 verbieten soll (EU 2006). Es ist davon auszugehen, dass sich andere Industriestaaten und Schwellenländer ebenso zu einem Verzicht entschließen werden. An technischen Alternativen wird gegenwärtig gearbeitet. Mittlerweile sind Busse in Erprobung, die CO₂ als Kältemittel für die Klimaanlage nutzen.

Der Klimaschutz wird die Erzeugung von FKW stark einschränken

Der spezifische Bedarf von Fluoriden bei der Metallverhüttung ist durch technologische Fortschritte leicht rückläufig. Neue und mengenmäßig bedeutsame Anwendungen von Flussspat konnten nicht identifiziert werden.

Recycling

Über das Recycling von Flussspat und Fluoriden gibt es kaum Literatur. Bei einer ordnungsgemäßen Altautoentsorgung wird das Kältemittel der Klimaanlage dem Fahrzeug entzogen, bevor es geschreddert wird. Das gebrauchte Kältemittel ließe sich aufbereiten und wieder verwenden. Inwieweit dies geschieht, ist unbekannt. Bei der Rauchgaswäsche in der Metallverhüttung wird Fluorwasserstoffsäure ausgewaschen und zum Teil einer Aufbereitung und Verwendung zugeführt. Bei der Wartung von Aluminium Elekt-

rolysezellen werden die Krusten entfernt. Die Aufarbeitung der darin enthaltenen Fluoride ist jedoch wirtschaftlich nicht attraktiv.

Ein Teil der eingesetzten Fluorverbindungen geht unwiederbringlich verloren, etwa durch Verdunstung von Kältemitteln, Schmelzprozessen und bei Trinkwasserzusätzen. Insgesamt ist das wirtschaftliche Recyclingpotential als begrenzt einzuschätzen. Nach Angaben des USGS werden in den USA einige tausend Tonnen Flussspat pro Jahr zurück gewonnen (USGS 2006). Das sind weniger als 1 % des Flussspatverbrauchs in den USA, der 600 000 t pro Jahr beträgt.

Das wirtschaftliche Recyclingpotential von Flussspat ist gering

Entwicklung des Flussspatbedarfs 2025

Durch den Technischen Wandel wird ein Rückgang des spezifischen Flussspatbedarfs von 20–30 % erwartet, in erster Linie durch die erwartete Einschränkung der Nutzung von FKW. Damit wird der absolute Bedarf an Flussspat 2025 über dem Niveau von 2004 liegen, wenn das jahresdurchschnittliche Wachstum der Flussspat verbrauchenden Sektoren mehr als 1,4 % beträgt.

Bei einem mittleren Wachstum von jährlich 3,6 % läge der globale Flussspatbedarf 2025 um 50 – 70 % über dem Niveau von 5 Mio. t im Jahr 2004. Roskill (2005) erwartet hingegen für 2030 eine Flussspatproduktion von 5 Mio. t, geht also von einer stagnierenden Nachfrage aus.

Der globale Flussspatbedarf 2025 wird auf 5 bis 8,5 Mio. t geschätzt

12.9 Tantal

Materialeigenschaften

Tantal ist ein seltenes Metall, das in der Natur zusammen mit Niob auftritt. Niob kommt allerdings 10 mal häufiger vor (Metall 2002). Der Schmelzpunkt von Tantal wird nur von Wolfram und Rhenium übertroffen. Das Metall ist gut verformbar, schweißbar, säurebeständig und ein guter Leiter für Wärme und Elektrizität. An der Luft bildet es auf der Oberfläche rasch eine sehr widerstandsfähige Schutzschicht aus Tantalpentoxid (Ta_2O_5) aus, das zugleich ein hervorragender elektrischer Isolator ist und einen hohen Brechungsindex aufweist (HB 2001, Metall 2002, Bayer 2001, Magyar 2005). Tantal wird als Pulver, Karbid, Pentoxid und als Metall gehandelt. Das Pulver wird vor allem für die Herstellung von Tantal-kondensatoren genutzt.

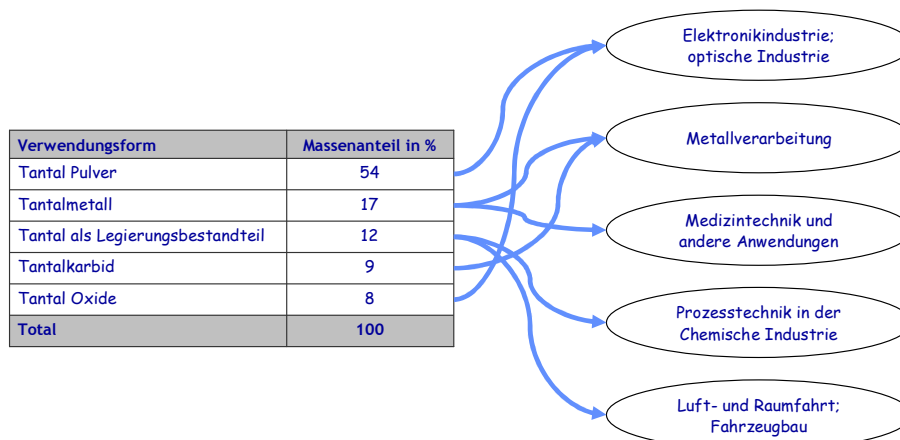
Tantal ist ein
High-Tech Werk-
stoff

Verwendung

Hauptabnehmer von Tantal ist daher die Elektronikindustrie. Dieser Sektor verbraucht global um die 60 % der Tantalproduktion. Mit Tantal lassen sich Kondensatoren hoher Speicherdichte für elektronische Schaltungen mit kleinen Abmessungen bauen (Bayer 2001).

Wichtigster Ab-
nehmer von
Tantal ist die
Elektronikindus-
trie

Handelsformen von Tantal und Verbrauchssektoren (IMM 2001)



Im Handel gibt es Kondensatoren, die bis zu einem Temperaturniveau von 150 °C zuverlässig arbeiten (Kemet 2005). Bevorzugtes Einsatzfeld von Tantalkondensatoren sind Handys, Hörgeräte,

Camcorder, Kameras, MP3-, CD- und DVD-Player sowie viele andere kleine elektronische Geräte (MBM 2004).

Anwendungen von Tantal (TIC 2005)

Verwendungsform	Anwendung	Technische Eigenschaften
Tantal Pulver	Kondensatoren - Hörgeräte, Handy, GPS - Automobilelektronik - Laptop, Camcorder, Digital-kamera - Luft- und Raumfahrt, Waffensysteme	- Hohe Kapazität pro Volumeneinheit (Miniaturisierung) - Hohe Ausfallsicherheit, auch unter schwierigen Einsatzbedingungen (Erschütterungen, Feuchtigkeit) - Großer Temperaturbereich von -55 bis 150° C
Tantalkarbid	Schneidwerkzeuge	Hohe Schneidgeschwindigkeiten
Tantaloxid	- Linsensysteme - Röntgenschirme - Tintenstrahldruckköpfe	- Großer Brechungsindex - Hohe Empfindlichkeit - Abriebfestigkeit
Tantal Metall, Halbzeug	- Hochwarmfeste Tantallegierungen (Strahltriebwerke, Gasturbinen, Raketen etc.) - Hitzeschilde - Korrosionsfeste Bauteile der chemischen Prozesstechnik (Wärmetauscher etc.) - Linsenvergütung, integrierte Schaltungen - Verbindungsdraht für elektronische Bauelemente - Medizinische Prothetik (künstliche Hüftgelenke, Implantate) - Medizinische Instrumente	- Superalloys mit 3 – 12 % Tantal - Korrosionsfestigkeit vergleichbar mit Glas - Aufdampfen in dünnen Schichten - Neutral für die Immunabwehr und nicht reizend für Körpergewebe

Tantalkarbid weist mit 3 877 °C einen extremen hohen Schmelzpunkt auf. Aufgrund seiner Warmfestigkeit und Härte wird es für Schneidwerkzeuge genutzt. Tantaloxid wird aufgrund seiner optischen Eigenschaften für Linsensysteme verwendet. Wegen des hohen Brechungsindex von Tantal können diese Linsen dünn und Gewicht sparend gefertigt werden. Die Abriebfestigkeit von Tantalpentoxid wird beispielsweise in Tintenstrahldruckköpfen genutzt.

In metallischer Form wird Tantal vor allem als Legierungselement für hochwarmfeste Superlegierungen, oft auf Nickelbasis und zusammen mit Kobalt und Chrom, verwendet (Magyar 2005). Das Metall weist auch eine exzellente Verträglichkeit mit Körpergewebe und –flüssigkeiten auf. Tantal löst im Organismus keine Immunabwehr aus und reizt das Gewebe nicht. Aufgrund dieser Eigenschaften wird es für Implantate, Prothesen und medizinische Apparate und Instrumente genutzt.

[Hartmetalle, Superlegierungen und die Medizintechnik sind weitere Tantalanwendungen](#)

Technische Trends

In der **Elektronikindustrie** hält der Trend zur Miniaturisierung von Geräten unvermindert an. Dies unterstützt die Nachfrage nach Tantalkondensatoren, die aufgrund der hohen Speicherdichte für Elektrizität eine besonders kleine Bauweise (Miniaturisierung) und eine Senkung der Fertigungskosten erlauben. Neue Technologien bei der Fertigung von Schaltungen, die anstatt des Aufsteckens von elektronischen Bauelementen Schaltungselemente in Dick-schicht- oder Hybridtechnik direkt in die Leiterbahnen drucken, gewinnen an Boden. Bei diesen Drucktechniken werden Tantalkondensatoren als Pasten aufgedruckt. Dabei wird weniger Material für das einzelne Bauelement benötigt (Bayer 2001).

Die Computerisierung von Geräten und Maschinen hält unvermindert an. Die Rechenleistung der Elektronik in einem modernen Auto entspricht der mehrerer PCs. Dabei wird die Elektronik zunehmend dezentral, nahe am Ort des Regeleingriffs (ABS, Lambdasonde etc.) angebracht, wo sie oft extremen thermischen, mechanischen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt ist. Der Bedarf an Elektronik, die solchen Belastungen gewachsen ist, steigt. Dieser Trend unterstützt die Nachfrage nach den robusten Tantalkondensatoren.

Bei der Firma H. C. Stark GmbH, einer Bayer-Tochter, laufen sehr aussichtsreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Niob in einer Reinheit und Feinheit herzustellen, um es als Ersatz für Tantal in Kondensatoren mit möglichst geringen Leistungseinbußen zu nutzen (Bayer 2001). Ein Durchbruch bei diesen Arbeiten würde die Tantalnachfrage reduzieren. Tantalkondensatoren könnten durch herkömmliche Aluminium-, Keramik- und Niobkondensatoren ersetzt werden (Hunziker et al. 2002), wenngleich Abstriche in der technischen Leistungsfähigkeit in Kauf genommen werden müssten. So könnten Handys auch mit anderen Kondensatoren gebaut werden. Allerdings wäre es sehr fraglich, ob die so produzierten größeren Handys einen erheblichen Absatz finden würden.

Insgesamt sollten sich in der Elektronikindustrie bedarfssteigernde und bedarfsreduzierende Treiber des Technischen Wandels die Waage halten, sodass in diesem Sektor ein eher gleichbleibender spezifischer Tantalbedarf zu erwarten ist.

Der spezifische
Tantalbedarf der
Elektronikindustrie
stagniert

Technische Einflüsse auf den Tantalbedarf in der Elektronikindustrie

	Trend	Spezifischer Bedarf
Miniaturisierung von Geräten	↗	↗
Neue Fertigungstechnologien für integrierte Schaltungen	↗	↘
Nachfrage nach robuster Elektronik (Kfz, Luft- und Raumfahrt, Rohstoffexploration etc.)	↗	↗
FuE zur Entwicklung neuer, leistungsfähiger Niobkondensatoren	↗	↘
Substitution von Ta-Kondensatoren durch herkömmliche Al-, Keramik- und Niobkondensatoren (ohne Versorgungskrisen)	→	→
Insgesamt		→

Bei der Metallverarbeitung werden zur spanenden Formgebung von metallischen Werkstücken in der Regel Kühlschmierstoffe genutzt, um die entstehende Wärme vom Werkzeug abzuführen und durch Schmierung die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück, und damit die Wärmeentwicklung, herab zu setzen. Dies gilt besonders für harte Metalle wie Stahl und Gusseisen. Die Pflege und Entsorgung dieser Kühlschmierstoffe verursacht Kosten, die bei einer trockenen Bearbeitung entfallen. Es wird deshalb dort, wo dies technisch möglich ist, aus Kostengründen die spanende Formgebung zunehmend ohne Kühlschmierstoffe vorgenommen (Trockenbearbeitung). Dies stellt höchste Anforderungen an die Warmfestigkeit der Werkzeuge und unterstützt die Nachfrage nach Hochleistungshartmetallen. Tantal wird in Hartmetallen als Legierungsmetall zur Herabsetzung der Verformbarkeit und Verbesserung der chemischen Beständigkeit genutzt (MJ 2000, Buckman 2000).

Aber auch die Rationalisierungsanstrengungen, um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, drängen zur Erhöhung der Schnittgeschwindigkeiten, was den Einsatz immer leistungsfähigerer Werkzeuge erfordert. Die Nutzung von Niob als Legierungszusatz in Hartmetallen dämpft die Nachfrage nach Tantal ein wenig, so dass für die Metallverarbeitung eine mäßig steigende spezifische Tantalnachfrage erwartet wird.

Der spezifische Tantalbedarf für Hartmetallschneidwerkzeuge steigt mäßig

Technische Einflüsse auf die Tantalnachfrage in der Metallverarbeitung

Treiber	Trend	Spezifischer Bedarf
Trockenbearbeitung	↗	↗
Produktivitätssteigerung durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeiten und Werkzeugstandzeiten	↗	↗
Substitution durch Niobkarbide	↗	↘
Insgesamt		↗

Luft- und Raumfahrt und Fahrzeugbau

Hochwarmfeste Legierungen erhöhen nicht nur die Zuverlässigkeit von thermisch beanspruchten Bauteilen und ihre Haltbarkeit, sie tragen auch zu Verbesserung der Treibstoffausnutzung bei, wenn dadurch die Prozesstemperaturen angehoben werden können (Buckman 2000, H.C. Starck 2005). So berichtet Krupp VDM von der Entwicklung einer hochwarmfesten Superlegierung mit 8 % Tantal, das für die Brennkammern und Komponenten der Schubumkehr eingesetzt werden kann, wodurch der Treibstoffverbrauch von Düsentriebwerken um 1 % sinkt (Krupp VDM 1999). Die kostengetriebenen Anstrengungen zur Verbesserung des Wirkungsgrads von Triebwerken und Verbrennungsmotoren und die umweltpolitischen Anstrengungen zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung unterstützen die Nachfrage nach Tantal im Sektor Luft- und Raumfahrt und Fahrzeugbau, so dass hier eine steigende spezifische Tantalnachfrage zu erwarten ist.

Der spezifische Tantalbedarf für Superlegierungen steigt

Technische Einflüsse auf die Tantalnachfrage in der Luft- und Raumfahrt und im Fahrzeugbau

Treiber	Trend	Spezifischer Bedarf
Hochwarmfeste Werkstoffe zur Leistungssteigerung und Treibstoffeinsparung von Triebwerken	↗	↗
Substitution durch andere hochwarmfeste Werkstoffe	→	→
Insgesamt		↗

Chemische Industrie

In der chemischen Industrie wird Tantal vor allem für die säurebeständige Auskleidung von Pumpen, Behältern, Rohrleitungen etc. genutzt (H.C. Starck 2005, Buckman 2000, MJ 2000, BGR 1982). Tantal ist ähnlich säurebeständig wie Glas und Platin, aber ungleich duktiler als Glas und kostengünstiger als Platin. Signifikante bedarfsändernde Treiber konnten jedoch nicht identifiziert werden, so dass ein gleich bleibender spezifischer Tantalbedarf in diesem Sektor zu erwarten ist.

Der spezifische Tantalbedarf für die chemische Prozesstechnik stagniert

Die **Medizintechnik** wird auch in Zukunft Wachstumssektor bleiben, allein wegen der zunehmenden Alterung der Gesellschaft und dem Bedürfnis der Erhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Das Erschließen neuer chirurgischer und apparativer Heilverfahren unterstützt die Nachfrage nach Tantal, dem besten biokompatiblen Metall (Zimmer 2006). Anwendungen sind Hochleistungsimplantate wie Schädelplatten, Hüftgelenke und Prothesen, sowie der medizinische Apparatebau ("Apparatemedizin"). Insgesamt ist in dem Sektor ein steigender spezifischer Tantalbedarf zu erwarten.

Der spezifische Tantalbedarf in der Medizintechnik steigt

Technische Einflüsse auf die Tantalnachfrage in der Medizintechnik

Treiber	Trend	Spezifischer Bedarf
Hochleistungsimplantate	↗	↗
Chirurgische Instrumente	→	→
Medizinische Apparate	↗	↗
Insgesamt		↗

Über die erreichten Recyclingquoten für Tantal finden sich in der Literatur kaum Angaben. Es existiert allerdings eine Stoffflussanalyse des United States Geological Survey (USGS) für die USA und das Jahr 1998 (Cunningham 2004). Danach werden bei einem Verbrauch von Tantal im Inland von 980 t immerhin 90 t aus gebrauchten Produkten in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Das entspricht einer Recyclingquote von knapp 10 %.

Das Recycling von Tantal besitzt noch Potential

Die europäische Union hat am 27. Januar 2003 die Richtlinie 2002/96/EG über die Rücknahme und Verwertung von Elektro-

und Elektronik-Altgeräte erlassen die den Mitgliedsstaaten bis zum 13. August 2004 in nationales Recht umzusetzen war. Die Richtlinie fordert geräteabhängige Verwertungs-, Wiederverwendungs- und Recyclingquoten für Bauteile und Werkstoffe. Da weltweit 60 % des Tantals für elektronische Bauteile genutzt werden, wird davon das Tantalrecycling stark unterstützt. Die Forcierung des Recyclings von elektronischen Geräten wird auch das Recycling von Tantal aus Kondensatoren unterstützen.

Gegenwärtig bestehen gesetzliche Rücknahmeregelungen nur in der Europäischen Union. Es ist aber mit Sicherheit davon auszugehen, dass bis 2025 auch die USA, Japan und andere Staaten ähnliche gesetzliche Regelungen schaffen werden. Mit den gesetzlichen Rücknahmeverpflichtungen entsteht zugleich ein sicherer Markt für Recyclingtechnologien, den die Technologieanbieter bedienen werden. Die davon ausgehenden Anreize für FuE werden die technischen Möglichkeiten, Tantal aus gebrauchten Bauelementen zurück zu gewinnen, vermehren und verbilligen. Dies wiederum wird das Tantalrecycling unterstützen. Insgesamt werden die genannten Treiber eine starke Zunahme des Tantalrecycling auslösen.

Einflüsse auf das Tantalrecycling

Treiber	Trend	Rück-gewinnung
Bestehende Rücknahmedirektive für Elektronikschrott (WEEE) in der EU	↗	↗
Künftige Rücknahmeregelungen für Elektronikschrott in den USA und dem Rest der Welt	↗	↑
Entwicklung der Recyclingtechnologien (Elektronikschrott, Sekundärmetallurgie)	↗	↗
Insgesamt		↑

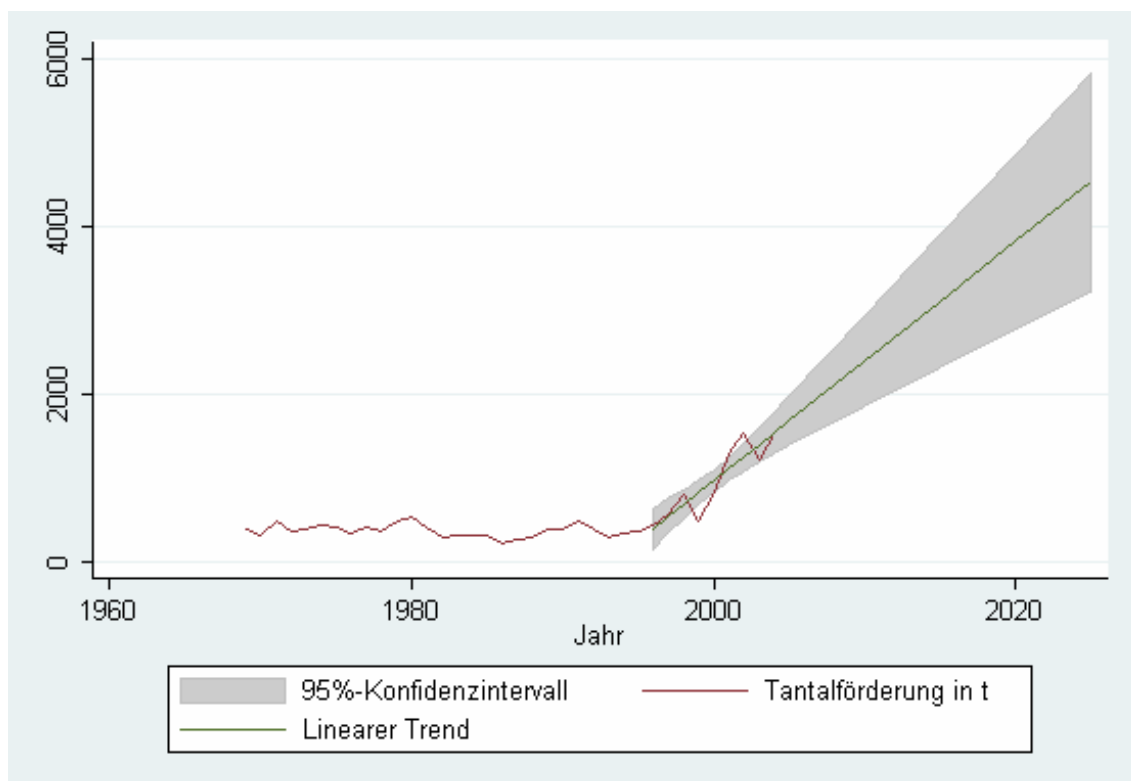
Bedarfsanalyse

Nach der Diskussion und qualitativen Einschätzung der treibenden Kräfte einer Veränderung des spezifischen Tantalbedarfs in den vorhergehenden Abschnitten soll nun versucht werden, eine Vorstellung von der Größe der Auswirkung dieses Trends auf den Tantalbedarf bis zum Jahr 2025 zu gewinnen. Auf Basis dieser detaillierten Abschätzungen des Einflusses des Technischen Wandels auf den spezifischen Tantalbedarf der einzelnen Anwendungsbereiche

wurde in Kapitel 5 die Veränderung des Tantalbedarfs bis 2025 grob abgeschätzt. Dieser könnte demnach zwischen 67 % und 104 % zunehmen. Dies ist im Wesentlichen das Ergebnis des Wachstums der Verbrauchssektoren und weniger Resultat technischer Einflüsse. Für die Nachfrage nach Primärtantal ergab sich in Kapitel 5 eine Steigerung um 49 % bis 81 %.

Allerdings erscheint dieses Nachfragewachstum an Primärtantal als deutlich zu niedrig, wenn man es mit dem seit etwa Mitte der 90er Jahre herrschenden Trend bei der Förderung von Primärtantal vergleicht und annimmt, dass dies ungefähr die Nachfrage nach Primärtantal widerspiegelt. Die Extrapolation einer linearen Trendschätzung, die ausschließlich Werte für das letzte Jahrzehnt benutzt, ergäbe bis 2025 eine Verdreifachung der Fördermenge bzw. der Primärtantalnachfrage, was angesichts der rasanten Entwicklung des letzten Jahrzehnts sehr viel wahrscheinlicher erscheint als ein Nachfrageanstieg, der sich lediglich in der Größenordnung von 49 % bis 81 % befindet.

Schätzung eines linearen Trends für die Tantalförderung in t



Selbst der untere Rand des in Abbildung 5.1 dargestellten 95 %-Konfidenzintervalls würde noch mehr als eine Verdopplung der Fördermenge bzw. des Bedarfs an Primärtantal bis 2025 bedeuten.

Anstatt einer Fördermenge von rund 1 500 t wie im Jahr 2004 entspricht der untere Rand des Konfidenzintervalls im Jahr 2025 einer Menge von rund 3 200 t. Die lineare Trend-Prognose für 2025 liegt hingegen ziemlich genau bei 4 500 t.

12.10 Magnesit

Materialeigenschaften

Magnesit, auch Magnesiumcarbonat genannt, kommt in der Natur in großen Mengen vor und ist neben Dolomit das wichtigste magnesiumhaltige Mineral. Es findet hauptsächlich in kalzinierter (kaustische Magnesia) und totgebrannter Form (Sintermagnesia) Verwendung. Haupteinsatzgebiet ist die Feuerfestindustrie. Wegen seiner Hitzebeständigkeit ist Magnesit hervorragend zur Herstellung feuerfester Steine für Schmelzöfen geeignet.

Verwendung

Wegen sehr hoher Schmelzpunkte werden Sinter- und Schmelzmagnesia vor allem in der Feuerfestindustrie eingesetzt. Die dort angefertigten feuerfesten Steine finden größtenteils in der Stahlindustrie Verwendung: 70 % des hergestellten Sinter- und Schmelzmagnesia werden für die Stahlofenauskleidung genutzt (Kandianis 2002, IM 2003).

Magnesit wird hauptsächlich in der Feuerfestindustrie verwendet

Kaustische Magnesia wird vielfältig verwendet, unter anderem in der Abwasserbehandlung und der Metallurgie. Reiner Magnesit wird beispielsweise in der Keramik- und Glasindustrie, aber auch zur Gewinnung von Magnesium gebraucht. Letztlich fließen auch große Teile des Rohmaterials in die Stahlindustrie (Hofer 2003).

Technologische Trends

In der **Stahlindustrie** wird Magnesit auch weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Allerdings hat sich bereits in den letzten Jahrzehnten abgezeichnet, dass der spezifische Bedarf abnimmt. Während in den 1970er Jahren im Elektrostahlverfahren noch 20 kg Magnesiumverbindungen je produzierter Tonne Stahl verwendet wurden, genügten 2001 bereits 4 kg (USGS 2001). Es sollte erwartet werden, dass sich dieser Trend fortsetzt. In der **Feuerfestindustrie** kann Magnesia teilweise durch Aluminium, Silizium und Chrom ersetzt werden (USGS 2001).

Der spezifische Magnesitverbrauch der Stahlindustrie ist rückläufig

In der **Abwasserbehandlung** rechnet der USGS (2001) damit, dass Kaustische Magnesia seine Marktanteile ausweitet. Es weist wesentlich bessere Eigenschaften auf, ist aber teurer als die Konkurrenzprodukte. Die Vorteile scheinen jedoch zunehmend die Kostennachteile zu kompensieren.

In der Automobilindustrie könnte der Magnesiumbedarf steigen. Magnesit ist der Ausgangsrohstoff zur Magnesiumgewinnung. Der Leichtbaustoff Magnesium wird vor allem in der **Automobilindustrie** zu einem immer beliebteren Werkstoff und ersetzt dort zunehmend Stahl und Aluminium. Problematisch ist der Einsatz von Magnesium allerdings noch wegen seiner hohen Korrosionsanfälligkeit. Die Forschung ist aber bemüht, die Eigenschaften von Magnesium weiter zu verbessern. **Insgesamt ist für die Zukunft mit einer steigenden spezifischen Magnesium- und damit Magnesitnachfrage zu rechnen: $q_i=1,25$.**

Recycling

Gegenwärtig werden Magnesiumverbindungen nur in sehr geringem Umfang wiederverwertet (USGS 2006). Dies ist darauf zurückzuführen, dass sie in ihren Verwendungen dissipativ eingesetzt werden. Im Bereich der Feuerfestindustrie werden zaghafte Versuche angestellt, die Magnesiumverbindungen wiederzugewinnen. Mit zunehmenden Auflagen bezüglich der Verwendung industrieller Reststoffe kann das Recycling von Magnesit und der Magnesiumverbindungen an Attraktivität gewinnen. Zunehmende Deponierungskosten könnten diese Entwicklung unterstützen (USGS 2001). Andererseits sind Magnesiumverbindungen auch synthetisch herstellbar, so dass die Neugewinnung dem Recycling überlegen bleiben könnte. Insgesamt ist das wirtschaftliche Recyclingpotenzial als sehr gering zu beurteilen.

Die Bedeutung
des Recyclings ist
als gering einzu-
stufen

Bedarfsanalyse

Durch den Technischen Wandel in der Stahlindustrie wird ein Rückgang des spezifischen Magnesitbedarfs von 10 % erwartet. Nimmt man eine durchschnittliche Wachstumsrate der **Stahlindustrie** von jährlich 3 % an, wird der Magnesitbedarf im Jahr 2025 etwa 1,67-mal so hoch sein wie 2004. Hinzu kommt eine

steigende Nachfrage im Bereich der Abwasserbehandlung durch einen verstärkten Magnesiumbedarf. Die Recyclingquote liegt momentan nahe 0, könnte aber leicht ansteigen. Von einem signifikanten Beitrag der rezyklierten Mengen zum Magnesitangebot kann aber nicht ausgegangen werden.

12.11 Graphit

Kohlenstoff kommt in der Natur in zwei allotropen Formen vor, als Graphit und als Diamant. Unter Normalbedingungen ist Graphit die vorherrschende Form.

Materialeigenschaften und Rohstoffquellen

Bei Graphit liegt eine spezielle kristalline Konfiguration von Kohlenstoffatomen mit versetzt übereinander liegenden hexagonalen Kristallgitterebenen vor. Diese Konfiguration verleiht Graphit die beste elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit aller Nichtmetalle. Graphit ist sehr korrosionsbeständig, besitzt gute Gleiteigenschaften und ist bei Abwesenheit von Sauerstoff hochwarmfest. Bei Verfügbarkeit von Sauerstoff verbrennt er allerdings bei 700 °C.

Graphit kommt in natürlichen Lagerstätten vor, lässt sich aber auch synthetisch aus Stein- oder Braunkohle, Erdöl und Rückständen aus der Erdölverarbeitung herstellen. Die Graphitierung, die Umwandlung von amorphem Kohlenstoff zum polykristallinen Graphit, erfolgt unter Luftabschluss auf einem Temperaturniveau von 3 000 °C. Von historischer Bedeutung ist das Acheson-Verfahren, bei dem Graphit aus Koks hergestellt wird. Synthetischer Graphit wird deshalb auch Acheson-Graphit genannt. Nicht graphitierbar ist Holz. Naturgraphit und synthetischer Graphit sind heute zum Großteil austauschbar, jedoch gibt es Anwendungsgebiete, die weiterhin nur dem Naturgraphit vorbehalten bleiben. Die Wahl der Rohstoffbasis folgt in erster Linie wirtschaftlichen Überlegungen.

Graphit kommt in der Natur vor und kann synthetisch hergestellt werden

Die Weltproduktion an Naturgraphit betrug 2005 rund 992 000 t (USGS 2006f). Etwa die gleiche Menge wird weltweit synthetisch erzeugt (Hand 1997). In den USA dominiert der Einsatz von synthetischem Graphit. Einem jährlichen Verbrauch von 17 600 t Naturgraphit stand 2004 ein Verbrauch von 251 000 t an synthetischem Graphit gegenüber (Olson 2005b). Das sind 93,5 % des gesamten Graphitverbrauchs.

Verwendung

90 % der Graphitproduktion werden für Elektroden und Auskleidungen in elektrothermischen und elektrochemischen Prozessen verbraucht (Winnacker, K., Küchler L. 2005). Dazu zählen:

Die Graphitnachfrage wird durch die Herstellung von Grundstoffen dominiert

- Die Elektrostahlerzeugung im Lichtbogenofen. Hier beträgt der Elektrodenverbrauch im Mittel 2,3 kg Graphit pro t Stahl.
- Die Aluminium Schmelzflusselektrolyse mit einem Elektrodenverbrauch von 430 kg Graphit pro t Aluminium. Außerdem wird der Boden der Elektrolysezellen, die zugleich als Kathode dienen, mit Graphit ausgekleidet.
- Die Elektroden für die Chlor-Alkali-Elektrolyse für die Herstellung von Chlor und Natronlauge sowie Elektrolysen von Salzsäure, Braunstein, Wasserstoffperoxid und andere.
- Die Auskleidung von Herd, Gestell und Rast in Hochöfen zur Roheisenerzeugung.
- Die korrosionsfeste Auskleidung von Chemieapparaten.
- Gießformen für Buntmetall und Grauguss. Dabei ist das schlechte Benetzungsverhalten von Metallen auf Graphitoberflächen von Vorteil.
- Kathoden von Lithium-Ionen Akkumulatoren und Alkali-Mangan Batterien.

Weitere Graphitverwendungen sind Kohlebürsten in Elektromotoren, Schleifkontakte bei elektrischen Schienenfahrzeugen, Elektroden in Lichtbogenlampen, Dichtungen, Neutronen-Moderatoren in Kernreaktoren, Bleistiftminen, hoch belastbare Bremsscheiben, bipolare Platten in Brennstoffzellen und kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) im Flugzeugbau. Die vielfältigen Einsatzgebiete unterstreichen die Bedeutung von Graphit für die Industrie.

Technischer Wandel

Der Graphitbedarf wird vor allem durch die Nachfrage nach Elektroden und nach Auskleidungen in thermischen und chemischen Prozessen bestimmt. Hier ist durch den technischen Fortschritt der spezifische Graphitbedarf leicht rückläufig. Dieser nimmt beispielsweise durch Techniken zur Ummantelung und Kühlung von Elektroden leicht ab. Brennstoffzellen könnten zu einer potentiellen Graphitanwendung werden, von der ein erheblicher Nachfrageschub ausgehen könnte.

Brennstoffzellen benötigen Graphit

Recycling

Abgebrannte Elektroden und Auskleidungen von Zellen und Wannen in elektrothermischen und chemischen Prozessen werden aufgearbeitet und wieder eingesetzt. Die Rückgewinnung höherer Graphitqualitäten, beispielsweise von Kohlenstofffasern aus Kunststoffen oder aus Elektroden in Batterien, ist meist nicht wirtschaftlich.

Dem Recycling von Graphit kommt keine große Bedeutung zu

Ein Teil des Graphits geht durch Dissipation verloren, zum Beispiel durch Elektrodenabbrand in thermischen Prozessen und Lichtbogenlampen, bei Bremsbelägen, Schleifkontakten, Bleistifminen und Graphitschmierstoffen. Dissipative Graphitnutzungen sind mengenmäßig aber nicht bedeutsam. Die Rücknahmeverordnung für Elektroschrott wird die Rückgewinnung von Graphit aus elektrischen Produkten ein wenig stützen.

Bedarfsanalyse

Es wird erwartet, dass eine potentielle zusätzliche Graphitnachfrage in Folge neuer Anwendungen, darunter vor allem die Brennstoffzelle, durch den Rückgang des spezifischen Graphitbedarfs für Elektroden und Feuerfestzustellungen ausgeglichen werden sollte. Die absolute Nachfrage nach Graphit würde dann proportional zum Wachstum der Verbrauchssektoren verlaufen. In welchem Umfang Graphit aus geologischen Quellen zur Deckung der Nachfrage herangezogen wird, bestimmen allein wirtschaftliche Aspekte (USGS 2004g). Naturgraphit und synthetischer Graphit sind zum Großteil

Die Verfügbarkeit von Naturgraphit ist keine limitierende Größe für die Industrie

austauschbar. Die heimische Rohstoffbasis für graphitierbaren Kohlenstoff, darunter Steinkohle, Braunkohle, Teerrückstände aus der Petrochemie, ist breit. Daher ist unabhängig vom künftigen Ausbau des Graphitrecyclings und der Graphitnachfrage mit einer Verknappung des Angebots nicht zu rechnen.

12.12 Platin

Materialeigenschaften

Platin ist ein silberfarbenes Schwermetall und gehört zu den sechs Elementen der Platinmetallgruppe, zu denen auch Palladium, Rhodium, Iridium, Ruthenium und Osmium zählen. Die Fähigkeit, sowohl Wasserstoff als auch Sauerstoff absorbieren zu können, ermöglicht den Einsatz von Platin in Katalysatoren. Zu diesem Zweck wird auch Palladium verwendet, so dass Platin und Palladium dabei relativ leicht substituierbar sind. Daher wird im Folgenden auch immer wieder die Situation bei Palladium dargestellt. Platin wie auch Palladium sind als Edelmetalle korrosionsbeständig, Palladium ist jedoch reaktionsfreudiger als Platin. Wie Palladium lässt sich Platin aufgrund seiner Duktilität zu extrem dünnen Drähten und Folien verarbeiten. Palladium ist das leichteste Element der Platinmetallgruppe und weist auch den niedrigsten Schmelzpunkt auf. Darüber hinaus besitzt Palladium ebenso wie Platin eine hohe Absorptionsfähigkeit für Wasserstoff und ist gut elektrisch leitfähig.

Verwendung

Aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften überschneiden sich die Einsatzgebiete von Platin und Palladium. Beide Metalle werden sowohl in der Automobilindustrie als auch in der Elektro-, der Chemie- und der Schmuckindustrie eingesetzt. Palladium wird in der Schmuckindustrie als Legierungszusatz für Weißgold verwendet. Trotz eines Nachfragerückgangs um 12 % im Jahr 2004 hat sich die Platinnachfrage der Schmuckindustrie zwischen 1988 und 2004 nahezu verdoppelt (Platinum 2005). Die Automobilindustrie hat in Form von Katalysatoren mit Abstand den größten Bedarf an Platin wie auch an Palladium. Dies resultiert zum einen aus der Verschärfung von Emissionsstandards und zum anderen aus dem Anstieg der weltweiten Fahrzeugproduktion. Mit steigendem Umfang des weltweiten Verkehrs nimmt zudem die Nachfrage nach Kraftstoffen zu. Zu deren Bereitstellung werden ebenfalls Katalysatoren eingesetzt. Allerdings ist der Umfang der Platinnachfrage der Petrochemie vergleichsweise klein.

Weltweiter Platinverbrauch und jahresdurchschnittliche Wachstumsraten (JM 2006)

	1988	2004	Anteile 2004	Jährliche Raten
Automobilindustrie	38,7 t	108,6 t	48,3 %	6,7 %
Schmuckindustrie	36,7 t	67,2 t	29,9 %	3,9 %
Chemieindustrie	5,0 t	10,1 t	4,5 %	4,5 %
Elektroindustrie	5,8 t	9,3 t	4,1 %	3,0 %
Glasindustrie	4,0 t	9,0 t	4,0 %	5,2 %
Erdölindustrie	1,6 t	4,7 t	2,1 %	7,0 %
Investment	19,6 t	1,4 t	0,6 %	-15,2 %
Übrige	3,7 t	14,6 t	6,5 %	9,0 %
Insgesamt	115,1 t	224,9 t		4,3 %

Insgesamt ist der Platinverbrauch zwischen 1988 und 2004 von rund 115 t auf etwa 225 t angestiegen (JM 2006). Dies entspricht einem Anstieg von insgesamt etwa 96 % oder einem jahresdurchschnittlichen Verbrauchswachstum von etwa 4 %. Der jährliche Palladiumverbrauch ist zwischen 1995 und 2004 hingegen weit weniger stark angestiegen und erhöhte sich jahresdurchschnittlich lediglich um 0,8 %.

Weltweiter Palladiumverbrauch (Platinum 2005:50)

	1995	2004	Anteile 2004	Jährliche Raten
Automobilindustrie	56,0	118,5	57,7 %	8,7 %
Elektroindustrie	81,5	29,7	14,5 %	-10,6 %
Schmuckindustrie	6,2	28,6	13,9 %	18,5 %
Zahnersatz	40,1	26,4	12,9 %	-4,5 %
Chemieindustrie	6,5	9,5	4,6 %	4,2 %
Übrige	3,4	9,0	4,4 %	11,4 %
Insgesamt	190,4	205,3		0,8 %

Technische Trends in den Nachfragesektoren

Der größte Verbrauchszuwachs ergab sich in der Automobilindustrie, deren Platinbedarf zwischen 1988 und 2004 von 38,7 t auf 108,6 t angestiegen ist. Ursache dieser Entwicklung ist der Einsatz von Katalysatoren in Fahrzeugen zur Abgasreinigung. Eine Verschärfung der Emissionsstandards sowie die steigende Nachfra-

Bevorzugtes Einsatzgebiet für Platin und Palladium sind Abgaskatalysatoren für Fahrzeuge

ge nach Dieselfahrzeugen führten 2005 zu einem weiter steigenden Platinverbrauch der europäischen Autoindustrie (Platinum 2005:20). Auch in Japan führte eine Verschärfung der Emissionsstandards zu einem Anstieg der Platinnachfrage. In einigen Nutzfahrzeugen werden dort neben einem oder mehreren Katalysatoren Partikelfilter eingebaut (Platinum 2005:20). Ein starker Anstieg der Verkaufszahlen für Neuwagen in China trägt in Kombination mit strengeren Emissionsnormen zusätzlich zum Anstieg des Platinbedarfs bei (Platinum 2005:22).

Nordamerikanische Hersteller substituierten indessen vermehrt Platin durch Palladium, in dem sie platinfreie Katalysatoren in vielen neuen Kraftfahrzeugen verwendeten (Platin 2005:22). Dies ist mitunter auf den extremen Preisverfall von Palladium zurückzuführen (Hagelüken et. al 2005). Zudem haben die Automobilhersteller den Umstieg von Platin auf Palladium als katalytisch aktivem Werkstoff technisch bewältigt. Dieser erforderte eine Anpassung der Prozessführung (UMICORE 2004). Der künftige Trend in diesem Einsatzfeld wird wesentlich durch die Preisrelation zwischen Palladium und Platin bestimmt. Die globale Nachfrage nach Autoabgaskatalysatoren wird aller Voraussicht nach stark steigen. Zum einen ist die vollständige Ausstattung der Fahrzeugflotte mit solchen Katalysatoren in den Industriestaaten noch nicht abgeschlossen. Ein weiterer Nachfrageschub könnte insbesondere von den Schwellen- und Entwicklungsländern ausgehen, falls diese die in der EU, den USA und Japan geltenden Emissionsstandards für Kraftfahrzeuge übernehmen. **Die Substitution von Platin durch Palladium könnte im Automobilsektor trotzdem zu einer zukünftig fallenden spezifischen Platinnachfrage führen:** $q_i=0,75$.

In der **chemischen Industrie** wird Platin als Katalysator zur Verarbeitung schweren Öls sowie zur Herstellung von Düngemitteln, Sprengstoffen, Silikon, Paraxylol und Salpetersäure verwendet (USGS 2006k, Platinum 2005:25). Der Bedarf der chemischen Industrie verdoppelte sich zwischen 1988 und 2004 und stieg von 5 t auf 10,1 t. Der Bedarfsrückgang bei der Düngemittelherstellung wurde durch die stärkere Verwendung in den anderen Bereichen mehr als kompensiert. So hat beispielsweise der Einsatz von Platin in Katalysatoren zur Herstellung von Silikon und Paraxylol zugenommen. Die Errichtung neuer Ölraffinerien in Asien, Afrika

Platin wird in der chemischen Industrie noch stärker als früher als Katalysator benötigt

und dem mittleren Osten trug 2005 ebenfalls zur Steigerung der Nachfrage des chemischen Sektors bei (Platinum 2005:25). **Insgesamt kann für die Zukunft mit einer steigenden spezifischen Platinnachfrage in diesem Sektor gerechnet werden:** $q_i=1,25$.

In der **Elektroindustrie** wird Platin für Niedrigspannungs- und Niedrigenergiekontakte, für Schaltkreise, Thermoelemente und Elektroden verwendet (USGS 2006k). Der Bedarfsanstieg dieses Sektors resultierte 2005 vor allem aus der Nachfrage nach Festplatten, aber auch nach MP3-Playern und anderen Verbrauchsgütern (Platinum 2005:26-27). Hier entwickelte sich der Platinbedarf zwischen 1988 und 2004 von 5,8 t auf 9,3 t. Der Einsatz von Palladium hingegen ist in der Elektronikindustrie gegenüber 1995 deutlich gesunken. Hauptanwendungsgebiet für Palladium sind Mehrschichtkeramikkondensatoren, deren Herstellung 2004 um etwa 22 % gegenüber dem Vorjahr zunahm. Ursache dieser Entwicklung ist die starke Nachfrage nach Elektronikbauteilen (Platinum 2005:36). Der steigende Bedarf der Elektronikindustrie könnte sowohl durch Miniaturisierung als auch durch Materialsubstitution gesenkt werden (USGS 2004h). Daher wird von einem Konstantbleiben des spezifischen Platinverbrauchs ausgegangen: $q_i=1$.

Der Bedarf der **Glasindustrie** erhöhte sich zwischen 1988 und 2004 um 5 t. Zum einen wird Platin zur Herstellung von Glasfasern benötigt. Zum anderen findet Platin Eingang in die Produktion von „liquid crystal display“ (LCD) Bildschirmgläsern. Auch bei der Herstellung herkömmlicher Fernsehbildschirme wird Platin verwendet. Zudem werden nicht nur mehr Bildschirme, sondern vor allem größere Bildschirme hergestellt. Durch Nachfrageanstiege nach herkömmlichen Fernsehgeräten, vor allem aus China, trägt auch dieser Bereich zur steigenden Platinnachfrage bei (Platinum 2005:26). Insgesamt könnte das weitere Wachstum dieses Sektors den Platinbedarf zukünftig zusätzlich erhöhen, während der spezifische Platinverbrauch allerdings voraussichtlich konstant bleiben dürfte: $q_i=1$.

Die **Schmuckindustrie** passt sich den herrschenden Modetrends flexibel und schnell an. Solche Trends sind zwar schwer prognostizierbar, dennoch erscheint es plausibel, dass der Bedarf an den Edelmetallen Platin wie auch Palladium in diesem Bereich

weiterhin zunehmen dürfte, während die spezifische Nachfrage in etwa konstant bleibt: $q_i=1$.

Entwicklung des Bedarfs

Das USGS geht in einer Schätzung für den Platinweltmarkt bis 2010 davon aus, dass sich das Angebot von 241 t im Jahr 2003 auf 333 t im Jahr 2010 erhöhen könnte. Dies entspräche einer Steigerung von 38 % bzw. von jährlich 4,7 % (USGS 2004i:88). Der Anteil des aus Autokatalysatoren gewonnenen Sekundärplatins könnte laut USGS (2004i:86) von 11 % des Gesamtplatinaufkommens im Jahr 2003 auf 12,5 % steigen. Ursache dafür sollten gesetzliche Auflagen, die Verbesserung von Techniken zur Rückgewinnung und die Zunahme von zu verschrottenden Kraftfahrzeugen sein, die mit Katalysatoren ausgestattet sind. Das Aufkommen an Sekundärplatin aus Elektroschrott wird für 2010 auf knapp 3 % der Platinproduktion geschätzt (USGS 2004i:86).

Eine mögliche Determinante des zukünftigen Platinbedarfs könnte die Brennstoffzelle darstellen. Während 1999 etwa 100 Gramm Platin zur Herstellung eines damit angetriebenen Fahrzeugs benötigt wurden, geht das U.S. Department of Energy (DOE) zukünftig von einem Bedarf von 9 Gramm Platin pro Fahrzeug aus. Im Vergleich hierzu benötigt ein mit herkömmlichem Kraftstoff betriebener PKW etwa 2 bis 6 Gramm, ein leichtes Nutzfahrzeug 6 bis 30 Gramm. Sofern sich die Brennstoffzellentechnologie durchsetzt, könnte die daraus resultierende Nachfrage nach Platin bis 2013 zwischen 8 und 12 % des heutigen Gesamtbedarfs betragen. Dies entspräche einer Platinmenge von 24,9 bis 37,3 t (USGS 2004i:73-74).

Bei Palladium geht das USGS davon aus, dass die Förderkapazitäten von etwa 200 t im Jahr 2003 auf etwa 289 t im Jahr 2010 steigen könnten. Dies entspräche einem Anstieg von etwa 44 % gegenüber 2003. Neben der Ausweitung der Palladiumförderung wird mit einem Anstieg des Palladiumrecyclings gerechnet. Das Rezyklieren von palladiumhaltigen Katalysatoren könnte 23 % des gesamten Palladiumaufkommens betragen. Zusätzliche 8 % des Gesamtbedarfs könnte durch das Recycling von Elektronikschrott bereitgestellt werden (USGS 2004i:89-90).

Bedarfsanalyse

Die folgenden Tabellen berücksichtigen neben dem Einfluss des Technischen Wandels die Auswirkungen des wirtschaftlichen Wachstums des jeweiligen Anwendungsbereichs auf den Platinbedarf. Während in Szenario 1 noch jegliches wirtschaftliche Wachstum der Anwendungsbereiche ignoriert wird, gehen die Szenarien 2 und 3 von einem moderaten bzw. hohen jeweiligen Wachstum der einzelnen Sektoren aus.

Änderung des Platinbedarfs bis 2025 ohne sektorales Wachstum

Szenario 1	Anteile 2004	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Automobilindustrie	48 %	0,75	36 %
Schmuckindustrie	30 %	1,00	30 %
Chemische Industrie	5 %	1,25	6 %
Elektroindustrie	4 %	1,00	4 %
Glasindustrie	4 %	1,00	4 %
Erdölindustrie	2 %	1,00	2 %
Investment	1 %	1,00	1 %
Übrige	6 %	1,00	6 %
Insgesamt	100 %	0,89	89 %

Ohne jegliches sektorales Wachstum läge der Platinbedarf 2025 um 11 % niedriger als 2004. Bei einem moderaten Wachstum der Verbrauchssektoren könnte der Bedarf hingegen um 63 % steigen. Noch deutlich stärker steigen würde der Platinbedarf im Falle eines um jeweils einen Prozentpunkt höheren Wachstums der Sektoren. Nach dem dritten Szenario mit einem vergleichsweise hohen wirtschaftlichen Wachstum der Branchen, in denen Platin verwendet wird, könnte sich der Platinbedarf bis 2025 fast verdoppeln.

Geschätzter Anstieg des Platinbedarfs bei moderatem sektorialem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Automobilindustrie	4 %	48 %	109 %	0,75	82 %
Schmuckindustrie	2 %	30 %	45 %	1,00	45 %
Chemische Industrie	2 %	5 %	8 %	1,25	10 %
Elektroindustrie	2 %	4 %	6 %	1,00	6 %
Glasindustrie	2 %	4 %	6 %	1,00	6 %
Erdölindustrie	2 %	2 %	3 %	1,00	3 %
Investment	2 %	1 %	2 %	1,00	2 %
Übrige	2 %	6 %	9 %	1,00	9 %
Insgesamt		100 %	188 %	0,87	163 %

Geschätzter Anstieg des Platinbedarfs bei hohem sektorialem Wachstum

Szenario 2	Jährliches Wachstum	Anteile 2004	Fiktiver Bedarf	Technischer Wandel	Bedarf 2025
Automobilindustrie	5 %	48 %	134 %	0,75	101 %
Schmuckindustrie	3 %	30 %	56 %	1,00	56 %
Chemieindustrie	3 %	5 %	9 %	1,25	11 %
Elektroindustrie	3 %	4 %	7 %	1,00	7 %
Glasindustrie	3 %	4 %	7 %	1,00	7 %
Erdölindustrie	3 %	2 %	4 %	1,00	4 %
Investment	3 %	1 %	2 %	1,00	2 %
Übrige	3 %	6 %	11 %	1,00	11 %
Insgesamt		100 %	230 %	0,86	199 %

Durch **Recycling** gewonnenes Sekundärplatin oder -palladium unterscheidet sich qualitativ nicht von jenem Metall, das aus Erzen hergestellt wird. Sowohl Platin wie auch Palladium sind ohne Qualitätseinbußen beliebig oft aufbereitbar. Beide Metalle werden überwiegend als Katalysatoren eingesetzt, um chemische Prozesse zu beschleunigen, ohne dabei jedoch verbraucht zu werden. Autokatalysatoren stellen die größte Quelle sowohl von Sekundärplatin als

[Bedeutung von Recycling](#)

auch Sekundärpalladium dar (USGS 2004i:47). 2003 entstammten dieser Quelle knapp 20,1 t Platin und 12,75 t Palladium. 2004 waren es sogar etwa 21,8 t Platin bzw. 16,5 t Palladium (Platinum 2005:23). Nach Einschätzung des United States Geological Survey (USGS) kann auch in Zukunft mit steigendem Aufkommen an Automobilkatalysatoren und entsprechend wachsenden Recyclingquoten gerechnet werden.

Neben Autokatalysatoren stellen elektronische Bauteile die einzigen signifikanten Sekundärquellen für Platin und Palladium dar (USGS 2004i:47ff.). Die EU-weit geltenden Rücknahmeregelungen für Elektro- und Elektronikschrott könnten zukünftig einen steigenden Einfluss auf das Sekundäraufkommen aus dieser Quelle haben. Aber auch die Platinmetalle von in chemischen Prozessen eingesetzten Katalysatoren werden fast vollständig rezykliert. Schmuck stellt hingegen keine signifikante Quelle dar. Ein großer Teil des Schmuckwerts liegt in der handwerklichen Leistung der Schmuckherstellung. Dies spricht gegen ein Recycling des in Edelschmuck vorhandenen Edelmetalls, weil somit die Wertschöpfung vernichtet würde (Hagelüken et. al. 2005).

Geschätzter Bedarfsanstieg an Primärplatin bis 2025

	2004	2025	
		Szenario 2	Szenario 3
Relativer Platinbedarf	100 %	163 %	199 %
Recyclingquote	10 %	15 %	15 %
Angebot an Sekundärplatin	10 %	24 %	30 %
Bedarf an Primärplatin	90 %	139 %	169 %
Änderung des Bedarfs an Primärplatin		+ 54 %	+ 88 %

Nach Schätzungen des USGS kann ab dem Jahr 2010 mit einer Recyclingquote von etwa 15 % gerechnet werden. Bei einer solchen Recyclingquote könnte sich der Platinbedarf nach den in Szenario 2 und 3 erfolgten Abschätzungen bis 2025 zwischen 54 % und 88 % erhöhen.

13 Literatur

- AA (2005) Auswärtiges Amt, Bericht der deutschen Botschaft Hanoi vom 08.12.2005: Bauxit-Förderprojekte in Mittelvietnam, abgerufen am 05.01.06 unter http://www.auswaertigesamt.de/www/de/infoservice/download/pdf/wirtschaftsberichte/190_wb2.pdf.
- Adelman, M.A. (1990) Mineral Depletion with Special Reference to Petroleum, The Review of Economics and Statistics, Vol. LXXII (1), S. 1-10.
- Ahrens, W. A., Sharma, V. R. (1997), Trends in Natural Resource Commodity Prices: Deterministic or Stochastic?, Journal of Environmental Economics and Management, 33 (1), S. 59-74, 1997.
- Aichinger, H. M. (2005), CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland für die Berichtsjahre 2000-2003, Stahlinstitut VDEh, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, 2005.
- AIECE (2005), World Commodity Prices 2005 to mid-2007, Association d'Instituts Européens de Conjoncture Économique, Working Group on Commodity Prices, Helsinki, 2005.
- AIECE (2005a), World Commodity Prices 2005-2006, Association d'Instituts Européens de Conjoncture Économique, Working Group on Commodity Prices, Hamburg, 2005.
- AIT (2005), Aluminium International Today, September/October 2005.
- ALU (2005a), Erstmalig mehr Aluminium-Motorblöcke, in: Aluminium, Vol. 81 (9), September 2005, S. 770-771, 2005.
- ALU (2005b), Rexam stellt um – Mehr Dosen in Deutschland zukünftig aus Aluminium, in: Aluminium, Vol. 81 (11), S. 968, November 2005.
- ALU (2005c), Aluminium cans – Recycling rate in Europe reaches 50 %, in: Aluminium, Vol. 81 (11), November 2005, S. 969.
- Aluminium (2005), Rexam stellt um, Aluminium, 81/11, S.968.
- AME (2006), AME Mineral Economics, Aluminium 2006: Strategic Market Service, abgerufen am 18.01.06 unter <http://www.ame.com.au>, 2006.
- Asia Pacific Energy Research Centre (2006), APEC Energy Demand and Supply Outlook 2006. Tokyo. Mine and Quarry Data (2006), abgerufen am 14.9.2006 unter http://www.mqdata.com/data/show_operator.asp?id=1751909379, 2006.
- ASTDR (2003), Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride and Fluorine, abgerufen unter <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp11.html>, 2003.

- AZA (2006), American Zinc Association, abgerufen am 10.05.2006 unter <http://www.zinc.org/>, 2006.
- Bayer (2001), Pulver aus schwarzem Metall: Research – Das Bayer-Forschungsmagazin. Ausgabe 13, S. 24-29, 2001.
- Bayer, V. und Ruth, J. (2004), Faserverstärkte Kunststoffe im Bauwesen, Weimar, 2004.
- BBR (2005), Höhere Qualitäten bei längsnahtgeschweißtem Rohr, in: Bänder Bleche Rohre 01/02 2005, S. 36-37, 2005.
- BDSV (2001), Bundesverband deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen, Stahlschrott – ein „grüner“ Rohstoff, abgerufen am 20.11.2006 unter http://www.bdsv.de/download/pdf/bdsv_stahlgruen.pdf, 2001.
- BE (2004), Innovative Installationskonzepte – Eine für alle, in: Blickpunkt Erdgas, Nr.22, S. 8-12, 2004.
- Berck, P., Roberts, M. (1996), Natural Resource Prices: Will They Ever Turn up?, Journal of Environmental Economics and Management, 33 (1), S. 59-74, 1996.
- BGR, DIW (1997), Auswirkungen der weltweiten Konzentrierung in der Bergbauproduktion auf die Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft, Gutachten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung zum Forschungsvorhaben 26/97 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, 1997.
- BGR (1982), Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe, Bd. XVII, Tantal, Dezember 1982.
- BGR (2003), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft XXVIII, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, Hannover, 2002.
- BGR (2004), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft XXXII, Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2003, Hannover, 2003
- BGR (2005), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Datenbestand der BGR, Hannover, 2005.
- BGR (2005a), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft XXXIII, Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2004, Hannover, 2004.
- BGR (2005b), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe, Hannover, 2005.
- BGR (2005c), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Kurzbericht zur Konzentration in der Weltbergbaukonzentration, Hannover, 2005.

- BGR (2006), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Germanium in polymetallischen Erzen Zentral- und Südwestafrikas, Hannover, 2006.
- BGR (2006a), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Commodity prices (monthly averages), abgerufen am 20.11.2006 unter http://www.bgr.bund.de/cln_030/nn_457282/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/produkte_node.html_nnn=true, Hannover, 2006.
- BGS (2005), Office of the Deputy Prime Minister, British Geological Survey World Mineral Production 1999-2003, British Geological Survey, Nottingham, 2005.
- BGS (2005a), Office of the Deputy Prime Minister, British Geological Survey, Natural Environment Research Council, Fluorspar 2005, abgerufen unter <http://www.mineralsuk.com/britmin/mp2fluorsparnov05.pdf>, Nottingham, 2005.
- BGS (2006), Office of the Deputy Prime Minister, British Geological Survey, Natural Environment Research Council, Mineral Planning Factsheet, Fluorspar, abgerufen unter <http://www.mineralsuk.com/britmin/mpffluorspar.pdf>, Nottingham, 2005.
- BMBF (2005), Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Werkstoffwelten, Entdeckungen im Kosmos der Stoffe, Berlin, Bonn, 2005.
- BMS (2000), Bauen mit Stahl, Dokumentation 609, Dach- und Wandkonstruktionen im Hallenbau, Düsseldorf, März 2000.
- BMS (2005), Bauen mit Stahl, Dokumentation 614, Stahlgeschossbau – Deckensysteme, Düsseldorf, Juni 2005.
- BMU (2006), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesweite Pfand-/Rücknahme-Systeme, www.bmu.de/abfallwirtschaft/pfandpflicht/doc/3820.php, Berlin 2006.
- BMWA (2004), Zur Förderung Erneuerbarer Energien, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, BMWA-Dokumentation Nr. 534, Köln, 2004.
- Böhringer, C., Koschel, H., Moslener, U. (2006), Efficiency Losses from Overlapping Economic Instruments in European Carbon Emissions Regulation, ZEW Discussion Paper No. 06-018, Mannheim, Februar 2006.
- Borg, G. (2001), Mineralogie und Ökonomie, Text- und Abbildungsmaterial zur Lagerstättenkunde und Rohstoffwirtschaft für Lehrer und Schüler zur Verwendung im projektorientierten Unterricht, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2001.

- Böske, J., Heuterkes, M. (2005), Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Volkswirtschaftliche Diskussionsbeiträge, Beitrag 370, Absolute und relative Knappheit: der Fall Hotelling gegen Adelman, Münster, 2005.
- BP (2005), BP Statistical Review of World Energy 2005, www.bp.com, 2005
- Brown, S. P. A., Wolk, D. (2000), Natural Resource Scarcity and Technological Change, Economic and Financial Review, First Quarter 2000, Federal Reserve Bank of Dallas, 2000.
- Büchner (2006), mittelfristige Perspektiven für die Entwicklung von Stahl-, Schrott- und NE-Metallpreisen, IKB Deutsche Industriebank AG, abgerufen am 20.11.2006 unter http://www.gifa.de/cipp/md_gifa/custom/pub/content_lang,1/oid_5231/ticket_guest/local_lang,1, Düsseldorf, 2006.
- Buckman, R.W. Jr. (2000), New applications for Tantalum and tantalum alloys, Journal of Metals, Vol. 52, No. 3, S. 40, März 2000.
- Butterman, W. C., Carlin, J. F. (2004), Antimony, Mineral Commodity Profiles, Open-File Report 03-019, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, Va. 2004.
- Butterman, W. C., Jorgenson, J. D. (2005), Germanium, Mineral Commodity Profiles, Open-File Report 2004-1218, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, Va., 2005.
- CC (2000), Copper Club, Bright future forecast despite some supply side concerns, Metal Bulletin No. 8453, Feb. 24, 2000, S. 5.
- Cefic (2005), European Chemical Industry Council, Eurofluor HF – Ein Überblick über die Fluorchemie, abgerufen unter <http://www.eurofluor.org/>, 2005.
- China Daily (2005), China, Chile warm to FTA, Peking, 28. Mai 2005.
- Cissarz, A., Grebe, W.-H., Kippenberger, C., Kruszona, M., Schmidt, H., Wettig, E. (1974), Flussspat: Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe, IV: 151 S., 14 Abb., 75 Tab., 39 Anl., Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe / Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Hannover / Berlin, 1974.
- Crossley, P. (2004), Fluorspar in focus – Industrial Minerals 436, 26-37, 11 Abb., 4 Tab., 2004
- CRU (2006), CRU International, CRU Monitor Alumina, www.crumonitor.com, London, Januar 2006.
- Cunningham, Larry D. (2004), Tantalum Recycling in the United States in 1998, USGS Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States, S. 128ff. United States Geological Survey. Reston, Va., 2004.

- DBR (2005), Weltstahlmarkt: Asien legt hohes Tempo vor, Aktuelle Themen 339, Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, 2005.
- DESA (1999), Trends in Consumption and Production: Selected Minerals, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, New York, 1999.
- DGM (2002), Offenporöser Stahlschaum, ein zukunftssträchtiger zellulärer Funktionswerkstoff?, DGM aktuell, Vol. 4, No. 9, S. 3, 2002.
- Dickey, D.A. und Fuller, W.A. (1979), Distribution of the Estimators for Autoregressive Time-Series with a Unit Root, Journal of the American Statistical Association, Vol. 74, S. 427-431, 1979.
- Dienhardt, M. (2003), Ganzheitliche Bilanzierung der Energiebereitstellung für die Aluminiumherstellung, Aachen, 2003.
- DIW (2004), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Wochenbericht des DIW 38/04, Berlin, 2004.
- Djukanovic, G. (2005), Aluminium price outlook for 2005 and 2006, Aluminium price must not fall yet, Aluminium, 81/9, S. 736-740, 2005.
- DME (2001), The Department of Minerals and Energy, Republic South Africa, South Africa's Mineral Industry 2000/2001, Chromium, abgerufen am 26.01.2006 unter www.dme.gov.za/publications/pdf/project_research/minerals/sami/parttwo_chromium.pdf, 2001.
- DME (2002) South Africa's Mineral Industry 2001/2002, Department of Minerals and Energy, Südafrika, [http://www.dme.gov.za/minerals/pdf/mineral%20economics/FERROUS%20MINERALS%20\(distil\).pdf](http://www.dme.gov.za/minerals/pdf/mineral%20economics/FERROUS%20MINERALS%20(distil).pdf), 2002.
- DME (2003) South Africa's Mineral Industry 2002/2003, Department of Minerals and Energy, Südafrika, 2003
- DKI (2005), Deutsches Kupfer Institut e.V., www.kupferinstitut.de, Düsseldorf, 2005.
- Drum, F., Mollard, W., Penney, K., Wilson, R. (2006), Metals Outlook to 2011, Australian Commodities, Vol. 13 (1), S. 143-161, 2006.
- Edelstein, D. L. (2005), Copper, USGS Minerals Yearbook, Vol. I, 2003, United States Geological Survey, Reston, Va., 2005.
- EEFA (2005), Rohstoffeinsatz in hoch industrialisierten Volkswirtschaften – ein Struktur prägender Faktor, Forschungsvorhaben im Auftrag des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen, Energy Environment Forecast Analysis GmbH, Berlin, Münster, 2005.

- EG (2001), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, 2001.
- EID (2006), Fakten, Argumente, Analysen. Energieinformationsdienst, Hamburg, Februar 2006.
- EIU (2005), The Economist Intelligence Unit sees industrial commodity prices remaining high in 2006, Pressemitteilung 22.12.2005, Economist Intelligence Unit, 2005
- EM (2002), Zink-Luft-Feststoff-Brennstoff-Zelle vor dem Durchbruch?, *Erzmetall*, Vol. 55 (11), November 2002, S. 625, 2002
- Endres, A. und Querner, I. (2000), *Die Ökonomie natürlicher Ressourcen*, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2000.
- EPA (2003), U.S. Environmental Protection Agency, Chromated Copper Arsenate (CCA), Testimony on on Chromated Copper Arsenate (CCA) Treated Wood, abgerufen am 17. März 2003 unter <http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/ccatestimony1.htm>, 2003.
- EU (2006), Directive of the European Parliament and of the Council relating to emissions from air conditioning systems in motor vehicles, PE-CONS 3605/2006, Brussels, 17 March 2006.
- EUROFER (2006), European Confederation of Iron and Steel Industries, Report on the Economic and Steel Market Situation for Q.III/2006 and forecast for the Year 2006, abgerufen am 22.05.2006 unter <http://www.eurofer.org/marketReport/marketReport.pdf>, 2006.
- Frondel, M, Schmidt, C.M. (2006), Emissionshandel und Erneuerbare-Energien-Gesetz: Eine notwendige Koexistenz? *RWI : Positionen* # 10, <http://www.rwi-essen.de/>, 2006
- Frondel, M, Peters, J. (2005), Biodiesel: A New Oildorado, *RWI : Discussionpaper* No. 36, 2005.
- Floßdorf, F.-J., Wieland, H.-J. (2003), *Stahlanwendung durch nachhaltige technische Lösungen*, Düsseldorf, Februar 2003.
- FM (2002), Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.), *Leichtbau*, *Fraunhofer-Magazin* 4., S. 8-12, 2002.
- FT (2004a), An ideal choice for stylish, low-maintenance buildings, in: *Financial Times*, 3. November 2004, S.5.
- FT (2004b), Why the shiny drink can is really a greener option, *Financial Times*, 3. November 2004, S.4.
- FTD (2005), Autoindustrie macht Branche erfinderisch – festere Stahlsorten sollen mit Aluminium konkurrieren, *Financial Times Deutschland*, 30.09.2005 (Sonderbeilage „Stahlmarkt“), S. B1.
- GDA (2005), Gesamtverband der Aluminiumindustrie (Hg.), *Jahresbericht 2004*, Düsseldorf, GDA, 2005.

- GDA (2006), Gesamtverband der Aluminiumindustrie (Hg.), Aluminium in der Elektrotechnik, www.aluinfo.de/80_304.htm. 2006.
- GDA (2006a), Aluminium in der Verpackung, Gesamtverband der Aluminiumindustrie. www.aluinfo.de/80_303.htm, 2006.
- GDA (2006b), Aluminium in der Bauindustrie, Gesamtverband der Aluminiumindustrie. www.aluinfo.de/80_301.htm, 2006.
- GDA (2006c), Aluminium in der Elektrotechnik, Gesamtverband der Aluminiumindustrie. www.aluinfo.de/80_304.htm, 2006.
- GDA (2006d), Aluminium – Soziale Aspekte, Gesamtverband der Aluminiumindustrie. http://www.aluinfo.de/pdf/Alu-soziale_Aspekte-dt.pdf, 2006.
- GDA (2006e), Persönliches Gespräch mit dem Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V., vertreten durch Jörg H. Schäfer, Marius Baader, Wolfgang Heidrich und Werner Mader am 19.05.2006.
- GFMS (2006), Base Metals Market Briefing, January 2006, Metals Consulting Ltd, London, 2006.
- Global 2000 (1980), Global 2000, Der Bericht an den Präsidenten, Zweitausendeins, Frankfurt, 1980.
- Goldstein, J., Brown I., Koretz B. (1999), New Developments in the Electric Fuel Zinc-Air System, Jerusalem, 1999.
- Gordon, R. B. et al. (2006), Metal stocks and sustainability, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 103, No. 5, P. 1209 -1214. January 23, 2006.
- GSWA (2004), Department of Industry and Resources, Geological Survey of Western Australia, Mineral Resources Bulletin 22, Tantalum in Western Australia, Perth 2004.
- GZMK (2001), Palladiumlegierungen, Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Düsseldorf, Januar 2001.
- H.C. Starck (2003), H.C. Starck GmbH, Tantalum Availability 2000 and beyond, edition 2003, Goslar, 2003
- H.C. Starck (2004), H.C. Starck GmbH, On the Cutting Edge of High-Tech Electronics. Newswire. Information from the international H.C. Starck Group, S. 4., Goslar, December 2004.
- H.C. Starck (2005), H.C. Starck GmbH, Produktinformation Kondensatoren. Abgerufen unter <http://www.hcstarck.de/>, Anwendungsbereich Kondensatoren, Produkt Tantalexid, Goslar, Dezember 2005.
- Hagelüken, C., Buchert, M., Stahl, H., (2005), Stoffströme der Platingruppenmetalle, S. 234, GDMB Medienverlag, 2005.

- Haid, A., Wettig, E. (2000), Konzentrationstendenzen im Weltbergbau, Wochenbericht des DIW Berlin 3/00, abgerufen unter <http://www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/wochenberic/hte/docs/00-03-1.html#HDR6>, Berlin, 2000.
- Haid, A., Wettig, E. (2000b), Entwarnung auf dem Welt-Chrommarkt?, Wochenbericht des DIW Berlin 23/00, abgerufen unter <http://www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/wochenberic/hte/docs/00-23-2.html>, Berlin 2000.
- Hagen, H., Rüttimann B. (2004), Der Automobilmarkt – die neue Herausforderung für die Aluminiumindustrie, Teil 1, Aluminium, Vol. 80 (3), S. 124-134, März 2004.
- Hand, G. P. (1997), Outlook for graphite and graphite technology, Mining Engineering, Vol. 49, Issue 2, Feb. 1997.
- Hauck, H. (2006), Persönliches Gespräch mit Heribert Hauck, dem Bereichsvorstand Primary Products der Trimet, Essen, am 22.2.2006.
- HB (2001), High-Tech-Metall Tantal nach wie vor gefragt. Handelsblatt Nr. 139, S. 29, 7.7.2001.
- HBG (1999), Holz-Berufsgenossenschaft, Holzschutzmittel – Handhabung und sicheres Arbeiten, BG-Information 736, München, Juni 1999.
- Hofer (2003), RHI: Feuerfest Zeiten in China und Indien. Die Presse, 20. Oktober 2003.
- Hotelling, H. (1931), The Economics of Exhaustible Resources, Journal of Political Economy, Vol. 39, S. 137-175, Chicago, 1931.
- Hunziker et al. (2002), Tantalum – embroiled in World Affairs. Engineering & Mining Journal, Vol. 20, No. 11, S. 20-24, November 2002.
- IAI (2004), Third Bauxite Mine Rehabilitation Survey. International Aluminium Institute, London. www.world-aluminium.org, 2004.
- ICDA (2006), International Chromium Development Association, Chromium, abgerufen am 23.01.2006 unter <http://www.chromium-asoc.com/chromium/frame.html>, 2006.
- ICDA (2006a), International Chromium Development Association, Chromium Applications, abgerufen am 23.01.2006 unter <http://www.icdachromium.com/chromium-unique.php>, 2006.
- ICDA (2006b), International Chromium Development Association, A Unique Ingredient, abgerufen am 23.01.2006 unter <http://www.icdachromium.com/chromium-introduction.php>, 2006.

- ICSG (2005), Copper: Release of Yearbook 2005. Press Release of August 2, 2005. The International Copper Study Group (ICSG). www.icsg.org, 2005.
- IISI (2004), International Iron and Steel Institute, The Measure of Our Sustainability, abgerufen am 09.06.2006 unter <http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/2004%20Sustainability%20Report.pdf>, 2004.
- IISI (2005), International Iron and Steel Institute, Steel Statistical Yearbook 2005, Brüssel, 2005.
- IISI (2006) International Iron and Steel Institute, World Steel in Figures 2006, abgerufen am 09.06.2006 unter <http://www.worldsteel.org/pictures/newsfiles/WSIF06.pdf>, Brüssel, 2006.
- IKB (2005), IKB Deutsche Industriebank AG, IKB Information Mai 2005, Bericht zur Branche, Oberflächentechnik, Düsseldorf, Mai 2005.
- IKT (2006), Institut für Unterirdische Infrastruktur, Profilierte Großrohre aus Kunststoff: Belastbarkeit und Qualität prüfen! Aber wie?, eNewsletter Mai 2006, abgerufen am 08.06.2006 unter <http://www.ikt.de/index.php?doc=595>, 2006.
- IM (2002), High-Purity Dead Burned Magnesia, Industrial Minerals, October 2002.
- IM (2002a), Timber treatment for the chop, in: Industrial Minerals, Nr. 416, S. 21-23, Mai 2002.
- IM (2003), Chinese Hot Pot, Industrial Minerals, Mai 2003.
- IMF (2005), World Economic Outlook – Statistical Appendix. International Monetary Fund. Washington, September 2005.
- IMF (2006), World Economic Outlook Database, April 2006.
- IMM (2001), Tantalum electrowinning from molten fluorides: characterization of structure and defects. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section C, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Vol. 110, May-August 2001, S. 109-110, 2001.
- IMF (2006), World Economic Outlook Database, April 2006. International Monetary Fund, abgerufen am 2.06.2006 unter <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2006/01/data/index.htm>, 2006.
- Industrial Minerals (2005), Global Fluorspar Market gains strength, Industrial Minerals 456, 2005.
- Initiative Zink (2005), Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V., Initiative Zink, abgerufen am 26.09.2005 unter <http://www.initiative-zink.de/93.htm> sowie <http://www.initiative-zink.de/65.htm>, Düsseldorf, 2005.

- Initiative Zink (2006) abgerufen am 10.05.2006 unter http://www.initiative-zink.de/93_242.htm sowie unter http://www.initiative-zink.de/93_1301.htm, Düsseldorf, 2006.
- IPTS (2000), Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. European Commission, DG JRC, Institute for Prospective Technological Studies. Seville, May 2000.
- ISI (2004), Werkstoffeffizienz – Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI. Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- IZA (2005), International Zinc Association, abgerufen am 06.10.2005 unter <http://www.zinc-guide.org/HTM/zgd2004.htm>, Brüssel, 2005
- IZA (2006), International Zinc Association, Zinc Guide 2004, abgerufen am 02.05.2006 unter http://www.iza.com/zgd_org/PDF/026.pdf, Brüssel, 2006.
- IZA (2006b) International Zinc Association, Zinc and Sustainable Development Factsheets, abgerufen am 22.12.2005 unter http://www.iza.com/zwo_org/zwo00-index.htm, Brüssel, 2005.
- IZA (2006c) International Zinc Association, abgerufen am 09.05.2006 unter http://www.zn.org/zwo_org/Applications/Other_end_uses/030903.htm, Brüssel, 2006.
- IZA (2006d) International Zinc Association, abgerufen am 10.05.2006 unter http://www.zincworld.org/zgd_org/PDF/Economy-Recycling.pdf, Brüssel, 2006.
- IZA (2006e) International Zinc Association, Zinc Recycling – The General Picture, abgerufen am 10.05.2006 unter http://www.zincworld.org/zwo_org/Sustainability/zwo00-index-SD.htm, Brüssel, 2006.
- IZT (2004), Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Berlin, Dezember 2004.
- Jen, Lo-Sun (2006), Considerations for Building a Chinese Mining Portfolio Domestically and Abroad, Presentation at the Annual Canada-China Mining Investment Forum, InterContinental Toronto Centre, Toronto, März 2006.
- Jevons, W.S. (1865), The Coal Question: Can Britain Survive?, Reprint 1906, MacMillan, London, 1865.
- Johnson, M. (2006), Platinum 2006, Mai 2006.
- Jorgenson, J.D. (2006), Germanium Recycling in the United States in 2000, U.S. Geological Survey, Circular 1196-V, abgerufen unter <http://pubs.usgs.gov/circ/c1196v/>, 2006.

- Kandianis, F., Kandianis V. (2002), High-Purity Dead Burned Magnesia, Industrial Minerals, Oktober 2002.
- Kaufmann, D., Kraay, A., Mastruzzi, M. (2005), Governance Matters IV: Governance Indicators for 1996-2004, World Bank Policy Research Working Paper 3630, June 2005.
- KC (2005), Kemet Corporation: High temperature (150 °C) Tantalum SMT capacitors. Product Update, May 2005.
- Kelly, T. D., George, M. (2004), Germanium Statistics, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-06/germanium.pdf>, 2004.
- Kemet (2005), Kemet Corporation, High Temperature (150° C) Tantalum SMT Capacitors, Product Update, May 2005.
- King, L. (2005), Chromite: Firing on all cylinders, Industrial Minerals, 455, S.47-52, 2005.
- Kirchartz (2006), Persönliches Gespräch mit Bernhard Kirchartz, dem Bereichsvorstand der hydro am 5.5.2006.
- Kirchner, J. und Schröder, J. (2004), Kunststoffe im Bauwesen, Aachen, 2004.
- Kolb, J. (2000), Stahlmarkt und branchenübergreifende Produktpolitik, in: Bauen mit Stahl, Dokumentation 655, Düsseldorf, Oktober 2000, S. 15-18.
- Kramer, D. A. (2005), Magnesium Compounds, USGS Minerals Yearbook, S. 47, 2005
- Krupp VDM (1999), Hochwarmfester Werkstoff für Flugzeugtriebwerke. Stahl und Eisen (1999), Heft1, S. 11-12.
- KRV (2005), Jahresbericht 2004, Kunststoffrohrverband, Bonn, 2005.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt P., Shin, Y. (1992), Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?, Journal of Econometrics Vol. 54, S. 159-178, 1992.
- Lebow, S (2004), Alternatives to Chromated Copper Arsenate (CCA) for Residential Construction, Madison, 2004.
- LME (2006) Industry Usage Copper, abgerufen am 20.11.2006 unter www.lme.co.uk/copper_industryusage.asp, 2006.
- Lorenz, W., Gwosdz, W. (1998), Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 2: Karbonat- und Sulfatgesteine. - Geol. Jb. H4: 3-97, 21 Abb., 47 Tab., Hannover, 1998.
- Lorenz, W., Gwosdz W. (2003), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Geologisches Jahrbuch, Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 7: Feldspäte und andere Flussmittel, Reihe H10:3-125, 2 Ab. 76 Tab, Hannover, 2003.

- Maddison, A. (2001), OECD, Development Center Studies, The World Economy – a millennial perspective, Paris, 2001.
- Magyar, M. J. (2005), Columbium (Niobium) and Tantalum, USGS Minerals Yearbook, Vol. I, 2004. United States Geological Survey. Reston, Va, 2005.
- Mangerig, I. (2002), Betondübel – eine Alternative zur Sicherung der Verbundfuge, Bauen mit Stahl, Dokumentation 657, Neues aus Forschung, Entwicklung und Normung, S. 6-11, Düsseldorf, 2002.
- Matthes, F. C., Ziesing, H.-J. (2005), Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung?!, Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Februar 2005.
- MatW (2002), Ta for the future, Materials World, S. 14-16., Oktober 2002.
- MB (2003a), Stractor renews vanadium deal and warns against new mine investments, Metal Bulletin, No. 8753, S. 7, März 2003.
- MB (2003b), Xstrata decision may boost vanadium market, Metal Bulletin, No. 8816, S. 20, November 2003.
- MB (2005a), Vanadium free market, Metal Bulletin, No. 8877, S. 7, 24. Januar 2005.
- MB (2005b), Vanadium slide may discourage substitution, Metal Bulletin, No. 8905, S. 14, 8. August 2005.
- MBM (2004), Tantalising year for electronic metal, Metal Bulletin Monthly, No. 376, S. 51-53, April 2004.
- MBM (2005), Jet propelled, Metal Bulletin Monthly, Nr. 417 (Aluminium Supplement), S. 23-27, September 2005.
- MBM (2005a), Chromium, Metal Bulletin Monthly, Nr. 415, S. 38-39, Juli 2005.
- Meadows, D., Meadows, D., Zahn, E., Milling, P. (1972), Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1972.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers. J. (1992), Die neuen Grenzen des Wachstums, die Lage der Menschheit: Bedrohung und Zukunftschancen, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1992.
- McSweeney, C., Hinrosato, M (1991), Understanding crude steel consumption, The perils of ignoring the role of technological change, Resources Policy, December 1991.
- Metall (2000), Aluminium kontra Stahl im Fahrzeugbau, Metall, Vol. 54 (3), S. 105-107, März 2000.
- Metall (2002), Tantal – Schlüssel zu den Märkten der Zukunft, Metall, 56. Jahrgang, Nr.12, S 764-772, Dez. 2002.
- Metall (2003), Edelstahl rostfrei – High-Tech-Werkstoff mit Zukunft, Metall, 57/3, S.87, 2000.

- Metall (2005), Kompetenzen und Lösungen für das Automobil, in: Metall, Vol. 59 (9), S. 507, September 2005.
- MI (2006), Metals Insider, "Zinc touches \$4,000 as speculative frenzy continues", abgerufen am 15. Mai 2006 unter www.metalsinsider.com, 2006.
- Mining Technology (2005), Ferrochrome prices, demand increase, Mining Technology, 57/7, S. 20, 2005.
- Mittal (2005), Mittal Steel Factbook 2005, Rotterdam 2005.
- MJ (2000), Tantalum comes of age, Mining Journal, Vol. 334, No. 8583, 19. Mai 2000.
- MM (2005), China and the US hold sway, Mining Magazine, S. 57, Oktober 2005.
- MMR (2002), Where' and ,How much' in automobiles, Minerals & Metals Review, Vol. 28 (10), S. 24-28, Oktober 2002.
- MMR (2005), Superior in power utilities, Minerals & Metals Review, Vol. 31 (8), S. 57-63, August 2005.
- MMR (2005a), Bright Prospects for Noble Ferro Alloys, Minerals and Metals Review, Vol. 31 (5), S. 30-32, 2005
- MMR (2005b) Tug of war, Minerals & Metals Review, Vol. 31, No. 9, S. 24-28, September 2005.
- MMR (2006), Global production, consumption and outlook, Minerals and Metals Review, Vol. 32 (4), S. 62-69, 2006
- Müller-Sämann, K.M. et al. (2002), Anhang zu: Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren, 2002
- MW (2002), US Ferrovanadium Dumping Case Extended, Metals Week, Vol. 73 (19), S. 2-3, 2002.
- MW (2003), Xstrata Sees FeV Prices Lower, Sees Need for More Cuts, Metals Week, Vol. 74 (38), S.11, 2003.
- MWV (2004), Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2004, abgerufen unter <http://www.mwv.de/Download/jb.pdf>, 2004.
- NA (2004), Norddeutsche Affinerie AG, Jahresabschluss und Lagebericht 2003/2004, abgerufen unter www.na-ag.com, Hamburg, 2004
- NA (2005), Norddeutsche Affinerie AG, Bericht des NA-Konzerns zum vorläufigen Ergebnis des Geschäftsjahres 2004/05 – 01. Oktober 2004 bis 30. September 2005, abgerufen unter www.na-ag.com, Hamburg, 2005.
- Nappi, C. (1985), Pricing Behaviour and Market Power in North-America's Non-Ferrous Metal Industries, Resource Policy, S. 213-224, September 1985.

- NDS (2006), National Defense Stockpile Center, Operations under the Strategic and Critical Materials Stock Piling Act During the Period October 2004 through September 2005, Strategic and Critical Material Report, Fort Belvoir, Va., abrufbar unter <https://www.dnsc.dla.mil>, 2006.
- Nishiyama, T. (2005), The Roles of Asia and Chile in the World Copper Market, *Resources Policy*, 30, S. 131-139, 2005.
- Nordhaus, W.D. (1974), *The Allocation of Energy Resources*, Washington, D.C., 1974.
- Oberheitmann, A. (2005), Approaches towards Sustainable Development in China, „CHINAaktuell“ Jahrgang 34 (2005), Heft 4, Institut für Asienkunde, S. 41-64, Hamburg, 2005.
- Oberheitmann, A., Frondel, M. (2006), The Dark Side of China's Increasing Economic Prosperity: Will Energy Consumption and Global Emissions Rise Dramatically?, Bleischwitz, R., Budzinski, O., *Environmental Economics – Institutions, Competition, Rationality*, INFER Annual Conference 2004, S. 207-224, Wuppertal, 2006.
- ÖBMWA (2004), Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, *World-Mining-Data*, Heft 19, Wien.
- O'Driscoll, M. (2005), *Magnesia – On the High Road Again*, *Industrial Minerals*, April 2005.
- ÖIB (2006), Österreichisches Institut für Baubiologie und – ökologie, *Gesundheitsgefährdende Chemikalien in Lederprodukten mit besonderer Berücksichtigung des Konsumentenschutzes*, Wien, 2006.
- Olson, D. W. (2005), Graphite. *USGS Minerals Yearbook*, Vol. I, 2004. United States Geological Survey, Reston, Va, 2005.
- OSHA (2006), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, *Occupational Exposure to Hexavalent Chromium*, abgerufen am 20.11.2006 unter http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_t_able=FEDERAL_REGISTER&p_id=18599, 2006.
- Papp, J. (2000), *Chromium*, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://www.chromium-asoc.com/chromium/thcrfl.htm>, 2000.
- Pindyck, R. S., Rubinfeld, D. L. (1998), *Econometric Models and Economic Forecasts*, 4. Ausgabe, McGrawHill, Boston, Massachusetts, 1998.
- Platinum (2005), *Platinum 2005*, Johnsson Matthey, www.platinum.matthey.com.
- PN (2005), *Composites – das Material der Zukunft*, in: *Plastics.Now!*, S. 24-25, Mai 2005.

- Poss, R., Holzhinrich-Scherler, A. (2003), Aluminiumindustrie versus Stahlindustrie: Unterschiede in den Renditen und deren Ursachen, Stahl und Eisen, 123. Jahrgang, Heft 3, S. 95 – 97, 2003.
- Richmond, S., Mollard, W. Wilson, R., Drum, F. (2005) Metals: Prices in 2006 to be supported by 'measured' production increases, Australian Commodities, Vol. 12 (4), S. 660-688, 2005.
- Richmond, S., Millsted, W., Wilson, R. (2006) Steel and Steel making raw materials, Australian Commodities, Vol. 13 (1), S. 115-142, 2006.
- RIO TINTO (2005), Rio Tinto Data Book, abgerufen am 20.11.2005 unter www.riotinto.com/investor/databook/downloads/background/RT_databook.pdf, 2005.
- RMG (2006), Raw Materials Group, Raw Materials Data, Juni 2006.
- Röhrle, M.D. (2004), Zukünftige Leichtbaukonstruktionen, Aluminium, Vol. 80 (10), S. 1076-1080, Oktober 2004.
- Röhrle, M.D. (2005), Automobilkarosserien: Aluminium oder Stahl?, Aluminium, 81/9, S. 744-745, 2005.
- Röhrle, M.D. (2005a), Competition between automobile materials: Aluminium or magnesium?, Aluminium, 81/9, S.741-742, 2005.
- Rombach, G. (2003), Grenzen des Recyclings, Shaker Verlag, Aachen, 2003.
- Roskill (2005a), Roskill Information Services, The Economics of Tantalum, Report Highlights, London, 2005.
- Roskill (2005b), Roskill Information Services, The Economics of Fluorspar, April 2005.
- Rudolph, S. (2006), Neue Alternativen im Automobilbau: Zunehmende Konkurrenz für den Werkstoff Stahl, Dow Jones Stahl Monitor, Nr. 4/2006, S. 5-6, April 2006.
- Samancor (2006), Samancor Chrome: About us – Where we come from, abgerufen am 15.03.2006 unter <http://www.samancorcr.com/>, 2006.
- Schlimbach, J., Neitzel, M. (2004), Einführung, in: Neitzel, M. und Mitschang, P. (2004) Handbuch Verbundwerkstoffe – Werkstoffe, Verarbeitung, Anwendung, München, S. 1-24, September 2004.
- Schucht, S. (1999), Ökologische Modernisierung und Strukturwandel in der deutschen Aluminiumindustrie, Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU), Berlin, 1999.
- Schulz, W.-D. (2002), Beständigkeit von Korrosionsschutzsystemen unter mechanischen Belastungen in der Praxis, in: Bauen mit Stahl, Dokumentation 657, Vortragsreihe I, Deutscher Stahlbautag 2002, Neues aus Forschung, Entwicklung und Normung, S. 4-5, Düsseldorf, 2002.

- SE (2003), Poss, R., Holzhinrich-Scherler, A., Aluminiumindustrie versus Stahlindustrie – Unterschiede in den Renditen und deren Ursachen, in: Stahl und Eisen, Vol. 123, Nr.3, S. 95-97, März 2003.
- Simon, J. L. (1996), The Ultimate Resource 2, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1996.
- Sinden, J. (2000), Phosphorus & Potassium, No. 225, Fluorine and the Environment, What's to be done with all this fluosilicic acid?, 2000.
- SIZ (2000), Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 558, Bausysteme aus Stahl für Dach und Fassade, Düsseldorf, 2000.
- SIZ (2002a), Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 560, Häuser in Stahl-Leichtbauweise, Düsseldorf, 2002.
- SIZ (2002b), Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 573, Stahl im Wohnungsbau – innovativ und wirtschaftlich, Düsseldorf, 2002.
- SIZ (2006a), Stahl-Informations-Zentrum, Basisinformationen zum Ultralight Steel Auto Body abgerufen am 06.06.2006 unter http://www.stahl-info.de/stahl_im_automobil/ultraleicht_stahlkonzepte/ulsab/ULSAB_Basisinfo.htm, 2006.
- SIZ (2006b), Stahl-Informations-Zentrum, Basisinformationen zu Katalysatoren, abgerufen am 06.06.2006 unter http://www.stahl-info.de/stahl_im_automobil/stahl_und_umwelt/StahlKatalysator.htm, 2006.
- SIZ (2006c), Stahl-Informations-Zentrum, Renaissance für den Stahltank, abgerufen am 06.06.2006 unter http://www.stahl-info.de/stahl_im_automobil/stahl_und_umwelt/Stahltank.htm, 2006.
- Slade, M. (1982), Trends in Natural Resource Commodity Prices: An Analysis of the Time Domain, Journal of Environmental Economics and Management, 9 (2), 122-137, 1982.
- SM (2005), Vorfahrt für Stahl, in: Stahlmarkt 07/2005, S.55
- SOG (2003), Sons of Gwalia, Tantalum Overview, <http://www.sog.com.au/pages/print/tantalum.asp>.
- STABUA (2003), Außenhandel nach Waren und Ländern, Dezember und Jahr 2003, endgültige Ergebnisse, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2003.
- STABUA (2004), Außenhandel nach Waren und Ländern 2004, Dezember und Jahr 2004, 2004.

- STABUA (2005), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Revidierte Ergebnisse 1970 bis 2004, FS 18 R S.21, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2005.
- STABUA (2005b), Statistisches Bundesamt, Verwendung Primärmaterial in der Bundesrepublik Deutschland, Datenlieferung des Statistischen Bundesamtes an das RWI, Wiesbaden, 21.09.2005.
- STAHL (2005), Wirtschaftsvereinigung Stahl, Bericht zur Marktlage der Legierungsrohstoffe Februar/März 2005, Düsseldorf, 2005.
- STAHL (2005b), Wirtschaftsvereinigung Stahl, Bericht zur Marktlage der Legierungsrohstoffe 3. Quartal 2005, Düsseldorf, 2005.
- STAHL (2006), Legierungsmetalle – Der dominierende Rohstoff und Kostenfaktor für die Edelstahlindustrie, abgerufen am 24.01.2006 unter http://www.stahl-online.de/wirtschafts_und_Politik/unternehmen_und_maerkte/Beschaffungsmärkte/legierungsmetalle.htm, Düsseldorf, 2006.
- Stahl-Zentrum (2006), Persönliches Gespräch mit dem Stahl-Zentrum vertreten durch Herrn Dr. Hans-Joachim Wieland vom 23.11.2006.
- State Statistical Bureau China (versch. Jgg.), China Statistical Yearbook, China Statistical Press, Peking.
- Stier, P. et al. (2005), The evolution of the global aerosol system in a transient climate simulation from 1860 to 2100, in: Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, Vol. 5 (6), S. 12775-12814, Dezember 2005.
- Thintri (2005), Thintri Market Study 2005, Chrome Plating Alternatives: Thermal Spray, Electroless Plating, and Others, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://www.thintri.com/Chrome-plating-brochure.pdf>, 2005.
- Thompson, M. (1998), Copper, Mining Journal, 330, S. 2-8, 1998.
- TIC (2005), International Study Center, Tantalum – Raw Materials and Processing, Tantalum-Niobium, abgerufen am 12.12.2005 unter <http://www.tanb.org/tantalum1.html>, 2005.
- Tichelmann, K. (2006), Persönliche Kommunikation mit Prof. Karsten Tichelmann von der Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau in Darmstadt am 22.05.2006.
- TRIMET (2006), Trimet Aluminium AG, Alufakten, abgerufen am 17.01.2006 unter <http://www.trimet.de/news/alufakten.php>, 2006.
- TU Braunschweig (2006), Fluoridglas-Technologie und Faserlaser, Institut für Hochfrequenztechnik an der Technischen Universität Braunschweig, Internet: <http://www.tu-braunschweig.de/ihf/ag/photonik/glastechnologie>, 2006.
- UBA (2003), Umweltbundesamt, Aus Umweltsicht problematisch: Dächer und Dachrinnen aus Kupfer und Zink, aktualisiert am

- 21.02.2003, abgerufen am 09.05.2006 unter <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/presse-informationen/p-0128d.htm>, Dessau, 2006.
- UBA (2003a), Umweltbundesamt, Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltschmutzung (IVU), Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken für die Lederindustrie, Dessau, 2003.
- UBA (2005), Umweltbundesamt (Hrsg.), Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen, Dessau, August 2005.
- UMICORE (2004), Abgasreinigung von Diesel-PKW mit Palladium ermöglicht, Pressemitteilung der UMICORE AG & Co. KG vom 02.04.04, Hanau, 2004.
- UMSICHT (2002), Fraunhofer-Institut UMSICHT, Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur biologischen Behandlung von chromhaltigen Schlämmen aus der Gerbereiindustrie, Oberhausen, Oktober 2002.
- UMSICHT (2006), Fraunhofer-Institut UMSICHT, Rückgewinnung von Chrom aus Abwasserschlämmen der Gerbereiindustrie, http://www.umsicht.fraunhofer.de/geschaeftsfelder/geschaeftsfeld/downloads/nachwachsend_040720_chromausabwa.pdf, 2006.
- UNCTAD (2004), United Nations Conference on Trade and Development, The Iron Ore Market 2004, Tabelle A12, Genf, 2004.
- US Department of Energy (2006), Energy policy Act 2005, Section 1837: National Security Review of International Energy Requirements, Washington, 2006.
- USG (2006), Universität St. Gallen, Forschungsgemeinschaft für Nationalökonomie, diverse Makroökonomische Daten <http://www.fgn.unisg.ch/eurmacro/macrodatal/>, St. Gallen, 2006.
- USGS (1996), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 1999, Reston, Va., 1996.
- USGS (1997), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Recycling – Metals, <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/recycle/870497.pdf>, Reston, Va., 1997.
- USGS (1998), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Metal Prices in the United States through 1998, abgerufen am 12.12.2005 unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/metal_prices/metal_prices1998.pdf, 1998.

- USGS (1998a), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook 1998, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite/310498.pdf> , Reston, Va. 1998.
- USGS (1999), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 1997, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/1997/>, Reston, Va., 1999.
- USGS (1999a), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Fluorspar, abgerufen unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/fluorspar/280499.pdf>, Reston, Va., 1999.
- USGS (1999b), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 1998, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>, Reston, Va., 1999.
- USGS (2000), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Germanium Recycling in the United States in 2000, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://pubs.usgs.gov/circ/c1196v/c1196v.pdf>, Reston, Va., 2000.
- USGS (2001), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Magnesium, its Alloys and Compounds, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-341/of01-341.pdf>, Reston. Va., 2001.
- USGS (2002), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook 2002, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium>, Reston, Va., 2002.
- USGS (2003), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook 2003, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium>, Reston, Va. 2003.
- USGS (2004), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States, abgerufen am 20.11.2006 unter http://pubs.usgs.gov/circ/2004/1196am/c1196a-m_v2.pdf, Reston, Va., 2004.

- USGS (2004a), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, End-use statistics, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004b), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite/graphmyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004c), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Fluorspar, abgerufen am 20.10.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/fluorspar/fluormyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004d), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, USGS Minerals Yearbook, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/chrommyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004e), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Germanium, Minerals Yearbook 2004, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium/germamyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004f), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, USGS Minerals Yearbook, Vanadium, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/vanadmyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004g), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, USGS Minerals Yearbook 2004, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004h), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, USGS Minerals Yearbook 2004, Platinum Group Metals, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/platimyb04.pdf>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2004i), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Platinum-Group Metals – World Supply and Demand, Open File Report 2004-1224, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1224/>, Reston, Va., 2004.
- USGS (2005), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States, abrufbar unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-006/>, Reston, Va., 2005.

- USGS (2005a), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2005, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2005/mcs2005.pdf> Reston Va., 2005.
- USGS (2005b), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Columbium (Niobium) and Tantalum, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/niobium/nio bimyb04.pdf>, Reston, Va. 2005.
- USGS (2005c), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Germanium, Mineral Commodity Profile, <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1218/2004-1218.pdf>, Reston, Va., 2005.
- USGS (2006), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2006, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2006/mcs2006.pdf> Reston, Va., 2006.
- USGS (2006a), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Zink, Mineral Industry Surveys, Jan 2006, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/znmis0106.pdf>, Reston, Va., 2006.
- USGS (2006b), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, abgerufen am 22.05.2006 unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel/, 2006.
- USGS (2006c), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Iron Ore Statistical Compendium, abgerufen am 22.05.2006 unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/stat/, 2006.
- USGS (2006d), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Iron Ore Statistics and Information, abgerufen am 20.11.2006 unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/Iron_ore/feremcy06.pdf, Reston, Va., 2006.
- USGS (2006e), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, The Minerals Industry of China, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2004/chmyb04.pdf>, Reston, Va., 2006.
- USGS (2006f), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Graphite (natural), Mineral Commodity Summaries 2006, Reston, Va., Januar 2006.

- VAR (2006), Verband der Aluminiumrecycling-Industrie e.V., abgerufen am 04.01.2006 unter <http://www.aluminium-recycling.com/>, Düsseldorf, 2006.
- VDI (2005a), Leichtbau: BMW mit Magnesium-Kurbelgehäuse, in: VDI Nachrichten, Nr. 36, S. 27, 09. September 2005.
- VDI (2005b), IAA: Kostendruck macht Leichtbau das Leben schwer, in: VDI Nachrichten, Nr. 36, S. 27, 09. September 2005.
- VMBG (2005), Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, Hautschutz in Metallbetrieben, BG-Informationen 658, Köln, 2005.
- Watkins, C., Mc Aleer, M. (2004), Econometric Modelling of Non-ferrous Metal Prices, Journal of Economic Surveys, 18 (5), 651-701, 2004.
- WEFA (2001), Wefa Inc., Zink: industry yearbook 2001-2002, Ed-dystone, P.A., USA, 2001.
- Wellmer, F.W. (1998), Lebensdauer und Verfügbarkeit energetischer und mineralischer Rohstoffe, Erzmetall 51(10), S. 663-675, 1998.
- Weltbank (2006), GDP in Power Purchasing Parities, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS/0,,contentMDK:20394890~menuPK:1192714~pagePK:64133150~piPK:64133175~theSitePK:239419,00.html>, 2006.
- Wettig, E. (2004), Starke Nachfrage nach elektronischen Konsum- und Industriegütern lässt Weltmärkte der Elektronikmetalle expandieren, in: Wochenbericht des DIW Berlin 38/04, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/wochenberic/hte/docs/04-38-2.html#HDR4>, Berlin, 2004.
- Wettig, E. (2005), Weltmärkte im Zeichen von Versorgungsengpässen und Rekordpreisen durch Chinas Rohstoffhunger. Wochenbericht Nr. 16 des DIW Berlin, Berlin, 2005.
- Wienert, H. (1996), Technischer und wirtschaftlicher Wandel in der Stahlindustrie seit den sechziger Jahren unter besonderer Berücksichtigung Nordrhein-Westfalens, Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 20. Essen: RWI, 1996.
- Wilson, R. (2005), Indium, Germanium, and Cadmium Market Overview, Minor Metals 2005, Lissabon, Portugal, 2. Juni 2005, Präsentation ohne Seitenumerierung, 2005.
- Winnacker, K., Küchler L. (2005), Chemische Technik, Band 3, Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2005.

- WM (2006), Recycling Ni, Co, Cu, Mo, V, W and PGMs at Nickel-huettenAue GmbH, World of Metallurgy, Vol. 59 (2), S. 95-99, 2006.
- WSS (2006), World Silver Supply and Demand, World Silver Survey 2005, The Silver Institute, 2006
- World Bank (2005), Development Prospects Group, The World Bank, Washington, 2005.
- WVB (2005), Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V., Jahresbericht 2004, Berlin, 2005.
- WVM (1997), Wirtschaftsvereinigung Metalle, Metallstatistik 1996.
- WVM (2005), Wirtschaftsvereinigung Metalle, Metallstatistik 2004.
- WVM (2005a), Wirtschaftsvereinigung Metalle, Politik aktuell, Ausgabe 17. März 2005.
- WVM (2006), Wirtschaftsvereinigung Metalle, Nichteisen- und Buntmetalle, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://www.wvmetalle.de>, Düsseldorf, 2006.
- WV Stahl (2005), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2005/2006, Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.), Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 2006.
- WV Stahl (2005b), Wirtschaftsvereinigung Stahl, Bericht zur Lage auf dem Stahlschrottmarkt – Oktober 2005, Düsseldorf, 2005.
- WV Stahl (2006), Bericht zur Marktlage Legierungsrohstoffe, 1. Quartal 2006, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, 2006.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (versch. Jgg.), Jahrbuch Stahl, Düsseldorf, 2006.
- Xinhua News Agency (2003), Full text of white paper on China's Policy on mineral resources, abgerufen am 02.06.2006 unter http://news.xinhuanet.com/english/2003-12/23/content_1244725.htm, 2003.
- XSTRATA (2006), XSTRATA PLC, Alloys, abgerufen am 25.01.2006 unter http://www.xstrata.com/pub_listing.php, Schweiz, 2006.
- Zimmer (2006), Zimmer Germany GmbH: Wenn das Implantat vom Knochen nicht mehr zu unterscheiden ist, dann muss es Tracecular Metall sein, abgerufen am 20.11.2006 unter http://www.zimmergermany.de/static/p823_560.php, Freiburg, 2006.
- Zuther, F., Marschner, B (o.A.), Qualitätssicherung in der Lederherstellung: Der Gerbstoff Chrom, abgerufen am 20.11.2006 unter <http://www.feldtmann.de/docs/lexikon/2004-09-24%20Gesamtbericht%20Chrom.pdf>, Mönchengladbach