

TAB

BÜRO FÜR **T**ECHNIKFOLGEN-**A**BSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN **B**UNDESTAG

Rheinweg 121 · 53129 Bonn · Telefon: (02 28) 23 35 83 · Telefax: (02 28) 23 37 55 · Teletex: 2627-2283682 = TAB

M. Socher

Juli 1994

Th. Rieken

**„Neue Rohstoffe für neue Werkstoffe -
eine Bestandsaufnahme“**

TAB-Hintergrundpapier Nr. 3

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Die internationale Rohstoffwirtschaft.....	6
2.1. Die Bedeutung des internationalen Rohstoffhandels für Entwicklungs- und Industrieländer.....	6
2.2. Internationale Rohstoffpolitik.....	13
2.3. Rechtliche Regelungen des Welthandels mit neuen Rohstoffen	15
2.4. Privatwirtschaftliche Aktivitäten im Rohstoffsektor	22
2.5. Bedeutung mineralischer Rohstoffe in der deutschen Entwicklungspolitik.....	23
3. Rohstoffe für neue Werkstoffe.....	25
3.1. Grundzüge der Entwicklung neuer Werkstoffe	25
3.2. Ein Beispiel für neue Rohstoffe: Seltene Erden.....	28
4. Auswirkungen neuer Entwicklungen im Werkstoffbereich	34
4.1. Auswirkungen auf die Rohstoffmärkte	34
4.2. Rohstoffe mit Schlüsselfunktion	38
4.3. Folgen der technologischen Entwicklung für Entwicklungsländer	42
4.4. Ökologische Aspekte der Rohstoffgewinnung	45
5. Entwicklungspolitische Implikationen im Zusammenhang mit Rohstoffen für neue Werkstoffe	50

Literatur

Anhang

Tabellen

Entwicklungs- und Schwellenländer, in denen der mineralische Bergbau national große Bedeutung hat.....	7
Internationale Bedeutung von Entwicklungsländern in der Produktion ausgewählter Rohstoffe	8
Importabhängigkeiten der Europäischen Gemeinschaft und der Bundesrepublik Deutschland	10
Beispiele von Rohstoffen für verschiedene neue Werkstoffe	28
Weltreserven und geschätzte Weltproduktion von Seltenen Erden in 1989	29
Neue Anwendungen ausgewählter Seltener Erden	32
Bedarf an Seltenen Erden in den Jahren 1990 und 1996.....	33
Weltmarktvolumen von Basismaterialien für Hochleistungswerkstoffe.....	36
Weltverbrauch an Raffinade-Kupfer 1985 bis 1991	37

Abbildungen

Langfristige Preisentwicklung von Nichteisenmetallen, 1990 bis 1991	4
Zunahme von Abraum bei fallendem Metallgehalt.....	5
Weltproduktion ausgewählter Rohstoffe für neue Werkstoffe.....	27

1. Einleitung

Im Auftrag des Ausschusses für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages bearbeitet das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) seit 1992 ein TA-Projekt zum Thema "Neue Werkstoffe". Die Zielstellung des Projektes besteht im wesentlichen darin,

- die Bedeutung neuer Werkstoffe für den Wirtschafts- und Forschungsstandort Deutschland herauszuarbeiten und
- alternative Strategien für die forschungs- und technologiepolitische Umsetzung zu entwickeln.

Der weitgefaßte Rahmen dieses Projektes beinhaltet neben Prognosen bezüglich der Entwicklung der Marktpotentiale neuer Werkstoffe auch Fallbeispiele für industrielle Umsetzungsprozesse von Innovationen. Für die Entwicklung der forschungs- und technologiepolitischen Alternativen wurde der Ansatz der "Integrierten Werkstoffforschung" gewählt. Unter Integration wird dabei ein dynamischer Prozeß der interdisziplinären und bereichsübergreifenden Behandlung von Problemen der Werkstoffforschung verstanden. Dabei sind neben den unmittelbar materialwissenschaftlichen Gebieten alle relevanten ökonomischen und ökologischen Aspekte sowie die gesellschaftlichen Auswirkungen von Werkstoffentwicklungen zu berücksichtigen.

Bei der Festlegung der zu bearbeitenden einzelnen Themenbereiche spielte zunächst der Rohstoff- und Ressourcenaspekt eine eher untergeordnete Rolle. Dabei wurde davon ausgegangen, daß klassische Rohstoffe für neue Werkstoffe praktisch ohne Einschränkungen auf dem Weltmarkt angeboten und auch neue Rohstoffe nach dem Wegfall der Blockkonfrontation zu frei zugänglichen Handelsgütern werden. In den weiteren Diskussionen zeigte sich jedoch, daß die zunehmende wirtschaftliche Bedeutung neuer Werkstoffe durchaus signifikante Auswirkungen auf die Rohstoffmärkte haben kann. Durch Substitution und Recycling klassischer Werkstoffe, aber auch durch das Aufkommen neuer Technologien verlieren früher strukturbestimmende Rohstoffe zunehmend an Bedeutung. Eine Kompensation entstehender Handelsverluste durch die Erschließung und Nutzung neuer Rohstoffe für neue Werkstoffe wird dadurch erschwert, daß neue Werkstoffe bzw. werkstoffbasierte neue Technologien

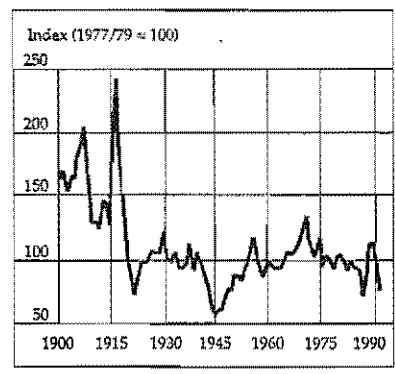
- oftmals keiner großen Rohstoffmengen bedürfen (ein gutes Beispiel ist die Mikroelektronik, deren Hauptprodukt - der Chip - mengenmäßig vernachlässigbare Mengen von Ausgangsstoffen benötigt),
- immer öfter auf leicht zugängliche, einheimische Rohstoffe zurückgreifen und
- insgesamt eher energie- als materialintensiv sind.

Dieser Strukturwandel in der werkstoffherstellenden und -anwendenden Industrie läuft gegenwärtig fast ausschließlich in den Industrieländern ab. Er geht zu Lasten der rohstoffexportierenden Entwicklungsländer, wenn ihnen keine Chance geboten wird, sich diesem Strukturwandel anzupassen und durch den Ausbau des verarbeitenden Gewerbes genügend Ausgleichsmöglichkeiten für den Export zu schaffen. Ein oftmals zitiertes Beispiel für den Einfluß des Strukturwandels auf die Entwicklung rohstoffexportierender Länder sind die Staaten des afrikanischen

Kupfergürtels. Bereits jetzt sind diese Länder - Zaire, Namibia, Simbabwe und Sambia - von spürbaren Einkommensverlusten aus dem zurückgegangenen Kupferexport betroffen. Kupfer wird durch Substitution in modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. Glasfaserkabel oder auch kabellose Satellitenübertragung) und durch höhere Recyclingraten in den Industrieländern weniger auf dem Weltmarkt nachgefragt. Dieser Nachfragerückgang trifft die kupferexportierenden Länder ohne diversifizierte Volkswirtschaft nachhaltig. Eine solche Entwicklung ist für die Republik Südafrika (RSA) nicht zu erwarten. Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der RSA beruht zwar zu einem großen Teil ebenfalls auf der Gewinnung und Verarbeitung mineralischer Rohstoffe, die zur Verfügung stehenden Ressourcen werden jedoch bereits im verarbeitenden Gewerbe in der RSA genutzt. Durch den gegenwärtig laufenden Demokratisierungsprozeß werden südafrikanische Rohstoffe zu einem auf dem Weltmarkt frei verfügbaren Handelsgut, so daß Rohstoffsicherungsstrategien (dies gilt hauptsächlich für Platin, bei dem die RSA fast ein Monopol besaß) der Industrieländer nicht mehr benötigt werden.

Diese Aussage gilt ebenso für die mineralischen Rohstoffe der ehemaligen Ostblockländer und - mit Abstrichen - der Volksrepublik China. Die Öffnung dieser Länder für den Welthandel hat bei einigen mineralischen Rohstoffen zu einem Preisverfall geführt, der vor allen Dingen zu Lasten der "klassischen" Entwicklungsländer geht (vgl. Abbildung 1.1).

Abbildung 1.1: Langfristige Preisentwicklung von Nichteisenmetallen, 1990 bis 1991 (Weltbank 1992)



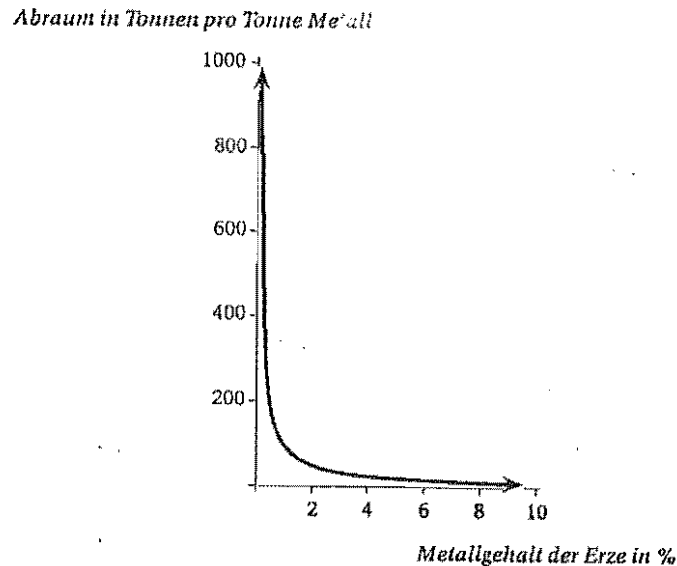
Anmerkung: Der Index basiert auf den realen Preisen von Aluminium, Blei, Kupfer, Zinn und Zink, gewichtet mit dem Wert der entsprechenden Exporte der Entwicklungsländer im Zeitraum 1979/81.
Quelle: Daten der Weltbank.

Ein Ausgleich der geringeren Exporterlöse kann durch eine Erhöhung der angebotenen Mengen kaum noch erreicht werden. Dadurch werden volkswirtschaftliche Umstrukturierungen und gesellschaftliche Entwicklungsprozesse entscheidend behindert. Stattdessen werden in diesen Ländern zur Stabilisierung der Exporterlöse oftmals dringend notwendige Aufwendungen für sozial oder ökologisch orientierte Maßnahmen nicht getätigt oder eingeschränkt (Öko- und Sozialdumping).

Eine weitere Steigerung des Abbaus mineralischer Rohstoffe stößt zunehmend an die Grenzen eines ökologisch und ökonomisch sinnvollen Wachstums. Seltene Rohstoffe, wie sie für verschiedene moderne Werkstoffe benötigt werden, liegen in der Regel in äußerst geringen Konzentrationen im Gestein vor, so daß bei der Gewinnung enorme

Mengen an umweltbelastenden Abraum anfallen (siehe Abbildung 1.2). Dieser Abraum enthält oftmals ökotoxikologisch relevante Mengen an Schwermetallen, die über diesen Pfad in Oberflächengewässer und Grundwasser und in den Boden verfrachtet werden können. Zudem kann der Einsatz von Hilfsstoffen bei der Anreicherung der seltenen Elemente zur Freisetzung gesundheits- und umweltgefährdender Stoffe führen. So hat die Verwendung von Quecksilber zur Goldextraktion in Brasilien bereits jetzt zu einer spürbaren Umweltverschmutzung geführt. Die langfristigen Auswirkungen auf die betroffenen Ökosysteme sind momentan kaum überschaubar.

Abbildung 1.2: Zunahme von Abraum bei fallendem Metallgehalt (MEADOWS 1992)



Die Nutzung der natürlichen Ressourcen entsprechend dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung stellt eine große Herausforderung sowohl für die Entwicklungs- als auch die Industrieländer dar. Entwicklungshilfe, wirtschaftliche Zusammenarbeit und finanzielle Unterstützung sind an der Elle der Kriterien dieses Leitbildes zu messen. Es würde sich in diesem Rahmen anbieten, neue Rohstoffe für neue Werkstoffe als Beispiel für die nachhaltige Entwicklung und Nutzung natürlicher Ressourcen zu untersuchen. Das vorliegende Hintergrundpapier soll in erster Linie dazu dienen, Hauptentwicklungslinien für den Einsatz neuer Rohstoffe und damit verbundene Konsequenzen für die rohstoffgewinnenden und -exportierenden Länder aufzuzeigen. In einem Überblick über Rohstoffabkommen und deren Wirksamkeit wird dargestellt, daß die Sicherung des Rohstoffhandels über solche dirigistischen Maßnahmen kaum gelingt, daß vielmehr ein liberaler Welthandel, die Diversifizierung der Volkswirtschaften der rohstoffexportierenden Länder und ein verstärkter Technologietransfer - auch von Umweltschutztechnologien - wesentliche Bestandteile einer langfristigen Rohstoffpolitik sein sollten.

2. Die internationale Rohstoffwirtschaft

2.1. Die Bedeutung des internationalen Rohstoffhandels für Entwicklungs- und Industrieländer

Der Handel mit Rohstoffen ist ein wichtiger Bestandteil der Weltwirtschaft. Dies gilt gleichermaßen für agrarische Rohstoffe, Energierohstoffe und mineralische Rohstoffe. In der verarbeitenden Industrie bilden mineralische Rohstoffe die Ausgangsstoffe der Werkstoffherstellung und damit die Basis für industrielle Produktionsprozesse. Die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe stellt eine zentrale Voraussetzung für die Produktion von Werkstoffen und industriellen Gütern dar.

Gleichzeitig wirken neue Entwicklungen im Werkstoffbereich, etwa die Senkung von Materialverbräuchen oder die Substitution von Werkstoffen, auf die Rohstoffwirtschaft zurück. Die Absatzchancen von Rohstoffen sind an die Einsatzpotentiale und -wahrscheinlichkeiten der Werkstoffe, für deren Herstellung sie verwendet werden, gekoppelt. Die Bergbauindustrie ist weltweit ein wesentlicher Stützpfeiler der nationalen Volkswirtschaften und entscheidend von den Absatzchancen ihrer Produkte abhängig. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung neuer Werkstoff auch für den Rohstoffsektor deutlich.

Die Rohstoffversorgung des Weltmarktes wird von einer Vielzahl von Ländern getragen. Darunter sind Industrieländer ebenso wie Staaten der 3. Welt. Allerdings sind Vorkommen und Produktion einiger wichtiger Rohstoffe auf wenige Länder konzentriert. Zu den Ländern, die den Weltmarkt wichtiger Rohstoffe eindeutig dominieren, zählen unter anderem die Republik Südafrika, die GUS, Zaire, Brasilien und China. Für die Produzenteländer stellen mineralische Rohstoffe einen wichtigen Wirtschaftsfaktor dar, da sie z.B. Möglichkeiten zur Einnahme von Devisen und Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung, etwa der Schaffung von Beschäftigung, bergen. Insbesondere in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern besitzt der Bergbau große Bedeutung für die nationale Volkswirtschaft.

Noch in den 50er Jahren war die Weltwirtschaft von einer strengen, aus kolonialen Strukturen hervorgegangenen internationalen Arbeitsteilung geprägt. Die Entwicklungsländer befanden sich nahezu ausschließlich in der Rolle der Rohstofflieferanten für den industriellen Bedarf der entwickelten Staaten. Eine Weiterverarbeitung zu Halbfabrikaten oder fertigen Produkten fand in den Entwicklungsländern nur in geringem Umfang statt. Notwendige verarbeitete Güter wurden gewissermaßen im Austausch gegen die Rohstofflieferungen aus den Industrienationen bezogen. Die industrialisierten Staaten deckten ihren Rohstoffbedarf soweit möglich aus der eigenen Produktion und bezogen die darüberhinaus notwendigen Mengen aus den Entwicklungsländern.

Diese komplementäre Handelsstruktur hat weitgehend auch heute noch Bestand. Allerdings ist im industriellen Sektor eine beginnende Aufhebung der internationalen Arbeitsteilung zwischen Ländern der ersten und dritten Welt zu beobachten. In einigen Entwicklungsländern machen verarbeitete Industriegüter bereits mehr als die Hälfte der exportierten Waren aus. Dies trifft jedoch nur für Entwicklungsländer mit mittlerem Einkommen zu. Zu diesen Ländern zählen unter anderem Brasilien,

Singapur, Hongkong, Südkorea, Taiwan, Thailand und Malaysia (KAISER 1991). Diese auch als "Newly Industrializing Countries" bezeichneten Staaten nutzen eine Reihe komparativer Wettbewerbsvorteile zur Stärkung ihrer Position auf den Märkten verarbeitender Güter. In einigen Entwicklungsländern sind Entwicklungen in Richtung auf eine moderne Wirtschaftsstruktur wie z.B. Deregulierung, Privatisierung und dezentrale Entscheidungsfindung zu beobachten, zusammen mit der Herausbildung einer Unternehmerklasse und dem Erscheinen privater inländischer Investoren (MUEGGE 1991). Vorhandene Standortvorteile wie z.B. geringe Lohnkosten werden durch ein intensives ökologisches und Sozialdumping unterstützt.

Im Gegensatz zu den Schwellenländern ist eine Reihe von Entwicklungsländern wirtschaftlich unverändert stark von der Ausfuhr unverarbeiteter mineralischer Rohstoffe abhängig. Vor allem in Entwicklungsländern mit niedrigem Einkommen wird der Rohstoffexport weiterhin zumindest mittelfristig gegenüber Industriegütern die Exportwirtschaft dominieren. Getreu dem Lima-Ziel der zweiten UNIDO-Konferenz von 1975 sollten die Entwicklungsländer im Jahr 2000 einen Anteil von 25 % an der industriellen Produktion der Welt haben. Im Zeitraum von 1970 bis 1990 wurde jedoch erst ein Anstieg dieses Anteils von 9,9 auf 13,9 % erreicht (MUEGGE 1991). Von einer umfassenden Umstrukturierung der Weltwirtschaftsordnung, wie sie die Entwicklungsländer fordern, ist man noch weit entfernt.

Tabelle 2.1: Entwicklungs- und Schwellenländer, in denen der mineralische Bergbau national große Bedeutung hat (nach MAULL 1989)

Kontinent	Internationale Bedeutung des Bergbaus		
	groß	mittel	gering
Zentral- und Südamerika	Bolivien Chile Mexiko Peru Venezuela	Jamaika Surinam	Dominik. Republik Ecuador Guayana Trinidad und Tobago
Afrika	Algerien Libyen Marokko Nigeria Rep. Südafrika Sambia Simbabwe Zaire	Ägypten Botswana Gabun Guinea Namibia Niger	Angola Kamerun Kongo Liberia Mauretanien Ruanda Senegal Sierra Leone Togo Tunesien Zentralafr. Republik
Naher Osten	Irak Iran		Jordanien Syrien
Asien	China Indonesien Malaysia	Nordkorea Papua-Neuguinea	Mongolei
Pazifische Inselstaaten		Neukaledonien	Franz. Polynesien Nauru
Europa	UdSSR	Rumänien	Albanien

Vor diesem Hintergrund streben die Entwicklungsländer weiterhin ausdrücklich eine Steigerung ihrer Kapazitäten in der Herstellung von verarbeiteten Produkten und Investitionsgütern an (BENAVENTE 1991). Eine Steigerung ihrer Weltmarktanteile in diesen Bereichen birgt die Möglichkeit zur Erwirtschaftung größerer Gewinne.

Ausschlaggebend dafür ist, daß die Wertschöpfung in industriellen Produktionsprozessen zum größten Teil auf der Ebene der Weiterverarbeitung erfolgt.

Die Exportabhängigkeit einiger Entwicklungsländer wird durch den Umstand verschärft, daß sich die dortige Bergbauwirtschaft auf den Abbau nur weniger Rohstoffe konzentriert. Beispielsweise ist der afrikanische Kupfergürtel mit den Staaten Sambia und Zaire fast ausschließlich vom Export von Kupfer und des in Koppelproduktion gewonnenen Kobalt abhängig. Ein drastischer Rückgang ihrer Exporterlöse in diesem Sektor, wie er im Falle von Zaire mittlerweile erfolgt ist, hat für diese Länder einschneidende wirtschaftliche Konsequenzen. Insgesamt hat die Erschließung und Ausbeutung mineralischer Rohstofflagerstätten in einem großen Teil der Entwicklungsländer große Bedeutung für die nationale Volkswirtschaft.

Unter den mineralischen Rohstoffen, die überwiegend in Entwicklungsländern gefördert werden, sind Basismetalle wie Chrom und Zinn ebenso wie speziellere Metalle. Dazu zählen etwa Antimon, Kobalt, Niob und Tantal.

Tabelle 2.2: Internationale Bedeutung von Entwicklungs- und Schwellenländern* in der Produktion ausgewählter Rohstoffe in 1984 (nach BGR 1986),

Rohstoff	Konzentration auf 5 Länder in %	Länder und Anteile an der Weltproduktion in %				
Platin	99,6	Südafrika 62,0	UdSSR 31,4	Kanada 5,1	Japan 0,7	Kolumbien 0,3
Niob	99,1	Brasilien 71,9	Kanada 18,3	UdSSR 7,4	Thailand 1,0	Nigeria 0,5
Rutil	94,5	Australien 48,7	S. Leone 24,5	Südafrika 14,6	USA 4,0	UdSSR 2,7
Zirkon	96,0	Australien 54,4	Südafrika 19,1	USA 10,9	UdSSR 9,8	China 1,8
Tantal	90,7	Thailand 42,8	Brasilien 20,9	Australien 19,7	Zaire 3,7	Ruanda 3,6
Molybdän	93,9	USA 49,5	Chile 17,8	UdSSR 11,8	Kanada 11,5	Peru 3,2 Mexiko 2,3
Kobalt	85,7	Zaire 37,7	Sambia 19,9	UdSSR 11,4	Kanada 10,0	Kuba 6,6 Australien 5,5
Mangan	84,3	UdSSR 43,3	Südafrika 13,1	Brasilien 11,6	Gabun 9,1	Australien 7,3
Chrom	79,4	Südafrika 32,0	UdSSR 26,6	Albanien 9,3	Türkei 6,5	Simbabwe 5,1
Antimon	78,6	China 26,6	Bolivien 18,3	Südafrika 14,8	UdSSR 12,8	Mexiko 6,0
Wolfram	68,6	China 29,8	UdSSR 20,1	Kanada 8,1	Südkorea 6,0	Bolivien 4,6
Nickel	70,7	UdSSR 23,3	Kanada 23,2	Australien 10,2	Neukaled. 7,7	Indonesien 6,4
Zink	54,9	Kanada 17,9	UdSSR 14,5	Australien 9,8	Peru 8,4	Mexiko 4,3 USA 4,1
Silber	61,9	Mexiko 15,5	Peru 13,9	UdSSR 12,5	USA 10,8	Kanada 9,2 Australien 8,3
Kupfer	56,5	Chile 15,6	USA 13,2	UdSSR 12,3	Kanada 8,6	Sambia 6,8 Zaire 6,0

*) Entwicklungs- und Schwellenländer sind grau unterlegt.

Während viele Entwicklungsländer wirtschaftlich entscheidend vom Export von Rohstoffen abhängig sind, besteht in den Industrienationen eine umfassende Importabhängigkeit auf dem Rohstoffsektor. Überwiegend können Industrieländer

ihren Bedarf an mineralischen Rohstoffen für die Industrie nicht aus eigener Produktion decken. Die Einfuhren von Rohstoffen in Industrieländern beschränken sich jedoch nicht auf den Bezug aus Entwicklungsländern. Auch andere Industriestaaten leisten einen wesentlichen Beitrag in der Rohstoffversorgung.

Ein Beispiel dafür ist die Bundesrepublik Deutschland: Bei Nichtberücksichtigung der Rückgewinnung aus Schrott wird der Bedarf an nahezu allen Metallen in der Bundesrepublik zu 100 % durch Importe gedeckt. Die Rohstoffeinfuhren der Bundesrepublik Deutschland setzen sich derzeit, den Agrarsektor ausgenommen, nach ihrem Wert zu 70 % aus Energierohstoffen, zu 27 % aus Metallen und zu 3 % aus Nichtmetallen zusammen. Für die Einfuhr von Metallen und nichtmetallischen Industrierohstoffen wurden 1991 etwa 25 Mrd. DM aufgewendet. Der Anteil der Energierohstoffe erfuhr von Anfang der 80er Jahre bis 1989 einen starken Rückgang, hat jedoch danach wieder leicht zu steigen begonnen (BGR 1992).

Zu den wichtigsten Lieferländern mineralischer Rohstoffe für die Bundesrepublik zählen Südafrika, die USA, die GUS, Kanada und Australien (BGR 1986). Daneben werden Rohstoffe in nennenswertem Umfang auch aus Ländern der Europäischen Gemeinschaft und des übrigen Europa bezogen. Die größten Abhängigkeiten von einem einzigen Lieferland bestehen in der Versorgung mit Niob durch Brasilien und mit Ferrowolfram durch China (BGR 1992). Abgesehen davon sind Rohstoffeinfuhren aus Entwicklungsländern in der Bundesrepublik von untergeordneter Bedeutung. Die Importe aus den übrigen Regionen Afrikas und Asiens sind vergleichsweise gering. Eine Vielzahl von Rohstoffen wird auf indirektem Wege aus Ländern importiert, die selbst über keine eigenen Lagerstätten verfügen. So wird z.B. Molybdänerz aus Belgien/Luxemburg in die Bundesrepublik Deutschland eingeführt. In Anbetracht der tiefgreifenden Umgestaltungsprozesse in den Ländern des Ostens werden sich die Strukturen der Herkunftsländer für einzelne Rohstoffe voraussichtlich in den nächsten Jahren ändern.

Die Eigenversorgung im Bereich der mineralischen Rohstoffe für die Industrie ist in der Bundesrepublik in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Innerhalb Deutschlands werden heute nur noch Zink und Blei in Erzbergwerken gefördert. Aus dem Kreis der Hochtechnologiewerkstoffe werden lediglich Gallium, Germanium und Indium im Inland in ausreichenden Mengen produziert. Allerdings müssen zur Gewinnung dieser Rohstoffe die Roherze importiert werden. Die Metallgewinnung und -produktion in der ehemaligen DDR wurde nach der Wiedervereinigung im Rahmen von Rationalisierungs- und Stilligungsmaßnahmen stark eingeschränkt bzw. gestoppt (BGR 1992). Durch die Einführung marktwirtschaftlicher Förderbedingungen sind viele Fördereinrichtungen unrentabel geworden, die mit sehr niedrigen Elementkonzentrationen in den Roherzen gearbeitet haben. Verkäufe von Rohstoffen konnten unmittelbar nach der Wiedervereinigung noch aus Lagerbeständen getätigt werden (BGR 1993). Im Bereich der Sonderrohstoffe werden Wolfram und Gallium seit 1990 nicht mehr in den neuen Bundesländern produziert.

Während die Bedeutung des deutschen Bergbaus für die Rohstoffversorgung in der Bundesrepublik stark zurückgegangen ist, haben Sekundärrohstoffe aus der Rezyklierung von Schrott auch aus ökonomischer Sicht mittlerweile einen hohen Stellenwert erlangt. Im Bereich der Nichteisenmetalle wie Aluminium, Kupfer, Zinn etc. wird bereits etwa ein Drittel des Bedarfs der deutschen Industrie durch inländische Rückgewinnung aus Altmetall gedeckt (BGR 1992). In den neuen Bundesländern wurde dagegen z.B. die Gewinnung von Platinmetallen aus Alt- und Abfallmaterialien mit Ausnahme von Palladium im Vergleich zu 1987 stark reduziert.

Die geschilderten jeweiligen Abhängigkeitsverhältnisse haben in Industrie- und Entwicklungsländern unterschiedliches Gewicht. Industrienationen werden aufgrund ihrer diversifizierten Wirtschaftsstruktur durch Schwankungen und Engpässe in der Rohstoffversorgung nur in einem Teilbereich ihrer Wirtschaft getroffen. Die grundsätzliche wirtschaftliche Stärke bietet die Möglichkeit, in kritischen Situationen auf alternative und unter Umständen kostenintensivere Rohstoffquellen oder Versorgungswege zurückzugreifen, um die Verfügbarkeit von Rohstoffen sicherzustellen. Absehbar längerfristigen Engpässen können Industrieländer gegebenenfalls durch die Entwicklung und Herstellung von Ersatzstoffen begegnen, da sowohl die wirtschaftlichen als auch die technologischen Voraussetzungen dafür in vielen Fällen prinzipiell vorhanden sind.

Im Bereich konventioneller Rohstoffe sind in Industrieländern substantielle Gefährdungen der nationalen Wirtschaft durch Probleme der Verfügbarkeit einzelner Rohstoffe nicht zu erwarten.

Tabelle 2.3: Importabhängigkeiten der Europäischen Gemeinschaft und der Bundesrepublik Deutschland, in Prozent (BEHRENS 1991, MUTTER 1991)

Rohstoff	Abhängigkeit der EG	Abhängigkeit der BRD
Chrom	92	100
Kobalt	100	100
Molybdän	100	100
Niob	100	100
Tantal	100	100
Titan	100	100
Vanadium	100	100
Wolfram	78	100
Zirkonium	-	100
Antimon	95	-
Beryllium	100	100
Gallium	keine	keine
Germanium	keine	keine
Indium	keine	keine
Lithium	100	100
Platinmetalle	100	100
Seltene Erden	100	100

Im Gegensatz dazu führt die Abhängigkeit der Entwicklungsländer von Rohstoffexporten zu einer gesteigerten Anfälligkeit der dortigen Wirtschaft. Entwicklungsländer haben kaum die Chance, für sie negative Entwicklungen im Rohstoffhandel durch Erfolge in anderen Wirtschaftszweigen aufzufangen. Sie verfügen nicht über die Möglichkeiten, einem Rückgang der Rohstoffnachfrage, fallenden Weltmarktpreisen oder dem Auftauchen neuer Anbieter durch geeignete Vorsorgemaßnahmen zu begegnen. In den letzten Jahren hat z.B. das Überangebot bei manchen Rohstoffen durch drastisch gestiegene Exporte der osteuropäischen Staaten zu Preiseinbrüchen geführt, die für die Entwicklungsländer schwer tragbar sind.

Industrien in Entwicklungsländern sind aus vielfältigen Gründen oft nicht im notwendigen Maßstab in der Lage, flexibel auf Einbußen im Exportgeschäft mit einem Rohstoff zu reagieren.

Vor allem in jenen Ländern, in denen der Rohstoffexport den Großteil des Exportgeschäftes ausmacht, wirken Instabilitäten in der Nachfrage nach Rohstoffen oder bei den Rohstoffpreisen in merklichem Umfang auf die regionalen ökonomischen Verhältnisse zurück. Diese Situation wird häufig durch weitere Faktoren wie etwa den unbedingten Devisenbedarf zur Sicherung der Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung, politische Instabilitäten, Kapitalmangel oder die eingleisige Wirtschaftsstruktur verschärft.

Entwicklungen von Rohstoffpreisen

Der Handel mit mineralischen Rohstoffen für die Industrie wird hauptsächlich an Rohstoffbörsen abgewickelt. Beispielsweise ist die Londoner Metallbörse mittlerweile der wichtigste Umschlagplatz für Metalle aller Art. Die Preisniveaus der Rohstoffe an den Börsen unterliegen zum Teil erheblichen Schwankungen.

Am Beispiel des Wolframmarktes werden einige grundlegende Ursachen dieser Entwicklungen auf dem Rohstoffweltmarkt der letzten Jahre ersichtlich. Der Markt für Wolfram hat in den letzten Jahrzehnten eine fundamentale Umgestaltung erfahren. Bis 1979 stammten etwa 50 % der Weltbergbauproduktion aus westlichen Ländern. Bis 1991 ging ihr Anteil auf unter 20 % zurück und ist im Jahr 1993 wahrscheinlich nicht mehr von Bedeutung. Gleichzeitig stieg der Marktanteil von China, der Mongolei und Korea von 30 % in 1979 auf inzwischen weit über 60 %. Verantwortlich für diese Entwicklung war im wesentlichen ein zunehmendes Überangebot an konkurrenzlos billigen chinesischen Wolframkonzentraten, das einen drastischen Preisverfall auf dem Weltmarkt auslöste. Der Preis für Wolframkonzentrate fiel von etwa 17 US-\$/kg im Jahr 1977 auf ein Niveau von derzeit ca. 3 US-\$/kg. Die Bemühungen der *Primary Tungsten Association* und des Wolfram-Ausschusses der UNCTAD um die weltweite Homogenisierung und Stabilisierung des Wolframpreises waren angesichts dieser Entwicklung vergeblich. Westlichen Produzenten wurde infolge des Preissturzes die wirtschaftliche Grundlage zur Aufrechterhaltung ihrer Wolframproduktion genommen (SPROSS 1993).

Parallel zur Veränderung des Anbieterspektrums sind in den letzten Jahren Produktion und Bedarf an Wolfram kontinuierlich zurückgegangen. Im Jahr 1992 beliefen sie sich nur noch auf 60 % der Vergleichswerte von 1989. Der starke Bedarfsrückgang hat mehrere Gründe. Zum einen sind die wichtigsten Abnehmerindustrien von Wolfram, d.h. die Stahlindustrie sowie Maschinen- und Automobilbau, von der allgemeinen tiefen Rezession betroffen. Auch der Verbrauch in der Wehrtechnik ist weltweit stark gesunken. In der Werkzeug- und Maschinenherstellung führen enorme Fortschritte in der Beschichtungstechnik sowie die Substitution durch Keramikwerkstoffe zu einem erheblichen Rückgang des Wolframeinsatzes. Schließlich entstammen derzeit bereits etwa 30 bis 40 % des verwendeten Wolframs aus der Rezyklierung von Wolframabfällen und -schrotten.

Die am Beispiel von Wolfram beschriebenen Entwicklungen vollziehen sich in ganz ähnlicher Weise auch auf anderen Nichtmetallmärkten. Hohe Nettoexporte aus den osteuropäischen Ländern und der GUS verursachen ein Überangebot auf den Märkten einiger Rohstoffe. Der anhaltende wirtschaftliche Abschwung in den Industriestaaten führte zu einer Drosselung der Industrieproduktion. Die sparsamere Verwendung von Rohstoffen im Verein mit der wachsenden Bedeutung der Rezyklierung und der Substitution von Rohstoffen durch Ersatzstoffe resultieren insgesamt in einem Rückgang des Bedarfs und der Nachfrage. In der Folge dieser Prozesse haben die Preise vieler mineralischer Rohstoffe gegenwärtig vergleichsweise tiefe Niveaus erreicht. Die Preise für wichtige Nichteisenmetalle z.B. liegen inflationsbereinigt unter

den Vergleichswerten vor vierzig Jahren. Dies gilt etwa für Aluminium, Kupfer, Blei oder Zinn (METALL 1994).

Die Schwankungen von Rohstoffpreisen sind auf Fluktuationen von Angebot und Nachfrage auf dem Weltmarkt zurückzuführen. In umgekehrter Richtung werden Angebot und Nachfrage durch Preisentwicklungen beeinflusst. Dabei treten sowohl langfristig als auch kurzfristig wirksame Dynamiken auf. Langfristig wirksam sind z.B. konjunkturelle Krisen, die die weiterverarbeitende Industrie erfassen und auf die Nachfrage nach Rohstoffen zurückwirken. Ebenso wird die Rohstoffnachfrage langfristig entscheidend durch technologische Entwicklungen beeinflusst. Die Substitution von Technologien und Werkstoffen kann mit einem Wechsel der beteiligten Rohstoffe einhergehen. Die Schwankungen der Nachfrage nach Rohstoffen sind in der Regel größer als die des Bruttoinlandsproduktes oder der industriellen Produktion. Damit unterliegt die Nachfrage stärkeren Schwankungen als die allgemeine wirtschaftliche Aktivität (GIRAUD 1993).

In bezug auf Rohstoffpreise ist die Nachfrage relativ unelastisch. Bei angespannter Marktlage und hohen Preisen bleibt die Nachfrage zunächst relativ stabil, da die Rohstoffnutzer im Interesse einer Aufrechterhaltung der Versorgung zur Zahlung hoher Preise bereit sind. Andererseits wirkt sich auch ein starker Preisverfall nicht unmittelbar auf die Nachfrage aus.

Auch auf der Angebotsseite zeigen sich die Auswirkungen von Preisentwicklungen nicht unmittelbar. Ausschlaggebend dafür ist die Kostenstruktur in kapitalintensiven Sektoren wie dem Bergbau und der Metallproduktion. Die im Vergleich zu den operativen Kosten hohen Explorations- und Entwicklungskosten im Bergbau bewirken, daß Produktionskapazitäten innerhalb enger Spielräume an den erwarteten Bedarf angepaßt werden und ungenutzte Produktionskapazitäten nur begrenzt vorhanden sind. Im Falle eines plötzlichen Anstiegs der Nachfrage können Hütten kurzfristig allenfalls durch Lieferungen aus Lagerbeständen reagieren. Im Gegensatz dazu würde bei schwächerer Nachfrage und fallenden Preisen eine Senkung der Produktion lediglich zum Anstieg der Stückkosten führen.

Insbesondere bei einem intensiven Angebotswettbewerb sind hohe Preisschwankungen zu beobachten, deren Dynamik häufig dem gleichen Muster folgt. In einer Situation maximaler Kapazitätsauslastung führt ein Anstieg der Nachfrage nach einem Rohstoff zu einem Anstieg des entsprechenden Rohstoffpreises. Dadurch werden Investitionen mit dem Ziel der Steigerung der Produktionskapazitäten angeregt, die häufig die Anforderungen der künftigen Nachfrage übersteigen. Infolge der so entstehenden Überkapazitäten beginnt ein Preiskampf zur Wahrung und Steigerung von Marktanteilen, der einen Preisverfall auslöst.

Neben derartigen langfristigen Schwankungen gibt es auch kurzfristige Fluktuationen, die aus dem komplexen Zusammenwirken mehrerer Parameter resultieren. Insbesondere das Lagerverhalten der Erzeuger und der Abnehmer steht in enger Wechselwirkung mit Preisniveaus. Unter dem Einfluß von Verbrauchsentwicklungen und Prognosen zur Preisentwicklung, zu Beständen der Erzeuger und Börsen sowie zu Produktion und Verbrauch werden Lagerbestände aufgebaut oder verkauft. Die damit verbundenen Änderungen der Nachfrage oder des Angebots verursachen kurzfristige Preisfluktuationen.

Ein weiterer Instabilitätsfaktor in bezug auf Rohstoffpreise ist die Entwicklung doppelter Preise, die etwa im Metallbereich durch Lieferverträge mit von der Börse unabhängig ausgehandelten Preisen (so z.B. gegenwärtig bei Aluminium und Nickel)

entsteht. Aufkommende Diskrepanzen zwischen Angebot und Nachfrage, die in Lieferverträgen mit festgelegten Kontingenten und Preisen keine Folgen zeigen, wirken sich um so stärker auf den verbleibenden freien Markt aus und können dort größere Preisschwankungen nach sich ziehen (GIRAUD 1993).

Im Gegensatz zu den Bereichen der Fertigprodukte und Investitionsgüter gestaltet sich eine Regulierung des Ungleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage im Rohstoffbereich schwierig. Durch das Fehlen von Lieferfristen, eine eingeschränkte Flexibilität in der Produktion und weitere Faktoren sind Schwankungen der Preise mineralischer Erzeugnisse insgesamt nicht vermeidbar und verlaufen innerhalb großer Bandbreiten.

Eine langfristige gesteuerte Stabilisierung von Rohstoffpreisen ist nach bisheriger Erfahrung z.B. dann erreichbar, wenn eine Gruppe von flexibel arbeitenden Erzeugern mit ausreichend großem Marktanteil existiert, die einen Teil ihrer Kapazitäten in gegenseitiger Abstimmung flexibel einsetzt (GIRAUD 1993). Im Rahmen sogenannter Erzeugerpreissysteme erscheint eine oligopolistische Kontrolle der Märkte und Preise möglich. Bis zu Beginn der 80er Jahre wurden auf diesem Wege Stabilisierungen auf den Aluminium-, Nickel-, Molybdän- und Zinnmärkten erreicht. Allerdings sind auch Erzeugerpreissysteme den Funktionsmechanismen des Marktes unterworfen und können nicht zur Stabilisierung von Preisen auf künstlich hohen Niveaus verwendet werden. Die Funktion von Erzeugerpreissystemen ist nur dann gewährleistet, wenn

- eine kleine, homogene und flexibel arbeitende Gruppe von Erzeugern mit großem Marktanteil mit niedrigen, untereinander vergleichbaren Kosten produziert und über billige Erweiterungskapazitäten verfügt;
- Kapazitätsengpässe vermieden werden, d.h. der künftige Verbrauch antizipierbar ist und Überkapazitäten zur flexiblen Reaktionsfähigkeit auf Nachfrageschwankungen vorgehalten werden.

2.2. Internationale Rohstoffpolitik

Die Folgen erheblicher Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten sind für die abnehmenden Länder und die Lieferländer unterschiedlich kritisch. Die hauptsächlich verarbeitenden Staaten suchen die konstante Versorgung ihrer entsprechenden Industrien zu gewährleisten und sind dazu in der Regel auch bei vorübergehend hohen Preisen in der Lage. Dagegen sind die Entwicklungsländer im Kreis der Lieferstaaten von dauerhaften Niedrigpreisen und drastischen Preisverfällen in weitaus größerem Umfang betroffen. Bei sinkenden Exporterlösen können einige Lieferländer unter Umständen die Mittel für Betrieb und Modernisierung ihrer Produktionsanlagen nicht mehr aufbringen.

Den unterschiedlichen Anfälligkeiten auf Veränderungen in der Rohstoffwirtschaft entsprechend gestalten Industrie- und Entwicklungsländer ihre Rohstoffpolitik deutlich voneinander abweichend.

Im Hinblick auf die Versorgungssicherheit verfügen Staaten innerhalb einer nationalen Rohstoffpolitik grundsätzlich über ein breites Spektrum von Möglichkeiten der Eingriffnahme in die Rohstoffversorgung. Denkbare Maßnahmen sind in diesem Zusammenhang unter anderem die Diversifizierung der Bezugsquellen und die

Senkung der Importe durch Zölle und die verstärkte Verpflichtung der Industrie zur Rezyklierung. Als konkrete Instrumente kommen etwa Garantien für Auslandsinvestitionen, Förderprogramme für die Prospektion und Exploration von Bodenschätzen sowie allgemein Steuern und Subventionen in Betracht (MAULL 1988). Staatliche Vorratshaltungen ("stockpiles") können im Rahmen eines staatlichen Krisenmanagements die Verfügbarkeit von Rohstoffen bei Versorgungsengpässen gewährleisten. Diese Vorratshaltungsfunktion des Staates kann auch durch steuerliche Anreize auf die Industrie übertragen werden.

Auf außenwirtschaftspolitischer Ebene kann die wirtschaftliche Integration von Rohstofflieferländern durch verstärkten Technologietransfer zu einer Stabilisierung des Rohstoffhandels führen.

Die einzelnen Industrienationen haben bislang unterschiedlich auf die Lage in der Rohstoffversorgung reagiert. Die Rohstoffpolitik der USA war bis vor kurzer Zeit eindeutig auf die Sicherung der Versorgung mit von ihr als strategisch wichtigen erkannten Rohstoffen ausgerichtet. Aus diesem Grund legte die *Defense Logistic Agency* der USA Lagervorräte für einige strategische Rohstoffe an. Unterdessen werden die Vorratsbestände in Anbetracht der fortschreitenden Entspannung der ehemals blockorientierten Weltwirtschaft und der Auflösung der kritischen Bedeutung vieler Rohstoffe allerdings wieder abgebaut.

In der Bundesrepublik wird keine explizite Rohstoffpolitik betrieben. Aus Sicht der Bundesregierung gibt es im Prinzip keine kritischen Rohstoffe mehr, die staatliche Eingriffe in den Rohstoffsektor notwendig machen würden. Es gilt das Primat der privatwirtschaftlichen Vorsorge in der Rohstoffversorgung. Die Aufgaben der Krisenvorsorge und des Krisenmanagements im Rohstoffbereich obliegen damit der Industrie.

Anfang der 70er Jahre wurden von Seiten der deutschen Bergbauindustrie staatliche Lenkungsmaßnahmen gefordert. In der Folge richtete das BMWi ein Förderprogramm für die Prospektion und Exploration von Bodenschätzen mit einer Laufzeit von 20 Jahren (1970 bis 1990) ein. Im Zuge dieses Programms wurde unter anderem zumindest die partielle Aufhebung der Abhängigkeiten von Rohstofflieferungen aus der RSA angestrebt. Insgesamt sind im Rahmen des Explorationsförderprogramms 410 einzelne Vorhaben mit einem Volumen von 533 Mio. DM gefördert worden (BGR 1992). Im Falle der Aufnahme einer kontinuierlichen Produktion waren die Empfänger der Förderleistungen zur Rückzahlung der Zuwendungen an den Bund verpflichtet, was auch in einigen Fällen eintrat. Neben diesem Förderprogramm waren damals auch steuerliche Anreize für industrielle Vorratshaltungen an Rohstoffen als staatliche Maßnahmen in der Diskussion.

Im Gegensatz zu den Industrienationen liegen die Schwerpunkte der rohstoffbezogenen Interessen der Entwicklungsländer auf der Sicherung und Steigerung ihrer Exporteinnahmen, der weiteren Exploration und Ausbeutung ihrer Lagerstätten und Steigerung der eigenen Weiterverarbeitungskapazitäten. Diese Ziele äußern sich etwa in den Forderungen der Entwicklungsländer nach Abnahme- und Preisgarantien innerhalb multilateraler Rohstoffabkommen.

2.3. Rechtliche Regelungen des Welthandels mit neuen Rohstoffen

Internationale Verträge und staatenübergreifende Abkommen bilden den rechtlichen Rahmen, in dem sich der Rohstoffhandel vollzieht. Dazu zählen einerseits langfristige Lieferverträge für einzelne Rohstoffe und rohstoffspezifische Abkommen. Andererseits enthalten auch allgemeine internationale Handelsabkommen Vereinbarungen bezüglich des Rohstoffhandels.

Langfristige Lieferverträge

Zu den wichtigsten Instrumenten der Gewährleistung der Rohstoffversorgung auf unternehmerischer Ebene gehören mittel- bzw. langfristige Lieferverträge (ANGER 1990). Sie werden für mehr als die Hälfte der Rohstoffgeschäfte in Anspruch genommen, da sie beiden Vertragsparteien Vorteile bieten. Rohstoffproduzierende Unternehmen werden durch dauerhafte Abnahmegarantien in die Lage versetzt, ihre Unternehmenspolitik langfristig zu gestalten. Die Abnehmer von Rohstoffen verfügen mit langfristigen Verträgen über Preis- und Liefergarantien, die ihre Betriebssicherheit erhöhen. Die durch langfristige Lieferverträge erreichbare Vergleichmäßigung von Angebot und Nachfrage zu einzelnen Rohstoffen hat stabilisierende Wirkung auf die entsprechenden Weltmarktpreise.

Spezifische Rohstoffabkommen

Die Vereinbarung internationaler Abkommen zwischen Produzenten- und Abnehmerländern kann als Instrument zur Regulierung und Stabilisierung des Rohstoffhandels auf zwischenstaatlicher Ebene eingesetzt werden. Im Gegensatz zu unternehmerischen Organisationsformen des Handels wie Produzentenkartellen und Produzentenvereinigungen werden dabei Vereinbarungen zu Liefer- und Abnahmequoten von unterstützenden Maßnahmen der Abkommenspartner begleitet.

Insgesamt haben sich internationale spezifische Rohstoffabkommen im Bereich der Nichtenergierohstoffe bislang nicht zu einem wesentlichen Element der Steuerung und Kontrolle des Rohstoffhandels entwickelt. Geplante Rohstoffabkommen für Kupfer, Blei, Zink und Nickel sind nicht zustande gekommen. Das einzige abgeschlossene Rohstoffabkommen ist das Internationale Zinnabkommen, das 1981 in seiner sechsten Fassung vereinbart wurde (PELIKAHN 1990).

Das Hauptziel des Zinnabkommens war die Stabilisierung der Zinnpreise auf dem Weltmarkt. Dieses Ziel sollte durch die Vereinbarung von Exportquoten für die einzelnen Lieferländer sowie die Einrichtung eines Marktausgleichslagers für Zinn erreicht werden. Die Funktion eines solchen Lagers basiert auf der Festlegung eines von den Beitrittsstaaten als akzeptabel erachteten Preisintervalls, innerhalb dessen sich der Rohstoffpreis nach Angebot und Nachfrage frei bilden kann. Bei Unter- oder Überschreitung der gesetzten Grenzen reagiert der "buffer stock manager" durch Ankauf respektive Verkauf des Rohstoffs aus Beständen des Marktausgleichslagers und versucht auf diese Weise, das Preisniveau innerhalb des gewählten Spielraums zu stabilisieren.

Im Jahr 1985 wurde das Zinnabkommen wieder aufgelöst. Der Anlaß dafür bestand darin, daß die Betreiber des Marktausgleichslagers infolge sich ständig unterhalb des festgelegten Mindestpreises bewegender Weltmarktpreise solange zum Ankauf von Zinn gezwungen waren, bis die ihnen zur Verfügung stehenden Finanzmittel sowie zusätzlich aufgenommene Kredite erschöpft waren. Diese Entwicklung wird vor allem

darauf zurückgeführt, daß der Mindestpreis für Zinn durch die Abkommenspartner im Interesse gleichbleibend hoher Einkünfte deutlich über dem sich aus Angebot und Nachfrage ergebenden Gleichgewichtspreis angesetzt worden war (KAISER 1991). Die Nachfrage nach Zinn am Weltmarkt war jedoch innerhalb der letzten zehn Jahre bis 1985 kontinuierlich zurückgegangen und erreichte 1985 das tiefste Niveau seit fünfzig Jahren.

Für den Rückgang des Zinnbedarfs wird zum Teil wiederum das hohe Preisniveau im Rahmen des Zinnabkommens verantwortlich gemacht. Bei hohen Rohstoffpreisen werden in der Industrie Anstrengungen zur Senkung des Materialbedarfs unternommen, und die Suche nach möglichen Ersatzstoffen wird intensiviert. Zudem kann auch die Rückgewinnung durch Recycling wirtschaftlich konkurrenzfähig werden. All diese Entwicklungen traten im Falle des Zinn ein.

Als weiterer Grund für das Scheitern des Zinnabkommens gilt, daß sowohl wichtige Abnehmer als auch Produzentenländer dem Abkommen in den letzten Jahren nicht mehr angehörten und die verbleibenden Herkunftsländer 1985 nur noch etwa 50 % der Weltzinnproduktion auf sich vereinigten. Dadurch war eine Kontrolle des Preisniveaus kaum noch möglich. Verschärfend wirkte sich aus, daß in den Jahren vor dem Zusammenbruch die Zinnproduktion nicht im gleichen Maße wie die Nachfrage sank. Solange der hohe Zinnpreis gehalten werden konnte und das Marktausgleichslager betrieben wurde, war auch die Produktion unter ansonsten nicht rentablen Bedingungen und nicht am Markt nachgefragter Mengen aus Sicht der Lieferanten ökonomisch sinnvoll.

In der Folge der Auflösung des Zinnabkommens kam es kurzfristig zu einem Zusammenbruch des Zinnpreises auf freiem Markt. Gegenwärtig bewegt sich der Zinnpreis, bedingt unter anderem durch Verkäufe der USA aus ihren strategischen Vorräten, noch immer auf niedrigem Niveau (BMWI 1993).

Internationale Verträge mit Rohstoffbezug

Das Integrierte Rohstoffprogramm

Im Zuge der Verhandlungen der UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) war die Vereinbarung eines Integrierten Rohstoffprogrammes eines der zentralen Anliegen der Entwicklungsländer. Im Gegensatz zu bisherigen Abkommen für einzelne Rohstoffe sollte ein solches Programm die Stabilisierung von Exporterlösen für eine ganze Gruppe von Rohstoffen gewährleisten.

Auf der UNCTAD IV in Nairobi 1976 wurde eine grundsätzliche Einigung über die Ziele des Integrierten Rohstoffprogrammes erzielt. Dazu gehören im einzelnen die Stabilisierung von Rohstoffpreisen innerhalb zu vereinbarenden Grenzen, die Verbesserung des Marktzuganges für Rohstoffe, die Steigerung der Versorgungssicherheit, die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Rohstoffen gegenüber möglichen Ersatzstoffen und nicht zuletzt die Steigerung des Anteils der Entwicklungsländer an der Weiterverarbeitung der Rohstoffe.

Die Umsetzung dieser Ziele sollte durch ein Bündel verschiedener Instrumente ermöglicht werden. Für zehn Kernrohstoffe¹, an deren Weltexport die Entwicklungsländer einen hohen Anteil besitzen, war die Einrichtung von

¹Neben vorrangig agrarischen Rohstoffen auch Kupfer und Zinn.

internationalen Marktausgleichslagern (buffer stocks) vorgesehen. Für acht weitere Rohstoffe, darunter die mineralischen Rohstoffe Mangan, Eisenerz, Bauxit und Phosphat, wurde im Rahmen des Programmes die Vereinbarung multilateraler Liefer- und Abnahmeverträge angestrebt. Im Falle des Versagens dieser Instrumente sollten Kompensationszahlungen die Umsetzung der Programmziele zumindest teilweise sichern helfen. Die finanziellen Mittel für die Betreuung der Marktausgleichslager und die Kompensationsleistungen stammen aus einem gemeinsamen Fonds, der durch die dem Programm beigetretenen Länder eingerichtet wurde. Vom Gesamtetat von 750 Mio. US-\$ stellten 400 Mio. US-\$ einen finanziellen Rückhalt für die diversen Marktausgleichslager dar; 350 Mio. US-\$ dienten der Förderung der Forschung und Entwicklung, der Qualitätssteigerung und der Optimierung der Vermarktung von Rohstoffen (KAISER 1991).

Die konkrete Ausgestaltung des Programms und insbesondere die vorgesehenen Instrumente blieben lange strittig. Die Kritik der Industrienationen konzentrierte sich dabei vor allem auf die Wirkungsweise der Marktausgleichslager. Ihr wesentlicher Nachteil wird in dem Versuch der künstlichen Stabilisierung der Preise über den aus Angebot und Nachfrage resultierenden Gleichgewichtspreisen und generell der Außerkraftsetzung der Regulationsmechanismen des freien Marktes auf das Preisniveau von Rohstoffen gesehen.

Die Bundesrepublik trat dem Abkommen im Jahr 1985 bei und trug 5,6 % des Pflichtkapitals des gemeinsamen Fonds (42 Mio. US-\$). Bis dahin war das Internationale Rohstoffabkommen noch nicht in Kraft getreten, da erst 83 der erforderlichen 90 Staaten unterzeichnet hatten. Mittlerweile sollen die Pläne zur Einrichtung der Marktausgleichslager, mit Ausnahme eines solchen Lagers für Naturkautschuk, nicht weiter verfolgt werden (BMZ 1994). Eine Ursache für diese Entscheidung mag in der Beobachtung der Krise des Zinnmarktes im Jahr 1985 gelegen haben, für die das Zinnabkommen und insbesondere die Fehlfunktion des buffer stocks als mitverantwortlich angesehen werden.

Neben dem Integrierten Rohstoffprogramm wurden auf Veranlassung der UNCTAD weiterhin Studiengruppen mit dem Ziel eingerichtet, eine größere Markttransparenz auf dem Rohstoffsektor zu erreichen. Für Kupferfragen liegt das Sekretariat der UNCTAD in Lissabon, für die Angelegenheiten von Blei, Zink und von Nickel in London. Die *Primary Tungsten Association* (PTA) als Produzentenvereinigung berät und unterstützt den entsprechenden Ausschuß der UNCTAD und erstellt Marktstudien und Statistiken über Produktion und Verbrauch von Wolfram (GOCHT 1983). Allerdings ist der größte Wolfram-Produzent, die VR China, nicht Mitglied dieser Vereinigung und unterläuft somit häufig die Absprachen der PTA. Auch für Kobalt wurde 1981 eine Produzentenvereinigung gegründet. Das Weltkobaltinstitut (CIMNF) in Brüssel soll intensive Kontakte zwischen Zaire, Sambia, den Philippinen, Marokko und Finnland ermöglichen sowie Marktanalysen erstellen. Ähnlich arbeitet das 1974 gegründete *Tantalum Producers International Study Center* (TIC), das über 90 % der Weltproduktion repräsentiert (GOCHT 1983).

Die Lomé-Abkommen

Internationale Abkommen stellen ein wichtiges Element der internationalen Bemühungen dar, die Entwicklungsländer in der Entwicklung einer eigenständigen Wirtschaftspolitik zu unterstützen. In diesem Sinne wurde 1975 das erste Lomé-Abkommen mit einer Geltungsdauer von fünf Jahren zwischen den Staaten der Europäischen Gemeinschaft und der Gruppe der AKP-Staaten (Afrika-Karibik-

Pazifik) geschlossen, die zu jener Zeit 46 Länder aus Afrika, der Karibik und des Südpazifiks umfaßte.

Das Lomé-Abkommen sollte es den AKP-Staaten ermöglichen, durch freien Zugang zu den Märkten der Europäischen Gemeinschaft eine Stabilisierung ihrer Exporterlöse im Rohstoffhandel zu erreichen (SAAGER 1984). Ein wesentlicher Baustein dieses Abkommens war mithin die zoll-, abgaben- und mengenbegrenzungsfreie Einföhrung von Waren aus den AKP-Staaten in die Europäische Gemeinschaft. Das 3. Folgeabkommen (Lomé IV) im Jahr 1990 wurde bereits von 69 AKP-Staaten unterzeichnet (NOHLEN 1992).

Der Lomé II-Vertrag im Jahr 1980 enthielt die Vereinbarung zur Einrichtung einer besonderen Finanzierungsfazilität (SYSMIN) für bestimmte Bergbauerzeugnisse (ANGER 1990), die in den folgenden Abkommen Lomé III und IV weitergeföhrt wurde. Dieser Mineralienfonds dient der Unterstützung von Bergbauunternehmen in den AKP-Staaten bei Rückgängen der Exporterlöse um mehr als 10 % im Bereich von Rohstoffen, die mindestens 15 % der Exporte der jeweiligen Produzenteländer ausmachen. Dieser Bedingung entsprachen in Lomé III Kupfer, Kobalt, Mangan, Phosphat, Bauxit, Zinn und Eisenerz. Die Unterstützung erfolgt durch Bereitstellung von Darlehen. Im Geltungszeitraum von Lomé IV 1990 bis 1995 stehen insgesamt Mittel in Höhe von etwa 480 Mio. ECU für Projekte im Rohstoffsektor zur Verfügung, mit deren Hilfe Modernisierungs- und Rationalisierungsmaßnahmen der Unternehmen, Infrastrukturmaßnahmen und Programme zur Diversifizierung der Wirtschaftsstruktur der Unterzeichnerstaaten aus der AKP-Gruppe finanziert werden sollen (ANGER 1990). In die Gruppe der für SYSMIN relevanten Rohstoffe wurden in Lomé IV zusätzlich Gold und Uran aufgenommen.

Auch hinsichtlich der Förderleistungen des Europäischen Entwicklungsfonds (EEF) hat der Bergbau im Laufe der einzelnen Verträge zunächst zunehmende Unterstützung erfahren. Von Lomé I zu Lomé II stiegen die Fördermittel für den Bergbau von 4,5 auf 27,3 % des Gesamtetats (von 18,9 auf 206 Mio ECU), während die Unterstützung für die verarbeitende Industrie von 24,6 auf 10,2 % zurückging. Ausschlaggebend für diese Verlagerung waren wachsende Probleme der Bergbauindustrie der AKP-Staaten in den 70er Jahren, die die Entwicklungsländer zur Forderung nach Intensivierung der Bergbauunterstützung veranlaßten und die rohstoffarmen EG-Staaten diese Forderung bereitwillig akzeptieren ließen (PARFITT 1992).

Diese Abkehr von der Förderung der verarbeitenden Industrie durch den EEF setzte sich im dritten Lomé-Abkommen fort. Der Anteil der Aufwendungen für die Industrialisierung ging von 946 auf 553 Mio. ECU (Leistungen bis Ende 1988) zurück (von 20,6 auf 11,9 % des Gesamtetats). Die Leistungen für die extraktive und Metallindustrie sowie für Explorationsvorhaben im Bergbau- und Energiebereich blieben jedoch mit zusammen 192 Mio. ECU bis Dezember 1988 in etwa auf dem vorherigen Niveau. Die rückläufige Unterstützung der Industrie und stärkere Förderung des Nahrungsmittelsektors wurde von der EG-Kommission mit den Schwierigkeiten der AKP-Staaten begründet, unter den ungünstigen Weltmarktbedingungen der späten 70er und frühen 80er Jahre Investitionen anzuziehen (PARFITT 1992). Angesichts einer ökonomisch angespannten Lage war die Industrie nicht mehr als Wachstumssektor interessant.

Eine ähnliche Entwicklung erfuhr auch die sektorale Verteilung der Fördermittel der *European Investment Bank*. Im Rahmen von Lomé III ging der Anteil der Förderung der Industrie gegenüber den Leistungen für energieorientierte und infrastrukturelle Maßnahmen von 60,7 in 1986 auf 47,7 % in 1988 zurück; die Förderung für den

Bergbau entsprach 1986 noch 24,4 % der Gesamtförderung und entfiel in 1988 ganz (PARFITT 1992).

Die Effektivität und Effizienz der Unterstützung der AKP-Staaten durch die EWG im Rahmen der Lomé-Abkommen wird von vielen Seiten in Frage gestellt. Im Jahr 1988 konstatierte der damalige AKP-Präsident, daß die ökonomischen Probleme der AKP-Staaten während der Laufzeit der Lomé-Konventionen noch gewachsen seien (PARFITT 1992). Beispielsweise ging das Volumen afrikanischer Exporte in die EG von 1980 bis 1988 von 43,4 auf 30,0 Mrd. US-\$ zurück. Umgekehrt exportierte auch die EG 1988 mit Gütern im Wert von 34,1 Mrd. US-\$ gegenüber 45,6 Mrd. US-\$ im Jahr 1980 deutlich weniger nach Afrika. Beide Entwicklungen verliefen damit nahezu parallel. Die Gesamtsumme afrikanischer Exporte sank im selben Zeitraum von 93,7 auf 52,5 Mrd. US-\$, der Anteil Afrikas am weltweiten Exportgeschäft damit von 4,6 auf 1,8 %.

Auch die *EG-Kommission* kommt zu einer negativen Gesamtbewertung der internationalen Hilfe im allgemeinen. Insgesamt ist die Armut in den AKP-Staaten seit der ersten Lomé-Konvention drastisch gestiegen. Die Handelsstrukturen haben sich kaum in Richtung einer größeren Diversifizierung verändert. Dafür werden zum Teil die weltweit herrschenden Rahmenbedingungen wie die Internationalisierung des Handels und Aushöhlung von Handelspräferenzen, ein drastischer Rückgang von Rohstoffträgen, die Schuldenkrise und die Politik der Strukturanpassung verantwortlich gemacht (DALY 1993).

Hinsichtlich der in den jüngeren Lomé-Abkommen vereinbarten konkreten Maßnahmen wird in Fachkreisen bemängelt, daß durch die Instrumente STABEX (agrarorientiert) und SYSMIN die Entwicklung einer diversifizierten Wirtschaftsstruktur nicht gefördert werde. Vielmehr würden durch die Beschränkung der Unterstützung auf Rohstoffe mit hohen Exportanteilen (15 %-Klausel für Rohstoffe) Anreize zur Stabilisierung von Monostrukturen und Diskriminierung anderer Wirtschaftszweige, etwa der Produktion verarbeiteter Industriewaren, geschaffen. Damit erhalte SYSMIN den Charakter eines Instruments zur Sicherstellung der Rohstoffversorgung der europäischen Abkommenspartner (KAPPEL 1992). Infolge unzureichender Ressourcenausstattung und einer langsamem Wirkungsentfaltung nach Investition habe sich SYSMIN zudem als ineffektiv und ungeeignet für den Ausgleich langfristiger Einkommensverluste erwiesen.

Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen GATT

Im Rahmen der Verhandlungen der Uruguay-Runde zum Allgemeinen Zoll- und Handelsabkommen GATT (General Agreement on Tariffs and Trade) spielen die Nichtenergie-Rohstoffe eine untergeordnete Rolle. Dementsprechend enthält das Abkommen keine diese Rohstoffe betreffenden spezifischen Regelungen.

Im Hinblick auf die Rolle der Rohstoffexporte in der Wirtschaft vieler Entwicklungsländer sind die in den GATT-Verträgen enthaltenen Ausnahmeregelungen von Bedeutung. So können im Rahmen des Allgemeinen Zoll-Präferenzsystems Entwicklungsländern Präferenzzölle gewährt werden, die nicht für andere Länder gelten und von Seiten der Entwicklungsländer nicht durch entsprechende Gegenleistungen beglichen werden müssen. Reduzierte Zölle oder vollständige Zollfreiheit können dabei auch für Halbzeuge und fertige Produkte zugestanden werden. In der Regel werden diese Vorzugsbedingungen jedoch jedem Lieferland nur für von den Industrieländern festgelegte Kontingente eingeräumt.

Seerechtskonvention

Die Gewinnung von Rohstoffen aus den Weltmeeren stellt eine mögliche und bereits teilweise genutzte Alternative zur landseitigen Rohstoffgewinnung dar. Nach internationalem Recht verfügen Küstenländer über eine Wirtschaftszone von zweihundert Meilen, innerhalb derer sie allein zur Nutzung der dortigen Rohstoffvorkommen berechtigt sind. Außerhalb dieser Zone ist grundsätzlich die freie Bewirtschaftung der Meere durch die internationale Staatengemeinschaft möglich.

Der heutige Bergbau im Schelfbereich² der Weltmeere umfaßt neben Erdöl und -gas in verschiedenen Regionen der Erde bereits auch mineralische Rohstoffe (KÄHLER 1992). Aus Sandbänken und Dünen "off-shore" werden titan- und thoriumhaltige Schwermetallseifen gewonnen. In Malaysia und Süd-Thailand liegen marine Zinnseifen in abbauwürdigen Konzentrationen vor (HAAS 1991). Außerdem bergen die Schelfe des südasiatischen Brunei, die auch Malaysia, China und Vietnam für sich beanspruchen, Phosphorite in Form von Knollen, Sanden und Krusten. Diese finden jedoch bislang nur lokales Abbauinteresse, da ihre Förderung kostenintensiv ist und derzeit genügend Landreserven des Rohstoffs erschlossen sind (KÄHLER 1992).

Der Tiefseebergbau beschränkt sich nur auf wenige, wirtschaftlich lohnende Abbauprojekte. Eines davon ist die Förderung von Erzschlämmen im Roten Meer, im Bereich der ozeanischen Rücken und aktiver, mariner Vulkane (KÄHLER 1992). Außerdem gibt es Anreicherungen von Metallen wie z.B. Aluminium im Tiefseeton (BARSCH & BÜRGER 1988). Polymetallische Sulfide weisen einen erstaunlich hohen Wertmetallgehalt in Abbau-, Transport- und Verhüttungsphase auf. Damit ist ihre Nutzung zu Wertmetallgewinnung von geringerer Kostenintensität als die sehr flächenintensive Manganknollenförderung.

Eisenhaltige Manganknollen erlangen erst dann wirtschaftliche Bedeutung, wenn genügend wertvolle Buntmetalle wie Nickel, Kupfer, Kobalt und Zink oder radioaktive Elemente wie Uran und Thorium darin enthalten sind. Ebenso können Mangankrusten auf submarinen Bergen unter Umständen wirtschaftlich nutzbar werden (BRINKMANN 1984). Die marinen Manganknollenressourcen werden als sehr groß eingeschätzt, die technisch und wirtschaftlich nutzbaren "Prime Areas" machen jedoch nur 5 bis 10 % dieser Ressourcen aus. Die vielversprechendsten Vorkommen mit hohem Metallgehalt lagern im sogenannten pazifischen Knollengürtel im Nordostteil des zentralen Pazifik, im Seegebiet zwischen Hawaii und Mexiko (KÄHLER 1992).

Neben dem marinen Bergbau ist die Rohstoffgewinnung aus dem Meer grundsätzlich auch durch Extraktion einzelner Elemente aus dem Meerwasser möglich. Fast alle chemischen Elemente sind im Wasser der Weltmeere enthalten. Allerdings liegen sie meist in so geringen Konzentrationen vor, daß lediglich besondere zwingende Gründe, etwa der Wegfall der anderweitigen Verfügbarkeit eines strategisch wichtigen Rohstoffes, die Rohstoffgewinnung aus dem Meerwasser sinnvoll erscheinen lassen und gewichtige hemmende Faktoren wie energetischer Aufwand, Wirtschaftlichkeit und ökologische Vertretbarkeit nur noch untergeordnete Bedeutung haben. Damit stellt die Rohstoffgewinnung aus dem Meerwasser absehbar keine Alternative zu herkömmlichen Wegen der Rohstoffproduktion dar.

² Unter Rohstoffgesichtspunkten ist es sinnvoll, die Weltmeere in den Schelfbereich, den Kontinentalhang und die Tiefsee zu unterscheiden. Die Tiefseegebiete machen allein 80 % der Oberfläche der Weltmeere aus.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist kein Seerechtsabkommen von einer internationalen Staatengemeinschaft verabschiedet worden, das die Erschließung der Weltmeere unter industriellen Gesichtspunkten regelt. Eine UN-Seerechtskonvention (UNCLOS) befindet sich in Vorbereitung. Die Verhandlungen bewegen sich im Spannungsfeld zwischen der Forderung der Entwicklungsländer nach gemeinsamer und gerechter Nutzung der Weltmeere und den Vorstellungen der Industrieländer bezüglich der Möglichkeiten privatwirtschaftlicher Exploration ohne staatliche dirigistische Vorgaben (KÄHLER 1992).

Der bisherige Entwurf sieht die Einrichtung einer internationalen Meeresbodenbehörde mit weitreichenden Befugnissen vor. Diese Behörde soll die Verfügungsgewalt über die Hälfte der von privaten Bergbauunternehmen entdeckten Vorkommen für sich beanspruchen können, um eine international gerechte Verteilung der Ressourcen zu erreichen. Damit einhergehend wird ein kontinuierlicher Technologietransfer angestrebt, in dem die privaten Unternehmen das Know How für die Exploration kostenlos an die Behörde weitergeben (KÄHLER 1992). Außerdem soll die Internationale Meeresbodenbehörde Aufsichtsfunktionen übernehmen und mit Anweisungsbefugnissen ausgestattet werden. Sie könnte so z.B. einen Ressourcenabbau aus Umweltschutzgründen stoppen oder Fördermengen kontingentieren, wenn die Landförderung und der Absatz einzelner Rohstoffe gefährdet erscheinen (BMW 1993).

Die Chancen auf eine Einigung der verhandelnden Staaten durch das UN-Sekretariat haben sich in jüngerer Zeit verbessert, da sich die Positionen der Entwicklungs- und der Industrieländer angenähert haben. Die Entwicklungsländer sind selbst an der Nutzung der ihrem Land vorgelagerten Ressourcen interessiert. Die derzeit laufenden Verhandlungen werden möglicherweise noch 1994 zum Abschluß kommen (WBV 1993). Ohnehin besteht jedoch erst in 20 bis 25 Jahren Aussicht auf eine wirtschaftliche Förderung von Rohstoffen aus den Weltmeeren (BMW 1993).

Antarktis-Vertrag

Die Antarktis birgt beträchtliche Rohstoffvorkommen. Diese Lagerstätten weisen große Ähnlichkeiten zu Lagerstätten in Südamerika, Südafrika, Madagaskar, Indien, Sri Lanka und Australien auf. Derzeit werden insgesamt ca. neunhundert größere Lagerstätten in der Antarktis vermutet. Allerdings sind bislang nur etwa einhundert Vorkommen metallischer Rohstoffe, vierzig Vorkommen nichtmetallischer Rohstoffe und etwa fünfundzwanzig Kohlevorkommen nachgewiesen (WEBER 1987). Da nur 1 bis 4 % des antarktischen Festlandes eisfrei sind, bleiben nur etwa zwanzig Lagerstätten für eine Förderung zugänglich.

Das größte bekannte Rohstoffpotential der Antarktis bilden Eisenerze, die mit Titan und Buntmetallen vergesellschaftet sein können. Sowohl auf dem Festland als auch im marinen Bereich der Antarktis ist Mangan gefunden worden. Einige Lagerstätten enthalten unter Umständen auch wirtschaftlich bedeutsame Konzentrationen an Chrom, Nickel, Kobalt, Vanadium und Titan. Desweiteren gibt es Funde von Kupfer, Phosphor, Molybdän, Wolfram, Zirkonium, Niob, Uran, Platinmetallen und von Seltenen Erden. Schließlich sind auch Reserven an Gold, Silber, Blei, Zink, Zinn und Edelsteinen (Topas, Bergkristall u.a.) festgestellt worden. Neben den mineralischen Rohstoffen spielen vor allem die antarktischen Vorräte an Kohle, Erdöl und Erdgas, geothermischer Energie und Süßwasser eine bedeutende Rolle in der Diskussion um die rohstoffliche Nutzung der Antarktis (WEBER 1987).

Eine Aussicht auf wirtschaftliche Nutzung antarktischer Rohstofflagerstätten gäbe es grundsätzlich nur für Vorkommen mit hohem Wertstoffanteil (Edelmetalle, Edelsteine), nicht jedoch für Massenrohstoffe wie Eisen- und Mangan-Erze oder minderwertige Erze in Küstenferne (WEBER 1987). Allerdings ist die Nutzung der antarktischen Rohstoffvorkommen aus ökologischer Sicht zumindest bedenklich. Der sechste Kontinent ist durch die riesigen Eismassen, die starken Sommer-Winter-Dynamiken und durch die einzigartige Tier- und Pflanzenwelt ökologisch sehr sensibel. Die Folgen menschlichen Eingreifens in industriellem Maßstab in dieses Ökosystem sind nur schwer vorhersehbar.

Vor diesem Hintergrund haben im sogenannten Antarktis-Vertrag aus dem Jahr 1959 12 Unterzeichnerstaaten völkerrechtlichen Regelungen für die Nutzung der Antarktis festgelegt. Der Vertrag, der 1961 in Kraft trat, hatte eine Geltungsdauer von 30 Jahren. Für diesen Zeitraum war die Antarktis ausschließlich der Grundlagenforschung vorbehalten worden. Seit Beginn der 80er Jahre jedoch wurde gezielt auf Rohstoffe hin geforscht.

Die Diskussion um die Nutzung der antarktischen Rohstoffvorkommen wurde im Jahr 1991 durch ein *Umweltschutzprotokoll zum Antarktis-Vertrag* von 1959 vorläufig beendet, das auf eine Dauer von mindestens fünfzig Jahren jeglichen Bergbau südlich des 60. Breitengrades untersagt (KÄMMERER 1991). Damit wurde den Belangen der Natur der Antarktis zumindest mittelfristig Vorrang vor staatlichen und wirtschaftlichen Interessen eingeräumt.

2.4. Privatwirtschaftliche Aktivitäten im Rohstoffsektor

Im Sinne des privatwirtschaftlichen Vorsorgeprimats kümmern sich die Bergbauunternehmen sowie die industriellen Rohstoffanwender eigenständig um die Versorgung mit Rohstoffen aus Drittländern. Das bedeutet auch, daß sie sich in den Herkunftsländern technologisch, finanziell oder anderweitig engagieren, um die dortigen Maßnahmen des Rohstoffabbaus zu unterstützen bzw. die eigene Versorgung sicherzustellen. In entsprechende Projekte fließen Erkenntnisse der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ein.

Die wichtigsten Ziele deutscher Beteiligungen im Auslandsbergbau sind dabei die Beobachtung des Weltmarktes der Rohstoffe, die Kenntnisgewinnung über Kostenentwicklung bei Produktion und Aufbereitung, die Schaffung einer Basis für weiteres Engagement im jeweiligen Land (z.B. Weiterverarbeitungsanlagen), die Möglichkeit zur rechtzeitigen Einflußnahme sowie die Umgehung drohender Abhängigkeiten (ANGER 1990).

Der internationale Bergbau ist in zunehmenden Maße vernetzt, woran auch deutsche Unternehmen maßgeblich beteiligt sind. Die Beteiligungen deutscher Unternehmen im Auslandsbergbau konzentrieren sich vorwiegend auf andere Industrieländer, vor allem in Europa, Nordamerika und Australien. Regionale Schwerpunkte bilden in Europa Frankreich, Griechenland, Italien und Österreich, in Amerika Kanada, die USA, Brasilien und Mexiko, in Asien Malaysia, die Philippinen, Süd-Korea, Thailand und die Türkei sowie in Afrika die Staaten Liberia, Namibia, Niger, die Republik Südafrika und Tunesien (ANGER 1990). Dabei bewegen sich die Beteiligungen deutscher Unternehmen an dortigen Bergbauprojekten zwischen 0,5 und 100 %.

Beispielsweise bildet die *Preussag AG*, Hannover (über 50 % Anteile) zusammen mit der französischen Firma *Societe Miniere et Metallurgique de Penarroya* eine Holdinggesellschaft *Metaleurop S.A.*, Paris, die die Produktion und Verarbeitung auch von Sondermetallen für die beteiligten Firmen übernimmt. Diese Holdinggesellschaft ist in Frankreich, Peru und in der Türkei auf dem Bergbausektor tätig. Sie versucht im Hinblick auf den Europäischen Binnenmarkt die Synergieeffekte der Kooperation zweier großer Unternehmen zu nutzen. Durch die Gründung einer Dachorganisation, der *Metal Mining Corporation* in Toronto, Kanada, hat die *Metallgesellschaft AG* für den Bergbaubereich einen eigenen Teilkonzern entwickelt (ANGER 1990).

Die deutsche Bergbauindustrie ist vorwiegend an einem Ausbau der Beziehungen zu anderen westlichen Ländern interessiert, besonders zu Ländern der Europäischen Gemeinschaft. Die ehemaligen Kontakte von Bergbauunternehmen in den neuen Bundesländern zu den Staaten Osteuropas bilden die Grundlage für die Mittlerrolle der Bundesrepublik Deutschland bei Investitionen in osteuropäischen Ländern. Die deutsche Bergbauindustrie ist sehr an einer Zusammenarbeit mit den Staaten der GUS, vor allem Russland, der Ukraine und Kasachstan, im Rohstoffbereich interessiert und angesichts der geographischen Nähe und der Chancen der sich vollziehenden wirtschaftlichen Umbrüche grundsätzlich zu Investitionen in diesen Ländern bereit. Wegen der unsicheren politischen Situation herrscht jedoch Zurückhaltung bei größeren Investitionen. Die EU hat zwei Förderprogramme für die GUS (TACIS 450 Mio. ECU) und die mittelosteuropäischen Länder (FAR) eingerichtet. Diese sollen Investitionen in den Bereichen Landwirtschaft, Infrastruktur, Energie und Ausbildung vorbereiten.

Neuerdings richtet sich der Blick der deutschen Bergbauindustrie auch auf Schwellen- und Entwicklungsländer, die z.T. erhebliche Rohstoffreserven besitzen (ANGER 1990). Seit 10 Jahren gibt es eine Kooperation von staatlichen Stellen zwischen China und der BRD im Bereich der geologischen Forschung. Jedoch gibt es keine Vorstufen für eine industrielle Kooperation.

Deutsche Rohstoffunternehmen neigen zu Beteiligungen in eher fortgeschrittenen Bergbauprojekten, um Kosten und Risiken der Erkundung von Rohstoffen möglichst gering zu halten (ANGER 1990). Deshalb nimmt die *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* in der Rohstofferkundung eine Schlüsselrolle für deutsche Unternehmen ein. Ein weiterer Trend bei deutschen Bergbauunternehmen ist deren Bestreben, möglichst hohe Anteile an anderen Firmen zu erwerben. Dabei wird im Zuge solcher Beteiligungen nicht nur die Gewinnung von Rohstoffen, sondern auch deren Weiterverarbeitung angestrebt (ANGER 1990). So findet z.B. die Raffination von Tantal-Konzentraten v.a. in den USA, *Union Carbide*, der Bundesrepublik Deutschland, *Hermann C.Stark*, und Belgien, *S.A.Metallurgie Hoboken*, statt (SAAGER 1984).

2.5. Bedeutung mineralischer Rohstoffe in der deutschen Entwicklungspolitik

In Anbetracht der großen Bedeutung des Bergbaus für industrielle, infrastrukturelle und soziale Entwicklungsprozesse in Entwicklungsländern fördert das BMZ im Rahmen eines Sektorkonzeptes "Mineralische Rohstoffe" bergbauorientierte Projekte. Vorrangige Ziele der technischen Zusammenarbeit sind die Stärkung der

technologischen Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung ortsangepaßter technologischer Lösungen, die Deckung des Bedarfs an mineralischen Rohstoffen zur Verbesserung der Lebensbedingungen und die Sicherstellung einer angemessenen und nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung. Die Projekte sollen wichtige Beiträge zur Industrialisierung, zum Ausbau der Energieversorgung, zur ländlichen Entwicklung, zur Steigerung von Devisenerlösen und zum Abbau äußerer Abhängigkeiten leisten. Im Zuge dieser Aktivitäten wird auch eine Steigerung der Versorgungssicherheit der Bundesrepublik mit mineralischen Rohstoffen angestrebt. Insgesamt stehen für die Zusammenarbeit im mineralischen Rohstoffbereich jährlich etwa 30 Mio. DM entsprechend ca. 0,4 % des Gesamtetats des BMZ zur Verfügung (BMZ 1994).

Im Vordergrund der Bemühungen steht die Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung des Entwicklungslandes. Daher konzentriert sich die Förderung auf Basisrohstoffe wie Steine- und Erden-Rohstoffe, für die auch in Entwicklungsländern Bedarf besteht. Diese Rohstoffe können im arbeitsintensiven Kleinbergbau ohne großen technologischen Aufwand abgebaut werden.

Dagegen ist die Zusammenarbeit in der Gewinnung von Rohstoffen für die Produktion von Hochtechnologiegütern im Sektorkonzept "Mineralische Rohstoffe" von untergeordneter Bedeutung. Aus entwicklungspolitischer Sicht war es bislang nicht maßgeblich, welche Absatzchancen ein mineralischer Rohstoff auf dem Weltmarkt hat und wie sich Anwendungspotential und -wahrscheinlichkeit künftig entwickeln werden. Die Strategie der Bundesregierung zielt damit nicht auf die Schaffung internationaler Wettbewerbsfähigkeit auf dem Rohstoffsektor, sondern die Unterstützung regional orientierter Projekte mit möglichst unmittelbarer Wirkung.

3. Rohstoffe für neue Werkstoffe

3.1. Grundzüge der Entwicklung neuer Werkstoffe

Im Zuge der allgemeinen industriellen Entwicklung haben sich Werkstoffe und Werkstofftechnologien immer mehr zu einem technologischen Querschnittsfeld mit ausgeprägtem Schlüsselcharakter entwickelt. Insbesondere die Entwicklung moderner Hochtechnologien ist in enger Weise mit Fortschritten in der Werkstofftechnik und Werkstoffwissenschaft verknüpft. Neue Entwicklungen auf dem Werkstoffsektor führen auch zu Verbesserungen in der Herstellungs- und Anlagentechnik und im Verbund mit neuen Materialien insgesamt zu neuen technologieintensiven Produkten. Neue Werkstoffe³ sind damit ein wesentlicher Stützpfeiler der industriellen Wettbewerbsfähigkeit.

Im Bereich der wesentlich auf Werkstoffeigenschaften aufbauenden Produkte ist eine allgemeine Tendenz zu immer komplexeren Aufgaben der Werkstoffe zu erkennen, die eine möglichst große Vielseitigkeit und Beanspruchbarkeit erfordern. Vor diesem Hintergrund wird die genaue Einstellbarkeit von Werkstoffeigenschaften sowohl in der Phase der Werkstoffherstellung als auch - in modernen Technologien - während des Einsatzes immer wichtiger. Diesen zunehmend differenzierteren Anforderungsprofilen werden vor allem moderne Funktionswerkstoffe gerecht. Zum Teil können hochtechnologische Systeme nur mit Hilfe von Funktionswerkstoffen realisiert werden. Aber auch Strukturwerkstoffe werden durch 'Maßschneidung' ihrer Eigenschaften immer stärker an wachsende Anforderungen angepaßt.

Diese Entwicklungen bedingen wichtige grundsätzliche Tendenzen in der Materialwissenschaft und -technik. Werkstoffe für Zukunftstechnologien werden in ihrer physikalischen Struktur oder chemischen Zusammensetzung immer komplizierter. Das bedeutet zum einen, daß technologisch anspruchsvollere und z.T. energetisch aufwendige Produktions-, Bearbeitungs- und Prüfverfahren notwendig werden.

Andererseits hat der Einsatz neuer Werkstoffe auch Auswirkungen auf den Rohstoffsektor. Spektrum und Umfang der in der Werkstoffherstellung verwendeten Rohstoffe können signifikanten Änderungen unterworfen werden. Zunehmend kommen speziellere Rohstoffe zum Einsatz, die zum Teil nur in global betrachtet sehr geringen Mengen benötigt werden. Der Bedarf an bisher wichtigen Rohstoffen kann unter Umständen durch Substitution mittels eines anderen Werkstoffs oder alternative Werkstoffkonzepte deutlich zurückgehen.

Die vorliegende Untersuchung behandelt ausschließlich den Bereich der **mineralischen Rohstoffe**, die die Ausgangsstoffe für die Werkstoffentwicklung und industrielle Anwendung bilden. Energie- und nachwachsende Rohstoffe werden nicht berücksichtigt.

³ Der Begriff "Neue Werkstoffe" wird gegenwärtig in der Literatur nicht einheitlich verwendet. In dieser Studie wird unter einem neuen Werkstoff ein Material mit neuer physikalischer Struktur und/oder chemischer Zusammensetzung verstanden.

Auf der Grundlage von Funktion und Bedarf moderner technologischer Systeme können die Werkstoffe identifiziert werden, die nach heutigem Stand des Wissens in der Entwicklung der Zukunftstechnologien von Bedeutung sein werden. In Zukunft sind die folgenden Hochtechnologiefelder mit Werkstoffbezug von vorrangiger Bedeutung (FhG-INT 1993):

Mikroelektronik	Energietechnik	Medizin und Biotechnik
Übrige Elektronik	Lasertechnik	Biotechnologie
Optoelektronik	Sensorik	Umwelttechnik
Photonik	Wehrtechnik	Luft- und Raumfahrt
Nichtlineare Optik	Informations- und	Transport- und
Mikrosystemtechnik	Kommunikationstechnologie	Antriebstechnik

Für Fortschritte im Bereich neuer Werkstoffe sind zwei Entwicklungspfade maßgeblich. Zum einen hängt die industrielle Fähigkeit zur Synthese neuer Werkstoffe entscheidend von der Verfügbarkeit eines hochentwickelten technologischen Rüstzeugs ab. Moderne Herstellungs-, Bearbeitungs- und Prüfverfahren ermöglichen sowohl die Optimierung von Eigenschaftsprofilen konventioneller Werkstoffe durch Modifikation der physikalischen Struktur oder chemischen Zusammensetzung als auch die Realisierung neuer, innovativer Werkstoffkonzepte. Zweitens stützt sich eine Reihe von Entwicklungen auf die Verwendung neuer chemischer Komponenten. Neue, unter Umständen seltene Rohstoffe gewinnen in einigen Technikbereichen an Bedeutung. Eine eingehende Darstellung neuer Entwicklungen im Werkstoffbereich findet sich im Anhang.

Mit der Entscheidung für einen Werkstoff ist auch die Entscheidung für einen Rohstoff oder eine bestimmte Rohstoffkombination verbunden. Aufgrund ihrer vielfältigen Vernetzung mit nachgeordneten Problemfeldern kommt der Auswahl der Rohstoffe für die Werkstoffsynthese große Bedeutung zu. Auf Unternehmensebene sind es technologische, wirtschaftliche, ökologische und arbeitsschutztechnische Gesichtspunkte, die die Rohstoffauswahl mitbestimmen. Aus makroskopischer Sicht besteht darüberhinaus eine enge Verknüpfung der Rohstoffproblematik mit politischen, strategischen und sozialen Themen.

Bei der Herstellung neuer Werkstoffe kommen Rohstoffe aus einem breiten Spektrum zum Einsatz. Dazu zählen konventionelle, d.h. bereits häufig und in verschiedenen Anwendungen eingesetzte Rohstoffe ebenso wie neue Rohstoffe. Entsprechend der Vielfalt der Werkstoffe gibt es zunächst keine bevorzugten oder besonders geeigneten Ausgangsstoffe.

In vielen Bereichen bilden umfangreich vorhandene und häufig verwendete **Massenrohstoffe** nach wie vor den Ausgangspunkt der Werkstoffentwicklung. Dies gilt für die Optimierung der Eigenschaftsprofile konventioneller Werkstoffe ebenso wie für die Umsetzung innovativer Werkstoffkonzepte in neue Werkstoffe. Ein Beispiel dafür ist die Stahlproduktion: Auch bei neuen hochentwickelten Stählen (der Großteil der derzeit verwendeten 2500 verschiedenen Stahlsorten kam erst innerhalb der letzten zehn Jahre auf den Markt) machen die klassischen Ausgangsstoffe wie Eisen, Mangan, Chrom, Kobalt etc. unverändert den mengenmäßig größten Teil der in der Stahlproduktion verwendeten Rohstoffe aus.

Auch im Bereich moderner Funktionswerkstoffe spielen konventionelle Rohstoffe weiterhin eine wichtige Rolle. Beispielsweise ist das praktisch unbegrenzt verfügbare Silizium in der Elektronik längst ein konventioneller Rohstoff. Gleichzeitig werden mit Hilfe von Silizium moderne nichtoxidische Funktionskeramiken hergestellt.

Schließlich kommen auch völlig neue Werkstoffkonzepte nicht ohne klassische Rohstoffe aus. So bestehen die gegenwärtig intensiv untersuchten Fullerene z.B. ausschließlich aus Kohlenstoff.

Neben konventionellen Massenrohstoffen bedient sich die Werkstoffproduktion häufig auch **konventioneller seltener Rohstoffe** wie Gold, Bismut, Arsen, Tantal oder Diamant, die etwa als Zusätze, Dotierungen oder Beschichtungen verwendet werden.

Fortschritte in den Verfahren der Werkstoffherstellung und -bearbeitung eröffnen ein breites Spektrum von Möglichkeiten zur anwendungsorientierten Optimierung der Eigenschaften konventioneller Materialien. Darin besteht eine zusätzliche Chance für konventionelle Rohstoffe, in der Entwicklung künftiger Hochtechnologiesysteme berücksichtigt zu werden. Die Notwendigkeit zur Werkstoff- und, daran gekoppelt, zur Rohstoffsubstitution nimmt ab, wenn die Anpassung eines Werkstoffes an neue Anforderungen möglich wird.

Dennoch weitet sich in gewissen Technologiefeldern der Einsatz **neuer Rohstoffe** aus, und zwar dort, wo er technologisch induziert und wirtschaftlich vertretbar ist. Die neuen Rohstoffe bergen zum Teil die Möglichkeit zur Herstellung von Werkstoffen, die sich mit konventionellen Rohstoffen nicht realisieren lassen.

Tabelle 3.1 gibt Beispiele für Rohstoffe für neue Werkstoffe aus verschiedenen Kategorien an. Die Einordnung einzelner chemischer Elemente in die gewählten Kategorien ist nicht streng zu verstehen, da im Prinzip keine scharfe Trennung zwischen ihnen möglich ist. Hinzu kommt, daß sich manche Elemente nur schwer entsprechend dieser Einteilung klassifizieren lassen. So kann z.B. Kohlenstoff nicht unbedingt als Massenrohstoff bezeichnet werden, obwohl er ein Grundbestandteil aller polymeren Verbindungen, also aller Kunststoffe, und zudem problemlos verfügbar ist.

Abbildung 3.3: Weltproduktion ausgewählter Rohstoffe für neue Werkstoffe (logarithmische Darstellung, Daten von 1984 bis 1989)

in t pro Jahr

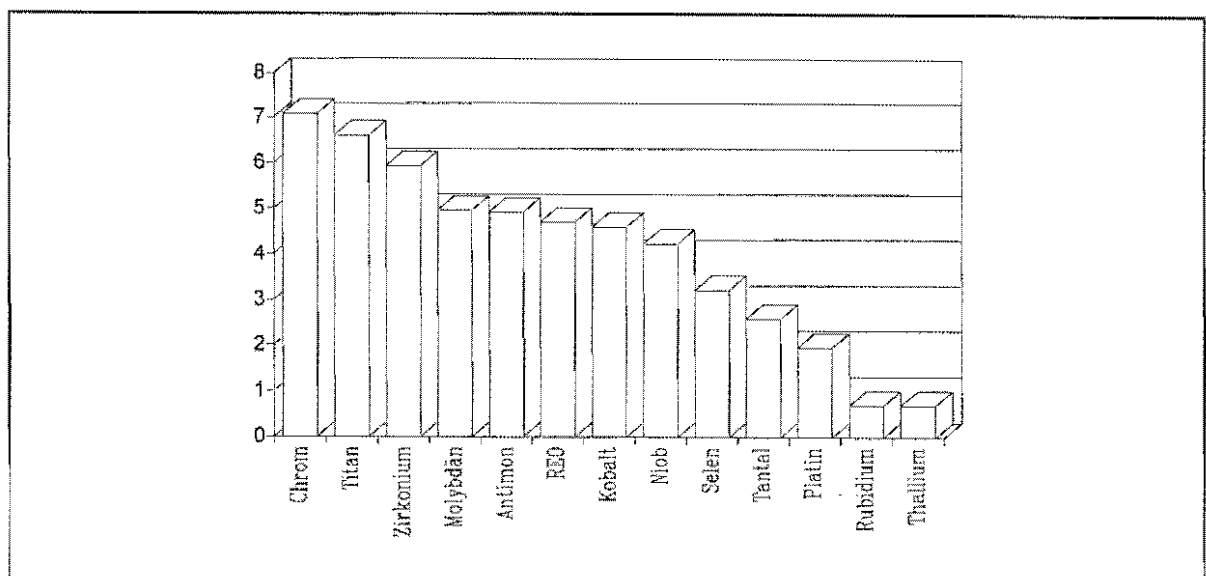


Tabelle 3.1: Beispiele von Rohstoffen für verschiedene neue Werkstoffe

Neue und verbesserte Werkstoffe	Rohstoffe		
	Konventionelle Massenrohstoffe	Konventionelle Sonderrohstoffe	Neue Rohstoffe
Metalle	Aluminium, Chrom, Eisen, Kupfer, Magnesium, Mangan, Molybdän, Nickel, Silizium, Titan, Wolfram, Zink, Zinn	Beryllium, Kobalt, Lithium, Niob	Dysprosium, Neodym, Samarium, Yttrium
Keramiken	Aluminium, Barium, Blei, Kupfer, Molybdän, Silizium, Titan, Wolfram, Zink	Diamant, Quecksilber, Selen, Strontium, Zirkonium	Lanthan, Thallium, Yttrium
Gläser	Aluminium, Blei, Fluor, Schwefel, Silizium	Arsen, Cadmium, Gallium, Gold, Lithium, Selen, Silber, Tellur, Thallium, Zirkonium	Cäsium, Erbium, Neodym, Praseodym, Rubidium
Halbleitermaterialien	Aluminium, Antimon, Bor, Mangan, Phosphor, Schwefel, Silizium, Zink,	Arsen, Cadmium, Diamant, Gallium, Germanium, Indium, Quecksilber, Selen, Tellur	

Als Ausgangsmaterialien für neue Werkstoffe kommen sowohl Rohstoffe mit einer Weltjahresproduktion im Megatonnenbereich als auch in der Größenordnung weniger Tonnen pro Jahr in Frage.

3.2. Ein Beispiel für neue Rohstoffe: Seltene Erden

Als Seltene Erden werden die sogenannten Lanthaniden zuzüglich der Elemente Scandium, Yttrium und dem Actinid Thorium bezeichnet. Es handelt sich dabei um Elemente, die sehr große relative Atommassen besitzen und sehr selten in der Erdkruste zu finden sind. Die einzelnen Elemente werden in Leichte, Mittelschwere und Schwere Seltene Erden unterschieden. Die aus wirtschaftlicher Sicht wichtigsten Minerale, die Seltene Erden in förderwürdigen Konzentrationen enthalten, sind Bastnaesit, Monazit und Xenotim. Daneben spielen noch Apatit, Brannerit und Ionen-Adsorptions Tone eine Rolle (O'DRISCOLL 1991).

Die Gewinnung Seltener Erden erfolgt sowohl auf dem Weg der direkten Förderung dieser Minerale als auch in der Nebenproduktion. In Mountain Pass in den USA, der zweitgrößten Weltreserve von Bastnaesit, wird das Mineral aufgrund seiner relativ hohen Konzentration an Seltene Erden primär gefördert (KAMITANI 1991). Monazit

wird häufig als Beiprodukt beim Abbau schwermetallhaltiger Mineralen wie Ilmenit, Rutil und Zirkonium gewonnen (O'DRISCOLL 1991). An der Westküste Australiens wird die Nebenproduktion von Monazit wegen des wachsenden Bedarfs an Titan und Zirkonium derzeit noch gesteigert (KAMITANI 1991). Xenotim wird unter anderem als Beiprodukt der Zinnförderung in Malaysia gewonnen (O'DRISCOLL 1991). Die wirtschaftlich bedeutsamen Vorkommen von Seltenen Erden sind global auf wenige Regionen konzentriert.

Die Förderung von Mineralen der Seltenen Erden und anschließende Isolierung der reinen Elemente gehören zu den kompliziertesten und kostenintensivsten Gewinnungsverfahren aller industriell genutzten Minerale (GOVETT & THOMAS 1991). Besonders in der Nebenproduktion bei der Titangewinnung ist die Extraktion Seltener Erden ist technologisch sehr anspruchsvoll (O'DRISCOLL 1991). Die Entwicklung effektiver Lösungs-Extraktionsverfahren bildet eine der vorrangigen Aufgaben in der künftigen Produktion von Seltenen Erden.

Die Aufnahme der Produktion von Seltenen Erden ist für Unternehmen mit einem hohen wirtschaftlichen Risiko verbunden. Dies liegt zum einen an dem bei der Gewinnung erforderlichen hohen technologischen und finanziellen Aufwand. Zudem hängen die Anwendungsaussichten der Seltenen Erden entscheidend von neuen Entwicklungen im Werkstoffbereich ab, die nicht exakt vorhergesehen werden können.

Tabelle 3.2: Weltreserven und geschätzte Weltproduktion von Seltenen Erden in 1989 (nach CLARK and ZHENG 1991, O'DRISCOLL 1991)

Land	Reserven		Land	Förderung	
	Nationale Reserven in t *	Anteil an Weltreserven in %		Förderumfang in t *	Anteil an Weltförderung in %
China	37.000.000	76,1	China	20.000	39,2
USA	6.470.911	13,3	USA	14.000	27,4
Indien	1.939.241	4,0	Australien	7.200	14,1
Republik Südafrika	986.820	2,0	Malaysia	3.300	6,5
Andere marktw. Länder	962.984	2,0	Indien	2.200	4,3
Australien	753.923	1,6	UdSSR	1.500	2,9
UdSSR und andere	500.000	1,0	Brasilien	1.100	2,2
			Südafrika	900	1,8
			Thailand	800	1,6
Summe	48.613.879	100		51.000	100

*) bezogen auf den Gehalt an Oxiden Seltener Erden

Der Weltmarkt Seltener Erden wird derzeit von wenigen Herkunftsländern dominiert. Zu den wichtigsten gehören China, die USA und Australien. Noch 1983 produzierte China weniger als 4.000 t an Oxiden Seltener Erden. Inzwischen ist die chinesische Produktion auf weit über 20.000 t gestiegen. Damit trägt allein China gegenwärtig etwa 40 bis 50 % der Weltproduktion. 80 % von Chinas Seltenen Erden werden in einer einzigen Mine, Bayan Obo, gewonnen. Die Position Chinas auf dem Weltmarkt gewinnt dadurch an zusätzlichem Gewicht, daß in einigen Hochtechnologieanwendungen, insbesondere in der Elektronik, vor allem Oxide der Mittleren und Schweren Seltenen Erden benötigt werden. Hier hält China derzeit einen Marktanteil von 70 %.

Die USA sind derzeit auf dem in Hinblick auf die Versorgung mit schwereren Seltenen Erden weniger wichtigen Bastnaesit-Markt führend (O'DRISCOLL 1991).

Gegenwärtig verzeichnet die Produktion von einfachen Oxiden Seltener Erden in China Steigerungsraten von jährlich 15 %. Jedoch sieht sich das Land einer Reihe von Problemen gegenüber, die für Entwicklungsländer charakteristisch sind. Die zur Produktion hochwertiger Oxide und neuer Werkstoffe erforderlichen Technologien sind nicht hinreichend vorhanden (CLARK & ZHENG 1991). Der Ausbau der führenden Weltmarktposition wird durch eine schwache Infrastruktur, innenpolitische Streitigkeiten, ein unzulängliches Marketing und lückenhafte Qualitätskontrollen in der Produktion behindert. Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten hat die GUS China im Jahr 1989 einen Kredit über 200 Mio. Schweizer Franken für die Modernisierung und Erweiterung der *Baotou Iron and Steel Plant* in der Inneren Mongolei eingeräumt (CLARK & ZHENG 1991). In den 90er Jahren werden Erweiterungen der weltweiten Verarbeitungskapazitäten Seltener Erden und ein erhöhtes Rohstoffangebot erwartet. China wird dabei mit einer Reihe weiterer geplanter Anlagen in Zukunft auch in der Verarbeitung von Seltenen Erden eine zunehmende Bedeutung einnehmen (O'DRISCOLL 1991).

Der Handel mit Seltenen Erden unterliegt in China bereits gegenwärtig Auflagen von staatlicher Seite. Für Erze, die mehr als 5 % Yttrium enthalten (2000 t), und für Ionenadsorptions-Tone gibt es in China staatliche Exportbeschränkungen. Offiziell können chinesische Seltene Erden nur über drei chinesische Import/Export-Firmen bezogen werden. In der Praxis jedoch erfolgt der Bezug auch von anderen Unternehmen bei Umgehung der staatlichen Preiskontrollen. Das *State Council Rare Earth department* bevorzugt große und mittlere Produzenten von Seltenen Erden und strebt asiatische Kooperationen und Technologietransfers an (IM JAN 1991).

In Australien werden Anstrengungen unternommen, ebenfalls größere Marktanteile bei Seltenen Erden zu erreichen. Dazu werden verschiedene Gewinnungspfade verfolgt. Gegenwärtig bringen Seltene Erden als Beiprodukte einen erheblichen Wertzuwachs in der Titan-Produktion (O'DRISCOLL 1991). Weiterhin werden die Wiederaufbereitung Scandium-reicher Uranstäbe, die Gewinnung von Yttrium aus importiertem Material und Spaltung des gewonnenen Monazits betrieben. In der Zukunft bietet sich die Ausbeutung von Lagerstätten in Ostaustralien an, die neben den Seltenen Erden Cerium, Neodym und Lanthan auch Lutetium, Nickel, Kupfer und Lithium enthalten (PLIMER 1990).

Korea gewinnt in staatseigener Produktion Seltene Erden aus Monazit wie die mit chinesischer Technologie ausgerüstete *International Chemical Joint Venture Corporation So* entsteht eine echte Konkurrenz zu China im Export von Seltenen Erden (IM JUNI 1991).

Die Erschließung weiterer Vorkommen hängt sowohl von der direkten Nachfrage nach Seltenen Erden als auch bei der Koppelproduktion von der Nachfrage nach den Hauptrohstoffen ab. So könnte etwa bei wachsendem Zirkonium-Bedarf die Erschließung von Seltenen Erden als Beiprodukt von Zirkonium in Australischen Sanden und in Grönland erfolgen. Andererseits wurde z.B. durch die Reduzierung der Uran-Produktion und dessen Beiprodukt Yttrium Ende der 80er Jahre in Kanada die Erschließung von Yttrium-Zirkon-Lagerstätten in Nevada durch ein US-amerikanisches Unternehmen in Gang gebracht (O'DRISCOLL 1991).

Die weltweite weiterverarbeitende Industrie im Bereich der Seltenen Erden wird von Unternehmen in den USA, Frankreich und Japan dominiert. Japans Industrie mit

Seltenen Erden wächst rapide. Das japanische Unternehmen *SSMC* z.B. ist inzwischen der führende Produzent von Dauermagneten. Etwa 80 % seiner Produktion werden nach Europa und den USA exportiert. Insgesamt werden Produkte unter Verwendung Seltener Erden überwiegend in den westlichen Industrienationen hergestellt. Daneben haben auch Brasilien, Indien und Malaysia ihre eigenen Verarbeitungsanlagen entwickelt (O'DRISCOLL 1991). Die Herkunftsländer selbst übernehmen jedoch bisher nur in geringem Umfang die Weiterverarbeitung.

Damit kommt der Gewährleistung der Versorgung mit seltenen Erden aus der Sicht der Industrieländer besondere Bedeutung zu. Zu den wichtigsten Maßnahmen der Versorgungssicherung hat sich international die Bildung von **Joint Ventures** entwickelt. Unter Beteiligung von Unternehmen aus China, Japan, Korea, den USA und Kanada haben sich bereits eine Reihe solcher Zusammenschlüsse etabliert.

Ein Beispiel dafür bildet die japanische Industrie. Die Versorgung Japans mit Seltenen Erden geschieht ausschließlich durch Import. Vor diesem Hintergrund haben japanische Unternehmen weitreichende Vereinbarungen mit Produzenten in China und den USA getroffen. Gegenüber China hat sich Japan dabei zur gemeinsamen Erschließung der chinesischen Ressourcen, zur Abnahme großer Produktionsmengen und zu einem intensiveren Technologie-Transfer verpflichtet (CLARK & ZHENG 1991). Auch aus Korea wird Japan in größerer Menge Minerale mit Seltenen Erden beziehen und dieses dann weiterverarbeitet auf den Weltmarkt exportieren.

Ebenso versuchen amerikanische Firmen, ihre Rohstofflieferungen aus China durch Joint Ventures zu sichern. Z.B. schloß die US-Firma *Iredas International Company* einen Vertrag mit der chinesischen *Ke Ning Da Industrial Co. Ltd* über die gemeinsame Produktion von jährlich 40 t Neodym-Eisen-Bor-Magneten mit Hilfe der Technik und Ausrüstung der US-Firmen (CLARK & ZHENG 1991).

Anwendungen Seltener Erden

Angesichts der entscheidenden Rolle neuer Werkstoffe in der künftigen industriellen Produktion von Hochtechnologiegütern haben die Seltenen Erden insbesondere auf der Nachfrageseite an Bedeutung gewonnen. Bisher wurden sie im wesentlichen für katalytische Anwendungen in der chemischen Industrie und im Automobilbau verwendet. Ende der 80er Jahre ging die Nachfrage nach Lanthan bei der Mineralölkatalyse zurück, wo es durch Zeolithe ersetzt wurde. Auch gewöhnliche Mischmetalle mit Seltenen Erden sind derzeit von einem Rückgang der Nachfrage betroffen (CLARK & ZHENG 1991).

In der Zukunft jedoch können die Anwendungsfelder Seltener Erden ein breites Spektrum moderner Technologiebereiche überstreichen. So werden voraussichtlich Zusätze von Seltenen Erden z.B. bei der Produktion vieler Elemente der **Informations- und Kommunikationstechnologien** Verwendung finden. Dazu zählen Anwendungen als Leuchtstoffe in Bildschirmen für HDTV-Fernsehgeräte und Computer ebenso wie in elektronischen und optoelektronischen Komponenten, magneto-optischen Speichermedien, Lichtleitermaterialien oder in Permanentmagneten für kleine Motoren z.B. in Diskettenlaufwerken und Videokameras. In der **Energietechnik** kommen Seltene Erden bei der Herstellung keramischer Hochtemperatur-Supraleiter und moderner Batterien zum Einsatz. So sind etwa Lanthan-Nickel-Batterien gegenüber den herkömmlichen Nickel-Cadmium-Systemen schneller wiederaufladbar, haben eine größere Kapazität und sind umweltfreundlicher (O'DRISCOLL 1991). Die **Lasertechnik** nutzt einige Seltene Erden für die Produktion laseraktiver Kristalle und in elektro-optischen Keramiken zur Beeinflussung der

Strahleigenschaften. Metallische Speziallegierungen können durch Zusatz Seltener Erden in ihren mechanischen Eigenschaften und ihrer Korrosionsbeständigkeit verbessert werden (O'DRISCOLL 1991). Schwere Seltene Erden werden unter anderem in hochfesten **Dauermagneten** eingesetzt. Neben Kobalt-Samarium- und Praseodymium-Permanentmagneten wurden in jüngster Zeit Neodym-Eisen-Bor-Dauermagnete für Elektromotoren entwickelt (FRAUENHOFER-INSTITUT 1991). Einsatzfelder dieser Permanentmagneten sind z.B. die Computertechnik, die Medizin, Meßgeräte und Lautsprecher.

Tabelle 3.3: Neue Anwendungen ausgewählter Seltener Erden (nach CLARK and ZHENG 1991, O'DRISCOLL 1991)

Seltene Erde	Beispiele für Neue Anwendungen
Cerium	Autokatalysatoren, leichtere Feuersteine, Pulverschleifmittel für Präzisionsschleifen von TV-Röhren, Farbstoff für Gläser und Keramiken,
Dysprosium	Additiv in NdFeB-Permanentmagneten,
Lanthan	Katalysatoren (Chemische Industrie, Automobilbau), Leuchtstoff in Bildschirmen (HDTV, Computer), Batterietechnik (Lanthan-Nickel-Batterien), keramische Supraleiter, Optoelektronik (elektrooptische Keramiken, optische Fasern und Linsen),
Terbium	Magneto-optische Datenspeicher (FeTb-Legierungen)
Neodym	Laser ($\text{NdP}_5\text{O}_{14}$), Permanentmagnete (NdFeB)
Samarium	Permanentmagnete (CoSm), Laserkristalle,
Europium	Leuchtstoffe für Farb-TV (Aktivatoren) auch in der HDTV-Technik, fluoreszierende Lampen
Gadolinium	Laser, Mikrowellentechnik (Gd-iron garnets), burnable poisons in nuclear reactors
Yttrium	Leuchtstoffe für Farb-TV, Laserkristalle, Eigenschaftsverbesserung metallischer Speziallegierungen, Mikrowellentechnik

Gegenwärtig nehmen Konzentrate leichter Seltener Erden für Anwendungen in der chemischen Industrie, der Metallurgie, als Schleifmittel für Glas und in der Keramik den weitaus größten Teil der Produktion ein. Nur etwa 10 % werden als hochreine Derivate für neue Anwendungen wie Leuchtstoffe, Dauermagneten, Spezialgläser oder Batterien benötigt.

Im Jahr 1989 belief sich der Bedarf an Seltenen Erden, in der Form gemischter oder reiner Oxide, weltweit auf etwa 28.000 t. Bis zum Jahr 1996 wird ein Anstieg des Bedarfs auf ca. 37.000 t erwartet. In dieser Schätzung sind neue Anwendungen wie etwa der Einsatz in Hochtemperatur-Supraleitern noch nicht berücksichtigt (TAYLOR 1991). Den nach ihrem Wert größten Anteil am künftigen Markt der Seltenen Erden haben Leuchtstoffe, bei denen im Jahr 1996 allein Yttrium, Europium und Terbium 94 % des Marktes ausmachen werden.

Tabelle 3.4: Bedarf an Seltenen Erden in den Jahren 1990 und 1996 (TAYLOR 1991)

Anwendung	1990		1996	
	Menge	Wert	Menge	Wert
Leuchtstoffe	3	37	4	40
Permanentmagnete	7	20	15	23
Katalysatoren	40	16	35	11
Glasindustrie	18	12	17	10
Mischmetalle/ Legierungen	26	4	22	2
Keramiken	2	6	2	8
Andere	4	5	5	6
Summe	100	100	100	100

Die Substitutionsmöglichkeiten der Seltenen Erden sind aufgrund ihrer spezifischen Verwendung in vielen Einsatzbereichen beschränkt. Zwar werden Seltene Erden meist nur in geringen Mengen benötigt, doch sind sie vielfach nicht durch andere Rohstoffe ersetzbar. Mit gewissen Qualitätseinbußen können z.B. Lanthan-Nickel-Batterien durch Nickel-Cadmium-Systeme ersetzt werden. Cerium und Lanthan sind in Konvertern von Autoabgasen durch Nickel und das teure Rhodium zu substituieren. In Supraleitern ist die Substitution von Yttrium und Holmium durch Bismut-Oxide möglich (O'DRISCOLL 1991).

Schlussfolgerungen

Seltene Erden verfügen in künftigen Technologien über ein breites Anwendungsspektrum. Gegenwärtig zeichnen sich keine Probleme hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit ab. Allerdings ist die Produktion der als Ausgangsstoff für die Weiterverarbeitung verwendeten Oxide der Seltenen Erden auf einen engen Kreis von Ländern konzentriert, in dem China binnen eines Jahrzehnts eine deutlich dominierende Stellung eingenommen hat. Die Produktion wichtiger Elemente wie Yttrium und anderer Schwerer Seltener Erden ist auf China, Malaysia und die Uran-Förderung in Kanada beschränkt (O'DRISCOLL 1991).

Der Weltmarkt Seltener Erden ist derzeit stabil. Trotz wachsenden Bedarfs können die gegenwärtig erschlossenen Produktionsquellen die Nachfrage, möglicherweise mit Ausnahme von Yttrium, voraussichtlich zumindest innerhalb der nächsten Dekade befriedigen. Zusätzliche Förderkapazitäten werden sich im wesentlichen auf die Koppelproduktion beschränken. Primäre Abbauvorhaben kommen aufgrund des hohen Aufwandes zur Extraktion der Elemente nur bei Bedarf an bestimmten hochreinen Seltenen Erden in Betracht. Sollten sich Konzepte der keramischen Hochtemperatursupraleiter durchsetzen, könnte der bereits begrenzte Markt der Seltenen Erden mittelfristig zu einem limitierenden Faktor für die industrielle Durchsetzung der damit verbundenen Technologien werden.

4. Auswirkungen neuer Entwicklungen im Werkstoffbereich

4.1. Auswirkungen auf die Rohstoffmärkte

Mit der zunehmenden Komplexität und Differenzierung der Anforderungen an Werkstoffe geht ein sich gegenwärtig vollziehender grundsätzlicher Wandel im Ablauf des Auswahlprozesses der Materialien einher. Die Suche nach dem adäquaten Werkstoff für eine Anwendung geht von der Definition der Funktion des entsprechenden technologischen Systems und dem sich daraus ergebenden Anforderungsprofil an einen Werkstoff aus.

Aus anwendungsorientierter Sicht ist es dabei letztlich gleichgültig, ob eine bestimmte Funktion etwa unter Verwendung einer metallischen Superlegierung oder eines faserverstärkten Verbundwerkstoffes realisiert wird, wenn beide Alternativen jeweils den beschriebenen anwendungsspezifischen Erfordernissen genügen. Technologische Systeme sind nicht mehr ausschließlich mit Hilfe eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Kombination von Materialien realisierbar; völlig verschiedene Werkstoffe konkurrieren um den gleichen Einsatzbereich.

Der Wettbewerb zwischen Werkstoffen ist oft gekoppelt an den Wettbewerb zwischen Technologien. Ein bekanntes Beispiel dafür bildet die Nachrichtenübertragung, in der die fortschreitende Ablösung des elektrischen Weges durch optoelektronische Übertragung eine Substitution von Kupferleitungen durch Lichtleiter (organische oder Glasfaserlichtleiter) mit sich bringt. Ein künftig möglicher Konkurrenzkampf auf Werkstoffebene könnte sich z.B. zwischen oxidkeramischen Hochtemperatur-Supraleitern und solchen auf Fullerenbasis entwickeln, wobei sich beide Optionen gegenwärtig noch in unterschiedlich frühen Stadien der Forschung befinden.

Die Einführung neuer Werkstoffe erweitert die Möglichkeiten der Auswahl von Werkstoffen für technologische Anwendungen und führt dadurch zu einer verstärkten Konkurrenz innerhalb und zwischen den Werkstoffklassen.

Im Produktionsprozess eines Werkstoffes kann dabei die Optimierung seiner Eigenschaften im Hinblick auf die gewünschte Funktion durch Optimierung der chemischen Werkstoffzusammensetzung, also die Auswahl der beteiligten Rohstoffe, oder durch neue Herstellungsverfahren unter Beeinflussung des Mikrogefüges des Werkstoffes erreicht werden. Die Eigenschaften eines Systems sind nicht mehr direkt an die Eigenschaften von Rohstoffen gekoppelt. So ist z.B. der Bedarf an Wolfram in der Herstellung harter, hitzebeständiger Werkstoffe durch Fortschritte in der Beschichtungstechnik deutlich zurückgegangen.

Die endeigenschaftsseitige Optimierung technologischer Systeme führt zu einer Entflechtung von technologischen Funktionen und Rohstoffeigenschaften.

Mit der wachsenden Konkurrenz zwischen Werkstoffen ist daher ein verstärkter Wettbewerb zwischen Rohstoffen verbunden. Im Katalog der Auswahlkriterien für Werkstoffe verlieren untrennbar mit Rohstoffeigenschaften verknüpfte Werkstoffcharakteristika an Bedeutung. Stattdessen werden Werkstoffe stärker als

zuvor an weiteren Gesichtspunkten wie der Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe, Rohstoffpreisen, ökologischen Aspekten (bei der Rohstoffgewinnung, der Werkstoffherstellung, -anwendung und Entsorgung), der Rezyklierbarkeit etc. gemessen werden.

Gleichzeitig zum oben beschriebenen verstärkten Aufkommen der Konkurrenz zwischen Werkstoffen verläuft ein inverser Prozess. Dort, wo sich moderne Technologien durchsetzen, die entscheidend auf der Verwendung neuer Werkstoffe basieren, vollzieht sich ein Trend zur wachsenden Werkstoffspezialisierung. Ein klassisches Beispiel stellt die Halbleitertechnologie dar, die die Elektronik revolutioniert und die Mikroelektronik erst ermöglicht hat. Sie stützt sich auf die Verwendung weniger Halbleitermaterialien, darunter vor allem Silizium und Gallium (für Verbindungshalbleiter), die derzeit weder aus technologischer noch aus wirtschaftlicher Sicht substituierbar sind. Gleiches gilt für eine Vielzahl von Funktionswerkstoffen in verschiedensten Einsatzbereichen, etwa für Flüssigkristalle in der Display-Technik oder nichtlinear optische Gläser und Keramiken in der optischen Signalverarbeitung und Lasertechnik. Unter Umständen werden ausgesuchte neue Rohstoffe wie z.B. die Seltenen Erden eingesetzt, die in Verbindungen mit anderen Elementen Materialeigenschaften ermöglichen, welche sich bislang nicht auf anderen Wegen erreichen lassen.

Parallel zum zunehmenden Wettbewerb zwischen Materialien ist eine wachsende Spezialisierung von Werkstoffen zu beobachten, die in vielen Technologiebereichen die Möglichkeiten zur Werkstoffsubstitution und damit den Wettbewerb zwischen Werkstoffen einschränkt oder ausschließt.

Die Entwicklung neuer Werkstoffe prägt beide Tendenzen in ähnlich starkem Maße. Im Bereich der Massen- und Strukturwerkstoffe trägt sie zur Entfaltung des Substitutionswettbewerbs bei, indem sie neue und verbesserte Materialien hervorbringt. In vielen speziellen Anwendungen dagegen sind moderne Werkstoffe, vor allem die Funktionswerkstoffe, oftmals ohne Konkurrenz.

In der Folge der zunehmenden Freiheit bei der Rohstoffauswahl können sich Bedarfsänderungen auf den internationalen Rohstoffmärkten ergeben. Die in zunehmendem Maße mögliche Substitution von Werkstoffen geht mit dem Rückgang der Nachfrage nach den entsprechenden Rohstoffen einher. Im gleichen Zuge kann die Nachfrage nach Rohstoffen für substituierende Werkstoffe einen merklichen Anstieg erfahren. Zum Teil werden neue Rohstoffe eingesetzt.

Eine qualitative Abschätzung der Folgen des Substitutionswettbewerbs im Werkstoffsektor zeigt, daß es auf der Seite der Substitutions- und Innovationsgewinner innerhalb aller Werkstoffklassen eine Fülle von neuen Werkstoffen mit hohem Anwendungspotential und großer Anwendungswahrscheinlichkeit in verschiedenen Technologiebereichen gibt (IFO 1994). Zu den Verlierern im Substitutionswettbewerb zählen in erster Linie diverse metallische Werkstoffe wie Aluminiumlegierungen, Eisenwerkstoffe, manche Nichteisenmetalle, Stahl und Stahlblech, Grauguß, Kupfer und Amalgame.

Die Substitution konventioneller durch neue Werkstoffe wird dadurch behindert, daß bei konventionellen Werkstoffen die Infrastruktur zur Bereitstellung, die Technologie zur Bearbeitung und Entsorgung sowie das Wissen über die gesundheitsschützende Handhabung zumindest weitgehend vorhanden ist. Dies gilt nicht in gleichem Maße für neue Werkstoffe. Letztlich ist für die Substitution konventioneller durch neue Werkstoffe und die unter Umständen damit einhergehende Rohstoffsubstitution die

Summe der technologischen und vor allem der wirtschaftlichen Konsequenzen entscheidend.

Auch die Einführung moderner effizienter Herstellungsverfahren im Werkstoffbereich zieht Rückgänge im Rohstoffbedarf nach sich. Moderne Synthese- und Bearbeitungsverfahren eröffnen zunehmend Möglichkeiten zur sparsamen Verwendung von Ausgangsstoffen. Die verstärkte Verwendung von Sekundärrohstoffen (auch durch verordnetes Recycling) wirkt ebenfalls hemmend auf die Nachfrage nach Rohstoffen auf dem Weltmarkt.

Insgesamt setzt sich in modernen technologischen Entwicklungen im Werkstoffbereich die Tendenz der Senkung der Rohstoff- und Materialintensität in industriellen Produktionsprozessen fort.

Die Einflüsse dieser Entwicklungen bei neuen Werkstoffen auf die Weltmärkte für Rohstoffe sind jedoch voraussichtlich nur schwach. Ungeachtet der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten neuer Werkstoffe werden die Märkte für Rohstoffe neuer Werkstoffe bei weitem nicht die Dimensionen der Märkte konventioneller Rohstoffe erreichen (SOCHER et. al. 1994). Für das Jahr 2000 wird das Volumen des Weltmarktes für Basismaterialien von Hochleistungswerkstoffen auf etwa 25 Mrd. DM geschätzt. Der Mengenbedarf an neuen Rohstoffen ist vergleichsweise gering.

Tabelle 4.1: Weltmarktvolumen von Basismaterialien für Hochleistungswerkstoffe, in Mrd. DM (nach ADL 1993)

Werkstoffbereich	Basismaterialien		
	1990	1995	2000
Polymere	3,0	4,5	7,0
Keramik	2,0	3,1	4,8
Metalle	1,8	3,0	4,0
Verbundwerkstoffe	1,3	1,6	2,0
Gläser*	4,0		7,5
Summe	12,1		25,3

*) Die Zahlen für Gläser sind in (ADL 1994) nicht eindeutig der Ebene der Basismaterialien zugeordnet und liegen möglicherweise zwischen Basismaterial und Halbzeug.

Angesichts des auch in absehbarer Zukunft vergleichsweise geringen Markumfanges bei Rohstoffen für neue Werkstoffe sind auf den Weltrohstoffmärkten einschneidende Verschiebungen nicht zu erwarten. Einzelne Rohstoffe können jedoch durchaus von signifikanten Bedarfsänderungen betroffen werden. Dies gilt vor allem für Rohstoffe im Bereich der Metallwerkstoffe.

Mögliche Rückwirkungen der technologischen Entwicklung auf die Märkte für konventionelle Werkstoffe zeigt das Beispiel Kupfer. Die Absatzchancen von Kupfer gehen unter anderem zurück, wenn ein Teil des Kupferbedarfs aus Sekundärmaterial gedeckt wird (in Deutschland etwa 30 bis 50 %) oder ein Teil der bisherigen Nachfrage als Folge der Substitution des Kupfers je nach Einsatzgebiet durch Glasfaser, Polymere oder auch Stahl wegfällt. In den letzten beiden Jahrzehnten stieg die Nachfrage auf den Kupfermärkten weltweit jeweils um etwa 1,5 Mio. t. Seit 1960 wurden jährliche

Wachstumsraten um 4 % verzeichnet. Dieses Wachstum ist auch im Zusammenhang mit der Anpassung der Kupferproduktion an die Bedürfnisse der rasch wachsenden Weltbevölkerung zu sehen. Bei vergleichbaren künftigen Wachstumsraten müßte der Kupferbedarf im Jahr 2002 um deutlich mehr als 2 Mio. t über dem Niveau von 1992 liegen (BLABER 1993, in METALL 4/93). Im Gegensatz dazu wurde jedoch im Jahr 1990 erstmalig weltweit ein leichter Bedarfsrückgang beobachtet, der sich im Jahr 1991 fortsetzte (BGR 1992).

Die Ursachen dieses Rückganges im globalen Kupferverbrauch sind insbesondere im Hinblick auf die radikalen wirtschaftlichen Umbruchprozesse in den osteuropäischen Staaten nicht eindeutig zu bestimmen. Wahrscheinlich hat die tiefgreifende Rezession in den kupferverarbeitenden Industrienationen daran entscheidenden Anteil. Die beschriebenen Entwicklungen im Werkstoffbereich können sich jedoch in Zukunft verstärkend in dieser Richtung auswirken.

Tabelle 4.2: Weltverbrauch an Raffinade-Kupfer 1985 bis 1991 (BGR 1992)

Jahr	Welt in 1000 t	Deutschland in 1000 t	Anteil Deutschlands in %
1985	9859,7	753,8	7,6
1986	10106,0	770,7	7,6
1987	10404,8	800,1	7,7
1988	10537,4	797,5	7,6
1989	11018,1	854,3	7,8
1990	10820,9	896,9	8,3
1991	10758,9	1000,6	9,3

Auswirkungen auf den Energiesektor

Neue Entwicklungen im Werkstoffbereich zeigen auch Wirkung im Energiesektor. Zum einen stellt die Produktion von Hochleistungswerkstoffen hohe Anforderungen an die Reinheit der verwendeten Rohstoffe. Infolgedessen werden unter Umständen in der Phase der Aufbereitung der Rohstoffe für die Weiterverarbeitung zusätzliche Prozessschritte notwendig. Spezielle Rohstoffe zeichnen sich zum Teil aufgrund ihrer geringen Konzentrationen in den entsprechenden Lagerstätten durch eine hohe Extraktionstiefe aus.

Auf der Ebene der Werkstoffherstellung nehmen neue Technologien zur gezielten Beeinflussung des Mikrogefüges von Materialien eine Schlüsselrolle ein. Mit der Verwendung hochentwickelter Syntheseverfahren ist in der Regel ein hoher prozesstechnischer Aufwand verbunden. Auch in der Phase der Werkstoffbearbeitung kommen häufig aufwendige Technologien zum Einsatz. Dabei umfaßt der steigende Aufwand eine kompliziertere Anlagentechnik zur Gewährleistung definierter Prozessatmosphären, eine exakte Prozesskontrolle, häufig mehr Verfahrensschritte, größtmögliche Reinheit und Kontaminationsfreiheit, teurere Ausgangsstoffe und einen höheren Energiebedarf. Die Folge dieser Entwicklung kann ein Anstieg der Energieintensität in der Phase der Produktion bestimmter Werkstoffe sein.

Qualitativ kann abgeschätzt werden, daß strukturell optimierte Werkstoffe gegenüber den entsprechenden konventionellen Werkstoffen eine höhere

Energieintensität in der Fertigung verursachen. In der künftigen industriellen Werkstoffherstellung zeichnet sich damit eine wachsende Bedeutung von Energieströmen gegenüber Stoffströmen ab.

Gleichzeitig zum Anstieg des Energiebedarfes in der Produktion besteht jedoch in manchen Anwendungen neuer Werkstoffe durch die höhere Effizienz moderner Technologien auch die Möglichkeit zu einem rationelleren Umgang mit Energie. Ein unter hohem Energieeinsatz hergestellter Werkstoff gestattet möglicherweise in der Phase der Anwendung erhebliche Energieeinsparungen, beispielsweise durch die Steigerung von Wirkungsgraden in der Energieumwandlung oder Gewichtsreduktionen im Fahrzeug- oder Flugzeugbau.

Zudem erfordert die wachsende strukturelle und chemische Komplexität neuer Werkstoffe voraussichtlich einen erhöhten Aufwand bei der Stofftrennung und Wiederverwertung, wenn eine Verwertung in dieser Form überhaupt noch möglich ist.

Es ist derzeit auch qualitativ nicht möglich, umfassend zu beurteilen, ob aus dem Einsatz energieintensiver Werkstoffsynthese- und Bearbeitungsverfahren insgesamt ein Anstieg des kumulierten Energieverbrauches resultiert. Dazu wären umfassende Energiebilanzen unter Einziehung des gesamten Lebenszyklus eines Werkstoffes bis hin zur Verwertung bzw. Entsorgung erforderlich, die derzeit nicht vorliegen.

4.2. Rohstoffe mit Schlüsselfunktion

Die Angebotskonzentrationen auf den Rohstoffmärkten haben im Verein mit der entscheidenden Bedeutung mancher Rohstoffe für viele Technologiebereiche zur Prägung des Begriffes "Strategischer Rohstoff" geführt. Nach einer Definition des *Office of Technology Assessment* (OTA) beim amerikanischen Kongreß sind Strategische Minerale Rohstoffe, deren Bedarf für grundlegende zivile und militärische Anwendungen die gesicherte Verfügbarkeit aus in- und ausländischen Quellen übersteigt und für die nicht innerhalb einer angemessenen Zeitspanne akzeptable Ersatzrohstoffe verfügbar sind (OTA 1985, nach MAULL 1988).

Für die strategische Bedeutung eines Rohstoffes sind verschiedene Faktoren entscheidend. Dazu gehören auf der Angebotsseite die geographische Verteilung von Rohstoffvorkommen, Preisentwicklungen auf dem Weltmarkt, Kartellierungsversuche, der Mißbrauch von Rohstoffen als Druckmittel zur Durchsetzung politischer Ziele, Investitionsengpässe, Streiks und Naturkatastrophen sowie politische Risiken (politische Instabilität, radikale Regime, etc.) (MAULL 1988, p. 182 - 187).

Die Verfügbarkeit von Rohstoffen ist damit eher ein politisches denn ein Ressourcenproblem.

Insgesamt haben Rohstoffe in strategischer Hinsicht in jüngerer Zeit merklich an Bedeutung verloren. Dafür ist unter anderem der Zusammenbruch der Planwirtschaften und der damit einhergehende Wegfall der politischen (und wirtschaftlichen) Blöcke verantwortlich, die zu einer verstärkten Präsenz von Rohstoffen auf dem Weltmarkt geführt haben. In Anbetracht der erheblichen politischen und wirtschaftlichen Umbruchprozesse in Osteuropa kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, daß das intensive Drängen osteuropäischer Anbieter auf die Rohstoffmärkte anhält. Im

Gegenteil sind viele Produzenten, die die Umstellung auf eine rentable Produktion unter marktwirtschaftlichen Bedingungen leisten müssen, in ihrer Existenz bedroht.

Wesentliche Tendenzen und Probleme im Zusammenhang mit der strategischen Bedeutung von Rohstoffen sind etwa am Beispiel von **Kobalt** ersichtlich. Kobalt gilt als strategisches Metall, da es zum einen über vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in Hochtechnologiebereichen verfügt und andererseits das Kobaltangebot auf dem Weltmarkt bislang trotz eines zeitweiligen Überangebots und gegenwärtig relativ niedriger Preise als instabil und störanfällig eingeschätzt wurde (JOHNSTON, METALL 1993). Für die unsichere Angebotssituation sind mehrere Gründe verantwortlich:

- Kobalt wird fast ausschließlich als Nebenprodukt bei der Kupfer- und Nickelproduktion gewonnen. In der Nebenproduktraffination werden derzeit etwa 25.000 t Kobalt pro Jahr hergestellt, was etwa der Jahresproduktion einer mittelgroßen Raffinerie für Basismetalle entspricht. Die Kobaltproduktion allein kann die Raffinerungskosten nicht decken. Daher betreffen Produktionseinschränkungen der hauptsächlich geförderten Metalle, etwa der gegenwärtige Rückgang der Nickelproduktion, auch die Kobaltgewinnung (JOHNSTON 1993).
- Die Welt-Kobaltproduktion konzentriert sich auf wenige Länder. In den Hauptproduzentenländern Zaire und Sambia, die allein etwa 73 % der Weltproduktion (1990) bestreiten, herrscht seit geraumer Zeit eine politisch sehr instabile Situation. Zaire befindet sich seit nunmehr 22 Jahren im Bürgerkrieg. Schwere Unruhen lösten in 1978/79 weltweit Befürchtungen eines 50-prozentigen Angebotswegfalls und damit Panikkäufe aus, die innerhalb weniger Monate zu einem Preisanstieg von ca. 15 auf 99 US-\$/kg führten. Im März 1984 war Kobalt wieder für etwa 15 US-\$/kg erhältlich (SAAGER 1984). Gegenwärtig bewegt sich der Kobaltpreis zwischen 22 und 40 US-\$/kg (JOHNSTON 1993).
- Eine zweite Kobaltkrise in den Jahren 1990 bis 1992, die durch den Einsturz eines Raffineriekomplexes des wichtigsten Bergwerks Katamo ausgelöst wurde, verschärfte sich mit der wachsenden weltweiten Ablehnung des in Zaire herrschenden Regimes. Politische Rückschläge wie der Wegfall der Kredite von IWF und Weltbank im Jahr 1991 wirkten sich behindernd auf die Kobalt-Produktion aus, da das Bergbauunternehmen *Gecamines* als Staatsbetrieb entsprechende finanzielle Einbußen erlitt und keine Mittel für die Instandsetzung der zerstörten Bergwerksteile zur Verfügung standen. Bis heute sind die Schäden nicht behoben (JOHNSTON 1993). Erst eine Entflechtung von staatlichen und wirtschaftlichen Zielen im Bergbau als Folgerscheinung des derzeitigen allgemeinen wirtschaftlichen und politischen Zusammenbruchs Zaires wird als Ausweg aus dieser Situation angesehen (BOMSEL 1993).

Trotz dieser widrigen Umstände hat es auch in den 90er Jahren bislang keine Versorgungskrise für Kobalt gegeben. Im Zuge der weltweit allgemein schwachen wirtschaftlichen Konjunktur ging die Nachfrage nach Kobalt zurück. Gleichzeitig wurde der Produktionsausfall in Zaire durch verstärkte Lieferungen aus anderen Ländern, vor allem aus Rußland, ausgeglichen.

Auch für die Zukunft werden keine Versorgungsengpässe auf dem Kobaltmarkt erwartet. Im Interesse eines kontinuierlichen und gesicherten Angebots werden gegenwärtig neue Kobaltquellen erschlossen. Als künftig wichtige Lieferländer kommen Rußland, Kuba, Australien, Neukaledonien, Papua-Neuguinea, die

Philippinen, einige afrikanische Länder und die USA in Betracht. Die Vorkommen in diesen Ländern sind bislang aus sehr verschiedenartigen Gründen nicht erschlossen. Beispielsweise verfügt Kuba über beträchtliche Kobaltvorkommen. An zwei Standorten von Nickelraffinerien in Kuba fallen jährlich etwa 3.000 t Kobalt an, die derzeit mit dem Abraum entsorgt werden. Bei uneingeschränkter Integration Kubas in den Weltmarkt wäre eine Nebenproduktgewinnung von Kobalt ohne weiteres möglich. In den USA liegen ebenfalls abbauwürdige Kobaltvorkommen, deren Erschließung jedoch infolge des anhaltend niedrigen Weltmarktpreises derzeit nicht rentabel ist und erst bei Preisen um 55 US-\$/kg ökonomisch sinnvoll wird. Zusätzlich stehen Eigenschaften der dortigen Erze und Umweltschutzgründe, insbesondere das Anfallen des hochgiftigen Arsen bei der Kobaltgewinnung im bisher größten Kobaltbergwerk der USA, einer Nutzung der Vorkommen entgegen (JOHNSTON 1993).

Insgesamt jedoch erscheint die Versorgungslage auf dem Kobaltmarkt zumindest mittelfristig unkritisch. Durch die Entwicklung einer neuen Ordnung in der Kobaltversorgung hat das Metall seine strategische Bedeutung weitgehend verloren. Dies wird als ein Grund dafür erachtet, daß die USA im März 1993 mit dem Verkauf von Kobalt aus den Reserven der *Defense Logistic Agency* begonnen haben (150 t pro Monat bei Reserven von 24.000 t, etwa dem 3-Jahresbedarf der USA).

Ebenso wie im Fall des Kobalt ist auch die Produktion einiger wichtiger Rohstoffe unverändert auf wenige Regionen konzentriert. Das südliche Afrika z.B. verfügt neben seiner Bedeutung für die Kobaltproduktion auch über die wichtigsten Lagerstätten anderer Rohstoffe wie Kupfer, Chrom, Vanadium, Mangan und Zirkonium. Die Vorkommen von Gold, Chrom, Vanadium, Mangan und den Platinmetallen sind fast ausschließlich auf die RSA und die GUS konzentriert (MAULL 1989). Beide Länder verfügen z.B. über 95 % der Vanadium-Vorräte (SAAGER 1984).

Den Markt der **Platinmetalle** können die RSA (v.a. Platin) und die GUS (v.a. Palladium) oligopolistisch kontrollieren (MAULL 1988). Die RSA kann sehr flexibel auf eine sich wandelnde Nachfrage nach Platinmetallen reagieren, da es diese Elemente als einziges Land primär fördert, während die anderen Länder von dem Koppelprodukt-Markt abhängig sind (MAULL 1988). Im Fall aufkommender Angebotsengpässe von Seiten der RSA steht nur der Stillwater-Komplex in den USA als mögliche Reserve zur Verfügung. Die Konzentration der Platin-Produktion in der RSA auf wenige Werke, die politische Unsicherheit in diesem Land und die Tatsache, daß Gold, welches das wichtigste Substitut von Platinmetallen ist, ebenfalls in vergleichsweise großem Umfang in der RSA gewonnen wird, verstärken eine Krisenanfälligkeit des Platinmetall-Marktes (MAULL 1988). Diese Monopolstellung der RSA hat sich jedoch durch die Öffnung der Märkte nach Osteuropa und die zunehmende Westorientierung vor allem der GUS entspannt.

Auf dem **Niob**-Markt besteht eine eindeutige Abhängigkeit des Welthandels von Brasilien, das 90 % der Weltreserven besitzt und 90 % seiner Förderleistung in einem Bergwerk konzentriert. Diese Lage ermöglicht eine monopolistische Firmenpolitik des größten Anbieters. Damit besitzt Niob zumindest hinsichtlich seiner Angebotskonzentration strategische Bedeutung in der Rohstoffversorgung (MAULL 1988).

Bei der Produktion von **Ilmenit** und **Rutil** wird die Bedeutung von Brasilien, das zwei Drittel aller Weltvorräte besitzt, und von Indien künftig voraussichtlich stark zunehmen. Dies liegt daran, daß die bisher wichtigen australischen Rutilvorkommen infolge dort erlassener Naturschutzbeschränkungen nur noch bis zum Jahre 2000 verfügbar sein werden. Der Einsatz des synthetischem Rutil, das aus Ilmenit gewonnen

wird, bringt jedoch eine breitere Streuung der Lieferländer für Titan-haltige Rohstoffe allgemein mit sich, die eine mögliche Krisenanfälligkeit vermindert. Zudem löst sich die bisherige Konzentration der Bergbauproduktion bei Rutil und Titan-Metallen derzeit auf (MAULL 1988).

Bei **Wolfram** ist eine ernsthafte Versorgungskrise nur bei einem Versiegen der chinesischen und koreanischen Quellen zu erwarten. Aus dem Kreis der drei großen Wirtschaftsregionen wäre davon jedoch nur Japan kritisch betroffen. Eine zusätzliche Erschließung alternativer Rohstofflager durch weitere Bergwerke ist grundsätzlich möglich, wäre allerdings mit hohen Kosten verbunden. Ohnehin erscheint eine Kapazitätssteigerung nicht notwendig, da sich durch die derzeit zunehmende Zahl Wolfram-exportierender Länder die Abhängigkeiten künftig voraussichtlich verringern werden (MAULL 1988).

Die **Zirkonium**-Vorräte verteilen sich zu 98 % auf nur sieben Länder. Die Förderung dieses Rohstoffs findet zu 96 % in nur vier Ländern statt (BGR 1989). Diese Angebotskonzentration könnte ebenfalls kritische Bedeutung erlangen.

Neue Entwicklungen im Werkstoffbereich tragen zu einer weiteren Senkung der strategischen Bedeutung von Rohstoffen bei. Verantwortlich dafür ist die zunehmende Konkurrenz und Austauschbarkeit von Werkstoffen. Die Entkopplung von Werkstofffunktion und Rohstoffeigenschaft mindert die Abhängigkeit der werkstoffherstellenden Industrie von einzelnen Rohstoffen. Zwar besteht in den Industrieländern auch bei den Rohstoffen für moderne Hochleistungswerkstoffe weiterhin eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Import, die Entscheidung darüber, welche Rohstoffe dies sind, liegt jedoch bei den Herstellern der Hochtechnologieprodukte. Unter Umständen, etwa bei plötzlicher Angebotsverknappung eines strategischen Rohstoffes und daraus resultierendem Preisanstieg, können alternative Werkstofflösungen ökonomisch tragfähig werden.

Auch wenn zum Teil neue und nicht substituierbare Rohstoffe im Rohstoffsektor an Gewicht gewinnen, ist dies voraussichtlich nicht gleichbedeutend mit dem Aufkommen neuer strategischer Rohstoffe. Gegenwärtig spielen neue Rohstoffe unter strategischen Gesichtspunkten keine Rolle. Dies rührt daher, daß die bislang und künftig voraussichtlich verwendeten Mengen an neuen Rohstoffen in der Regel gering sind. Die nachgefragten Mengen bewegen sich derzeit im Bereich einiger Kilogramm bis zu einigen tausend Tonnen. Gleichwohl treten auf der Angebotsseite zum Teil recht hohe Konzentrationen der Förderung seltener und neuer Rohstoffe auf. Bei den Seltenen Erden dominiert z.B. eindeutig China den Markt.

In Zukunft wird es verstärkt vom Auswahlverhalten der Rohstoffanwender abhängen, ob ein neuer Rohstoff künftig strategische Bedeutung erlangt.

Angesichts der häufig vorhandenen Vielfalt der Möglichkeiten zur Realisierung einer Funktion kann die Herkunft und Verfügbarkeit eines Rohstoffes größeres Gewicht innerhalb des Kriterienkataloges für die Rohstoffauswahl gewinnen.

4.3. Folgen der technologischen Entwicklung für Entwicklungsländer

Bilanzen des Welthandels der vergangenen Jahre weisen einen wachsenden Anteil der Entwicklungsländer an den Einfuhren verarbeiteter Güter in den Industrieländern aus. Dieser Anstieg ist das Ergebnis eines vereinzelt beginnenden Strukturwandels. Quantitativ betrachtet haben vor allem die "Newly Industrializing Countries" einen ersten Schritt in Richtung auf eine industriell orientierte Ökonomie getan. Bei diesem Schritt wurden jedoch einige Probleme sichtbar (MUEGGE 1991):

- Die industrielle Entwicklung verlief innerhalb der Gruppe der Entwicklungsländer sehr inhomogen. Im Gegensatz zu einigen Schwellenländern konnten viele Entwicklungsländer mit niedrigem Einkommen ihre Stellung im Welthandel nicht verbessern.
- Schwierige externe wirtschaftliche Rahmenbedingungen hindern die Entwicklungsländer unverändert an der angestrebten Industrialisierung.
- Qualitative Probleme der industriellen Kapazitätsschaffung in den Entwicklungsländern wurden bisher nicht beachtet oder gar negiert.
- Die industrielle Entwicklung wurde nicht fließend an sich ändernde Anforderungen oder Parameter des Welthandels angepaßt.

Vor allem aus der unzureichenden Anpassung der industriellen Entwicklung resultiert, daß bereits vorhandene Produktionskapazitäten in Entwicklungsländern gegenwärtig zum Teil nicht genutzt werden können und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in den Entwicklungsländern sinkt.

In Zukunft werden die Bemühungen um eine Fortsetzung und Intensivierung der Industrialisierungsprozesse in Entwicklungsländern dem Einfluß moderner Entwicklungen in den Bereichen der Werkstoffe und der Rohstoffe unterliegen. Die Umsetzung des Ziels der verstärkten Integration der Entwicklungsländer in den Welthandel wird unter anderem davon abhängen, inwieweit es gelingt, mögliche positive Effekte neuer Werkstoffe und Werkstofftechnologien zu nutzen und gleichzeitig drohende Beeinträchtigungen der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Entwicklungsländer durch neue Werkstoffe zu vermeiden.

Die mit neuen Entwicklungen im Werkstoffbereich verbundenen **Chancen** für Entwicklungsländer liegen sowohl im Rohstoffsektor als auch bei der verarbeitenden Industrie. Im Rohstoffsektor eröffnen sich voraussichtlich für einige Entwicklungsländer neue Absatzchancen. So ergeben sich etwa aus dem künftig steigenden Bedarf an Seltenen Erden neue Absatzmöglichkeiten vor allem für China und in deutlich schwächerem Maße für Indien, Malaysia, Brasilien und Thailand. Diese Marktchancen sind jedoch vorsichtig zu beurteilen, da die als Gewinner aus den Substitutionswettbewerben hervorgehenden Rohstoffe derzeit nicht eindeutig identifiziert werden können und neue Rohstoffe auf den Weltmärkten eine untergeordnete Rolle spielen werden.

Im Bereich der industriellen Produktion besteht die Möglichkeit für Entwicklungsländer, die für die Industrialisierungsprozesse der Industrienationen typischen rohstoffintensiven Phasen überspringen zu können. Im Zuge eines "leapfrogging"-Prozesses könnten moderne Technologien für die Ausweitung und Stärkung der weiterverarbeitenden Produktion in Entwicklungsländern genutzt werden. Infolge der hohen Anforderungen an die industriellen und infrastrukturellen

Rahmenbedingungen erscheint dieser Weg jedoch nur für NICs praktikabel (ERNST 1990).

Gleichzeitig birgt die Entwicklung neuer Werkstoffe und neuer Technologien im Werkstoffbereich für die Industrialisierung der 3. Welt eine Reihe von **Risiken**, die letztlich zu einer Schwächung der Wettbewerbsfähigkeit der Entwicklungsländer führen könnten.

Von negativen Auswirkungen der beschriebenen Entwicklungen ist zunächst der Sektor der **Rohstoffgewinnung** betroffen. Insbesondere die Entwicklungsländer können Opfer der Verschiebungen und Rückgänge des Rohstoffbedarfes werden, wenn sie einen künftig nicht mehr in gleichem Maße benötigten Rohstoff bisher in für sie bedeutendem Umfang geliefert haben. Die monostrukturierte Exportabhängigkeit einiger Entwicklungsländer ist in diesem Zusammenhang als besonders kritisch einzuschätzen.

Weiterhin zeichnen sich Entwicklungen im Werkstoffbereich ab, die die vielfach geforderte Stärkung der **weiterverarbeitenden Industrie** in Entwicklungsländern behindern können. Bereits bisher kämpfen Entwicklungsländer mit einer Vielzahl produktionshemmender Faktoren. Auch Länder wie das rohstoffreiche und sich rasch entwickelnde China stehen Problemen bei der Selbstversorgung mit Rohstoffen gegenüber. Für China trifft dies vor allem auf den Bereich der Nichteisen-Metalle zu. Die Qualität der Produktion in der verarbeitenden Industrie entspricht häufig nicht internationalen Standards. Nur 40 % des chinesischen Stahles haben Exportqualität; ein Großteil hochlegierter Stähle wird importiert (SCHÜLLER 1991). Zusätzlich behindern veraltete Technologien, fehlende Transportkapazitäten, eine fortwährende Energieknappheit und derzeit noch wenig beachtete große ökologische Probleme die Produktion. Vor diesem Hintergrund ist zu sehen, daß Industrierohstoffe heute als Basis für die Einführung neuer Produktionstechnologien und zusätzlicher eigener Verarbeitungskapazitäten in Entwicklungsländern angesehen werden.

Im Welthandel mit Industrieprodukten wächst die Bedeutung von Hochtechnologiewerkstoffen und -gütern. Die Wertschöpfung in der Produktion technologieintensiver Güter erfolgt zum größten Teil auf der Ebene der Endverarbeitung am Ende der Wertschöpfungskette. Entwicklungsländer verfügen oft nicht über die notwendigen Voraussetzungen zur Herstellung technologieintensiver Güter. Charakteristisch für Hochtechnologiegüter sind hohe Forschungsaufwendungen, ein hoher Investitionsbedarf zu Beginn und in die ständig notwendige Modernisierung zur Wahrung der Konkurrenzfähigkeit, der Bedarf an qualifiziertem Personal und nicht zuletzt zumindest mengenbezogen kleine Märkte. Moderne Hochtechnologie-Produkte sind Güter in oft relativ kleinen Chargen, die am besten innerhalb einer diversifizierten Volkswirtschaft produziert werden können. Infolge dieser Bedingungen sind die Einstiegsbarrieren in die Hochtechnologiemärkte für Entwicklungsländer sehr hoch.

Die ohnehin schwache industrielle Wettbewerbsfähigkeit der Entwicklungsländer wird durch Folgeerscheinungen neuer technologischer Entwicklungen zusätzlich belastet. Die komparativen Vorteile der Entwicklungsländer in der Produktion verlieren entweder an Gewicht oder werden im Zuge der technologischen Entwicklung in den Industrienationen kleiner. Dies ist darauf zurückzuführen, daß Industrienationen besser als Entwicklungsländer in der Lage sind, die wirtschaftlichen Vorteile neuer Technologien zu nutzen. Dazu zählen etwa die Senkung der Energiekosten und die Steigerung der Produktivität. Durch diese Faktoren werden hohe Lohnkostenunterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungsländern zumindest teilweise ausgeglichen. Beispielsweise haben die fortschreitende Automatisierung der

Produktion in der Konsumelektronik-Industrie sowie technologische Entwicklungen in der Elektronik selbst zu einer Senkung des Anteils der direkten Lohnkosten an den Gesamtkosten der Produktion auf unter 5 % geführt (JUNGNICKEL 1991).

In Industrieländern führen moderne Technologien in den Bereichen Bergbau und Metallverarbeitung zu einer deutlichen Senkung der Produktionskosten und damit einer zunehmenden Annäherung an die Kostenverhältnisse der Produktion in der 3. Welt. Der in Entwicklungsländern verbreitete Versuch, der Auflösung ihrer komparativen Vorteile durch Öko- und Sozialdumping zu begegnen, stößt auf Seiten der Industrieländer auf wachsende Kritik.

Die Senkung der Produktionskosten durch Automation ist die Grundlage der Rückkehr-Hypothese. Die Kostenreduzierung kann ein solches Ausmaß erreichen, daß Unternehmen auch die Produktion arbeitsintensiver und damit bisher teurer Güter wieder in die Industrieländer verlagern. Dieser Effekt wurde z.B. in der Präzisionsmechanik und Konsumelektronik bereits beobachtet, hat jedoch bislang insgesamt nur marginale Bedeutung (JUNGNICKEL 1991).

Die Ansiedlung verarbeitender Industriezweige in Entwicklungsländern könnte künftig zusätzlich durch moderne Organisationsprinzipien der industriellen Produktion erschwert werden. In den letzten Jahren hat etwa das **just-in-time Prinzip**, d.h. die zeitliche Synchronisation von Belieferung und Bedarf der verarbeitenden Industrie mit Rohstoffen, Halbzeugen und Bauteilen, Eingang in Organisationsstrukturen westlicher Unternehmen gefunden. Dies gilt allerdings bislang im wesentlichen nur für die großen Unternehmen der Automobilindustrie, die aufgrund ihrer überragenden Nachfragemacht zur Durchsetzung der bedarfssynchronen Zulieferung in der Lage sind (SCHWARZ 1994). Auch das **just-on-site-Prinzip**, nach dem eine möglichst große räumliche Annäherung zwischen zuliefernden und verarbeitenden Industriezweigen angestrebt wird, könnte sich in Zukunft zu einem wichtigen Element des Produktionsmanagements entwickeln. Beide Grundsätze sind unter logistischen Aspekten nicht unmittelbar mit einer weltweit orientierten Produktionsstrategie, die die Halbzeug- und Bauteilherstellung in Entwicklungsländern vorsieht, zu vereinbaren.

In vergleichbarer Richtung wirkt auch die endkonturnahe Fertigung von Produkten. Sie setzt häufig komplexe technische Verfahren und entsprechende Anlagen voraus, ermöglicht jedoch eine Senkung der Zahl notwendiger Produktionsschritte. Damit stellt dieses Fertigungsprinzip einen weiteren Schritt hin zu einer Verkürzung der Produktionswege dar. Die Vorteile dieses Effektes würden vorrangig in Industrieländern zum Tragen kommen, da dort die Nähe zur letzten Produktionsstufe am größten ist.

Die vorstehend beschriebenen Entwicklungslinien im Werkstoffbereich erzeugen insgesamt einen hohen Anpassungsdruck in Entwicklungsländern, die eine fortschreitende Industrialisierung und Konkurrenzfähigkeit auf dem Weltmarkt verarbeiteter Produkte anstreben. Die Chancen der Entwicklungsländer im diesem Wettbewerb werden durch die Auswirkungen neuer Entwicklungen im Werkstoffbereich eher gefährdet denn erhöht, da die positiven Auswirkungen dieser Entwicklungen vor allem in Industrieländern greifen. Während der technologische Wandel nachhaltig den Wettbewerb zwischen den drei großen Zentren der Weltwirtschaft, d.h. USA und Kanada, Japan sowie der Europäischen Union, beeinflusst, bleiben die Entwicklungsländer und sogar die erfolgreichen asiatischen "Newly Industrializing Economies" von diesen Entwicklungen ausgeschlossen (ERNST 1990).

Der aus dem Werkstoffsektor erwachsende Anpassungsdruck wird zusätzlich durch übergeordnete Aspekte der industriellen Entwicklung forciert. Zu wichtigen grundlegenden Zielen in Industrienationen gehören die intensive Förderung der Forschung und Entwicklung, die Stärkung von Produktionsnetzwerken und kleiner, spezialisierter und innovativer Unternehmen, Programme für eine zukunftsorientierte Entwicklung der Humanressourcen in der Produktion und den angelagerten Dienstleistungen sowie der Aufbau analytischer und Informationsdienste für Entscheidungsträger. Unterentwickelte Staaten verfügen weder über die notwendigen strukturellen Voraussetzungen noch die Mittel zur Ergreifung entsprechender Maßnahmen. Daher wird die Umsetzung dieser Ziele das Ungleichgewicht zwischen Industrie- und Entwicklungsländern in der Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gebiet technologieintensiver Güter noch steigern. Schließlich stehen ein wachsender Protektionismus in den Industrienationen und eine instabile politische Lage in vielen Entwicklungsländern einer Verlagerung der Produktion in den Süden entgegen.

Fazit

Die Geschwindigkeit des technologischen Fortschritts in den Industrienationen nimmt immer weiter zu. Im vielen Technologiebereichen werden zunehmend spezialisiertere Werkstoffe benötigt, für deren Produktion die Entwicklungsländer nicht die nötigen Voraussetzungen besitzen. Dadurch wachsen die Einstiegsbarrieren für die Entwicklungsländer in den Welthandel verarbeiteter Güter. Gegenwärtige Industrialisierungsprozesse in Entwicklungsländern beziehen den Bereich der Hoch- und Zukunftstechnologien nicht im erforderlichen Maße ein, um eine Annäherung an die industrielle Bedeutung der Industrienationen zu ermöglichen. Im Gegenteil wird die Kluft zwischen Industrie- und Entwicklungsländern durch moderne Technologien wie Neue Materialien, Biotechnologie oder Mikroelektronik noch erhöht.

In modernen ökonomischen Entwicklungsstrategien der Entwicklungsländer spielen die inländische Verarbeitung von Rohstoffen und die Verlagerung des Exportes von Rohstoffen auf verarbeitete Waren eine zentrale Rolle. Die Entwicklung in diese Richtung wurde bisher durch eine Reihe von Faktoren wie Kapitalmangel, infrastrukturelle Probleme, fehlenden Marktzugang oder Handelsbarrieren in den Industrieländern behindert. Neue Technologien erweitern das Spektrum der Hindernisse um die für die Produktion von technologieintensiven Gütern erforderlichen Voraussetzungen. Diese Entwicklung steht einer weiteren Lockerung und Auflösung der bisherigen internationalen Arbeitsteilung entgegen. Sie kann zudem bedeuten, daß das bisher faktisch praktizierte Tauschgeschäft von Rohstoffen gegen Technologien weiterhin Bestand haben wird. Angesichts der wachsenden Bedeutung von Hochtechnologiegütern in der Produktion der Industrienationen stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit eines Tausches "Rohstoff gegen Hochtechnologie".

4.4. Ökologische Aspekte der Rohstoffgewinnung

Die Gewinnung von Rohstoffen für die industrielle Produktion kann grundsätzlich auf drei Wegen erfolgen, und zwar aus dem Abbau mineralischer Rohstoffvorkommen (direkt oder als Koppelprodukt), als Nebenprodukt bei industriellen Prozessen (etwa Tellur aus Anodenschlamm bei der elektrolytischen Kupferraffinierung) und aus der Rezyklierung (z.B. Gallium, dessen Gewinnung aus der Rezyklierung von Schrott

derzeit etwa ein Viertel der Weltproduktion ausmacht). Der Großteil der mineralischen Rohstoffe wird im eigens dafür betriebenen Bergbau gewonnen.

Der Bergbau zur Gewinnung mineralischer Rohstoffe ist weltweit mit tiefen Eingriffen in den Naturhaushalt verbunden. Art und Umfang der Einwirkungen auf die Umwelt werden einerseits durch die Abbaumethode, d.h. Tagebau, Tiefbau oder etwa die Ausbeutung von Seifenlagerstätten, sowie andererseits durch äußere Rahmenbedingungen bestimmt. Dazu sind vor allem Topographie, Klima, Bevölkerungsdichte oder sozioökonomische Faktoren in der Umgebung zu rechnen. Hinzu kommen für den Bergbau charakteristische Eigenschaften, die zu einer Intensivierung lokaler und regionaler Umweltbeeinträchtigungen führen. Umfangreiche Massenumschichtungen im Erzbergbau, der häufig hohe Flächenbedarf und der Anfall großer Mengen nicht nutzbaren Abraums bedingen einschneidende ökologische Auswirkungen des Bergbaus in geomorphologischer, hydrologischer und atmosphärischer Hinsicht.

Die **morphologischen** Auswirkungen des Tagebaus sind infolge der erheblichen Massenumschichtungen immens. In großen Dimensionen betriebene flächenintensive Abtragungsprozesse im Mineralbergbau, etwa bei der Eisenerz- und Kupfergewinnung, und Wanderbewegungen der Tagebaustätten führen zu einer tiefgreifenden Umstrukturierung der Erdoberfläche auch in der Umgebung der Abbauanlagen. Der Tiefbau zeigt in dieser Hinsicht nur indirekte Wirkung, wenn es durch Einbrüche nicht weiter genutzter Stollen zu Bodensenkungen kommt.

Der Abraum aus dem Tiefbergbau wird zum größten Teil zu Halden aufgeschüttet. Solche Bergehalden entstehen nicht nur bei großem Mengenbedarf am Primärrohstoff wie im Fall des Eisenerzes, sondern infolge des geringen Metallgehalts des geförderten Gesteins auch z.B. beim Gold- und Silberbergbau. Die unsachgemäße Anlage von Halden hat bereits in der Vergangenheit zu Rutschungen des aufgeschütteten Materials und Verschüttungen von Wohnbereichen, zu Schlammströmen, Überflutungen und zur Vergiftung von Böden geführt (HAAS, FLEISCHMANN 1991).

Die **hydrologischen** Auswirkungen des Bergbaus umfassen die Störung und Neuordnung von Oberflächengewässern, die Störung des Grundwasserhaushaltes und die Verunreinigung des Oberflächen- und Grundwassers.

Abwassereinleitungen aus Bergbaubetrieben und niederschlagsbedingte Auswaschungen aus Aufschüttungen bergbaulicher Rückstände verursachen eine erhöhte Schlammfracht von Flüssen, die wie im Fall des Zinnbergbaus in Malaysia zu Überschwemmungen von Siedlungen und Feldern durch Verstopfung von Wasserregulierungssystem führen kann. Als Folgen von Tage- und Tiefbergbau sind sowohl ein Absinken von Grundwasserhorizonten wie auch der relative Anstieg des Grundwasserpegels bei Bodensenkungen möglich, der zu Versumpfungen und Seenbildung führen kann.

Eine weitreichende ökologische Gefahr liegt in der Verunreinigung und Vergiftung des Oberflächen- und Grundwassers. Diese können durch sowohl durch erosive Prozesse bei verhaldetem Abraum und chemische Austauschvorgänge (Verhärtung, Versalzung) als auch durch die Rückleitung von Brauchwasser aus Rohstoffproduktionsabläufen in die Vorfluter hervorgerufen werden. Je nach Art und Umfang der Förderung können bergbaubedingte Abwässer große Mengen an Erz- und Gesteinssedimenten, Schlamm und giftigen Mineralien enthalten. In Entwicklungsländern und peripheren Gebieten werden stark verunreinigte Wassermengen oft ohne jede Aufbereitung und Klärung in Gewässer eingespeist (HAAS, FLEISCHMANN 1991).

In der Umgebung von Erzminen werden häufig erhebliche Schwermetallkonzentrationen in Flußwasserablagerungen gefunden. Durch die spezifischen Gewinnungsmethoden für Gold und andere Rohstoffe werden die Gewässer der Amazonas-Länder, der Philippinen, Indonesiens und Zimbabwes seit dem Ende der 70er Jahre mit Quecksilber und Cyanid verseucht (WORLDWATCH 1992). Der Kupferbergbau in Bougainville, Papua-Neuguinea, ist für die Vergiftung zweier Flüsse verantwortlich, in deren Folge die dortige Fischpopulation vollständig vernichtet wurde, alle Bäume im Überschwemmungsgebiet abstarben und die Bevölkerung der Umgebung umgesiedelt werden mußte. Auch in Südafrika wurden durch den Gold- und Platinbergbau bis zu zehntausendfache Steigerungen des Schwermetallgehaltes des Umgebungswassers festgestellt, die die Gesundheit der Bevölkerung sowohl durch die Wasserversorgung als auch mittelbar durch die Nahrungskette gefährden.

Die Belastung der Atmosphäre durch den Bergbau basiert auf der Entstehung von Stäuben, giftigen Gasen und vereinzelt radioaktiven Stoffen. Sie ist im Vergleich zu den morphologischen und hydrologischen Auswirkungen des Bergbaus von geringerer Bedeutung. Emissionen giftiger Gase entstehen vorrangig nicht durch den Bergbau selbst, sondern im Zuge der Weiterverarbeitung bei Schmelz- und Verbrennungsvorgängen. Weltweit werden durch Schmelzprozesse der Metallgewinnung ca. 6 Mio. t Schwefeldioxid (8 % der Gesamt-SO₂-Produktion) emittiert, ebenso Arsen, Blei, Cadmium und Fluoride aus Aluminium-Schmelzen (WORLDWATCH 1992). Bei der Nickel-Schmelze in Sudbury, Ontario, sind durch produktionsbedingten sauren Regen großflächig Pflanzen in der weiteren Umgebung und Fische in umliegenden Seen abgestorben.

Der Eintrag und die Verteilung von Stäuben in die Atmosphäre geschieht bei Sprengungen, Lade- und Transportvorgängen oder auch durch Windeinwirkung. Diese Stäube sind von gesundheitlicher Bedeutung, da Staub aus maschinellen Produktionsprozessen häufig extrem fein ist und daher im Gegensatz zu natürlichem Staub das Lungengewebe durchdringen kann. In ariden Zonen und wechselfeuchten Gebieten mit langen Trockenperioden ist die Gesundheitsgefährdung durch Staubbildung und -verteilung besonders hoch.

Neben den direkten ökologischen Folgen des Bergbaus sind auch die indirekten Auswirkungen durch den hohen energetischen Aufwand bei der Rohstoffgewinnung von Bedeutung. Infolge des hohen Energiebedarfes bei der Gewinnung metallischer Rohstoffe werden große Energielieferkapazitäten notwendig, deren Aufbau in vielen Produzentenländern für umfangreiche ökologische Schädigungen verantwortlich ist, darunter unter anderem die Abholzung tropischer Regenwälder und die vielfältigen ökologischen Folgeschäden großer Staudammprojekte. Insgesamt beansprucht die Gewinnung und Raffination metallischer Rohstoffe 5 bis 10 % des jährlichen weltweiten Energiebedarfes (WORLDWATCH 1992). Allein das Aluminium-Schmelzen, eines der energieintensivsten Verfahren, benötigt 1 % davon und 12 % des Energiebedarfes in Brasilien.

Maßnahmen zur Begrenzung ökologischer Schäden werden von Seiten der Bergbauindustrie bislang im wesentlichen nur im Rahmen betriebswirtschaftlicher Erwägungen unternommen. Aus diesem Grund ist z.B. der Versatzbergbau, bei dem der Abraum der Erzproduktion zur Verfüllung der tiefbergbaubedingten Hohlräume verwendet wird und somit Haldenbildung und Bergschäden vermeidbar sind, weltweit unbedeutend. Auch die Klärung von bergbaulichen Abwässern wird häufig allein aus ökonomischen Gründen nicht in Angriff genommen, obwohl sie technologisch weitgehend möglich ist. Durch verschiedene Entgiftungstechnologien können die

Durchlässigkeit von Schlacken und die Reaktivität ihrer Inhaltsstoffe deutlich reduziert werden (IM AUG 1991). Insgesamt ist das Interesse der internationalen Bergbauunternehmen an der Einführung länderübergreifender Umweltschutz-Richtlinien und -Grenzwerte bislang angesichts der damit verbundenen zu erwartenden wirtschaftlichen Konsequenzen eher gering.

Insbesondere in unterentwickelten Ländern ist die Inaktivität bei der Ergreifung ökologischer Schutzmaßnahmen sehr ausgeprägt. Dabei spielen die wirtschaftliche Fähigkeit und die Bereitschaft zur Durchführung von Umweltschutzmaßnahmen eine entscheidende Rolle. Um den Folgen einschneidender Eingriffe in die Umwelt wirksam begegnen zu können, fehlen vor allem in unterentwickelten Herkunftsländern von Rohstoffen oft die notwendigen finanziellen Mittel. Dieser Mangel könnte teilweise z.B. durch höhere Rohstoffpreise ausgeglichen werden. Die Preisentwicklung auf dem Rohstoffmarkt ist jedoch seit Jahrzehnten gegenläufig. So ist seit 20 Jahren insgesamt ein Preisverfall für mineralische Rohstoffe zu verzeichnen, der unter anderem durch Rationalisierungen in der Bergbauindustrie und Subventionen der Regierungen von Industrieländern für die eigene Bergbauwirtschaft verursacht worden ist (WORLDWATCH 1992). Inflationsbereinigt liegen die Preise einiger Rohstoffe unter denen vor vierzig Jahren (METALL 1993).

Die Bereitschaft zur Durchführung ökologisch orientierter Maßnahmen hängt wesentlich von der subjektiven Wahrnehmung ökologischer Schäden und ihrer Bewertung ab. In Entwicklungsländern wird der Schaffung von Beschäftigung und der Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung ein weit höherer Stellenwert eingeräumt als ökologischen Problemen. Diese Gewichtung wird von den Industrienationen häufig als Öko-Dumping interpretiert, wobei die Konnotation des bewußten Preisdrückens zur alleinigen Verschaffung von Wettbewerbsvorteilen die wirtschaftlichen und sozialen Hintergründe dieser Haltung der Entwicklungsländer (in zynischer Weise) außer acht läßt.

Insgesamt fehlen umfassende Strategien zur Lösung der mit der Rohstoffgewinnung verknüpften umweltrelevanten Probleme. Vereinzelt sind Ansätze zum Schutz der Natur vor den Konsequenzen einer bergbaulichen Nutzung vorhanden. So werden etwa die Rutil-Reserven an den Küsten Australiens nur noch bis zum Jahre 2000 verfügbar sein, da der raumgreifende Abbau infolge staatlicher Direktiven nicht weiter fortgesetzt werden darf (MAULL 1988).

Durch die Nutzung neuer Rohstoffe zeichnen sich derzeit keine grundsätzlichen Verlagerungen der ökologischen Risiken der Rohstoffgewinnung ab. Dazu sind die Mengen an neuen Rohstoffen insgesamt zu gering. In Einzelfällen können jedoch auch bei neuen Rohstoffen, die nur in relativ geringen Mengen benötigt werden, Belastungen der Umwelt auftreten. Ausschlaggebend dafür sind hohe Extraktionstiefen durch geringe Zielrohstoffgehalte des abgebauten Gesteins und ein damit einhergehender Anstieg des Energieaufwandes in der Rohstoffgewinnung. Ob dadurch an den entsprechenden Förderorten eine Ausweitung von Energielieferkapazitäten mit je nach Bereitstellungsart entsprechenden Umweltwirkungen notwendig sein wird, kann gegenwärtig nicht abgeschätzt werden.

In umgekehrter Wirkungsrichtung können jedoch ökologische Aspekte Einfluß auf die Rohstoffgewinnung ausüben. Auf der Seite der Anwenderindustrien gebietet sich der rationelle Umgang mit Rohstoffen schon aus ökonomischen Gründen von selbst. In politischer Hinsicht betrifft die laufende übergreifende Diskussion um Paradigmen eines verantwortlichen und nachhaltigen Wirtschaftens neben energetischen Fragen in zunehmenden Maße auch den Umgang mit Stoffen. Die Steuerung von Stoffströmen

mit den Zielen der quantitativen Reduktion und Schadstoffentfrachtung wird als ein zentrales Anliegen einer vorsorgenden, auf Nachhaltigkeit angelegten Umweltpolitik erachtet (LÜBBE-WOLFF 1993). Dazu zählen auch die Ressourcenschonung und die Förderung einer stärker von Stoffkreisläufen gekennzeichneten Wirtschaft.

Es liegen bereits Untersuchungen über die mögliche Konzeption eines allgemeinen Stoffregimes als rechtlichem Rahmen des Umganges mit Stoffen vor. Vorgeschlagene Ziele eines solchen Stoffregimes sind etwa die Begrenzung der umlaufenden Stoffmengen durch Minderung des Stoffeinsatzes pro Produkt sowie die bessere Stoffnutzung bei der Verwendung, die Minderung von Stoffverlusten durch Wiederverwertung, die Minderung der Stoffvermischung sowie die Reduktion der Zahl der Stoffarten und schließlich eine größere Transparenz hinsichtlich des Stoffeinsatzes und der Stoffströme (REHBINDER 1993).

Derzeit gibt es noch kein geschlossenes Konzept eines Stoffstrommanagements; die Rückwirkung konkreter Instrumente auf die Rohstoffgewinnung ist daher offen. Die gegenwärtig intensiv diskutierten Analyse-, Planungs- und Kontrollinstrumente "Produktlinienanalysen" und "Ökobilanzen" können grundsätzlich auf die Nachfrage nach Rohstoffen und damit auf die Produktion zurückwirken. Analysen von Stoff- und Energieströmen sind Bestandteile dieser Instrumente. Inwieweit sich positive Schlußfolgerungen von Ökobilanzen jedoch in den Herkunftsländern von Rohstoffen niederschlagen, ist fraglich. Es ist durchaus denkbar, daß ein Produkt aufgrund großer Umweltverträglichkeit und eines hohen Energieeinsparpotentials bei der Nutzung in einer Öko-Bilanz insgesamt positiv bewertet wird, obwohl die Gewinnung der notwendigen Rohstoffe in den Rohstofflieferländern regional große ökologische Belastungen verursacht.

Die ökologischen Aspekte neuer Werkstoffe sowie damit zusammenhängende umweltpolitische und -rechtliche Fragen werden im Endbericht des TA-Projektes "Neue Werkstoffe" des TAB vertiefend dargestellt.

5. Entwicklungspolitische Implikationen im Zusammenhang mit Rohstoffen für neue Werkstoffe

Die 90-er Jahre dieses Jahrhunderts sind gekennzeichnet durch enorme gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Veränderungen. Der Zusammenbruch des Kommunismus hat zur Beendigung der Blockkonfrontation geführt und somit den Weg für weitreichende Veränderungen nicht nur in den unmittelbar betroffenen Ländern freigemacht. Obwohl die jungen Demokratien sich noch in der wirtschaftlichen Umbruchphase befinden, steht zu erwarten, daß sie in absehbarer Zukunft zu einem selbsttragenden wirtschaftlichen Aufschwung kommen werden. Sie versuchen gegenwärtig intensiv, auf dem Weltmarkt Fuß zu fassen, und stehen damit in direktem Wettbewerb mit einer Reihe ehemaliger Entwicklungsländer. Diese Länder können schon jetzt signifikante wirtschaftliche Erfolge vorweisen und werden zunehmend zu wichtigeren Handelspartnern der Industrieländer.

Der wirtschaftliche Neubeginn bzw. Aufschwung in einigen Reform- und Entwicklungsländern erfolgt in einer Zeit, in der sich weltweit die Erkenntnis durchgesetzt hat, daß eine weitere wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung nur bei und durch einen schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen erreichbar sein kann. Obwohl die Trendwende hin zu einer nachhaltigen Entwicklung noch nicht vollzogen ist, wird immer deutlicher sichtbar, daß ohne Einklang von Ökonomie und Ökologie - und zwar weltweit - auch qualitatives Wachstum nicht mehr möglich sein wird. Für die gegenwärtig besonders expandierenden Volkswirtschaften im asiatisch-pazifischen Raum und in Lateinamerika würde dies bedeuten, daß ohne Einführung einer stringenten Umweltpolitik schon bald die ökologischen Grenzen des Wachstums erreicht sein werden.

Für das subsaharische Afrika spielt dagegen, von einigen Ausnahmen abgesehen, wirtschaftliches Wachstum im Sinne der nachhaltigen Entwicklung eine untergeordnete Rolle. Bürgerkriege, Korruption und Mißwirtschaft, Umwelt- und Hungerkatastrophen sowie Epidemien behindern in vielen dieser Länder jegliche Art gesellschaftlichen Fortschrittes und wirtschaftlichen Wachstums. Für diese Länder stellt Entwicklungshilfe eine Existenzfrage dar. Dabei sollte jedoch nicht unberücksichtigt bleiben, daß der in den Industrieländern ablaufende Strukturwandel sich auch nachhaltig auf die Entwicklungsländer auswirken wird.

Aus entwicklungspolitischer Sicht sind Entwicklungsländer mit ausgeprägter Rohstoffexportabhängigkeit von besonderem Interesse, da deren Volkswirtschaften sowohl kurzfristigen konjunkturellen Schwankungen als auch langfristigen technologischen Veränderungen ausgesetzt sind. Während für Energierohstoffe sichere Nachfragemärkte vorhanden sind und z.B. mit der OPEC eine starke, die Interessen erdölexportierender Länder vertretende Organisation existiert, befinden sich mineralische Rohstoffe exportierende Länder oftmals in einer schwächeren Position. Dies hat mehrere Gründe:

- Rohstoffexporteure sind nicht nur Entwicklungsländer, sondern auch Industrieländer und Staaten des ehemaligen Ostblocks. Rohstoffpolitik hat für jedes Land einen anderen Stellenwert. Gemeinsame Interessen sind eher selten.

- Die Überbrückung von Interessengegensätzen, z.B. über Rohstoffabkommen, hat sich bei den mineralischen Rohstoffen als untaugliches Instrument erwiesen, da Vorteile und Belastungen kaum differenziert und länderspezifisch auf Industrie- und Entwicklungsländer verteilt werden können.
- Um der Gefahr der Importabhängigkeit zu begegnen, versuchen importierende Länder ihre Rohstoffe aus verschiedenen Quellen zu beziehen. Dies beinhaltet oft eine differenzierte Außenwirtschaftspolitik, die z.T. auch mit entwicklungspolitischen Zielstellungen verknüpft sein kann.

Die Entwicklung im vergangenen Jahrzehnt hat aber auch gezeigt, daß es einigen (ehemaligen) Entwicklungsländern gelingt, nicht nur den weltweit ablaufenden Strukturanpassungsprozeß mitzugehen, sondern ihn durch Entwicklung des verarbeitenden Gewerbes z.T. auch aktiv mitzugestalten. Die wirtschaftliche Struktur dieser "newly industrializing countries" (NIC's) gewinnt dabei zunehmend an Anziehungskraft für Investoren aus den Industrieländern. Dies gilt für den asiatisch-pazifischen Raum, aber auch für eine Reihe lateinamerikanischer Länder. Während NIC's durch Direktinvestitionen z.T. an den technologischen Hauptentwicklungslinien beteiligt sind, gelingt es den ärmsten Ländern, hier ist vor allen Dingen das subsaharische Afrika zu erwähnen, gar nicht mehr, Anschluß an den technologischen Fortschritt zu finden

In einigen der NIC's kann beobachtet werden, daß sich der Staat verstärkt in die Förderung moderner Bereiche des verarbeitenden Gewerbes engagiert. Dies bezieht sich jedoch im wesentlichen auf die Schaffung günstiger Rahmenbedingungen für Investoren und weniger auf die Entwicklung eigenständiger Kapazitäten, z.B. im Bereich der Forschung. Auch längerfristig wird somit die Einführung neuer Technologien ohne den Wissens- und Technologietransfer aus den Industrieländern kaum möglich sein. Hohe wirtschaftliche Wachstumsraten der NIC's sollten deshalb nicht darüberhinwegtäuschen, daß diese Länder eigenständig kaum in der Lage sind, sich an der Entwicklung von Hochtechnologien zu beteiligen. Dies liegt an

- der noch gering entwickelten wissenschaftlich technologischen Basis,
- einer schwachen Eigenkapitaldecke,
- einer ungenügenden Einbindung in die hochvernetzten Forschungs- und Technologiestrukturen der Industrieländer und
- der Dominanz etablierter Hochtechnologieunternehmen, die in der Lage sind, auch auf beschränkten Märkten mit hohem (finanziellen) Risiko - aber auch großen Chancen - zu agieren.

Der komplementäre Außenhandel, d.h. die Arbeitsteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern, bei der Rohstoffe gegen Industriewaren und Dienstleistungen getauscht werden, funktioniert im Bereich der mineralischen Rohstoffe immer unausgewogener. Diese Form der internationalen Arbeitsteilung wird nicht nur durch die Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch, sondern auch durch fehlende langfristige Strategien auf dem Gebiet des Technologietransfers und damit zusammenhängend der Diversifizierung und Erhöhung des Anteils der Entwicklungsländer an der Weltindustrieproduktion negativ beeinflusst. Durch die Entwicklungsländer wird deshalb seit langen gefordert, die Weltwirtschaft neu zu ordnen. Dies betrifft die Bereiche:

- Entwicklungshilfe,
- internationaler Handel

- Weltwährungssystem,
- Industrialisierung/Technologie und
- Soziales

Es würde den Rahmen dieses Berichtes bei weitem übersteigen, die vielfältigen Vernetzungen der einzelnen Handlungsbereiche aufzuzeigen. Bereits die Rohstoffproblematik ist mit mehreren Handlungsbereichen verknüpft und hat weitreichende Implikationen für die betroffenen Länder.

Die durch die UNCTAD (Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung) gebündelten Forderungen der Entwicklungsländer zur Neuordnung der Weltwirtschaft haben nur bedingt Aussicht auf Realisierung. So muß die Forderung der Entwicklungsländer nach einem integrierten Rohstoffprogramm differenziert betrachtet werden. Die Hoffnungen dieser Länder, durch ein solches Programm zu langfristig gesicherten Einnahmen zu kommen, könnten sich eher in das Gegenteil verkehren. Die Verwirklichung dieses dirigistischen Programms mit

- internationalen Marktausgleichslagern,
- multilateralen Liefer- und Abnahmeverpflichtungen und
- fortgeschriebenen Kompensationszahlungen

würde ohne gleichzeitig verstärkten Wissens- und Technologietransfer nur zu einer weiteren Abhängigkeit der Entwicklungsländer vom Rohstoffexport führen. Die Konzentration eines solchen Programms auf agrarische Rohstoffe, deren Bedeutung für den Welthandel ständig zunimmt, ist zudem äußerst problematisch. Diese Rohstoffgruppe besitzt ein hohes Potential, in einem liberalisierten und regionalisierten Welthandel eine tragende Säule für die Wirtschaft der Entwicklungsländer zu bleiben, bzw. unter Berücksichtigung der Kriterien der nachhaltigen Entwicklung zu werden, so daß dirigistische Programme den Entwicklungsinteressen dieser Länder eher widersprechen würden. Mineralische Rohstoffe, wie z.B. Bauxit, Kupfer, Eisenerz oder Zinn, werden vor allen Dingen in Entwicklungsländern und Staaten der ehemaligen Sowjetunion abgebaut. Industrieländer, die im Besitz umfangreicher und abbaubarer Lagerstätten sind, versuchen aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen, die Gewinnung dieser Rohstoffe zu reduzieren. Die betrifft hauptsächlich die USA, Kanada und Australien. In der EU und in Japan gibt es weder wirtschaftlich relevante noch nationalwirtschaftlich bedeutsame Rohstoffvorkommen, so daß diese Länder ihren Neubedarf an mineralischen Rohstoffen fast ausschließlich aus Importen decken. Da die Gewinnung mineralischer Rohstoffe immer mit erheblichen Umweltbeeinträchtigungen einhergeht, verlagern sich somit Umweltschädigungen von den Industrie- in die Entwicklungsländer. Die Rio-Deklaration und die Agenda 21 der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) fordern deshalb sowohl Industrie- als auch Entwicklungsländer auf, die natürlichen Ressourcen nachhaltig und somit schonend zu nutzen. Für die Industrieländer könnte es somit langfristig zunehmend attraktiver werden, auf die Nutzung neuer Rohstoffvorkommen in den Entwicklungsländern zu verzichten und durch Einführung neuer, wissensintensiver Hochtechnologien sowie durch Substitution, Recycling und Weiterverwendung rohstoffsparend zu wirtschaftlichem Wachstum zu kommen. Da neue Rohstoffe oftmals nur über äußerst energie- und stoffintensive Prozesse gewonnen und aufbereitet werden können, deren Einsatz ohne gleichzeitige Anwendung aufwendiger Umweltschutztechnologien nicht den Kriterien der

nachhaltigen und zukunftsfähigen Entwicklung entspricht, könnten hier neue Umweltgefährdungen entstehen.

Gegenwärtig kann, mit Ausnahme der Seltenen Erden, nicht davon ausgegangen werden, daß die Entwicklung von Hochtechnologien durch die fehlende Verfügbarkeit neuer Rohstoffe gefährdet sein könnte. Auch langfristig besteht kein Bedarf zur Sicherung bestimmter neuer Rohstoffe, da auch diese auf einem liberalisierten Welthandel frei und diversifiziert verfügbar sind. Die Integration der Republik Südafrika in diese Strukturen wird den Rohstoffweltmarkt noch offener und auch ehemals "strategische" Rohstoffe wie z.B. Platin zu freien Wirtschaftsgütern werden lassen.

Für die Entwicklungspolitik der Vereinten Nationen und der Industrieländer stellt sich zukünftig die Aufgabe, das Prinzip der Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit in die verschiedenen Programme und Projekte zu integrieren. Dazu müßten u.a. die Programme der verschiedenen Organisationen der UN stärker untereinander verknüpft werden, so daß entwicklungs-, umwelt-, handels-, sozial- und technologiepolitische Zielstellungen in einem harmonisierten Rahmen verfolgt werden können. Dabei kommt dem Wissens- und Technologietransfer eine entscheidende Rolle zu. So wird im *World Science Report 1993* der UNESCO darauf hingewiesen, daß der Unterschied zwischen arm und reich ein Abgrund zwischen viel und wenig Wissen und daß eine nachhaltige Entwicklung ohne Transfer von Wissen nicht möglich sei (UNESCO 1993). Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklungshilfe sollten diesen Transfer wesentlich stärker in konzeptionelle Vorgaben für die Gestaltung von Programmen einbeziehen, um eine vollständige Abkoppelung der verbleibenden Entwicklungsländer vom technologischen Fortschritt zu verhindern.

Eine nachhaltige und zukunftsfähige Entwicklung in den Entwicklungsländern ist jedoch ohne ein stärkeres privatwirtschaftliches Engagement kaum vorstellbar. Dabei haben sich Direktinvestitionen als sehr effektiv erwiesen, nicht nur wirtschaftlich erfolgreich "vor Ort" zu sein, sondern auch langfristig Märkte aufzubauen und zu stabilisieren. Der gegenwärtig zu beobachtende wirtschaftliche Aufschwung im asiatisch-pazifischen Raum hat u.a. durch Direktinvestitionen so an Eigendynamik gewonnen, daß staatlich finanzierte Formen der Zusammenarbeit im Rahmen von Entwicklungsprogrammen mehr und mehr durch andere Formen der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Kooperation ersetzt werden können.

Klassische Entwicklungshilfe sollte sich nun an den Kriterien der nachhaltigen und zukunftsfähigen Entwicklung orientieren (vgl. auch DBT 1994). Sie wird für die am wenigsten entwickelten Länder (LDC's) zunehmend notwendig, da diese auch am komplementären Außenhandel immer weniger teilnehmen und somit kaum zu einem eigenständigen wirtschaftlichen Aufschwung kommen können. Staatliche Programme zur langfristigen Unterstützung dieser Länder sollten stärker als bisher wissens- und technologieorientierte Elemente enthalten, die u.a. bei infrastrukturellen Maßnahmen, z.B. beim Aufbau regionaler Informations- und Kommunikationssysteme, eines modernen Verkehrswesens oder einer dezentralen Energieversorgung zum Tragen kommen könnten (KfW 1994).

Literatur

ADL:

Studie zur Evaluierung des Programms Materialforschung, Athur D. Little, Bericht an den BMFT, Wiesbaden, 1993

Anger, Gerd:

Deutscher Auslandsbergbau - unternehmerische Aktivitäten und verbandliche Gemeinschaftsaufgaben, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1990

Barsch, Heiner; Bürger, Klaus:

NaturRessourcen der Erde und ihre Nutzung, VEB Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha, 1988

Behrens, Axel:

Das Rohstoffversorgungsrisiko in offenen Volkswirtschaften, Tübingen, 1991

Benavente, Jose-Miguel:

Commodity exports and Latin American development, in: CEPAL Review, Nr.45 Dec., S.41-60, Santiago de Chile, 1991

Blaber, H.B.:

Die Aussichten für Kupfer über das Jahr 2002 hinaus, Metall Heft 4, April 1993

BMWi:

Bundesministerium für Wirtschaft, persönliche Mitteilung vom 27.04.93, Bonn, 1993

BMZ:

Journalisten-Handbuch Entwicklungspolitik 1994, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Bonn, 1994

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, persönliche Mitteilung vom 02.03.94, Bonn, 1994

Bomsel, Olivier:

Der Zusammenbruch des afrikanischen Kupfergürtels: Ende des kolonialen Industriemodells, Metall Heft 11, November 1993

Brinkmann, Roland:

Allgemeine Geologie, Bd.1 aus: Abriß der Geologie, Enke-Verlag, Stuttgart, 1984

BGR:

Versorgungslage bei Rohstoffen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Institut zur Erforschung technologischer Entwicklungslinien, Hannover/Berlin/Hamburg, 1986

Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe: XXII Sondermetalle, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Prognos AG, Hannover/Basel, 1989

Jahresbericht zur Rohstoffsituation 1991, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover/Berlin, 1992

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), persönliche Mitteilung vom 07.04.93, Hannover, 1993

Clark, Allen L.; Zheng, Shunhui:

China's Rare Earth Potential, Industry and Policy, in: Siribumrungsukha B. et. al. [Eds.]: Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Trans Tech Publications, S.577-601, Hat Yai, Thailand, 1991

Daly, Margaret:

Arbeitsdokument über die zweite Stufe der Anwendung des Abkommens Lomé IV, Paritätische Versammlung AKP-EWG, Arbeitsgruppe für die zweite Stufe der Anwendung des Abkommens von Lomé IV, DOC-DE\DT\239194, Oktober 1993

DBT:

"Neunter Bericht zur Entwicklungspolitik der Bundesregierung" Bericht des Ausschusses für wirtschaftliche Zusammenarbeit, Deutscher Bundestag, Drucksache 12/6659 (1994)

Ernst, Dieter:

Technology and Global Competition: The Challenge ahead for Newly Industrializing Economies, in: Kulesa, Manfred [Ed.]: The Newly Industrializing Economies of Asia; Springer Verlag, S.223-248, Berlin/Heidelberg, 1990

FhG-INT:

Vertiefende Untersuchung der technologischen Hauptentwicklungslinien und -trends im Bereich neuer Werkstoffe, Fraunhofer-Institut für naturwissenschaftlich-technische Trendanalysen, Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Euskirchen 1993

Giraud, Pierre-N.:

Zur Logik der Schwankungen bei Metallpreisen, Metall Heft 6, Juni 1993

Gocht, Werner:

Wirtschaftsgeologie und Rohstoffpolitik, Untersuchung, Erschließung, Bewertung, Verteilung und Nutzung mineralischer Rohstoffe, S.139-174, Berlin 1983

Govett, Marjorie H.; Thomas, Edward G.:

Supply and Potential Markets of Rare Earth Concentrates, in: Siribumrungsukha B. et. al. [Eds.]: Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Trans Tech Publications, S.501-503, Hat Yai, Thailand 1991

Haas, Hans-Dieter; Fleischmann, Robert:

Geographie des Bergbaus, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, Darmstadt 1991

IM:

Chinese Refractories, Industrial Minerals, Januar, S.30-35, London 1991

Chromium Detoxification Technology, Industrial Minerals, August, S.15, London 1991

Rare Earth Exports to Japan, Industrial Minerals, Juni, S.12-14, London 1991

Johnston, Jack:

Das Kobaltangebot - Stand und Aussichten, Metall Heft 5, Mai 1993

Jungnickel, Rolf:

New Technologies and the International Competitiveness of Developing Countries, In: Borrmann, Axel; Wolff, Hans-Ulrich [Eds.]: Industrialisation in developing countries, HWWA-Institut, Verlag Weltarchiv, S.131-160, Hamburg 1991

Kähler, Ulrike:

Das El Dorado in der Tiefsee? Mineralische Rohstoffe und die Bedeutung des Meeresbergbaus, In: DRITTE WELT, Nr.6, S.16-17, Frankfurt a.Main 1992

Kaiser, Martin; Wagner, Norbert:

Entwicklungspolitik - Grundlagen - Probleme - Aufgaben, Bundeszentrale für politische Bildung, Schriftenreihe Bd. 303, Bonn 1991

Kamitani, M.:

Rare Earth Resources and the Problems, in: Siribumrungsukha B. et. al. [Eds.]: Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Trans Tech Publications, S.181-191, Hat Yai, Thailand 1991

Kämmerer, Jörn-Axel:

Das Umweltschutzprotokoll zum Antarktis-Vertrag, In: Europa Archiv, Nr.46 10.Nov.1991, Folge 21, S.632-640, Bonn 1991

Kappel, Robert:

Delinking Africa? - African Cooperation Perspectives with the European Communities, in: Research Group on African Development Perspectives; Bass, Hans H. et al. [Ed.]: African Development Perspectives Yearbook 1990/91 - Vol. II: Industrialisation based on Agricultural Development, Lit Verlag, S.354-376, Münster/Hamburg 1992

KfW:

"Ergebnisse der finanziellen Zusammenarbeit", Zweiter Auswertungsbericht über geförderte Vorhaben in Entwicklungsländern", Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt a.M. (1994)

Lübbe-Wolff, G.:

Modernisierung des umweltbezogenen Ordnungsrechts, Untersuchung im Auftrag der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt", Bonn 1993

Mauil, Hans Walter:

Energy and resources: the strategic dimensions, in: Survival, Nr.31 Nov./Dec., 6, S.500-518, Oxford 1989

Strategische Rohstoffe - Risiken für die wirtschaftliche Sicherheit des Westens, Forschungsinstitut der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik, München 1988

Meadows, Do., Meadows, De., Randers J.:

"Die neuen Grenzen des Wachstums" Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart (1992)

Metall:

Die NE-Metallmärkte 1993, Metall Heft 1, S. 48 ff., Januar 1994

Muegge, Hermann:

Industrial development of the third world - Performance and Outlook, In: Borrmann Axel, Wolff Hans-Ulrich [Eds.] (1991): Industrialisation in developing countries, HWWA-Institut, Verlag Weltarchiv, S.27-43, Hamburg 1991

Mutter, Theo:

Rohstoffreichtum: Entwicklungsbasis oder Sackgasse?, in: Opitz Peter-J.: Grundprobleme der Entwicklungsländer, Beck'sche Reihe 451, S.118-138, München 1991

Nohlen, Dieter:

Handbuch der 3. Welt, Bd.1, Hofmann & Campe, Ulm 1992

O'Driscoll, Mike :

An Overview of Rare Earth Minerals Supply and Applications, in: Siribumrungsukha B. et. al. [Ed.]: Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Trans Tech Publications, S.409-420, Hat Yai, Thailand 1991

OTA:

Strategic Materials: Technologies to Reduce US Import Vulnerability, Office of Technology Assessment, Washington D.C. 1985

Parfitt, Trevor W.:

Lomé's forgotten agenda? EEC industrial cooperation with Africa, in: Research Group on African Development Perspectives; Bass, Hans H. et al. [Ed.]: African Development Perspectives Yearbook 1990/91 - Vol. II: Industrialisation based on agricultural development, Lit Verlag, S.377-409, Münster/Hamburg 1992

Pelikahn, Horst-Michael:

Internationale Rohstoffabkommen, Nomos Verlags-Gesellschaft, Baden-Baden 1990

Plimer, I.R.:

Rare Earth Element-enriched Cobaltiferous Wads, Bungonia, Eastern Australia; in: Geologische Rundschau, Bd.79/2, S.171-182, Stuttgart 1990

Rehbinder, Eckard:

Konzeption eines in sich geschlossenen Stoffrechts, Untersuchung im Auftrag der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt", Bonn 1993

Saager, Rudolf:

Metallische Rohstoffe, Bank VONTOBEL, Zürich 1984

Schüller, Margot:

Planung bis zum Jahr 2000: Wirtschaftliche Ziele und Entwicklungsschwerpunkte im 10-Jahresprogramm und 8. Fünfjahresplan (Teil 2), In: China aktuell, Nr.20 Okt.1991 S.644-658, Hamburg 1991

Schwarz, Peter:

Just-in-time nur im Fahrzeugbau verbreitet, VDI-Nachrichten Jahrgang 48/Nr. 6, 11. Februar 1994

Socher, Martin; Rieken, Thomas:

Wege zur integrierten Werkstofforschung, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), TAB-Arbeitsbericht Nr. 22, Bonn, Januar 1994

Spross, Manfred:

Wolfram braucht neue Anwendungsgebiete, Metall Heft 12, Dezember 1993

Taylor, Richard A.:

Australian Rare Earth Resources for Electronic Industries, in: Siribumrongsukha B. et al. [Eds.]: Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Trans Tech Publications, S.409-420, Hat Yai, Thailand 1991

UNESCO:

World Science Report 1993, Unesco Publishing, Paris (1994)

Weber, Wolfgang

Nutzbare Mineralisationen und Rohstoffvorkommen in der Antarktis, Leipzig 1987

Weltbank:

"Entwicklung und Umwelt", Weltentwicklungsbericht 1992, Weltbank, Washington D.C. (1992)

Worldwatch:

Studie über Umweltfolgen des Rohstoffabbaus, In: Ökologische Briefe, Nr.43, 21. Oktober, Frankfurt 1992

WVB:

Wirtschaftsvereinigung Bergbau E.V., persönliche Mitteilung vom 22.04.93, Bonn 1993

Anhang

Übersicht über ausgewählte neue Werkstoffe und ihre Anwendungsgebiete
(nach FhG-INT 1993)

	Werkstoffe	Anwendungsgebiet
Strukturmetalle Leichtbauwerkstoffe	Al und Al-Legierungen (z.B. Al-Zn, Al-Li) Legierungen von Ti und Mg, etwa mit Y und Nd Intermetallische Verbindungen von Al mit Ti Schaummetalle	Fahrzeugbau sowie Luft- und Raumfahrt Katalysatorträger, Filter, Wärmetauscher, Elektroden
Hochtemperaturlegierungen	Superlegierungen (meist auf Ni-Basis, mit strategischen Elementen Co, Cr) Geordnete Intermetallische Verbindungen (Hydride, Aluminide Ni ₃ Al, NiAl, Ti ₃ Al, TiAl, Be-haltige Verbindungen) Oxid-Dispersionsgehärtete Legierungen und Superlegierungen	Hochtemperaturanwendungen Langfristiges Entwicklungsziel: Einsatz über 2000 °C
Eisenwerkstoffe	Neue Stähle durch Modifikationen: N-Zusatz, P-Minimierung, Eigenschaftsverbesserung durch Optimierung und Modernisierung von Herstellungsverfahren	der größte Teil der derzeit über 2500 verwendeten Stähle ist jünger als 10 Jahre
Amorphe Metalle	konventionell: auf der Basis der Übergangsmetalle neu: auf Al-Basis	hochfeste und weichmagnetische Werkstoffe
Memory-Metalle	Ni-Ti-Legierungen (teuer) Cu-Zn-Legierungen (schlechtere Eigenschaften)	thermisch und mechanisch induzierte Gefügeumwandlung, Zweiwegformgedächtnis, Pseudoelastizität Rohrverbindungen, Steckverbindungen in der Elektronik, thermomechanische Stellelemente, Brillengestelle
Funktionsmetalle Dauermagnetwerkstoffe	NdFeB-Verbindungen Legierungen von Fe, Ni und Co untereinander und mit Al, B oder Seltenen Erden (etwa Sm, Dy)	Motoren, magnetische Bildgeber
Weichmagnetische Werkstoffe	amorphe Metalle Pulververbundwerkstoffe (Fe, FeSi, FeNi mit org./anorg. Bindern) metallische Supraleiter (bisher Nb-Ti, jetzt Nb ₃ Sn, neuerdings Chevrelphasen: Verbindungen von einem Metall oder einer Seltenen Erde, Mo und S oder Se)	Elektronik Sensorik, Antriebs-, Energie- und Medizintechnik, Trenn- und Aufbereitungstechnik

	Werkstoffe	Anwendungsgebiete
Strukturkeramiken	<p>konventionell: Silikate, Oxidkeramik; neu: Boride, Karbide und Nitride von Al, B und Si sowie von Mo, Ti, W und Zr</p> <p>z.B. umwandlungsverstärkte Al_2O_3-ZrO_2-Keramik ("keramischer Stahl")</p> <p>Glaskeramik</p>	<p>verschleißfeste Fliesen, Kochgeschirr, kugelsichere Westen</p>
hochfeste Keramiken	Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , whiskerverstärkte Keramiken	z.B. Implantate in der Medizintechnik
Hochtemperaturkeramiken	monolithische Nichtoxidkeramiken wie SiC, Si_3N_4 , SiC-faserverstärktes SiC, CFC	<p>Hyperschallflugzeuge, Triebwerksbau</p> <p>Antriebstechnik (Ventile für Motoren)</p>
Funktionskeramiken	ökonomisch weit wichtiger als Strukturkeramiken (Verhältnis 70:30)	<p>konkurrenzlos in vielen Anwendungen, vor allem in Elektrotechnik und Elektronik, Informationstechnik, Energietechnik, Umweltschutz sowie in Transport- und Verkehrstechnik</p>
Ferroelektrische Keramik	<p>meist Oxidkeramiken vom Typ ABO_3 (Perowskite), Piezo-Keramiken</p> <p>Dielektrika, vor allem $BaTiO_3$, neuerdings Pb-haltige Keramiken</p> <p>Elektrooptische Keramiken wie z.B. PLZT (Blei-Lanthan-Zirkonat-Titanat)</p> <p>Mikrowellenkeramiken</p>	<p>Sensorik und Regelungstechnik, Ultraschalltechnik, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, Lasertechnik, Lautsprecher</p> <p>Kondensatoren</p> <p>Schutzbrillen, elektronische Kamerasverschlüsse, optische Speicher</p>
Optisch nichtlineare Keramiken	Zinkselenid, Zinksulfid	
Substratkeramik	konventionell: Aluminiumoxid, neu: Aluminiumnitrid funktionskeramische Bauelemente	<p>Isolation, Wärmeleitung in der Mikroelektronik</p> <p>Multichipmodul-/Hybridtechnik</p>
Leitende Keramik	Halbleiter-Keramik: Zinkoxid, Bariumtitanat, Metalloxide, einkristallines SiC und Diamant	Leitfähigkeiten wie bei Halbleitern, Metallen oder Hochtemperatursupraleitern

	Werkstoffe	Anwendungsgebiete
	<p>Hochtemperatursupraleiter: Cu-Oxide mit La-Sr, Y-Ba, Tl-Ba-Ca oder Hg-Ba-Ca (höchste Sprungtemperatur derzeit 133 K)</p> <p>Keramische Ionenleiter (Beta-Alumina aus Na-Oxid und Al-Oxid, Y-stabilisiertes ZrO₂)</p>	<p>Anwendung in dünnen Filmen, Hybridsystemen in Elektrotechnik, Weltraum-, Wehr- und Kommunikationstechnik, Medizintechnik, erst spät in Energie- und Verkehrstechnik</p> <p>elektrochrome Spiegel und Fenster; Hochtemp.-Brennstoffzellen, Lambda-Sonde</p>
Biomedizinische Keramik	<p>inerte Keramiken</p> <p>oberflächen- bzw. bioaktive Keramiken (Glaskeramiken oder Calcium-Phosphate)</p> <p>resorbierbare Keramiken</p> <p>Al-Oxid, Zr-Oxid,</p>	<p>keine Kompatibilitätsreaktionen mit physiologischem Umfeld</p> <p>Verbund mit Umgebung</p> <p>abbaubar im Körper</p> <p>Zähne, Knochenteile,</p>
Ormocere	Organisch modifizierte Keramiken	Brillenglasbeschichtung, Gas-Sensoren, Mikroelektronische Leiterplattenbeschichtung, Coatings, Feststoffelektrolyte, Haftvermittler
Zeolithe	Silikate aus Si- und Al-Tetraedern im Gitter, durch Sauerstoffbrücken verbunden, große Poren	Ionenaustauscher, Radioisotopentfernung aus KKW-Abwässern, Phosphatersatz in Waschmitteln, universelle Molekularsiebe, Katalyse in der Erdölverarbeitung
Aerogele	<p>extrem leichte Werkstoffe mit sehr großer innerer Oberfläche,</p> <p>herstellbar aus Metallen oder Metalloxiden, in der Anwendung vor allem aus Siliziumdioxid interessant,</p>	Cerenkow-Detektoren in der Hochenergiephysik, Wärmeisolierungen, passive Sonnenenergienutzung an Hauswänden, Beschichtung akustischer Wandler, Treibstoffspeicherung (Raumfahrt), Katalysatorträger
Gläser Optische Spezialgläser	<p>Schwermetallfluoridgläser (etwa ZrF₄/AlF₃)</p> <p>Chlorid-, Sulfid- und Selenidgläser</p> <p>REE-dotierte Glasfaser-Laser (z.B. Er³⁺, Nd³⁺ oder Pr³⁺) auf SiO₂- oder Fluorozirkonatbasis,</p> <p>oxidische Gläser mit Anteilen von Li, Rb, Cs, Ag oder Tl</p> <p>Chalkogenidgläser (Se) mit Arsenanteilen (toxisch), Sulfidgläser (neigen zur Entglasung)</p> <p>Chalcohalogenidgläser</p>	<p>Infrarot-transparent</p> <p>z.Zt. nur im Labormaßstab</p> <p>Integrierte Optik (Gatter, Verzweigungen)</p> <p>Komponenten der Integrierte Optik</p> <p>Infrarot-transparent</p> <p>Infrarot-transparent, stabil, geringe Dämpfung bei Signalübertragung</p>
Optisch Nichtlineare-Gläser	<p>1. Pb-Silicat-, Pb-Bi-Gallat- oder Chalkogenidgläser</p> <p>2. mit HL- oder Metallpartikeln dotierte Gläser (Gold, Cd-selenid, -sulfid, -tellurid oder Cu-Chlorid)</p>	Lasertechnik

	Werkstoffe	Anwendungsgebiete
Ionische Gläser	Ag-halogenid- und -oxidhaltige sowie Li-haltige Gläser,	elektrisch leitfähig (Ionenleitung), Feststoffbatterien, Sensoren, elektrochrome und photochrome Bauteile
Biogläser und Bioglaskeramiken	heute i.w. Ausscheidung von fluorhaltigem Phlogopit aus phosphor-silicatischen Gläsern	Medizintechnik
Halbleiter		
Elementhalbleiter	Silizium (einkristallin), derzeit über 90 % der HL-Produkte auf Si-Basis, wahrscheinlich in Zukunft ähnlich, aber: Si nicht nutzbar in der Mikrowellentechnik, der Optoelektronik und bei ultrakurzen Schaltzeiten Polysilizium amorphes Si poröses Si Germanium	Halbleitermaterial, aber auch Konstruktionsmaterial für mikromechanische Bauteile (Mikrosystemtechnik), (durch Dotierung einstellbare Leitfähigkeit), Leiterbahnen, Gate-Elektroden Solarzellen Optoelektronik (emittiert Licht im sichtbaren Bereich)
Verbindungshalbleiter	IV-IV-HL: SiC, Diamant III-V-HL: GaAs, AlAs, InP, GaP, InAs II-VI-HL: ZnS, CdS, ZnSe IV-VI-HL: z.B. Bleisalze PbS und PbSe ternäre III-V-Verbindungs-HL: $Al_xGa_{(1-x)}As$ ternäre II-VI-Verbindungs-HL des Systems Cd-Hg-Zn-Mn-Te, z.B. MTC (Hg-Cd-Te) quarternäre III-V-HL: In-Ga-As-P Large-Bandgap-Materialien: Diamant, SiC, III-V-Nitride (BN, AlN, GaN) industriell nur synthetische Diamanten nutzbar (Preis), auch als polykristalline CVD-Diamantfilme Si-GaAs-Heteroepitaxie (Galliumarsenide-on-Silicon)	integrierte Hochgeschwindigkeitsschaltkreise, höher integrierte Schaltungen, Optoelektronik, Mikrowellen- und Radartechnik Vorteil der III-V-HL: Kombination optischer und elektrischer Signalverarbeitung auf einem Chip möglich wichtige Photoleiter Infrarot-Laserdioden Heterostrukturkristalle, Band Gap Engineering, ballistische Transistoren Infrarot-Detektoren bisher bestes Halbleiter-Lasermaterial, Sender und Empfänger in faser-optischer Nachrichtentechnik wärme- und strahlungsbelastbare Bauteile für Schaltungen (SiC: 300 bis 700 °C), blaue Leuchtdioden und Diodenlaser zur Steigerung der Speicherdichte optischer Speicher Kombination photonischer und elektronischer Vorteile von GaAs bzw. Si, optische Nachrichtentechnik

