

GEOFOKUS



Rohstoffe, die Basis unseres Wohlstandes

F.-W. Wellmer*

Einführung

Lange Zeit war „Rohstoffe“ in Deutschland fast ein Unwort. Politisch spielten sie keine Rolle. Rohstoffe waren da. Man kaufte sie irgendwo auf der Welt. Gips kam vom Baumarkt. Wer sich mit Rohstoffgewinnung beschäftigte, war von gestern. Dem Bergbau hing das Image der drei Ds an: dark, dirty, dangerous.

Das änderte sich schlagartig kurz nach der Jahrtausendwende im Jahre 2002. Rohstoffe wurden Schlagzeilen und Titelthemen. So titelte der Spiegel am 27.3.2006: „Der neue Kalte Krieg – Kampf um die Rohstoffe“ und begann damit eine vierteilige Serie (Abb. 1). Warum dieser Umschwung?

Lange Zeit galt die Regel einer umgekehrten Welt: 25% der Weltbevölkerung in den industrialisierten Ländern verbrauchten 70 bis 80 % aller Rohstoffe – mit wenigen Ausnahmen wie Kohle beispielsweise. Dann begannen die Schwellenländer, allen voran China, eine Aufholjagd ohne Vorbild. Betrug der chinesische Anteil am Weltstahlverbrauch 1990 erst 8%, so sind es heute fast 45%. China ist heute der Welt größte Verbraucher bei fast allen Rohstoffen, nicht nur bei den Energie- und mineralischen Rohstoffen, sondern auch der agrarischen. Die einzige Ausnahme sind Erdöl und Erdgas, wo die USA immer noch Nummer 1 sind, obwohl beim Gesamtenergieverbrauch auch hier China führt. (Abb. 2) Mit steigender Nachfrage stiegen wie üblich in einem marktwirtschaftlichen System die Preise der Rohstoffe. In den achtziger und neunziger Jahren war beispielsweise der Verbrauch von Stahl nur um knapp 0,9 % jährlich gestiegen; in der Periode von 1990 bis 1995 waren die Raten sogar negativ. Dagegen stiegen in der ersten Dekade des neuen Jahrtausends die jährlichen Wachstumsraten auf das fast Sechsfache. Entsprechend waren in den Achtzigern und Neunzigern notwendige Investitionen in neue Kapazi-

täten unterblieben, und es bewahrheitete sich die alte Rohstoffweisheit: „Der Überfluss von heute ist immer der Mangel von morgen“. Kamen in einer derartigen Situation noch Handelsbeschränkungen hinzu wie z.B. beim Koksbezug aus China, so explodierten die Preise (Abb. 3). „Kostbar wie Goldstaub“ überschrieb der Spiegel am 22.3.2004 (Nr. 13) einen Artikel über die kritische Koksversorgung deutscher Stahlhütten. Auch der Rohölpreis stieg drastisch. Wurden Mitte der ersten Dekade des neuen Millenniums Rohölpreise von über 100 US-\$/Barrel für undenkbar gehalten, wurden derartige Preise bald zur Normalität (Rohstoffpreise werden in der Regel international in US-\$ notiert, für Rohöl in Barrel=159 L). Das übersetzte sich in steigende Benzinpreise – und damit merkte auch der Normalbürger, der die Bewegungen auf den Rohstoffmärkten nicht im Wirtschaftsteil seiner Zeitung verfolgt und für den die Rohstoffwelt weit weg ist, dass sich Knappheiten entwickelten. Und liest er dann noch im politischen Teil seiner Zeitung von dem nicht zimperlichen Vorgehen Chinas, sich beispielsweise in Afrika Rohstoffrechte ohne Rücksicht auf Menschenrechte zu sichern, scheint das Bild konsistent zu werden, und die Sorgen um die Rohstoffzukunft werden immer größer.

Viele Menschen fragten sich deshalb, wie es denn mit den Verfügbarkeiten aussieht. Wie lange kann ich denn noch Auto fahren? Reicht es auch noch für meine Enkel?

Zuerst einmal eine prinzipielle Feststellung: Knappheiten am Markt haben **nichts** mit geologischen Knappheiten zu tun. Zum Rohstoffversorgungssystem gehören 4 Elemente: die Lagerstätte, die Investition in ein Bergwerk, um Rohstoffe aus der Lagerstätte zu produzieren, ein Transportsystem für die Produkte zum Verbraucher (Lagerstätten liegen selten dort, wo die Verbraucher sitzen) und letztendlich der Markt, der Verbraucher, der gewillt ist, für die Produkte zu zahlen. Wenn irgendwo in diesem System Engpässe entstehen, z.B. durch fehlen-

Abb. 1: SPIEGEL-Titelbild: 27.3.2006: „Der neue Kalte Krieg – Kampf um die Rohstoffe“ (mit Genehmigung des SPIEGEL-Verlags)



de Investitionen in Gruben, Förderinseln für Erdöl und Erdgas off-shore oder fehlende Transportkapazitäten, dann entstehen Knappheiten am Markt und die Preise steigen, auch wenn die Reserven und gar die Ressourcen riesig sind. Machen wir ein Gedankenexperiment: Morgen entwickelt jemand eine Technologie, die plötzlich große Mengen Reinstsilizium benötigt, die durch die bestehenden Kapazitäten nicht abgedeckt werden können. Was passiert, wenn die Nachfrage höher ist als das Angebot? Die Preise steigen. Sie reflektieren also nur die Verfügbarkeiten am Markt, denn der Rohstoff Quarz wie im Sand, ist natürlich praktisch unbegrenzt vorhanden.

Einleitend sei noch auf eine weitere grundlegende Frage eingegangen: Was sind überhaupt Rohstoffe? Jeder wird sofort sagen, es sind unbearbeitete Erzeugnisse aus der Urproduktion, die die Basis liefern für die weiterverarbeitende Industrie. Das ist natürlich richtig. Für die Rohstoffwirtschaft ist allerdings ein ganz anderer Aspekt entscheidend. Rohstoffe sind Massenprodukte, die kein Alleinstellungsmerkmal haben. Wer ein Kleid, einen Anzug oder ein Auto kaufen will, achtet natürlich auch auf den Preis. Aber entscheidend ist, ob ihr oder ihm der Kaufgegenstand gefällt. Dieser Aspekt fällt bei Rohstoffen völlig weg. Werden Hüttenprodukte wie bei Buntmetallen Kupfer, Blei, Zink, Aluminium,

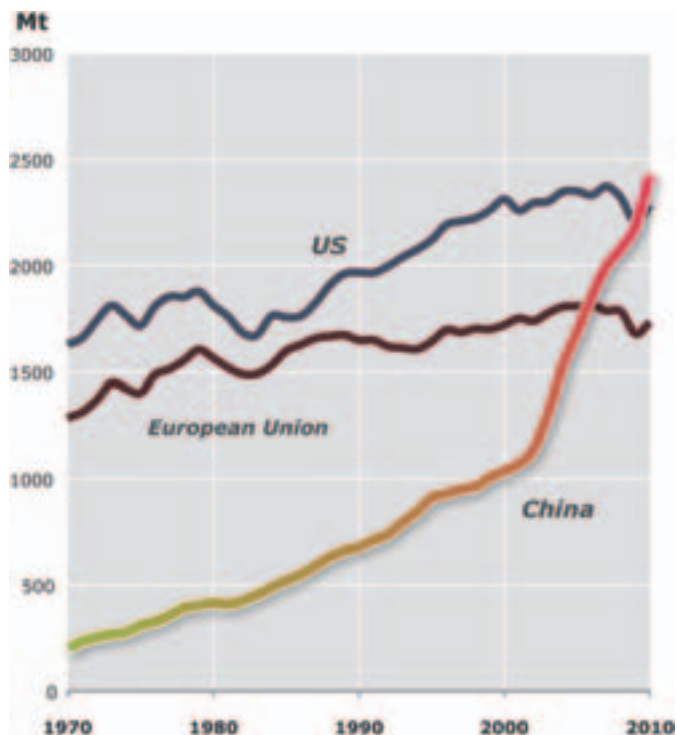


Abb. 2: Gesamtenergieverbrauch der großen Wirtschaftsblöcke in Millionen toe (tonnes of oil equivalent)

Nickel, Zinn an der Londoner Metallbörse (LME) gehandelt, so sind es standardisierte Produkte, also Produkte, die Mindestqualitäten erfüllen. Jemand, der über die LME, die Warenhäuser über die ganze Welt verteilt hat, z.B. Kupfer kauft, kann genauso gut Kupferbarren aus Chile, aus Südafrika, Russland oder von der früheren Norddeutschen Affinerie (heute Aurubis) in Hamburg bekommen. Sind es Naturprodukte, die an der Börse gehandelt werden, wie z.B. Rohöl, so gibt es Referenzsorten, in Europa z.B. das Nordseeöl Brent oder in den USA die Sorte WTI (West Texas Intermediate). Man kennt die Konsistenz der Öle, den Schwefelgehalt und andere Eigenschaften, weiß, wie sich diese in den Verarbeitungskosten niederschlagen und kann daher für andere Öle Zuschläge oder Abschläge errechnen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass es durch die Revolution bei den Frachtkosten durch immer größere und effizientere

Transportsysteme kaum mehr lokale Märkte gibt. Selbst ein relativ niedrigwertiges Produkt wie Eisenerz, das vor dem oben beschriebenen Preisboom etwa 20 US-\$/t kostete, kann man heute wirtschaftlich um die halbe Erde schicken, z.B. von den Lagerstätten der Hamersley Range in Westaustralien bis nach Europa. Dieses weltweite Handelssystem hat nun die Konsequenz, dass es für derartige Rohstoffe keine lokalen Märkte gibt. Hieraus folgt eine weitere Konsequenz: lokale Ereignisse wie ein Streik in einer größeren Grube, die Über- oder Unterdeckungen in der weltweiten Angebot/Nachfrage-Balance bewirken, können große Preisausschläge erzeugen. Preiskurven für Rohstoffe sind alles andere als konstant; sie gleichen Fieberkurven. Dieser Mechanismus wird in der Öffentlichkeit wenig verstanden, wie die Diskussion um den Einsatz von erneuerbaren Rohstoffen für die Energieerzeugung zeigt, die Diskussion um Tank

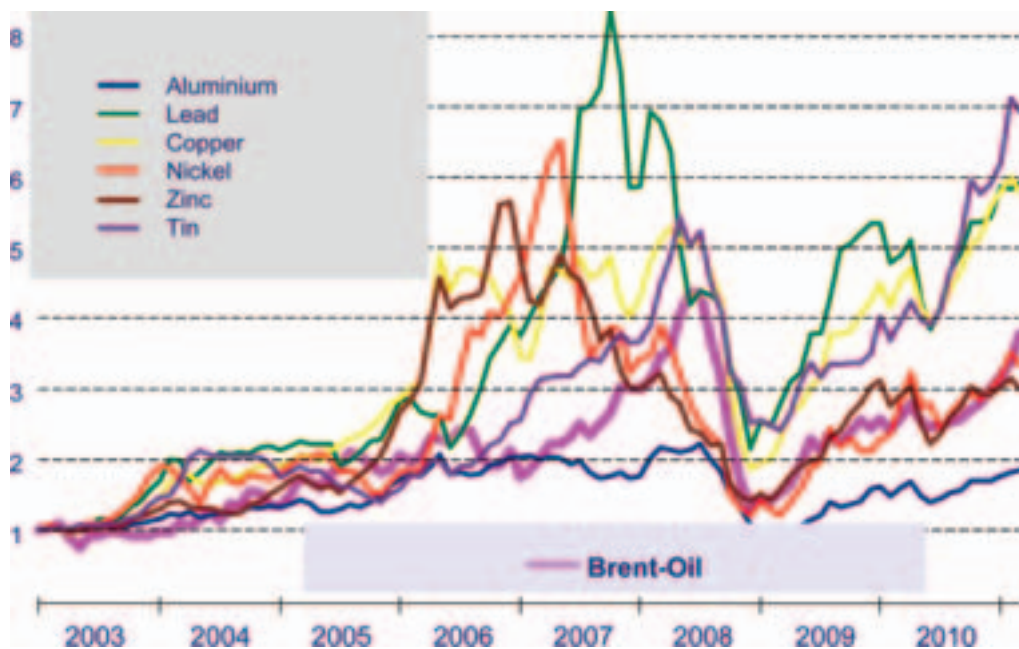


Abb. 3: Preisentwicklung der Rohstoffe (BGR-Preis-Indizes)

oder Teller. Häufig wird argumentiert, dass die wenigen Prozente der potentiellen Nahrungsmittel, die in die Biokraftstoffproduktion gehen, den Weltmarkt überhaupt nicht beeinflussen können. Die „Tortilla-riots“ in Mexiko und Unruhen in anderen Entwicklungsländern im Jahre 2006 als Folge der Preissteigerungen bei Nahrungsmitteln oder die überproportionalen Preissteigerungen beim Weizen nach den russischen Waldbränden letztes Jahr beweisen das Gegenteil. Dies gilt für mineralische oder Energierohstoffe genauso wie für agrarische.

Welche Rohstoffe benötigen wir?

Bevor wir uns mit der Frage des beunruhigten Großvaters befassen, ob die Rohstoffe noch für seine Enkel reichen, wollen wir eine Faktenbasis schaffen: Welche Rohstoffe benötigen wir überhaupt und wie viel davon? Bevor der große Preisboom begann, erstellte die BGR für das Jahr

2003 eine Mengen- und eine Wertpyramide des weltweiten Rohstoffverbrauchs. Im Jahre 2003 verbrauchte die Menschheit insgesamt ca. 35 Milliarden t Rohstoffe mit einem Wert von 800 Milliarden €. Studien anderer Autoren kommen heute auf ca. 45 Milliarden t Rohstoffe. Die Unsicherheit liegt bei den Steine und Erden-Rohstoffen, den Massenrohstoffen für die Bauindustrie. Halbwegs verlässliche Statistiken gibt es nur für die Industrieländer, aber kaum etwas Brauchbares für die bevölkerungsreichen Entwicklungsländer wie China und Indien. Man ist für die größte Rohstoffmenge auf grobe Schätzungen angewiesen. Der Gesamtwert aller Rohstoffe dürfte heute, betrachtet man die durchschnittliche Entwicklung der Preise seit 2003 (Abb. 3), bei etwa 2,5 Billionen € liegen.

Die Basis der Mengenpyramide stellen die Massenrohstoffe Sand und Kies, Splitte etc. in der Größenordnung von 10^{10} t dar, deren Men-

gen, wie eben gesagt, sich nur abschätzen lassen. International belastbare Statistiken beginnen erst mit dann folgenden Energierohstoffen (Zahlen für 2009): Kohle (6,006 Mrd. t), Erdöl (3,809 Mrd. t), Erdgas (3,041 Mrd. m³), Braunkohle (988 Mio. t). Diese Energiemengen kann man umrechnen in eine einzige Energieeinheit. Wir nehmen Tonnen Erdöläquivalent, abgekürzt mit toe; d.h. wir rechnen Stein- und Braunkohle sowie Erdgas in Tonnen Erdöl um. Die Summe sind dann etwa 10 Milliarden toe, eine unvorstellbar große Menge. Um sie verständlicher zu machen, überlegen wir uns, wie lange ein Güterzug der Deutschen Bahn AG sein müsste, um den täglichen Verbrauch an Tonnen Erdöläquivalenten zu transportieren. Ein Tankwagen der DB hat eine Länge von 15 m und fasst 60 t. Ein derartiger Güterzug für den täglichen Energieverbrauch der Menschheit würde von Berlin über den Atlantik bis jenseits von New York reichen.

Gehen wir von der Pyramidenbasis weiter zur Spitze, so folgt nach den Energierohstoffen der mit Abstand wichtigste Metallrohstoff Eisenerz mit 2,241 Mrd. t (2009). Ansonsten wird die untere Hälfte der Mengenpyramide von Nichtmetallrohstoffen dominiert wie Steinsalz, Kalisalz, Phosphat. Metalle nehmen erst zur Spitze zu. Wir verbrauchen überhaupt nur neun Metalle in Mengen größer als 1 Million t: Eisen, Aluminium, Kupfer, Mangan, Zink, Chrom, Blei, Titan und seit 1999 Nickel.

Von den 94 in der Natur vorkommenden Elementen verbrauchen oder nutzen wir in signifikanten Mengen nur etwa die Hälfte. Die meisten Elemente im Periodensystem sind Metalle oder Metalloide. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind viele aber in Verbindungen als Nichtmetalle: Als Beispiele nehmen wir Natrium, Kalium und Calcium. Als Metalle sind sie unbedeutend, bedeutend jedoch als Nichtmetalle: Steinsalz (NaCl), Kalisalz (KCl oder KCl·MgCl₂·6H₂O) und Kalk (CaCO₃). Silizium wird als Metalloid in der Elektronikindustrie in relativ geringen Mengen eingesetzt, die Hauptverwendung von Silizium ist jedoch als Nichtmetallrohstoff Quarz (SiO₂) in der Bauindustrie als Sand und Kies.

Die Spitze der Mengenpyramide bilden dann die Edelmetalle und die sogenannten elektronischen Elemente wie Indium, Germanium, Gallium, die wir in kleinen Mengen von 1.000 t oder gar nur 100 t benötigen. Sie sind kritische Rohstoffe für die Mess- und Regeltechnik. Man kann sagen, die Rohstoffe an der Spitze der Rohstoffpyramide sind die kritischen Rohstoffe, mit denen wir unter nur geringem Mengeneinsatz den effizienten Einsatz der großen Mengen der Energierohstoffe an der Basis der Pyramide optimieren können.

Der Rohstoffverbrauch eines durchschnittlichen Deutschen kann etwas griffiger werden, indem man ihn in Verbrauch pro Tag umrechnet. Es sind ca. 40 kg/Tag, d.h. jeder von uns verbraucht pro Tag so viele Rohstoffe wie das Gewicht von 2 Koffern, die man als Passagier mit seinem Partner in ein Flugzeug mitnehmen darf. Die Öffentlichkeit nimmt Deutschland kaum als Rohstoffland wahr, obwohl immer noch ca. 80% der in Deutschland benötigten Rohstoffe in Deutschland produziert werden. Das sind natürlich überwiegend die Massenrohstoffe der Bauindustrie, aber Deutschland ist immer noch das größte Braunkohlenförderland der Welt, der dritt- bzw. viertgrößte Steinsalz- und Kaliförderer und hierfür auch wichtiges Exportland, ist Exporteur bei Schwefel und Gips und nimmt bei vielen speziellen Steine und Erden-Rohstoffen wie Kaolin oder Bentonit vordere Spitzenplätze ein. Es gibt eine kleine Erdölförderung (knapp 3% des Verbrauchs) und eine bedeutendere Erdgasförderung (11 % des Verbrauchs). Das bei weitem größte Erdölfeld ist das Off-shore-Feld Mittelplate in der Nähe von Büsum, Schleswig-Holstein, das alleine 56 % zur deutschen Erdölproduktion beiträgt. Beim Erdgas kommen 95 % aus Niedersachsen. Der Steinkohlenbergbau soll 2018 schließen. Einen Metallerzbergbau gibt es in Deutschland auch nicht mehr. Der tausendjährige Rammelsberg schloss 1988, die beiden letzten Metallerzgruben Bad Grund und Meggen 1992; der Kupfer-, Uran- und Zinnbergbau der früheren DDR überlebte die Wiedervereinigung nicht. Möglicherweise kommt es aber in Zukunft wieder zu der Eröffnung eines

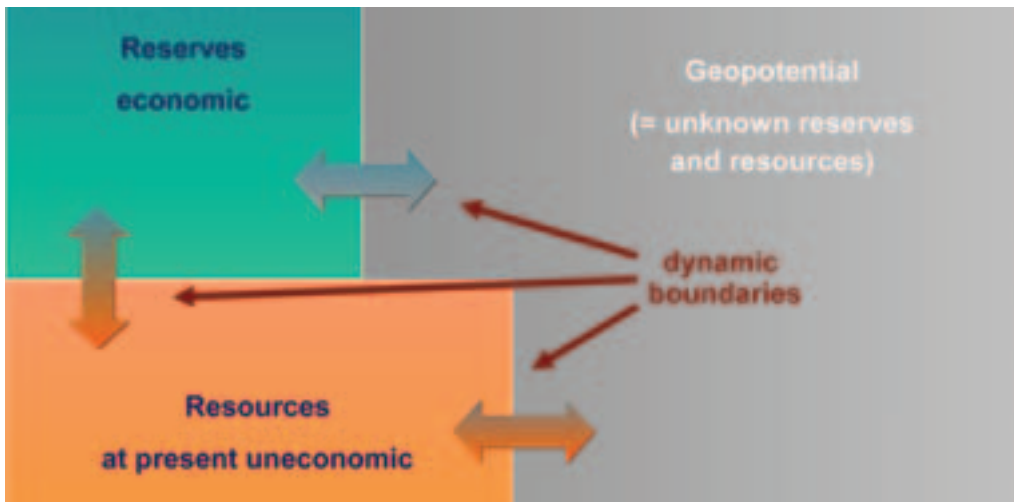


Abb. 4: Gesamtressourcenbox

Kupfererzbergwerkes aus dem Kupferschiefer in der Lausitz.

Dieses sind alles Primärrohstoffe aus der Geosphäre. Wir müssen aber auch die Sekundärrohstoffe aus der Technosphäre berücksichtigen. Die fossilen Energierohstoffe werden richtig verbraucht, die mineralischen Rohstoffe werden aber nur benutzt. Sie werden von der Geosphäre in die Technosphäre überführt und können recycelt werden. Deutschland nimmt eine Spitzenposition beim Recycling ein. So betragen die Kupferrecyclingraten gemessen an der Raffinateproduktion in Deutschland 54 %, in der EU 45 %, in den USA 41 % und weltweit nur 13 %. Auch beim Blei liegt der Recyclingwert über 50 %, beim Stahl bei 45 %, beim Aluminium bei 35 % und bei den schwieriger zu recycelnden Stahlveredlern wie beim Kobalt zwischen 20 und 25% oder 10 % beim Molybdän. Nimmt man eine andere Bezugsgröße in der Wertschöpfungskette, nicht das Endprodukt des Verhüttungs- oder Raffinationsstadiums, sondern bezieht alles auf das anfallende Sekundärmaterial (d.h. auf das zu recycelnde Produkt), so liegt z.B. beim Glasrecycling die Wiederverwertungsquote in Deutschland bei 94 %.

Definitionen

Kehren wir jetzt zu der Frage des besorgten Großvaters über die Rohstoffzukunft seiner Enkel zurück. Wir beginnen am besten mit Definitionen. Oben sind schon zwei Begriffe gefallen, die für die geologische Verfügbarkeit von grundsätzlicher Bedeutung sind: Reserven und Ressourcen. Wir wollen sie betrachten als Teil eines Gesamtsystems, der Gesamtressourcenbox, in der alles enthalten ist, was es auf der Erde gibt (Abb. 4). Reserven sind die Rohstoffe in der Erde, die bekannt und wirtschaftlich abbaubar sind, d.h. sie sind bauwürdig, Ressourcen sind die Mengen, die bekannt sind, aber z. Zt. nicht wirtschaftlich gewonnen werden können. Es sind höhere Preise und/oder Technologieverbesserungen notwendig, um sie in den Bereich der Abbauwürdigkeit zu bringen. Das füllt die Gesamtressourcenbox aber nicht aus. Es gibt ein großes Feld, das Geopotentialfeld oder potentielle Ressourcen, in dem die Ressourcen in prinzipiell hoffigen Gebieten liegen, die aber noch wenig oder gar nicht erkundet und somit nicht entdeckt sind. Nun sind die Grenzen zwischen Reserven, Ressourcen und Geopotential

fließend. Was heute Ressourcen sind, können morgen durch Technologieverbesserungen Reserven sein, und umgekehrt, wenn z.B. durch Preisverfall oder Kostensteigerungen bei der Gewinnung Reserven zu Ressourcen werden, wie wir es mit der deutschen Steinkohle erleben. Solange es eine aktive Exploration gibt, gilt das auch zu den Grenzen zwischen Reserven und Ressourcen einerseits und dem Geopotential andererseits. Das Beispiel der Off-shore-Ölproduktion möge diese erläutern. Im Jahre 1950 kamen etwa 5 % der weltweiten Produktion aus dem Off-shore-Bereich, heute sind es ca. 40 %. Betrug die Wassertiefe, in der gebohrt und aus der gefördert werden konnte, 1950 um 20 m, so sind es heute ca. 3.000 m im Golf von Mexiko. Übersetzt auf die Gesamtressourcenbox in Abb. 4 heißt das, was im Jahre 1950 im Geopotentialfeld lag, liegt heute im Reservenfeld oder im Ressourcenfeld, wenn die Vorkommen sich als z.Zt. nicht bauwürdig erweisen, weil sie z.B. zu klein sind, um die notwendigen hohen Investitionen zu tragen. Ein Beispiel wären verschiedene kleinere Off-shore-Erdgasvorkommen in der deutschen Nordsee. Aus dieser Betrachtung wird deutlich, dass es auch einen Zeitfaktor gibt, den wir berücksichtigen müssen.

Der Zeitfaktor

Wer sich Sorgen über die Reichweite von Reserven macht, fragt die Deutsche Rohstoffagentur bei der BGR nach Reservezahlen oder sieht in der Publikation „Mineral Commodity Summa-

ries“ des US Geological Survey (USGS) nach. Er schlägt dann den jährlichen Verbrauch nach, teilt die Reservenzahl durch die Verbrauchszahl und kommt zwangsläufig zu einer Jahreszahl, die endlich ist. Rein mathematisch ist das natürlich richtig, aber die Interpretation ist völlig falsch, denn die Lebenszeitberechnung für eine Grube wird irrtümlicherweise auf einen ganzen Rohstoff übertragen. Betrachtet man ein Bergwerk auf einer ausexplorierten Lagerstätte, so ist diese Zahl fixiert und wird mit dem Abbau um die jährliche Fördermenge natürlich stetig kleiner. Der Quotient aus Reserven zu jährlicher Produktion ergibt damit die Lebenszeit der Grube. Das ist aber bei den Reserven eines Rohstoffes ganz anders. Im Gegensatz zu den statischen Reserven einer ausexplorierten Lagerstätte sind die Reserven eines ganzen Rohstoffes eine dynamische Größe. Sie sind immer eine Funktion der laufenden Explorationsaktivitäten und damit der Zeit. Da in der Regel jede Rohstoffgesellschaft Exploration betreibt, wachsen die Reserven mit der Produktion. Meistens wachsen sie sogar überproportional, da die Gesellschaften in der Regel den Ehrgeiz haben zu wachsen und da die Produktionseinheiten immer größer werden, muss auch die Reservenbasis größer werden. Das ist eine empirische Abhängigkeit, die im Bergbau auf mineralische Rohstoffe nach einem kanadischen Bergbauingenieur als Taylor-Regel bezeichnet wird.

Dieses Mitwachsen der Reserven mit der Förderung sei exemplarisch an zwei Beispielen gezeigt: Erdöl und Phosphat (Tab. 1).

Tab. 1a: Das Wachsen der Reserven am Beispiel Öl

	Produktion	Reserven	Verhältnis: Reserven/Produktion
1950	543 Mio. t	11.277 Mio. t	22
2009	3.809 Mio. t	161.000 Mio. t	42

Tab. 1b: Das Wachsen der Reserven am Beispiel Phosphat

	Produktion	Reserven	Verhältnis: Reserven/Produktion
1988	152,6 Mio. t	36.400 Mio. t	239
2010	176,0 Mio. t	65.000 Mio. t	369

Die Schlussfolgerung ist also: Reserven sind immer eine Funktion der Zeit. Daraus folgt, dass das Verhältnis Reserven/Produktion **nicht** die Lebensdauer ist – oder es falsch ist, sie als „life index“ zu bezeichnen, sondern das Verhältnis ist immer nur eine Momentaufnahme in einem sich dynamisch entwickelnden System. Das Gleiche gilt für die Ressourcen. (Früher wurde vom USGS noch eine weitere Kategorie unterschieden: „reserve base“. Das waren Reserven mit weichen Kriterien für die Wirtschaftlichkeit. Der Begriff wird seit 2010 nicht mehr verwendet.)

Eine letzte Bemerkung zu den bekannten Reserven: Keine Institution der Welt hat die Aufgabe und das Geld, ein Inventar der Welt zu erstellen. Somit gibt es auch für keinen Rohstoff ein abgeschlossenes Weltinventar. Niemand kann also die Gesamtkostenbox in Abb. 4 abschätzen – mit einer Ausnahme Erdöl, womit wir uns weiter unten noch genau beschäftigen werden. Die bekannten Reserven sind das Ergebnis der Explorationsaktivitäten der Rohstofffirmen. Explorationsaktivitäten sind immer hoch risikoreich und müssen aus Gewinnen bezahlt werden. Bei der Erdöl- und Erdgasexploration wird nur etwa jede dritte Bohrung fruchtig, bei den viel billigeren, weil flacheren Bohrungen in der Erzexploration ist es sogar nur jede hundertste. Die Firmen wollen ihre Explorationsgelder so schnell

wie möglich aus den Erlösen der neu entdeckten Lagerstätten zurückgewinnen, d.h. sie suchen Lagerstätten, die sie so schnell wie möglich in Produktion nehmen wollen; sie suchen keine Reserven oder gar Ressourcen, deren Zeit vielleicht erst in 100 oder 200 Jahren kommt.

Ist die Kennzahl Reserven/Produktion (R/P-Verhältnis) völlig sinnlos? (Teil 1)

Wir haben eben gesehen, dass die Reserven eine Funktion der Zeit, also dynamisch zu betrachten sind. Sie sind noch eine Funktion vieler anderer Parameter. Ein wichtiger ist z.B. der Preis. Steigen die Preise in realen Werten, können niedrigere Lagerstättenteile abgebaut werden, d.h. die Cut-off-Grenzen können gesenkt werden. Für Metalllagerstätten gilt über einen weiten Gehaltsbereich die Regel von Lasky (einem längst pensionierten Geologen des USGS), dass mit einer linearen Erniedrigung der Gehalte die Tonnagen exponentiell steigen. Ein Faktor, der auch einen entscheidenden Einfluss hat, ist die Lagerstättengeneese. Für stratiforme, schichtgebundene Lagerstätten, die man leicht extrapolieren kann, lassen sich mit großen Bohrabständen leicht große Reserven berechnen. In Australien erfordern bei Kohlelagerstätten sogenannte sichere Reserven, die höchste Reservekategorie mit einem Fehler von $\pm 20\%$, nur einen Bohrabstand von 1.000 m. Bei linsenförmigen Lagerstätten sind die Reserven

Tabelle 2a: Reserven/Produktions (R/P)-Verhältnisse für stratiforme Lagerstätten

Rohstoff	R/P-Verhältnis	Rohstoff	R/P-Verhältnis
Phosphat	369	Bauxit (Aluminiumerz)	133
Braunkohle	342	Steinkohle	124
Platingruppenelemente	335	Titan (in Seifenlagerst.)	110
Kali	288	Eisenerz	75

Tab. 2b: Reserven/Produktions (R/P)-Verhältnisse für linsige Lagerstätten

Rohstoff	R/P-Verhältnis	Rohstoff	R/P-Verhältnis
Erdgas	65	Gold	20
Erdöl	42	Blei	20
Kupfer	39	Zinn	20
Silber	23	Chrom	18
Zink	21	Antimon	13

gen Erzlagerstätten ist das absolut unmöglich. Mancher Lagerstättentyp ist so unregelmäßig, wie z.B. die sogenannten podiformen Chromitlagerstätten in der Türkei oder Albanien, dass man sichere Reserven überhaupt nicht mit Bohrungen, sondern nur über eine Untertageexploration erreichen kann. Wie sich der Lagerstättentyp in den Reservezahlen 2009/2010 der BGR und des USGS ausdrückt, zeigen Beispiele in den Tabellen 2a und 2b. Da die absoluten Zahlen wenig sagen, standardisieren wir sie, indem wir sie durch die jährliche Produktion teilen, d.h. wir betrachten die R/P-Verhältnisse:

Man könnte also sagen, diese Zahlen der R/P-Verhältnisse sind völlig sinnlos. Wir wollen das Kind aber nicht gleich mit dem Bade ausschütten. Dafür wollen wir eine Zwischenüberlegung einschalten und uns überlegen, wofür brauchen wir überhaupt Rohstoffe. Auf den ersten Blick ein abstrakt erscheinendes Gedankenexperiment. Es führt uns aber dazu, einen Weg aus der Beschränkung der primären Ressourcen zu finden.

Wofür brauchen wir Rohstoffe?

Analysiert man, warum der Mensch Rohstoffe benötigt, kommt man schnell zu der Erkenntnis, dass in der Regel nicht die Rohstoffe um ihrer selbst willen benötigt werden, sondern immer nur Rohstoffe zur Ausnutzung ihrer Eigenschaften. Die Leitfähigkeit des Kupfers für elektrischen Strom nutzte man früher zur Übertragung von Nachrichten mit kupfernen Telefondrähten. Hierfür kann man heute Glasfaserkabel einsetzen, oder man benutzt zur Nachrichtenübermittlung Richtfunkantennen oder Satellitentelefone. Jeweils gibt es andere Rohstoffanforderungen. Wir brauchen Rohstoffe, um Lösungen für Funktionen zu finden, im Kupferbeispiel für die Funktion Nachrichtenübermittlung. Es sind also Substitutionsprozesse im weitesten Sinne. Früher brauchte man Blei für Lettern beim Drucken, heute hat man mit der Computertechnik eine Lösung für die Funktion Drucken ohne Blei gefunden.

Für das Entdecken von Lösungen für Funktionen stehen uns drei Ressourcen zur Verfügung:

- alle Ressourcen der Geosphäre, d.h. die primären Rohstoffe,
- alle Ressourcen der Technosphäre, d.h. die Sekundärrohstoffe, und
- die menschliche Kreativität als wichtigste Ressource überhaupt.

Im Grunde ist die Nutzung aller Rohstoffe das Ergebnis unserer Erfindungsgabe, nämlich für eine Funktion einen Stoff in der Natur zu finden, der diese Funktion bestens erfüllt. Als der frühe Mensch eine Lösung suchte, Materialien zu schneiden, entdeckte er, dass das vulkanische Glas Obsidian sehr hart ist, sich Stücke mit scharfen Kanten leicht abschlagen ließen und sich Obsidianklingen gut für das Schneiden eignete. Vielleicht war es auch umgekehrt, und er entdeckte, dass ein Schaber aus Obsidian sich gut zu Schneiden eignete und die Beherrschung der Funktion Schneiden große Vorteile bot. So wurde Obsidian ein wertvoller Rohstoff, der schon in der Steinzeit über damals weite Strecken gehandelt wurde, z.B. von der Insel Milos zur Insel Kreta.

Dass Rohstoffe dazu da sind, Funktionen zu erfüllen, gilt auch für Benzin, um zum besorgten Großvater an der Tanksäule zurückzukehren, nämlich für die Funktion Mobilität. Heute braucht man dafür Rohöl; man kann auch Biomasse einsetzen. Die Diskussion um E10 kennt jeder. Die Erdölfirmen arbeiten an GTL-Anlagen (gas to liquids), um Benzin aus Erdgas herzustellen. Sind die Preise hoch genug, kann Kohle hydriert werden wie in Südafrika oder in Deutschland im 2. Weltkrieg. Längerfristig wird die Funktion Mobilität vermutlich überwiegend über Elektrizität aus erneuerbaren Energien gelöst werden.

Ist die Kennzahl Reserven/Produktion (R/P-Verhältnis) völlig sinnlos? (Teil 2)

Mit diesem Ergebnis kehren wir zur Frage zurück, ob die Kenntnis des R/P-Verhältnisses irrelevant ist. Lösungen für Funktionen zu finden, ist ein Lernprozess. Ein Lernprozess braucht Zeit. Und das Reserven/Produktion-Verhältnis hat die Dimension [Jahre], also eine Zeiteinheit; es kann uns also eine Indikation geben, wie lan-

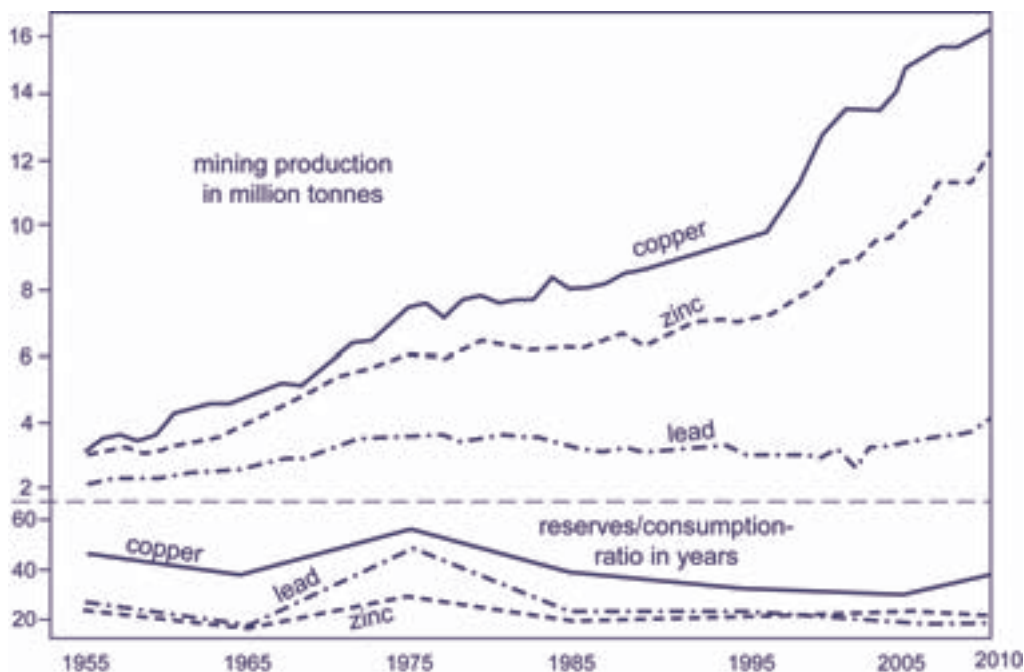


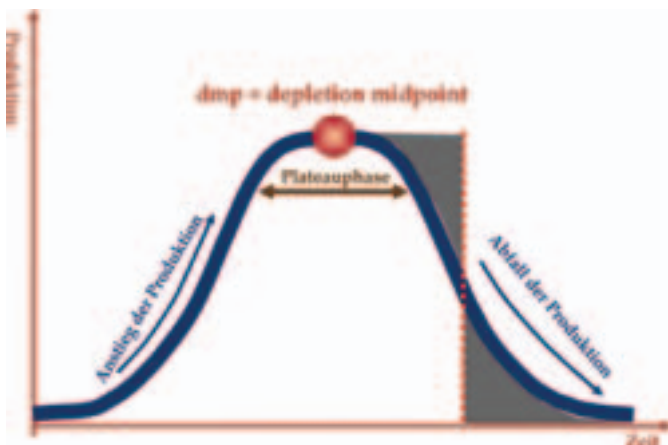
Abb. 5 : Entwicklung der Grubenproduktion und des R/P-Verhältnisses von 1955 bis 2010 für Kupfer, Blei und Zink

ge wir denn Zeit haben, eine Lösung für die Funktion eines Rohstoffes zu finden. Das ist die einzige sinnvolle Information des R/P-Verhältnisses. Die einfachste Lösung, um die Funktion zu erfüllen, ist natürlich, den Rohstoff selbst wieder neu zu entdecken, d.h. erfolgreich in der Exploration zu sein. Und das kann man auch in der weltweiten Exploration beobachten. Die kanadische Rohstoffconsultinggruppe Metals Economics Group (MEG) in Halifax, Nova Scotia, führt jährlich eine Befragung der großen internationalen Bergbaugesellschaften über ihre Explorationsbudgets durch. Natürlich richtet sich eine Explorationsstrategie immer auch nach der wirtschaftlichen Attraktivität eines Rohstoffes, aber es ist ganz klar zu erkennen, dass die niedrigen R/P-Verhältnisse Firmen zwingen, dauernd zu explorieren, um ihre Reservebilanz zu halten. Der Planungshorizont von Bergbauunternehmen für In-

vestitionen und den erfolgreichen Betrieb eines Bergwerkes beträgt etwa 15 bis 30 Jahre. Umgekehrt wird kaum Explorationsgeld ausgegeben für Rohstoffe mit hohen R/P-Verhältnissen. Für Kali und Phosphat zusammen waren es im Jahre 2010 nur ca. 2 % der weltweiten Explorationsausgaben, während es bei den Buntmetallen 33 % und beim Gold 51 % waren.

Nun ist der sich um die Zukunft seiner Enkel sorgende Großvater auch ein kritisch denkender Mensch, und er erwidert: „Schön, diese R/P-Verhältnisse sind eine Momentaufnahme in einem sich dynamisch entwickelnden System, aber woher weiß ich, dass die Bergbauunternehmen auch erfolgreich sind, um die Reserven zu ersetzen?“ Der Großvater hat Recht. Man muss Zeitreihen betrachten. In den Tabellen 1a und 1b oben über das Wachstum der Reserven haben wir das schon gemacht. In Abb. 5 sind derartige

Abb. 6: Modell Hubbert-Kurve



Zeitreihen von 1955 bis heute für Kupfer, Blei und Zink beispielhaft dargestellt. Man kann sehen, dass die R/P-Verhältnisse nur innerhalb gewisser Bandbreiten schwankten, beim Blei und Zink z.B. immer in den Zwanzigern, obwohl der Zinkverbrauch von ca. 3 Mio. t (1955) auf ca. 12 Mio. t (heute) angestiegen ist. Das Verhältnis wurde immer gehalten. Knappheiten – trotz des geringen R/P-Verhältnisses – sind nie aufgetreten. Voraussetzung, um dieses Gleichgewicht zu halten, ist die oben erwähnte wichtigste Ressource überhaupt: Kreativität. Und welcher Großvater wäre nicht von der Kreativität seiner Enkel überzeugt?!

Rückkehr zur Gesamtressourcenbox in Abb. 4 für Öl

Eine Korrektur müssen wir nun doch an dem Rohstoffbild, das wir für den Großvater entwickelt haben, machen. Wir sagten oben: Niemand kann also die Gesamtressourcenbox in Abb. 4 abschätzen – mit einer Ausnahme: Erdöl. Warum ausgerechnet Erdöl? Erdöl ist im wahrsten Sinne des Wortes ein besonderer „Stoff“. Erdöllagerstätten entstehen aus organischer mariner Substanz, indem die Sedimente abgesenkt werden und in einen bestimmten Temperaturbereich, die sogenannte Ölküche, gelangen. Wird dieser Temperaturbereich überschritten, entsteht Erdgas. Damit hat das Auftreten von Erdöl eine

Teufenbeschränkung. Erdöl entsteht also in Sedimentbecken. Wir kennen die großen Sedimentbecken onshore und die meisten offshore. Das oben erwähnte Gesetz von Lasky über die exponentielle Zunahme der Tonnage mit linearer Abnahme der Gehalte gilt nicht für Erdöl: Erdöl ist in einem Speichergestein entweder vorhanden oder nicht. Es migriert aus einem Muttergestein in ein Speichergestein und ist „gefangen“ zwischen einer unterlagernden Wasserschicht und einer Gaskappe bzw. einer undurchlässigen Deckschicht. Diese und andere Rahmenparameter machen es möglich, eine statistische Abschätzung vorzunehmen über die endgültige zu fördernde Erdölmenge, die „estimated ultimate recovery“ (EUR). Die endgültige Zahl soll hier nicht weiter interessieren, sondern der Zeitpunkt, wann wir ein Fördermaximum erreichen werden.

Wir haben uns eben mit dem Reserven/Produktion-Verhältnis beschäftigt und gesehen, dass es **nicht** der Lebensdauer entspricht. Dieses Verhältnis kann noch aus einem anderen Grund nicht die Lebensdauer eines Rohstoffes sein: Ein Rohstoffreserven-Pool ist kein Autotank, der z.B. bei einem Fassungsvermögen von 60 L für 600 km Reichweite reicht bei einem Verbrauch von 10 L/100 km. Man kann mit Höchstgeschwindigkeit bis zum letzten Tropfen fahren; dann plötzlich steht das Auto. Die Produktion von Öl-

und Gasfeldern, Gruben oder Lagerstätten-distrikten folgt jedoch über die Lebenszeit einer logistischen U-Kurve: zuerst ein langsamer Anstieg, dann ein Plateau, dann ein Abfall, mehr oder weniger ein Spiegelbild der Anstiegsphase. Abb. 6 zeigt ein Modell. Der amerikanische Geologe King Hubbert benutzte diese Technik 1956, um erfolgreich vorherzusagen, dass die US-Öl-Produktion in den südlichen 48 US-Staaten ihren Peak 1971 erreichen würde. In der Abschätzung der realen Produktion betrug sein Fehler nur ein Jahr. Daher wird diese Kurve auch als Hubbert-Kurve bezeichnet. Hieraus folgt, dass es für die zukünftige Rohstoffverfügbarkeit viel wichtiger ist, den Zeitpunkt des Peaks vorherzusagen, als das Ende des absteigenden Astes der Hubbert-Kurve abzuschätzen. Die Diskussion um „Peak Oil“ hat eine hohe politische Relevanz und der Begriff „Peak Oil“ taucht regelmäßig in den Wirtschaftsteilen von Tages- oder Wochenzeitschriften auf (siehe hierzu z.B. die Webpage der „Association for the Study of Peak Oil“, ASPO). Die jüngste Extrapolation von „Peak Oil“ stammt aus der regelmäßig erscheinenden Energiestudie der BGR. Sie schätzt den Peak Oil von konventionellen Öllagerstätten und Kondensat aus Gaslagerstätten für den Zeitraum zwischen 2030 und 2040 ab.

Eine Einschränkung, aber oben haben wir schon ausgeführt, dass es alternative Energiequellen für den Bereich Mobilität, das Haupteinsatzgebiet von Erdöl, gibt. Überhaupt haben die Energierohstoffe, alle fossilen, Kernenergie und die erneuerbaren glücklicherweise den höchsten Grad der Substituierbarkeit. Die Funktionen, für die wir Energierohstoffe einsetzen, sind Wärme, Bewegung und Licht. Gegebenenfalls über den Weg der Elektrizität kann jeder der Energierohstoffe alle diese Funktionen erfüllen.

Wie sieht es mit den Nährstoffen aus?

Unser Großvater mit den Zukunftssorgen für seine Enkel ist unseren Gedankengängen gefolgt, hat aber eine Lücke in unserer Argumentation entdeckt. Ja, wir brauchen nur eine Lösungen

für Funktionen, aber es gibt drei Ausnahmen: die Nährstoffe Stickstoff, Kalium und Phosphat. Die Pflanze benötigt sie als solche. Sie sind nicht substituierbar und sind genauso unersetzbar wie der Rohstoff Wasser. Für Stickstoff gibt es kein Problem, da es ein unerschöpfliches Reservoir in der Luft gibt. Solange Energie zur Verfügung steht, kann mit chemischen Prozessen dieser Stickstoff für die Düngung verfügbar gemacht werden (z.B. mit dem Haber-Bosch-Prozess) oder aber mit gewissen Pflanzen wie Lupinen. Entsprechendes gilt für Kalium, für das es ein praktisch unerschöpfliches Reservoir im Meerwasser gibt. Es gibt jedoch kein unerschöpfliches Reservoir für Phosphat.

Hier gibt es nun in einigen Kreisen Befürchtungen für eine zukünftige Katastrophe, die auch immer wieder in Zeitungen, Illustrierten oder populärwissenschaftlichen Journalen geäußert werden. So z.B. in PM – Welt des Wissens vom August 2010: „Zeitbombe Phosphor – Wenn dieser Stoff ausgeht, droht die Apokalypse“ oder im Stern vom 7.4.2011: „Düngermangel“. Ausgangspunkt solcher Befürchtungen ist, dass die Anhänger eines derartigen Szenarios einen Peak Phosphat zu erkennen glauben. Hierbei wird übersehen, dass es Peak-Verbrauchskurven oder zumindest Verbrauchskurven mit deutlichen Verflachungen, die einen kommenden Peak anzudeuten scheinen, aus zwei völlig gegensätzlichen Gründen geben kann. Der eine Fall ergibt sich aus angebotsseitigen Beschränkungen: die Gesamtressourcenbox wird graduell ausgeschöpft. Die von Hubbert verwendete Produktionskurve für den Peak-Öl-Zeitpunkt für die USA ist hierfür ein gutes Beispiel.

Das Gegenteil ist der Fall mit aber der gleichen Erscheinung eines Peaks, wenn die Nachfrage nachlässt. Dies trifft auf Phosphat zu. Sieht man sich die Phosphatproduktionskurve an (Abb. 7), so gab es tatsächlich einen Peak mit der Wende 1980/90 und dann eine Verflachung, parallel mit dem Einsatz der anderen Düngemittel. Dieser ist aber nicht bedingt durch ein enger werdendes Angebot, sondern durch eine zurückgehende Nachfrage. Der Grund ist eine Verbesserung der Düngungsmethoden, z.B. durch die Methode

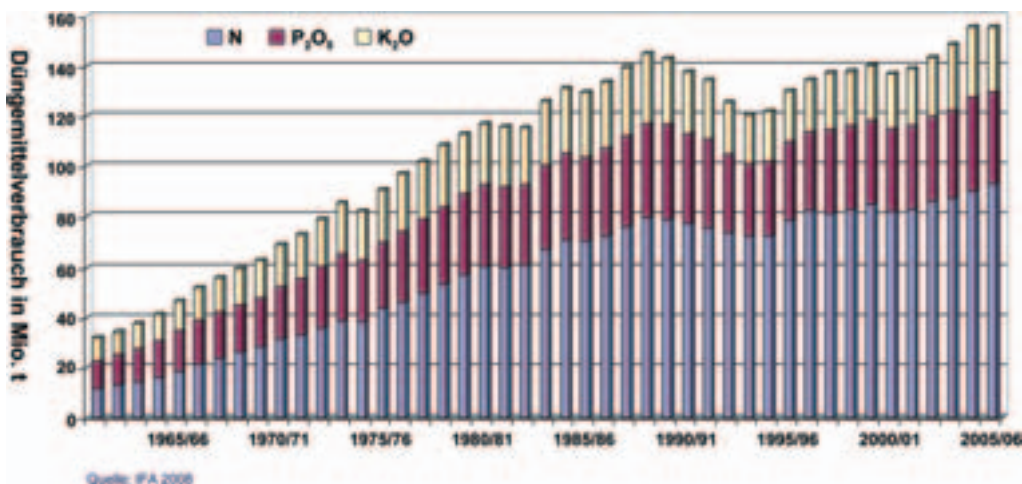


Abb. 7: Weltweiter Düngemittelverbrauch 1961/62 bis 2005/2006 (Dr. S. Röhling, BGR)

des „Precision Farming“, computergesteuert nur so viel Dünger auszubringen, wie der Boden benötigt, also Überdüngung zu vermeiden und Dünger zu sparen.

Um diese Argumentation noch zu untermauern, betrachten wir den deutschen Düngemittelausatz, und zwar nicht nur Phosphat, sondern auch Kali (Abb. 8). Wir sehen eine völlig parallele Entwicklung und einen Peak. Oben wurde ausgeführt, dass Deutschland der viertgrößte Kaliproduzent der Welt und große Exportnation ist. Der Peak kann also nicht an einer Angebotsenge liegen, sondern muss nachfragebedingt sein durch Effizienzgewinne in der Landwirtschaft.

Elektronische Metalle als beibrechende Rohstoffe und der Regelkreis der Rohstoffversorgung.

Unser rohstoffbesorgter Großvater folgt unserer Argumentation, glaubt aber in der Zwischenzeit durch Selbststudium eine weitere Lücke in unserer Argumentationskette gefunden zu haben. Er hat gelesen, dass die sogenannten elektronischen Elemente wie Gallium, Germanium oder Indium, die wir in vielen High-Tech-Anwendungen benötigen, Indium z.B. in Solarzellen, nicht

den normalen Angebots- und Nachfragerregeln folgen und preisinelastisch sind. Richtig, diese Metalle sind eine Sonderkategorie. Sie treten nicht in eigenen Lagerstätten auf, sondern nur mit anderen Elementen zusammen, sie sind „beibrechend“. Gallium wird z.B. bei der Aluminiumgewinnung gewonnen, Germanium und Indium bei der Zinkverhüttung. Steigt die Nachfrage nach Germanium, wird eine Zinkhütte nicht die Zinkproduktion erhöhen, um die steigende Nachfrage zu befriedigen. Daher besteht hier wirklich eine hohe Inelastizität. Aber auch hier gibt es Lösungen. Kommt es zu Knappheiten, steigen die Preise. Es greift dann der von der BGR definierte Regelkreis der Rohstoffversorgung. Die Erwartung von hohen Renditen auf das eingesetzte Kapital befördert die Investitionstätigkeiten und regt die Kreativität an, Lösungen zu finden. Zinkhütten, die noch keine Germaniumgewinnungsanlagen besitzen, können animiert werden, in dieses Geschäft zu investieren. Die Anregung, durch Preisanreize kreative Lösungen für Knappheiten gemäß des Regelkreises der Rohstoffversorgung zu finden, könnte z.B. auf der Angebotsseite bewirken, ganz gezielt nach Lagerstätten zu suchen, in denen die beibrechenden Metalle maximiert sind

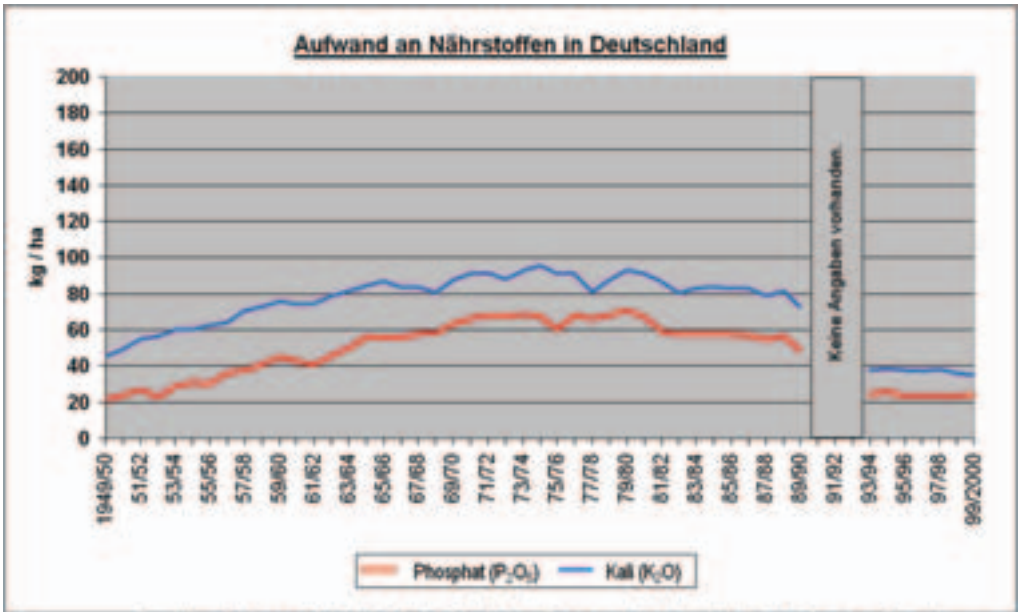


Abb. 8: Düngemittelleinsatz in Deutschland

oder das Recycling zu verbessern. Bisher ist es z.B. unwirtschaftlich, Indium aus Fernsehschirmen zu recyceln. Auf der Nachfrageseite bewirkt der Regelkreis einen sparsameren Materialverbrauch, Substitution oder die Erfindung ganz neuer Methoden, die andere Rohstoffprofile mit niedrigeren Preisen erfordern. Selbst bei großen Knappheiten und dramatischen Preispeaks hat sich dieser Mechanismus in der Marktwirtschaft bewährt. Große Preispeaks sind also kein Anzeichen, dass das marktwirtschaftliche System nicht funktioniert, sondern das Gegenteil. Sie setzen schöpferische Kräfte frei. Ein Beispiel: 1979/80 gab es einen steilen Tantalpreispeak. Man überlegte sich sogar Granite abzubauen, um die leicht erhöhten Tantalgehalte zu gewinnen. Der Preis stieg um das fast Sechsfache. Der Preispeak setzte den Regelkreis in Gang. Auf der Angebotsseite wurden unkonventionelle Ressourcen abgebaut. Zu jener Zeit ka-

men 50 % des Tantals aus Primärschlacken, 50 % beibehaltend aus Zinnlagerstätten, und zwar aus Zinnschlacken, zumeist aus Thailand. Teilweise waren die Tantalgehalte aber so niedrig, dass eine Tantalgewinnung nicht lohnte und diese Zinnschlacken in Thailand zur Wegebefestigung und als Basis für Häuser benutzt wurden. Jetzt war es lohnend, die Wege aufzureißen und unter den Häusern die Schlacken „abzubauen“. Auf der Nachfrageseite wurden Wege gefunden, mit weniger Tantal auszukommen, um die gleiche Leistung der Kondensatoren zu erreichen, dem Haupteinsatzgebiet. Gesteigertes Angebot und reduzierte Nachfrage führten dazu, dass nach einem Jahr der Preis wieder ein Gleichgewicht fand und sich auf dem alten Niveau vor dem Preispeak einpendelte. Zahlreiche andere Beispiele ließen sich anführen, die sich so über Preispeaks lösten: die Kobaltknappheit einhergehend mit der Shaba-Krise 1978 in Kon-

go/Zaire, der Molybdänpreispeak 1978 oder der Uranpreispeak beginnend 1975.

Finales Szenario für Phosphat

Der um die Rohstoffverfügbarkeit für seine Enkel besorgte Großvater ist allen unseren Gedankengängen gefolgt. Er sieht ein, dass wir Lösungen für Funktionen finden und dass diese Lösungen in Zukunft verstärkt aus der Technosphäre kommen müssen, da in diesem Compartment der Rohstoffpool immer größer wird; er anerkennt den Marktmechanismus, der den Regelkreis der Rohstoffversorgung über den Preis treibt, aber seine Sorgen haben wir immer noch nicht ganz zerstreut. Er hakt nach beim Phosphat: Mag das Reserven/Produktion-Verhältnis mit 370 auch ungewöhnlich hoch sein (s. Tabelle 1b), wir brauchen jedoch das Phosphoratom direkt und können es für die Pflanzen nicht substituieren. Es gibt kein unbegrenztes Reservoir wie beim Kali oder Stickstoff. Irgendwann – mag es auch weit in der Zukunft liegen – ist die Gesamtressourcenbox ausgeschöpft. Was dann?

Hier müssen wir den Großvater auf ein Szenario mitnehmen. Die Menschheit muss dahin kommen, dass Phosphat völlig im Kreislauf durch verbessertes „Precision farming“ geführt werden kann und jeder Verlust durch Abfluss in den Vorfluter und dann ins Meer vermieden wird. Gerät Phosphat ins Meer, ist es verloren. Glücklicherweise gibt es Unterstützung. Wir haben eine lange Vorlaufzeit, dieses Ziel zu erreichen, wie oben gesagt, die einzige wirkliche Aussage des R/P-Verhältnisses. Dann eine weitere Hilfe: Phosphor ist im Boden relativ unlöslich. Archäologen nutzen es als Spurenelement, um damit in 1.000 Jahre alten Siedlungen festzustellen, wo die Wohngebäude, wo die Stallungen lagen. Zu diesem Szenario gehören auch wissenschaftliche und technologische Durchbrüche, die wir heute noch nicht erkennen können. Die Erfahrung zeigt, dass wir kaum über 30 Jahre hinaus schauen können. Man mache nur mal das Eigenexperiment, gehe 100 Jahre zurück und versuche zu extrapolieren, wie die Welt in 100 Jahren aussehen würde. Wer hätte die heutige

Welt vorhergesagt? Nehmen wir von dem R/P-Verhältnis von Phosphat von 370 mal die Halbwertszeit von 185 Jahren – also noch länger zurück – und betrachten beispielhaft einige überraschende Durchbrüche:

1.) In Kopenhagen wird ein Zeremonienhelm des dänischen Königs Friedrich VII (1848–1863) ausgestellt, der aus Aluminium mit Goldbeschlägen besteht. Das Wertvolle an diesem Helm zur damaligen Zeit war das Aluminium, nicht das Gold. Erst als Werner von Siemens 1866 die Dynamomaschine erfand und unabhängig voneinander 1887 Héroult in Frankreich und Hall in den USA die Aluminiumelektrolyse, konnte Aluminium seinen Weg zum Massenmetall beginnen, das heute billiger als Kupfer ist. Erstmals um 1960 wurde mehr Aluminium produziert als Kupfer. Heute wird doppelt so viel Aluminium eingesetzt wie Kupfer und der Aluminiumpreis beträgt nur etwas mehr als ein Viertel des Kupferpreises.

2.) In Australien beschloss man 1938, ein Eisenerzexportembargo zu erlassen, weil man meinte, Australien habe nicht genug Eisenerz, um sich selbst zu versorgen. Dieses Embargo wurde 1960 aufgehoben. Heute ist Australien der größte Eisenerzexporteur der Welt.

3.) Jeder kennt die Katastrophe von Lakehurst bei New York am 6.3.1937, als der deutsche Zepelin „Hindenburg“ in Flammen aufging. Grund war die Befüllung mit Wasserstoff. Das inerte Edelgas Helium stand nicht zur Verfügung, da die USA, damals der einzige Produzent, es als strategischen Rohstoff betrachteten und nicht verkauften. Es wurde in Texas aus Erdgas abgetrennt und von einer staatlichen Firma in einem Stockpile zurückgehalten. Heute ist die Heliumindustrie längst privatisiert. Helium wird in etlichen Ländern gewonnen und ist auf dem Weltmarkt käuflich.

4.) Oder ein jüngstes Beispiel: nachdem manche um das Jahr 2000 herum in der US-amerikanischen Gasförderung schon einen Peak zu erkennen glaubten, hätte niemand gewagt vorherzusagen, dass die Förderung von unkonventionellem Erdgas in den USA (Gas aus Kohleflözen und aus Erdöl- und Erdgasmuttergestein, dem shale gas), plötzlich das Land wieder auf

den Weg zum Selbstversorger bringen würde und die weltweite Gasversorgungsstrategie durcheinander wirbeln würde. Das für den US-amerikanischen Markt bestimmte Flüssiggas (LNG) wird in andere Märkte umgeleitet und drückt auf den Gaspreis.

Schlussbetrachtung

Wir haben gesehen, dass die Lösung unserer Rohstoffprobleme in unserem Kopf, in unserer Intelligenz und Kreativität liegt, mit den Rohstoffen der Geosphäre und Technosphäre Lösungen für Funktionen zu finden oder wie beim Phosphat Kreisläufe zu schließen. Rufen wir, die wir die Geosphäre kennen, unseren um die Zukunft

seiner Enkel besorgten Großvater zu: „Sei optimistisch! Auch Deine Ururur...urenkel werden bestimmt so kreativ sein wie Deine Kinder und Enkel und – aus heutiger Sicht vielfach überhaupt nicht vorhersehbare – Lösungen finden!“

Bildnachweis des Titelbilds: Hannington, M.D., and Barrie, C.T., eds., 1999, The Giant Kidd Creek Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Western Abitibi Subprovince, Canada: Economic Geology Monograph 10, p. i (photo courtesy of Falconbridge Limited).

* Neue Sachlichkeit 32, 30655 Hannover, z.Zt. LE STUDIUM, Orléans, Frankreich