

Raw material availability – with a focus on fossil energy resources

Die Verfügbarkeit von Rohstoffen – insbesondere von fossilen Energieträgern

JOHANNES PETER GERLING, FRIEDRICH-WILHELM WELLMER, GERMANY

1 Introduction

Ever since the oil crises in the 1970s, people have become increasingly aware of the fact that non-renewable raw materials like oil, natural gas, coal and nuclear fuel are finite resources. In 1972, a group of scientists from the Massachusetts Institute of Technology drew up a report, "The Limits to Growth" [1], for the Club of Rome. On the basis of a computer simulation then used for the first time, the group, headed by Dennis Meadows, came to the conclusion that the world, with continued exponential growth, would use up all the world's raw materials in the near future.

Why were the authors wrong at the time? One main reason that must be mentioned is that the coupling of industrial growth and the consumption of resources presumed by the model has failed to materialize. In other words: Meadows' system did not factor in any ability to learn. Aside from this, the study seriously underestimated the available reserves. These were viewed statically and not as dynamic variables that constantly change thanks to human creativity and learning successes [2]. Still, this study did raise an awareness of the growing scarcity of raw materials.

As we speak, the availability of oil has re-emerged in the public debate, driven, among other things, by the barrel price, which peaked at over US\$ 42 in New York last May, for example. Although it does appear that Europe has been able to benefit from a relatively wide spectrum of energies since the 1980s, with domestic oil and coal, nuclear energy programmes in certain countries, and the advances made by natural gas on the heating and electricity markets, the future certainly looks less rosy. In its Green Paper, the EU [3] describes, e.g., future changes on the oil market in a Europe of 30: The decline in domestic production – specifically in the North Sea – must be juxtaposed with a continuously growing demand to more than 900 million tonnes (mt), so that dependence on imports will increase to nearly 80 % in 2030 (Figure 1). Quite apart from this specific scarcity of domestic raw materials, we also have to consider the phase-out of nuclear energy in some EU states and the extra consumption of fossil energy sources due to climate policy (keyword: lower efficiency as a result of emission-free power generation).

DR. JOHANNES PETER GERLING,
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Stilleweg 3, 30656 Hannover, Germany
Tel. +49 (0) 511-643-2361, Fax +49 (0) 511-643-3661
e-mail: peter.gerling@bgr.de

PROF. DR.-ING. DR. H.C. MULT. FRIEDRICH-WILHELM
WELLMER,
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Stilleweg 2, 30656 Hannover, Germany
Tel. +49 (0) 511-643-2243, Fax +49 (0) 511-643-3676
e-mail: f.wellmer@bgr.de

1 Einleitung

Seit den Ölkrisen in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ist die Tatsache ins Bewusstsein gerückt, dass nicht-erneuerbare Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas, Kohle und Kernbrennstoffe limitiert sind. Im Jahre 1972 verfasste eine Gruppe von Wissenschaftlern vom Massachusetts Institute of Technology für den Club of Rome den Bericht „Grenzen des Wachstums“ [1]. Auf Basis einer seinerzeit erstmalig angewendeten Computersimulation kam die Gruppe unter Leitung von Dennis Meadows zu dem Ergebnis, dass die Welt bei weiter exponentiellem Wachstum in naher Zukunft alle Rohstoffe verbraucht hätte.

Warum lagen die Autoren damals falsch? Hierfür ist als wesentlicher Grund zu nennen, dass die in dem Modell festgeschriebene Kopplung von industriellem Wachstum und Ressourcenverbrauch nicht eingetroffen ist. Mit anderen Worten: Lernfähigkeit war im System Meadows nicht vorgesehen. Abgesehen davon sind in der Studie die zur Verfügung stehenden Reserven drastisch unterschätzt worden. Sie wurden statisch gesehen und nicht als dynamische Größen, die sich durch die Kreativität des Menschen und Lernerfolge laufend ändern [2]. Dennoch wurde durch diese Studie das Bewusstsein für zur Neige gehende Rohstoffe sensibilisiert.

Aktuell hat die Verfügbarkeit von Erdöl wieder Einzug in die öffentliche Diskussion genommen – unter anderem gesteuert durch den im Mai diesen Jahres beispielsweise an der New Yorker Börse bei über 42 US\$ kulminierten Preis pro Barrel Öl. Zwar scheint es, dass Europa seit den 1980er Jahren durch die heimische Produktion von Erdöl und Kohle, durch Kernenergieprogramme bestimmter Länder und das Vordringen des Erdgases in den Wärme- und Strommarkt auf ein relativ breit gefächertes Energieangebot zugreifen kann, doch sieht die Zukunft in Wirklichkeit weniger rosig aus. In ihrem Grünbuch beschreibt die EU [3] für ein Europa der 30 beispielsweise die zukünftigen Veränderungen auf dem Erdölmarkt: Dem Rückgang in der heimischen Produktion – insbesondere in der Nordsee – steht ein kontinuierlich wachsender Bedarf auf mehr als 900 Mt gegenüber, so dass die Importabhängigkeit im Jahre 2030 auf nahezu 80 % anwachsen wird (Abbildung 1). Abgesehen von dieser spezifischen Verknappung eines heimischen Rohstoffs gilt es, den Ausstieg aus der Kernenergie in einigen EU-Staaten sowie den Mehrverbrauch fossiler Energieträger infolge der Klimapolitik (Stichwort: Effizienzreduktion infolge emissionsfreier Stromerzeugung) zu berücksichtigen.

Vergleichbare Szenarien lassen sich sowohl für andere Rohstoffe wie auch für andere Regionen des Weltmarktes erstellen. Die daraus resultierende Frage nach der Verfügbarkeit von Rohstoffen kann unter Berücksichtigung der ungleichmäßigen weltweiten Verteilung auf eine Verfügbarkeitskette mit folgenden Elementen

Modified paper presented by Friedrich-Wilhelm Wellmer on the occasion of the farewell event for Dr.-Ing. Dietrich Böcker, RWE Power AG, at Schloss Pfaffendorf, 18 June 2004.

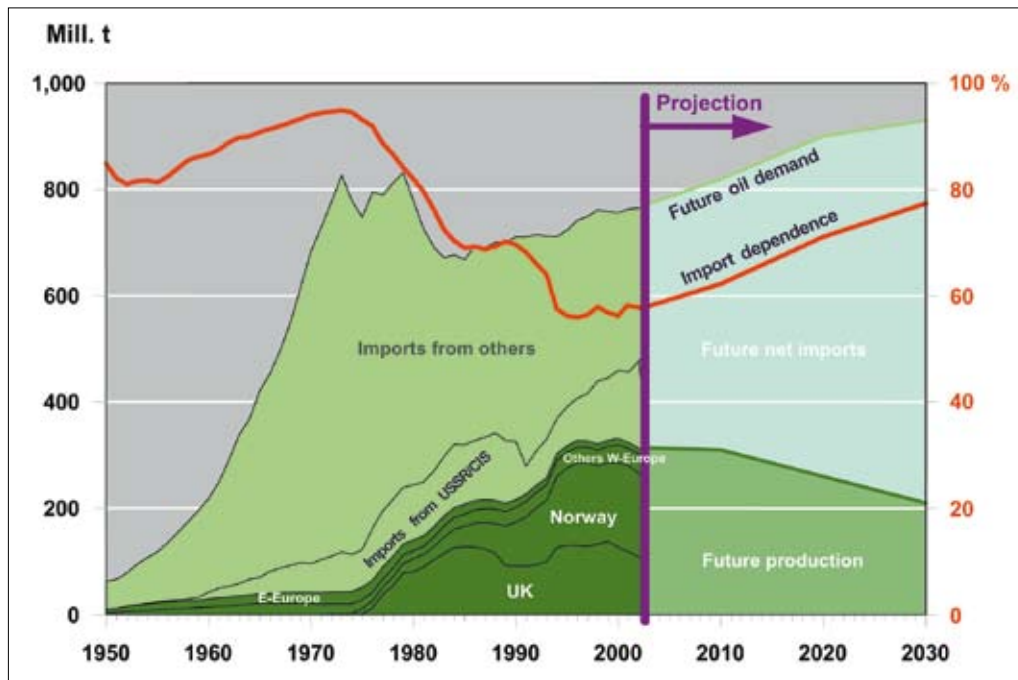


Fig. 1:
Developments in European oil production, oil imports, and dependence on imports since 1950, accompanied by a projection (EU-30) of these trends until 2030, based on the EU's Green Paper [1]
Abb. 1:

Die Entwicklung der Erdölproduktion, der Importe und der Importabhängigkeit von Europa seit 1950, ergänzt durch eine Projektion (für EU-30) bis in das Jahr 2030 – basierend auf Abschätzungen aus dem Grünbuch der EU [1]

Comparable scenarios can be produced both for other raw materials and for other regions on the world market. The resulting question of the availability of raw materials can be broken down – with account taken of an uneven global distribution – to an availability chain with the following elements:

- geological availability,
- technical availability,
- availability of transportation.

These specific links in the chain are discussed in the following remarks – in reverse order – focusing on selected aspects.

2 Availability of transportation

As we are aware, there are long distances involved in our global raw-material world between raw-material deposits and consumer centres, e.g., Western Europe or Japan and Korea. This being so, the “transport” element is a necessary component in the provision of raw materials. Wherever the transportation of raw materials is possible without regard to quantities and distances, this may even lead to a complete elimination of regional markets. This phenomenon was observed between 1960 and 1995, “textbook-style”, in the example of growing imports of higher-quality iron ores in ever bigger ships to Germany, all the way to a total ousting of domestic iron production.

Besides vessel size, freight rates are an indicator of the market for carriers. The Baltic Freight Index (BFI) (Figure 2), between 1987 and 2002, varied only slightly between the values of 1000 and 2000, though it rose in 2003 to more than 4000. This reflects, on the one hand, the recovery in the worldwide business cycle and the tremendous appetite for raw materials in population-rich countries like China and India, and, on the other, the currently limited global transport capacities in the maritime area. In other words: freight rates, just like the raw materials themselves, are subject to similar market conditions and can morph from being a seller's to a buyer's market with corresponding price fluctuations and, possibly, supply bottlenecks.

Some raw materials have transport costs that are fairly high relative to their market prices. This is true, e.g., for natural gas due to its low energy density (Figure 3). Due to strong growth in demand going beyond the previous market boundaries – boosted in the years to come by the US in particular – a rapidly growing world market

herunter gebrochen werden:

- Geologische Verfügbarkeit,
- Technische Verfügbarkeit,
- Verfügbarkeit von Transportmitteln.

Diese einzelnen Kettenglieder werden in den folgenden Ausführungen – in umgekehrter Reihenfolge – jeweils anhand ausgewählter Aspekte beleuchtet.

2 Die Verfügbarkeit von Transportmitteln

Bekanntlich gibt es in unserer globalen Rohstoffwelt große Entfernungen zwischen den Rohstoffverkommen und den Verbrauchszentren wie beispielsweise Westeuropa oder Japan und Korea. Daher gehört das Element „Transport“ zwangsläufig zur Bereitstellung von Rohstoffen. Sofern der Transport von Rohstoffen ohne Beschränkungen in Mengen und Distanzen möglich ist, kann das ggf. sogar zum Wegfall von regionalen Märkten führen. Dieses Phänomen ließ sich zwischen 1960 und 1995 „lehrbuchartig“ am Beispiel zunehmender Importe höherwertiger Eisenerze mit immer größeren Schiffen nach Deutschland beobachten – bis zur totalen Verdrängung der heimischer Fe-Produktion.

Neben der Schiffsgröße sind Frachtraten ein Indikator für den Transportmittelmarkt. Der Baltic Freight Index BFI (Abbildung 2) variierte von 1987 bis 2002 relativ moderat zwischen den Werten 1000 und 2000, stieg innerhalb des Jahres 2003 jedoch auf über 4000 an. Hier spiegeln sich auf der einen Seite das Anspringen der weltweiten Konjunktur sowie der enorme Rohstoffhunger bevölkerungsreicher Länder wie China und Indien und auf der anderen Seite die augenblicklich begrenzten weltweiten Transportkapazitäten im maritimen Bereich wider. Mit anderen Worten: Frachtraten sind wie die Rohstoffe selbst ähnlichen Regeln des Marktes unterworfen und können sich von Verkäufer- zu Käufermärkten wandeln, mit entsprechenden Preisfluktuationen und möglicherweise Versorgungsengpässen.

Es gibt Rohstoffe, bei denen die Transportkosten im Verhältnis zum Marktpreis des Rohstoffes verhältnismäßig hoch sind. Dies gilt wegen der geringen Energiedichte beispielsweise für Erdgas (Abbildung 3). Aufgrund einer stark angezogenen Nachfrage über die bisherigen Marktgrenzen hinaus – in den kommenden Jahren insbesondere forciert durch den US-Markt – entwickelt sich seit

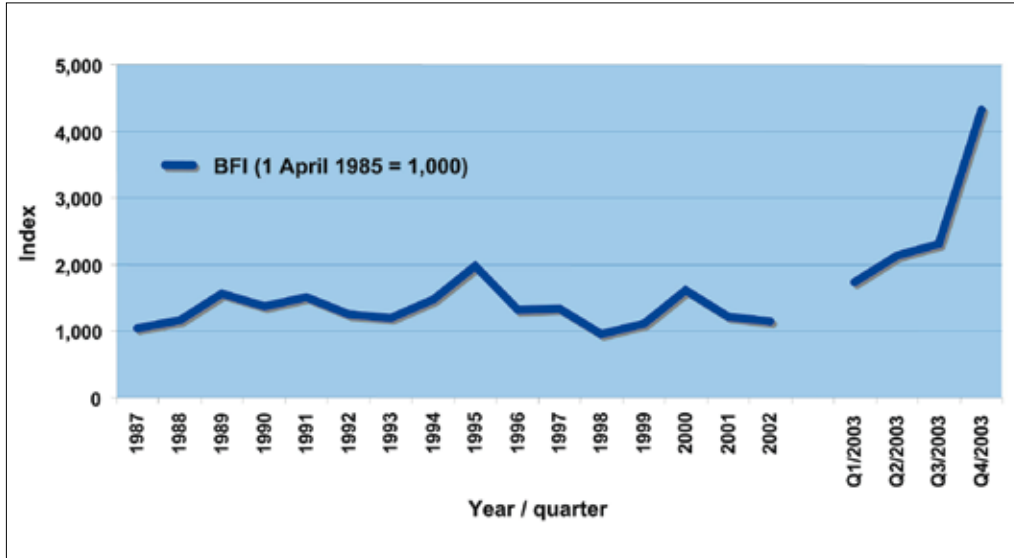


Fig. 2: Developments in the Baltic Freight Index (BTI) since 1987 (1 April 1985 = 1000), by quarters for 2003. The BFI is a weighted mean of the freight rates for various goods and specific routes. It is fixed daily by the ship brokers of the Baltic Exchange (trade association of the shipping industry) in London.

Abb. 2: Entwicklung des BTI Baltic Freight Index seit 1987 (1. April 1985 = 1000), für das Jahr 2003 quartalsweise. Der BFI ist ein gewichtetes Mittel von Frachtraten verschiedener Güter und individueller Routen. Er wird täglich von Schiffsmaklern des Baltic Exchange (Handelsverband der Schiffindustrie) in London festgelegt.

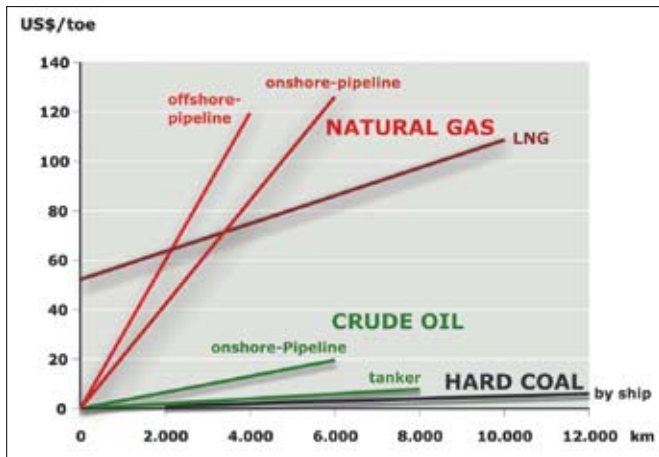


Fig. 3: The transportation costs for oil, natural gas and coal as a function of distance. This shows the striking gap between the transportation costs for natural gas and those for oil and coal – one main reason for the existence of the four regional gas markets North America, South America, Europe and Asia.

Abb. 3: Die Transportkosten für Erdöl, Erdgas und Kohle als Funktion der Transportentfernung. Sehr deutlich ist der große Abstand der Transportkosten von Erdgas gegenüber denjenigen von Erdöl und Kohle – ein wesentlicher Grund für die Existenz der vier regionalen Erdgasmärkte in Nordamerika, Südamerika, Europa und Asien.

for liquefied natural gas (LNG) has been developing for some years now. During the next three decades, experts are reckoning with a quintupling of trade, also beyond previous market boundaries – starting with the construction of 18 new LNG plants and expansion of the world gas tanker fleet to exceed 200 ships in the next five years. Still: bottlenecks in infrastructure and logistics, as well as a lack of availability of LNG are, for the time being, preventing the formation of a transparent, global spot market for LNG. To this must be added differences in the energy content of LNG of different provenances and the fact that LNG terminals are unable to handle varying qualities. If market shortages can be overcome, however, the development of a worldwide LNG market could lead to an atrophying of regional natural-gas markets [4] and, possibly, even culminate in a natural-gas cartel similar to OPEC.

einigen Jahren ein intensiv wachsender Weltmarkt von verflüssigtem Erdgas (LNG; liquefied natural gas). In den kommenden drei Jahrzehnten erwarten Experten eine Verfünffachung des Handels, auch über die bisherigen Marktgrenzen hinaus – beginnend mit dem Bau von 18 neuen LNG-Anlagen und einem Zuwachs der Weltgastankerflotte auf über 200 Schiffe in den nächsten fünf Jahren. Jedoch: Engpässe in Infrastruktur und Logistik sowie eine mangelnde Verfügbarkeit von LNG verhindern vorläufig die Bildung eines transparenten globalen Spotmarkts für LNG. Hinzu kommen Unterschiede im Energieinhalt bei LNG verschiedenen Ursprungs sowie die Tatsache, dass LNG-Terminals keine unterschiedlichen Qualitäten umschlagen können. Falls die Marktverengungen jedoch überwunden werden, könnte der Ausbau eines weltweiten LNG-Marktes zu einer Aufhebung der regionalen Erdgasmärkte führen [4] und möglicherweise sogar in einem Erdgaskartell ähnlich der OPEC münden.

3 Technische Verfügbarkeit

Bei der technischen Verfügbarkeit steht die Frage im Vordergrund, ob zur richtigen Zeit immer ausreichend Bergwerkskapazitäten zur Verfügung stehen – oder auch Verarbeitungskapazitäten. Dabei geht es nicht nur um den Ersatz von erschöpften Lagerstätten – dies lässt sich relativ gut vorhersagen – sondern um zwei weitere Aspekte

- Durch häufig im Langzeittrend real fallende Preise werden Lagerstätten aus dem Markt gedrängt. Wie groß sind die Kapazitäten, die verschwinden?
- Wie entwickelt sich die Nachfrage?

3.1 Folgen des Wettbewerbs

Der Weltpreis für Koks-kohle hat sich seit 1950 nominal nur zweimal dramatisch erhöht, und zwar 1973/74 (von 15 auf ca. 60 US\$/t), als die erste Ölpreiskrise ausbrach sowie 1980/81 (auf ca. 80 US\$/t), als der Golfkrieg zwischen Irak und Iran zum zweiten Mal den Erdölpreis massiv veränderte (Abbildung 4). Nach einem Abflauen fluktuierte der Preis von 1986 bis 2001 etwa in einem Preisband zwischen 40 und 50 US\$/t, tendenziell fallend auf der Zeitachse. Seitdem erholte sich der Preis und bewegt sich seit 2003 oberhalb 60 US\$/t; im Frühjahr 2004 erreicht der Spotmarktpreis inzwischen die Marke von 80 US\$/t. Die deutsche Kohleförderung – sei es Kraftwerks- oder Koks-kohle – kann dieses Preisniveau schon seit den 1960er Jahren nicht mehr halten. Die Förderung wird aus strukturellen Überlegungen [5] seitdem durch degressive staatliche Zuwendungen gestützt. Folglich wurden deutsche

3 Technical availability

As for technical availability, the question to the fore is whether sufficient mining capacities can be provided at the right time and at all times – but also processing capacities. What matters here is not merely that we find replacements for depleted deposits – this can be predicted with relative ease – but two further aspects:

- Owing to a long-term trend toward often falling prices in real terms, some deposits are ousted from the market. How large are the capacities that vanish?
- How is demand developing?

3.1 Consequences of competition

The nominal world-market price of coking coal has risen dramatically only twice since 1950, namely in 1973/74 (from US\$ 15/t to approx. US\$ 60/t), when the first oil price crisis broke out, and in 1980/81 (to approx. US\$ 80/t), when the Gulf war between Iraq and Iran massively changed the price of oil for the second time (Figure 4). Following a drop, the price fluctuated between 1986 and 2001 around a bandwidth of US\$ 40 to US\$ 50/t, with a falling trend along the time axis. Since then, the price has recovered and has been moving above US\$ 60/t since 2003; meanwhile, in spring 2004, the spot-market price reached the US\$ 80/t mark. German coal production – whether steam or coking coal – has been unable to hold this price level ever since the 1960s. Due to structural considerations [5], production has been propped up by degressive state subsidies. As a consequence, German mines have been successively removed from the market, with the result that the country since 2001 has been using more imported than domestic coal for consumption by the steel and power generation sectors: trend rising.

The process of ousting high-priced producers from the market outlined in the above example is similar, in principle, for all raw materials: a new deposit is only developed for the market if total production cost is in the bottom third of the scale (lower-third rule). In this way – in view of the life of a deposit – even falling raw-material prices can be cushioned without investment collapsing. Logically, this lowers the mean value worldwide, with the result of a fall in real prices for as long as there is a buyer's market. A further consequence: these new raw-material deposits exclude competitors producing at high prices, unless the market is booming in an extreme fashion. Still, there are also exceptions to this rule: the development of an oil field in the North Sea, for example, depends not only on the price of oil, but also on the availability of a production infrastructure, so that it is included in production even if the costs of production are higher. Otherwise, a situation would occur where this deposit would not be exploited at all.

Zeichen sukzessive aus dem Markt genommen. Die Konsequenz ist, dass Deutschland seit dem Jahr 2001 für den Verbrauch auf den Sektoren Stahl- und Stromerzeugung mehr Importkohlen als heimische Produkte einsetzt – Tendenz steigend.

Der oben beispielhaft skizzierte Vorgang der Verdrängung hochpreisiger Produzenten aus dem Markt verläuft im Grunde bei allen Rohstoffen auf vergleichbare Weise: Eine neue Lagerstätte wird in der Regel nur dann für den Markt eröffnet, wenn sich die Gesamtgestehungskosten im unteren Drittel der Skala befinden („Lower-Third-Rule“). Auf diese Weise können – angesichts der Lebensdauer eines Reservoirs – auch fallende Rohstoffpreise aufgefangen werden, ohne dass das Investment kollabiert. Konsequenterweise wird dadurch der weltweite Mittelwert gesenkt – mit der Folge real sinkender Preise solange ein Käufermarkt herrscht. Eine weitere Konsequenz: diese neuen Rohstofflagerstätten verdrängen – sofern der Markt nicht auf extreme Weise boomt – die bei hohen Preisen produzierenden Wettbewerber. Nun gibt es auch Ausnahmen von dieser Regel: Beispielsweise hängt die Erschließung eines Erdölfeldes in der Nordsee nicht nur vom Ölpreis, sondern ebenso von der Verfügbarkeit einer Produktionsinfrastruktur ab und wird demzufolge auch bei höheren Gestehungskosten in Produktion genommen. Andernfalls könnte die Situation eintreten, dass diese Lagerstätte zu keinem späteren Zeitpunkt mehr ausgebeutet würde.

3.2 Die Nachfrageentwicklung

Die Rohstoffnachfrage der Weltwirtschaft steht am Beginn einer neuen Wachstumskurve – darauf deutet das verstärkte Auftreten der bevölkerungsreichsten Schwellenländer, wie China, Indien und auch Brasilien hin. Wachstumskurven verlaufen in der Regel sigmoidal – ähnlich wie Lernkurven. Infolge einer Intensivierung der Nachfrage können sich Wachstumskurven verstellen. Letztgenannter Trend konnte beispielsweise für den Rohstoffbedarf der großen Nachfrageländer wie China, Indien und Brasilien vorhergesagt werden [6]. Hier prallt zurzeit ein großer Rohstoffhunger auf eine nicht im Gleichschritt wachsende Infrastruktur (Bergwerke, Verarbeitungsbetriebe, Transportwesen). Dieses strukturelle Ungleichgewicht baut sich in der Regel jedoch über die üblichen Marktmechanismen wieder ab.

Entscheidend für die augenblickliche Rohstoffhausse ist also eine rege Nachfrage, mit der das Angebot nicht Schritt halten kann, wie man am Beispiel Koks verdeutlichen kann. Koks ist ein für die Stahlerzeugung unverzichtbarer Rohstoff, dessen Weltmarktpreis (Spotmarkt) seit 2002 nahezu explodiert ist. Ursache hierfür ist, dass der Hauptexporteur China infolge seines schon viele Jahre anhaltenden Wirtschaftswachstums seine Koksproduktion in erster Linie für die heimische Stahlerzeugung benötigt [7].



Fig. 4:
Average annual prices for coking coal since 1950 – nominal quotations and real values (discounted acc. to US-PPI), with monthly data since January 2002.

Abb. 4:
Jährliche Durchschnittspreise für Kokssteine seit 1950 – nominale Notierungen und reale Werte (diskontiert nach US-PPI). Seit Januar 2002 sind die monatlichen Daten aufgetragen.

3.2 Demand trends

The demand for raw materials in the world economy is at the start of a new growth curve – this is indicated by the growing presence of population-rich emerging countries like China, India, but also Brazil. Growth curves usually take an S-shape – similar to learning curves. Due to an intensification of demand, growth curves can become steeper. This trend was forecast, for example, for the raw-material needs of big demand countries like China, India and Brazil [6]. Here, a huge raw-material appetite clashes with an infrastructure that is not growing in step (mines, processing plants, transportation systems), although such structural imbalances are normally dismantled again by the usual market mechanisms.

The crucial factor in the current raw-material boom, therefore, is a brisk demand with which supply is unable to keep up, as the example of coke shows. In steel production, coke is an indispensable input material whose world market price (spot market) has virtually exploded since 2002. The reason is that the main exporter, China, needs its coke output primarily for domestic steel production, thanks to economic growth which has been racing away for years now [7].

4 Geological availability

4.1 Static Life Index

The static life index is defined as the ratio of currently known reserves divided by the most recent annual consumption. This ratio is often understood as the range of the reserves – usually an inadmissible interpretation, since both reserves (from new discoveries, technological innovation, changes in the price structure, changes in underlying political conditions) and consumption (due to changes in the business cycle, demographics and motorization, substitution, etc.) are subject to continuous change. In fact, this is a snapshot view of things in an inherently dynamic system. Hence, the static life index of raw materials (Table 1) must be understood as an indicator of the need for exploration efforts, rather than a sign of the range or lifetime of a raw material. Only where this quotient is applied to a specific deposit – where consumption is substituted for annual output – is it possible to directly deduce the life time.

4.2 Dynamizing factors in the availability of raw materials

Listed below are the chief parameters that have a dynamic effect on the reserve figures for raw materials:

- type of deposit,
- size-distribution of deposits,
- exploration efforts by companies,
- price level,
- technological developments,
- other factors, like the infrastructure situation, tax regimes, stock exchange rules, etc.

By way of example, we may look at the factors “technological developments” and “type of deposit”.

In Germany, so-called “tight gas”, i.e. natural gas reservoid in hardly permeable sandstone at a depth of some 5000 m, is extracted, e.g., at the Söhlingen field in Lower Saxony [8]. The field was discovered as early as 1980 by what is today ExxonMobil. At the time, economic extraction was not possible. Economic gas extraction had to wait for new technologies, namely a combination of horizontal drilling and multiple frac treatment (Figure 5), later even using the so-called coil rig method. According to LIERMANN & JENTSCH [8], use of these ultra-modern exploration technologies in Germany revealed an additional 100 to 150 Gm³ to be economically recovered. In other words, technological advances have allowed resources to be converted into reserves.

4 Geologische Verfügbarkeit

4.1 Die statische Reichweite

Statische Reichweiten sind definiert als Verhältnis von augenblicklich bekannten Reserven, dividiert durch den letzten Jahresverbrauch. Diese Kenngröße wird oft als Reichweite der Reserven verstanden – eine in der Regel unzulässige Interpretation, da sowohl Reserven (durch Neufunde, technologische Innovation, Veränderungen im Preisgefüge, Veränderungen in den politischen Rahmenbedingungen) als der Verbrauch (infolge Änderungen in Konjunktur, Demographie und Motorisierung, Substitution etc.) sich permanent ändern können. Es handelt sich also eher um eine Augenblicksbetrachtung in einem an sich dynamischen System. Demzufolge sind die statischen Reichweiten von Rohstoffen (Tabelle 1) also eher als Indikator für die Notwendigkeit von Explorationsbemühungen denn als Indikator der Reichweite eines Rohstoffes zu verwenden. Nur bei Anwendung dieses Quotienten auf eine einzelne Lagerstätte – und hier wird der Verbrauch durch die Jahresproduktion ersetzt – ist die unmittelbare Ableitung der Lebensdauer möglich.

Tab. 1: Static life index of selected raw materials (2002/2003)

Tab. 1: Statische Reichweite ausgewählter Rohstoffe für den Zeitpunkt 2002/2003

Raw material <i>Rohstoff</i>	Static life index <i>Statische Reichweite</i>	Raw material <i>Rohstoff</i>	Static life index <i>Statische Reichweite</i>
Potassium/Kali	302	Cobalt/Kobalt	65
Chromite/ Chromit	220	Tantalum/Tantal	39
Lignite/Braunkohle	197	Uranium/Uran	50
Hard coal/ Steinkohle	178	Fluorspar/Flussspat	50
Bauxite/Bauxit	158	Molybdenium/ Molybdän	46
PGM/Platin-Metalle	157	Oil/Erdöl	45
Vanadium/Vanadium	147	Nickel/Nickel	45
Niobium/Niob	155	Tungsten/Wolfram	32
Phosphate/Phosphat	130	Copper/Kupfer	32
Iron ore/Eisen	122	Baryte/Baryt	30
Rutile/Rutil	121	Lead/Blei	29
Graphite/Graphit	108	Tin/Zinn	29
Manganese/ Manganerz	82	Zinc/Zink	26
Ilmenite/Ilmenit	81	Gold/Gold	16
Natural gas/Erdgas	67	Antimony/Antimon	14
		Silver/Silber	12

4.2 Dynamisierende Faktoren der Rohstoffverfügbarkeit

Nachfolgend sind die wichtigsten Parameter aufgeführt, die eine Dynamik der Reservenzahl von Rohstoffen bewirken:

- Der Lagerstättentyp
- Die Größenverteilung von Lagerstätten
- Explorationsbemühungen von Firmen
- Das Preisniveau
- Technologische Entwicklungen
- Andere Einflüsse, wie Infrastruktursituation, Steuerregime, Börsenregeln, etc.

Exemplarisch werden die Faktoren „Technologische Entwicklungen“ sowie „Lagerstättentyp“ beleuchtet.



Fig. 5: The use of multiple frac treatment in horizontal drilling at Söhlingen Z 14 to lead to economic natural-gas extraction from Rotliegend sediments [8]

Abb. 5: Der Einsatz eines Mehrfach-Fracs in der Horizontalbohrung Söhlingen Z 14 führte zu einer wirtschaftlichen Erdgasförderung aus Rotliegend-Sedimenten [8]

The type of deposit has a very crucial impact: stratiform deposits, like coal, potassium and chromite, but also weathering horizons, like bauxite, are easy to calculate and are widespread, so that their lifetime is high. By contrast, lenticular or nest-shaped deposits or alluvial deposits (e.g. uranium and tin) usually require a much finer conceptual model and, what is more, they are limited in spatial terms.

4.3 Equilibrium lines

Each raw material has its own equilibrium line – in the form of a time series of the static life index. The uniqueness of each is a function of the different implications of the above factors for the dynamism of the life index. As Figure 6 shows, the equilibrium lines for lead, zinc and copper have been virtually stable in the last 50 years, although zinc output, for example, has quadrupled in this period. So, it must be the aim of any exploration efforts to underpin this equilibrium between raw-material supply and demand.

Does this equilibrium also apply to the fossil energy sources oil, natural gas and coal? In principle, the answer is in the affirmative, at least for as long as additions to reserves, fed by exploration, technological developments and a rising price structure – when resources are transferred into reserves – are higher than annual consumption. Figure 7 shows developments over the last 50 years for the non-renewable raw materials oil, natural gas and coal. As can be seen, oil (approx. 40 to 45 years) and natural gas (65 to 70 years) appear to have stabilized for some 15 years, while the equilibrium line for coal has fallen from roughly 400 years to approx. 200 years in the last 50 years. Presumably, this is the result of higher consumption – which rose from 1.7 Gt (1945), to 2.7 Gt (1980), to some 3.8 Gt (2003) – as well as unnecessary exploration efforts and a successively improved, economically steered classification of reserves and resources.

Put another way: lifetime ratios are not the main issue, since they indicate a need for exploration, but allow no inferences to be drawn on the availability of raw materials. If the lifetime of a raw material is to be assessed properly, a different instrument must be used.

In Deutschland wird so genanntes „Tight Gas“, das ist in etwa 5000 m Tiefe in kaum durchlässigen Sandsteinen eingeschlossenes Erdgas, gefördert – beispielsweise im niedersächsischen Feld Söhlingen [8]. Das Feld wurde bereits 1980 von der heutigen ExxonMobil entdeckt. Damals war eine wirtschaftliche Gewinnung noch nicht möglich. Zur wirtschaftlichen Gasgewinnung mussten erst neue Technologien, nämlich eine Verknüpfung von Horizontalbohrungen mit einer mehrfachen Frac-Behandlung (Abbildung 5), später sogar unter Einsatz des so genannten Coilrig-Verfahrens, eingesetzt werden. Laut LIERMANN & JENTSCH [8] können durch den Einsatz dieser modernsten Explorationstechnologien in Deutschland zusätzliche 100 bis 150 Gm³ Erdgas wirtschaftlich gefördert werden. Mit anderen Worten: Durch technologische Entwicklungen wurden Ressourcen in Reserven überführt.

Der Lagerstättentyp hat einen ganz wesentlichen Einfluss: Stratiforme Lagerstätten, wie beispielsweise Kohle, Kali und Chromit oder aber Verwitterungsdecken wie Bauxit lassen sich leicht berechnen, haben große Verbreitungen und demzufolge hohe Reichweiten. Im Gegensatz dazu erfordert die Exploration von linsen- oder nestförmigen Lagerstätten bzw. Seifen (z.B. Uran und Zinn) in der Regel ein deutlich diffizileres konzeptionelles Modell und mündet zudem in räumlich begrenzten Lagerstätten.

4.3 Gleichgewichtslinien

Für jeden Rohstoff gibt es eine individuelle Gleichgewichtslinie – in Form einer Zeitreihe der statischen Reichweiten. Die jeweilige Einzigartigkeit ist eine Funktion unterschiedlicher Auswirkungen der bereits oben erwähnten Faktoren für die Dynamik der Reichweiten. Wie in Abbildung 6 dargestellt, sind die Gleichgewichtslinien für Blei, Zink und Kupfer seit nahezu 50 Jahren stabil, obwohl beispielsweise die Produktion von Zink sich in dem Zeitraum vervierfacht hat. Ziel der Explorationsbemühungen muss es also sein, dieses Gleichgewicht zwischen Rohstoffangebot und -nachfrage auszubalancieren.

Stellt sich dieses Gleichgewicht auch für die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle ein? Grundsätzlich ist die Frage zu bejahen, zumindest solange noch Reservenzuwächse durch Exploration, Technologieentwicklungen und ein steigendes Preisgefüge – dann werden Ressourcen in Reserven überführt – höher sind als die jährlichen Verbräuche. Abbildung 7 demonstriert die Entwicklung in den letzten 50 Jahren für die nicht-erneuerbaren Rohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle. Demzufolge scheinen sich beim Erdöl (ca. 40 bis 45 Jahre) und beim Erdgas (65 bis 70 Jahre) seit etwa 15 Jahren stabile Zustände eingestellt zu haben, wogegen die Gleichgewichtslinie bei der Kohle in den letzten 50 Jahren von etwa 400 auf ca. 200 Jahre fällt. Vermutlich ist dies die Folge von steigendem Verbrauch – der Verbrauch stieg von 1,7 Gt (1945) über 2,7 Gt (1980) auf etwa 3,8 Gt (2003) – sowie

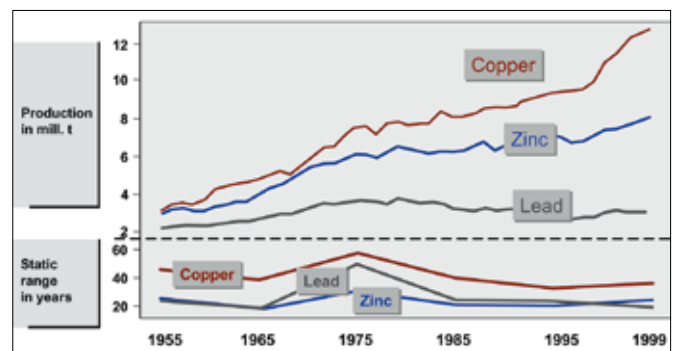


Fig. 6: Developments in mining output and the lifetime ratios for copper, lead and zinc between 1955 and 1999

Abb. 6: Entwicklung der Bergbau-Produktion und der Lebensdauer-kennziffern von Kupfer, Blei und Zink im Zeitraum von 1955 bis 1999

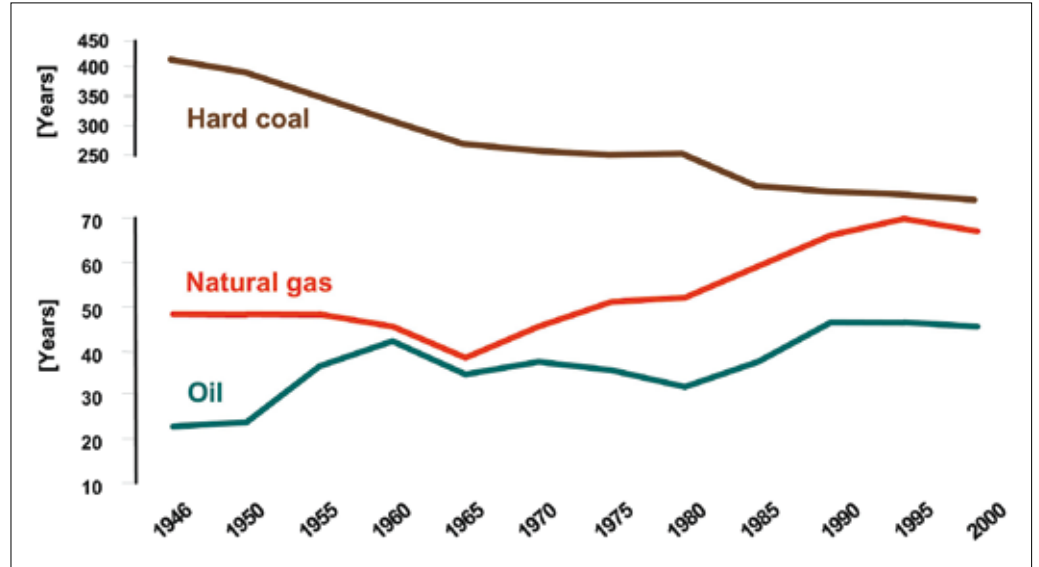


Fig. 7: Development of lifetime ratios for the energy raw materials coal, natural gas and oil
 Abb. 7: Entwicklung der Lebensdauer-kennziffern der Energierohstoffe Kohle, Erdgas und Erdöl

4.4 The lifecycle curve

In principle, the bell-shaped curve reflects the ideal type of the production or consumption of a finite, non-renewable raw material; the area below the curve shows the volume of the raw material; the course of the curve, with an exponential rise and fall, is interrupted by a "plateau phase", the maximum production (Figure 8). In an ideal case, the maximum output coincides with a 50 % raw-material depletion, the so-called "depletion mid-point". This concept, developed by HUBBERT in 1956 [9] for oil production in the US, at that time correctly predicted the depletion mid-point for the year 1968.

Now, the course taken by the production of a deposit or a region, exposed as it is to the market, differs considerably from the ideal curve, as can be shown using oil production in West Germany (Figure 9). The EOR measures in particular (hot steam and polymer flooding) in the 1980s, as well as the specific conditions for developing the Mittelplate oil field (limited exploration and extraction options in Germany's wadden nature reserve; later the development of the extended-reach drilling technology) have modified the course of the falling flank.

nicht notwendigen Explorationsbemühungen und einer sukzessive verbesserten, ökonomisch gesteuerten Klassifizierung von Reserven und Ressourcen.

Mit anderen Worten: Lebensdauer-kennziffern sind nicht zielführend, da sie einen Explorationsbedarf indizieren, jedoch keine klare Aussage bezüglich der Verfügbarkeit von Rohstoffen zulassen. Will man wirklich die Lebenszeit eines Rohstoffs abschätzen, ist ein anderes Instrument einzusetzen.

4.4 Die Lebenszykluskurve

Die Glockenkurve spiegelt im Prinzip den Idealtyp von Produktion bzw. Verbrauch eines endlichen, nicht erneuerbaren Rohstoffs wider. Die Fläche unter der Kurve beinhaltet das Volumen des Rohstoffs, der Kurvenlauf mit einem exponentiellen Anstiegs und Abfall wird unterbrochen durch eine „Plateauphase“ der maximalen Produktion (Abbildung 8). Im Idealfall fällt die maximale Förderung mit einer 50-%-igen Rohstofferschöpfung zusammen, dem so genannten „depletion mid-point“. Dieses von HUBBERT im Jahre 1956 [9] für die Erdölproduktion der USA entwickelte Konzept sagte seinerzeit zutreffend für das Jahr 1968 den „depletion mid-point“ voraus.

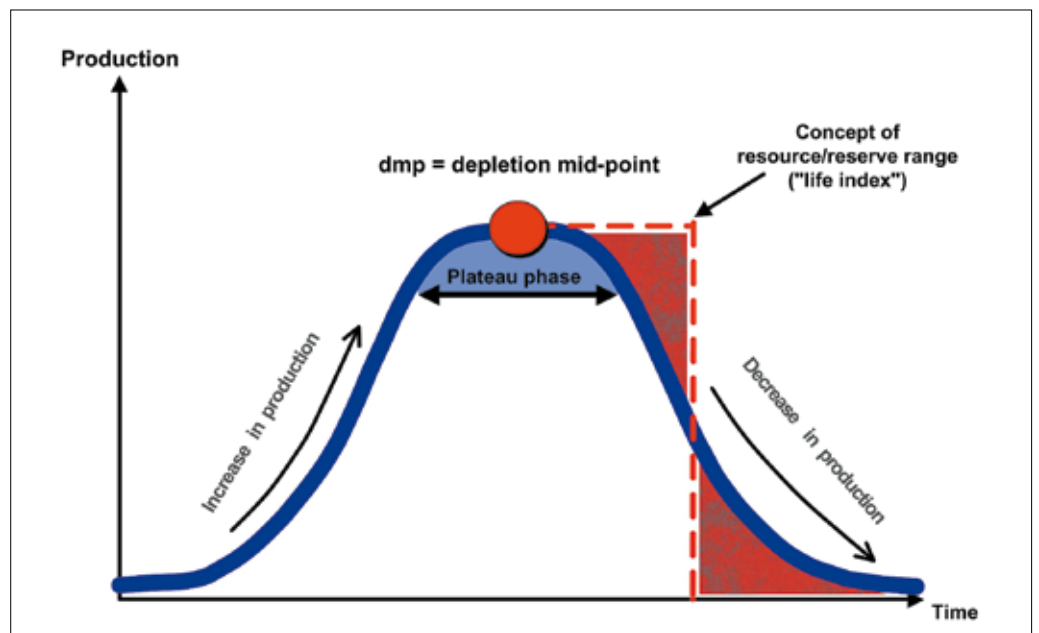
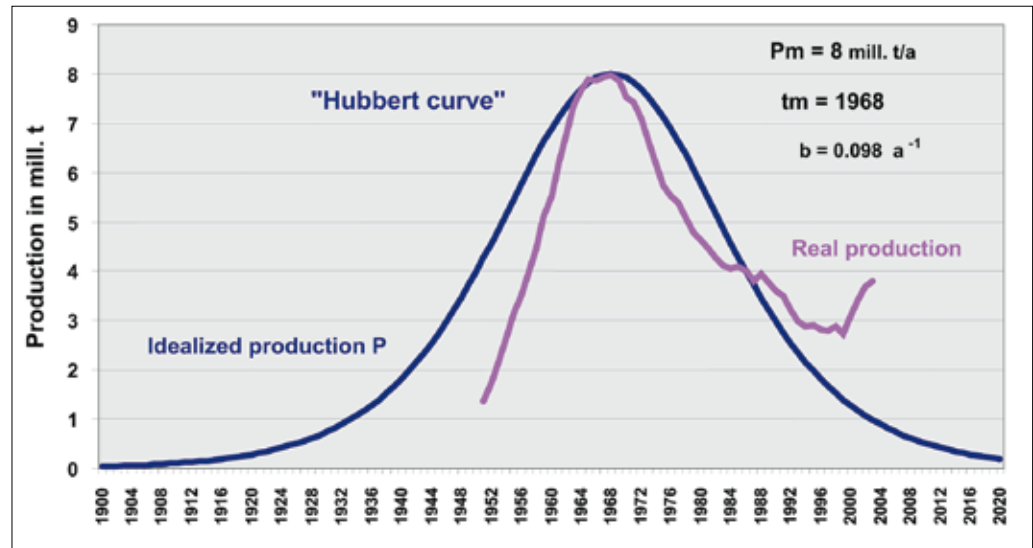


Fig. 8: Schematic, bell-shaped course of a raw material, worked out by HUBBERT [9] for developments in Usoil production. The interrupted red line is the lifetime oa a raw material using the "static live index".
 Abb. 8: Schematischer glockenförmiger Verlauf der Produktion eines Rohstoffs – entwickelt von HUBBERT [9] für die Entwicklung der US-Erdölproduktion. Die unterbrochene rote Linie stellt die Lebensdauer eines Rohstoffs unter Anwendung der „statischen Reichweite“ dar.

Fig. 9: Comparison of an ideal "Hubbert curve" for oil production in West Germany (the area below the curve corresponds to a reserve amount of 300 mill. t to be ultimately extracted, $P_m = \text{max. output at the time } t_m = 1968$) with the actual extraction profile.

Abb. 9:

Gegenüberstellung einer idealen „Hubbert-Kurve“ für die Erdölproduktion in Westdeutschland (die Fläche unter der Kurve entspricht einer ultimativ zu fördernden Reservenmenge von 300 Mt, $P_m = \text{max. Produktion zum Zeitpunkt } t_m = 1968$) mit dem wirklichen Förderprofil.



5 Conclusion

“Forecasting is a difficult business, especially with regard to the future.” This Mark Twain quote also applies, without qualification, to any statements on the availability of raw materials. The availability chain of raw materials moving towards us, the buyers, depends on many factors. The basic prerequisite is geological availability. However, the raw material must also be made available to the market. And that requires the timely and sufficient availability of mining, processing and transportation capacities. These elements are rather structural in nature, so that they can usually be handled by taking technical measures. Geological availability, by contrast, is subject to market mechanisms and control loops [e.g. 10] steered by human creativity.

Although all raw materials are generally subject to the same market rules, the “fork in the road” toward recycling and substitution is blocked, or only passable with some qualifications, for non-renewable energy raw materials.

The example of the availability of the oil that is so important for our economies may explain a few necessities for improving transparency and for easier quantifying reserves and resources in future:

- What matters is that all authors of reserve data use “binding” rules for the classification and quantification of reserves and resources. On this road, the UN-ECE [11] – by agreement with the organizations WEC/SPE/AAPG, IAEA/NEA and CMMI/CRIRSCO – only recently proposed a classification system that applies to the energy raw materials oil, natural gas, coal, and uranium. Here, in a three-dimensional approach, the parameters “geological knowledge”, “field project status and feasibility” and “economic and commercial viability” apply simultaneously.
- All publications on oil reserves and resources should contain mandatory and specific information on the assessed regions and oil types. Example: when the Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) publishes its ideas on the availability of oil [12], it must be made transparent for the reader that this assessment does not include reserves from deep water (> 500 m) and Arctic regions or even the condensate occurring in the processing of natural gas. This is where such an assessment differs from statements made by other authors, e.g., the BGR [13], not only owing to the different evaluations of specific countries and regions, but also due to the exclusions mentioned.
- Finally, more communication is needed between experts on the raw-material supply side – usually geoscientists and engi-

Nun unterscheidet sich jedoch der Produktionsverlauf einer Lagerstätte oder einer Region unter Markteinfluss deutlich von der Idealkurve, wie anhand der Erdölproduktion in Westdeutschland (Abbildung 9) belegt ist: Insbesondere die EOR-Maßnahmen (Heißdampf- und Polymerfluten) in den 1980er Jahren sowie die spezifischen Bedingungen für die Entwicklung des Erdölfeldes Mittelplate (limitierte Explorations- und Fördermöglichkeiten im Naturschutzgebiet Wattenmeer, späte Entwicklung der „extended reach“-Bohrtechnologie) haben den Verlauf der abfallenden Flanke modifiziert.

5 Fazit

„Forecasting is a difficult business, especially with regard to the future.“ Dieses Zitat von Mark Twain gilt ohne Abstriche auch für Aussagen zur Verfügbarkeit von Rohstoffen. Die Verfügbarkeitskette von Rohstoffen hin zu uns, den Abnehmern, ist von vielen Faktoren abhängig. Grundvoraussetzung ist die geologische Verfügbarkeit. Jedoch muss der Rohstoff dem Markt auch zur Verfügung gestellt werden. Und dies erfordert die rechtzeitige und ausreichende Verfügbarkeit von Bergwerks-, Verarbeitungs- und Transportkapazitäten. Diese Elemente sind eher struktureller Art, und daher in der Regel durch technische Maßnahmen zu realisieren. Die geologische Verfügbarkeit dagegen unterliegt Marktmechanismen und Regelkreisen [z.B. 10], gesteuert durch die menschliche Kreativität.

Wiewohl im Grunde alle Rohstoffe denselben Marktregeln unterworfen sind, sind für die nicht-erneuerbaren Energierohstoffe die „Weggabelungen“ hin zu Recycling und zur Substitution versperrt bzw. nur mit Einschränkungen begehbar.

Am Beispiel der volkswirtschaftlich so bedeutenden Verfügbarkeit von Erdöl sollen einige Notwendigkeiten erläutert werden, um die Transparenz zu verbessern sowie Reserven und Ressourcen zukünftig besser zu quantifizieren:

- Es gilt, für alle Autoren von Reservedaten „verbindliche“ Klassifikationsregeln für die Einstufung und Quantifizierung von Reserven und Ressourcen zu etablieren. Auf diesem Wege wurde erst jüngst von der UN-ECE [11] – abgestimmt mit den Organisationen WEC/SPE/AAPG, IAEA/NEA und CMMI/CRIRSCO – ein für die Energierohstoffe Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran gleichzeitig gültiges Klassifikationsschema vorgeschlagen. Hierin werden in einem dreidimensionalen Ansatz die Parameter „geological knowledge“, „field project status and feasibility“ und „economic and commercial viability“ gleichzeitig zum Ansatz gebracht.

neers – and those on the demand side – normally economists in national or international organizations. Both groups have widely diverging views on the future availability of energy raw materials.

References/Literatur

- [1] MEADOWS, D.H. et al. (1972): The limits to growth. London (Earth Island Limited).
- [2] WELLMER, F.-W. & BECKER-PLATEN, J.D. (2002): Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: a review. – Int. J. Earth Sciences (Geol. Rundschau), 91: 723-745.
- [3] Commission of the European Communities (2000): Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply. COM (2000) 769 final documents, catalogue number: KT-CO00-776-EN-C (Luxembourg).
- [4] International Energy Agency (2004): Security of gas supply in open markets – LNG and power at a turning point. IEA Publications: 494 p.; Paris.
- [5] MIKAT, P. (1990): Ein Konzept für die deutsche Steinkohle – Erläuterungen zum Gutachten der Kohlekommission: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 40, no. 9, pp. 615 ff.
- [6] WELLMER, F.-W. & WAGNER, M. (2000): Rohstofftrends am Beginn des 3. Jahrtausends. – ERZMETALL, 53: 569-582.
- [7] Resource-net (2004): Analysis of the Global Coke & Coking Coal Markets. – Coke Market Report 03/04; 22 March 2004.
- [8] LIERMANN, N. & JENTSCH, M. (2003): Tight-Gas-Reservoirs – Erdgas für die Zukunft. Erdöl Erdgas Kohle, 119, no 7/8: 270-273.
- [9] HUBBERT, M.K. (1956): Nuclear energy and the fossil fuels. Amer. Petrol. Inst. Drilling & Production Practice. Proc. Spring Meeting, San Antonio, Texas, pp. 7-25.
- [10] WELLMER, F.-W. & BECKER-PLATEN, J.D. [Editors] (1999): Mit der Erde leben – Beiträge Geologischer Dienste zur Daseinsvorsorge und nachhaltigen Entwicklung: 273 p.; Springer Verlag.
- [11] United Nations Economic Commission for Europe (2004): United Nations Framework Classification for Energy and Mineral Resources. www.unece.org/ie/se/reserves.html
- [12] Association for the Study of Peak Oil and Gas (2004): monthly newsletters; www.peakoil.net
- [13] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2003): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudie: Issue XXVIII, 426 p.; Hannover.