

führenden Wissenschaftlern, darunter den meisten Nobelpreisträgern der Naturwissenschaften.

Unsere massiven Eingriffe in das weltweit verflochtene Netz des Lebens könnten – in Verbindung mit den Schäden an der Umwelt durch Entwaldung, Artenverlust und Klimawandel – weit verbreitete Schadwirkungen auslösen, etwa durch unvorhersehbare Zusammenbrüche wesentlicher biologischer Systeme, deren Wechselwirkungen und Dynamiken wir bisher nur unzureichend verstehen. Ungewissheit über Art und Umfang dieser Auswirkungen ist keine Entschuldigung für Selbstzufriedenheit oder das Hinausschieben des verantwortlichen Umgangs mit der Bedrohung.<sup>61</sup>

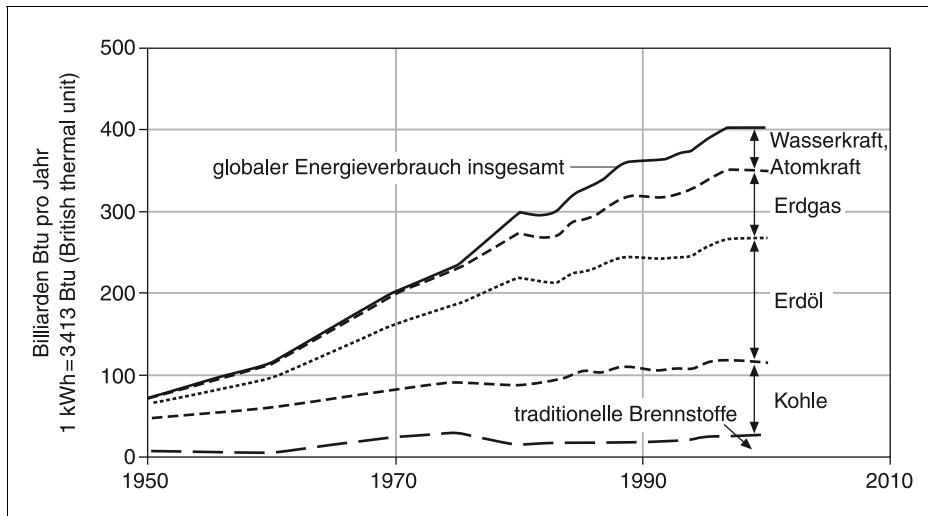
## Nicht erneuerbare Ressourcen

### Fossile Brennstoffe

Unsere Analysen der Entdeckung von Erdölfeldern und der weltweiten Erdölproduktion legen nahe, dass die Versorgung mit herkömmlichem Öl innerhalb des nächsten Jahrzehnts nicht mehr mit der Nachfrage wird Schritt halten können ... Die Entdeckung [von Erdöl] erreichte weltweit Anfang der 1960er-Jahre ihren Höhepunkt und ging danach stetig zurück ... Es gibt nur eine begrenzte Menge Rohöl auf der Welt, und die Industrie hat bereits 90% davon gefunden. *Colin J. Campbell und Jean H. Laherrère, 1998*

Gegenwärtig besteht kaum kurzfristige Besorgnis hinsichtlich der Versorgung mit Erdöl ... Die Erdölvorräte der Erde sind jedoch begrenzt, und die weltweite Produktion wird irgendwann einen Höchststand erreichen und dann allmählich zurückgehen ... Gängigen Schätzungen zufolge wird die weltweite Produktion erst in 10–20 Jahren – zwischen 2010 und 2025 – ihr Maximum erreichen. *World Resources, 1997*

In ihren Aussagen über den Zeitpunkt des Produktionsmaximums unterscheiden sich Optimisten und Pessimisten um einige Jahrzehnte. Es besteht jedoch grundsätzlich Übereinstimmung darüber, dass Erdöl der am stärksten begrenzte fossile Brennstoff ist und dass seine Produktion irgendwann in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts ihren Höchststand erreichen wird. Der jährliche Energieverbrauch durch die menschliche Wirtschaft stieg zwischen 1950 und 2000 im Schnitt um 3,5% jährlich. Der weltweite Energieverbrauch nahm kaum beeinflusst durch Kriege, Rezessionen, Preisschwankungen und technischen Wandel ungleichmäßig, aber unerbittlich zu (Abbildung 3-10). Zum größten Teil wird diese Energie in den Industrieländern verbraucht. Ein durchschnittlicher Westeuropäer verbraucht 5,5-mal so viel kommerzielle Energie<sup>62</sup> wie ein durchschnittlicher Afrikaner. Ein durchschnittlicher Nordamerikaner verbraucht neunmal so viel wie ein durchschnittlicher Inder.<sup>63</sup> Aber dies gilt nur für kommerziell gelieferte Energie. Viele Menschen müssen ohne sie auskommen:



**Abbildung 3-10 Globaler Energieverbrauch**

Der weltweite Energieverbrauch hat sich zwischen 1950 und 2000 dreimal verdoppelt. Nach wie vor dominieren fossile Brennstoffe in der Versorgung mit Primärenergie: Der Anteil der Kohle erreichte sein Maximum um 1920 – sie machte damals mehr als 70% der gesamten Brennstoffe aus. Der Verbrauch von Erdöl erreichte sein Maximum mit etwas mehr als 40% Anfang der 1980er-Jahre. In Zukunft wird wahrscheinlich Erdgas, das die Umwelt weniger stark belastet als Kohle und Erdöl, einen höheren Anteil am weltweiten Energieverbrauch erreichen. (Quellen: UN; U. S. DoE)

Mehr als ein Viertel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu Elektrizität, und zwei Fünftel sind zur Deckung ihres grundlegenden Energiebedarfs überwiegend auf herkömmliche Biomasse angewiesen. Zwar wird die Zahl der Menschen ohne Stromversorgung in den kommenden Jahrzehnten zurückgehen, aber Prognosen zufolge werden auch 2030 noch 1,4 Milliarden Menschen ohne Elektrizität auskommen müssen. Und die Zahl der Menschen, die Holz, Pflanzenreste und tierische Abfallprodukte als wichtigste Brennstoffe zum Kochen und Heizen nutzen, wird sogar noch ansteigen.<sup>64</sup>

Die meisten Energieanalytiker erwarten, dass der weltweite Energieverbrauch weiterhin steigen wird. Das von der Internationalen Energiebehörde in ihrem oben zitierten Ausblick *World Energy Outlook 2002* präsentierte „Referenz“-Szenario beschreibt eine Zunahme des weltweiten Primärenergieverbrauchs von 2000 bis 2030 um zwei Drittel. Und selbst das „alternative“ (stärker ökologisch ausgerichtete) Szenario führt zu einem Anstieg des weltweiten Energieverbrauchs von mehr als 50% in diesem Zeitraum von 30 Jahren. Bei einer Analyse für die dänische Energiebehörde ergab sich, dass sechsmal so viel Energie (Endenergie beim Verbraucher) erforderlich wäre, wie weltweit im Jahr 2000 bereitgestellt wurde, um den grundlegenden Energiebedarf von 9,3 Milliarden Menschen – so viele könnte die Weltbevölkerung im Jahr 2050 umfassen – vollständig zu decken.<sup>65</sup>

Mehr als 80% der im Jahr 2000 genutzten kommerziellen Energie stammt aus nicht erneuerbaren fossilen Brennstoffen: Erdöl, Erdgas und Kohle. Die unterirdischen Vorräte dieser fossilen Brennstoffe nehmen ständig und unerbittlich ab. Um festzustellen, ob wir ein Nachhaltigkeitsproblem auf Seiten der Quellen des Durchsatzes vor uns haben (auf die Senken werden wir später zu sprechen kommen), müssen wir fragen, wie rasch diese Quellen erschöpft werden und ob schnell genug erneuerbarer Ersatz entwickelt wird, um diesen Rückgang zu kompensieren.

In dieser Sache herrscht enorme Verwirrung – selbst bei der Frage, ob diese von Natur aus nicht erneuerbaren Brennstoffe überhaupt erschöpft werden. Diese Verwirrung entsteht, weil dem falschen Signal Aufmerksamkeit geschenkt wird. Der Begriff *Ressource* bezieht sich auf die Gesamtmenge eines Stoffes in der Erdkruste; der Begriff *Reserve* bezeichnet hingegen diejenige Menge, die bereits entdeckt oder deren Vorkommen als sicher gelten kann und die daher – unter vernünftigen Annahmen für die Technik- und Preisentwicklung – auch gefördert werden kann. Ressourcenvorräte gehen durch Verbrauch unerbittlich zurück. Die Mengenangaben für die Reserven können aber noch zunehmen, wenn neue Vorräte entdeckt werden, die Preise ansteigen und sich die Techniken verbessern. Oft aber wurden fälschlicherweise Aussagen über Ressourcen aufgrund von Beobachtungen der Reserven gemacht.

Zwischen 1970 und 2000 verbrannte die Weltwirtschaft 700 Milliarden Barrel Erdöl, 87 Milliarden Tonnen Kohle und 50 Billionen m<sup>3</sup> Erdgas. Im selben 30-Jahres-Zeitraum wurden jedoch neue Lagerstätten von Erdöl, Kohle und Erdgas entdeckt (und bei alten wurden die Zahlen nach oben korrigiert). Infolgedessen ist das Verhältnis der bekannten Reserven zur Produktion<sup>66</sup> – der Zeitraum, für den die nutzbaren Ressourcen bei der gleichen Produktion wie heute noch reichen – sogar angestiegen, wie aus Tabelle 3-1 zu ersehen ist.

Zu diesem Anstieg des Verhältnisses der Reserven zur Produktion kam es trotz des deutlich gestiegenen Verbrauchs von Erdgas (um etwa 130% von 1970 bis 2000), Erdöl (um etwa 60%) und Steinkohle (um etwa 145%). Aber bedeutet dieser Anstieg, dass im Jahr 2000 größere Mengen fossiler Brennstoffe zur Versorgung der menschlichen Wirtschaft im Boden lagerten als 1970?

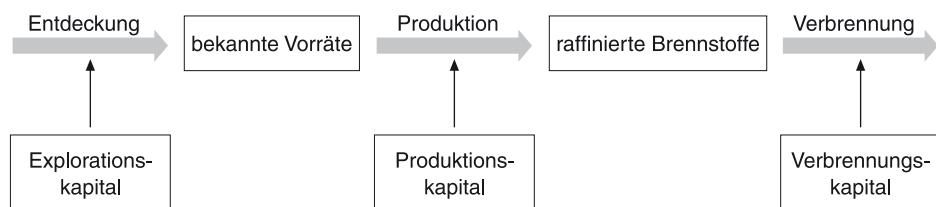
Nein, natürlich nicht. Nach drei Jahrzehnten Abbau gab es 700 Milliarden Barrel Erdöl, 87 Milliarden Tonnen Kohle und 50 Billionen m<sup>3</sup> Erdgas *weniger*. Fossile Brennstoffe sind nicht erneuerbare Ressourcen. Bei der Verbrennung werden sie in Kohlendioxid, Wasserdampf, Schwefeldioxid und einige weitere Substanzen umgewandelt, die sich nicht wieder zu fossilen Brennstoffen zusammenschließen, jedenfalls nicht in einem für den Menschen relevanten Zeitraum. Vielmehr handelt es sich um Abfall- und Schadstoffe, die in die Senken der Erde eingehen.

**Tabelle 3-1 Jährliche Produktion, Verhältnis von Reserven zur Produktion (R/P) und zeitliche Reichweite für die Erdöl-, Erdgas- und Kohlevorräte**

|        | 1970<br>jährliche<br>Produktion | 1970<br>R/P<br>„Lebens-<br>dauer“<br>(Jahre) | 2000<br>jährliche<br>Produktion | 2000<br>R/P<br>„Lebens-<br>dauer“<br>(Jahre) | zeitliche<br>Reichweite der<br>Ressource<br>(Jahre) |
|--------|---------------------------------|--|---------------------------------|--|---|
| Erdöl  | 17 Milliarden<br>Barrel         | 32   | 28 Milliarden<br>Barrel         | 37   | 50–80   |
| Erdgas | 1,06 Billionen m³               | 39   | 2,46 Billionen m³               | 65   | 160–310   |
| Kohle  | 2,2 Milliarden<br>Tonnen        | 2300   | 5 Milliarden<br>Tonnen          | 217  | sehr lange  |

Die Schätzungen für die Ressourcen sind definiert als die Summe der „bekannten Reserven“ und der „verbleibenden unentdeckten Ressourcen“. Eine Ressource dividiert durch die Produktion im Jahr 2000 ergibt den Zeitraum, wie lange diese Ressource ab 2000 voraussichtlich noch ausreichen wird (bei gleich bleibender Förderung). Die Zahl für die Kohlereserven von 1970 ist nicht mit der von 2000 vergleichbar, weil die Reserven unterschiedlich definiert wurden. Kohle war und ist der am reichlichsten vorhandene fossile Brennstoff (Quellen: U. S. Bureau of Mines; U. S. DoE)

Wer die in den vergangenen 30 Jahren neu entdeckten Vorräte als Anzeichen dafür betrachtet, dass fossile Brennstoffe nicht unmittelbar begrenzt seien, sieht nur einen Teil des Energiesystems.

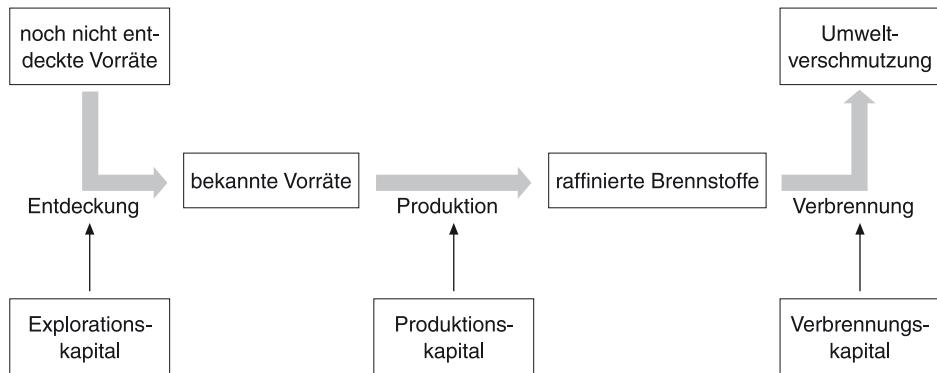


#### Teil des Energiesystems von den bekannten Vorräten bis zur Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen

Für die *Entdeckung* neuer Lagerstätten fossiler Brennstoffe in der Erdkruste wird *Explorationskapital* (Bohrinseln, Flugzeuge, Satelliten und hoch technisierte Sonden) benötigt; durch die Entdeckung erhöhen sich die *bekannten Reserven*, die zwar bekannt, aber noch nicht gefördert sind. Durch den Prozess der *Produktion* (Förderung) wird dieser Bestand mithilfe von *Produktionskapital* (Anlagen und Geräte für Bergbau, Pumpen, Raffinieren und Transport) an die Erdoberfläche gebracht und in die Lager und Tanks für raffinierte Brennstoffe geliefert. Ab dort werden die raffinierten Brennstoffe durch das *Ver-*

*brennungskapital* (Kessel, Automobile, Kraftwerke) verbrannt, wobei nutzbare Wärme entsteht.<sup>67</sup>

Solange die Entdeckungsrate die Förderrate übersteigt, nimmt der Bestand an bekannten Reserven zu. Aber das Diagramm oben zeigt nur einen Teil des Systems. Ein vollständigeres Schaubild würde auch die eigentlichen Quellen und Senken der fossilen Brennstoffe enthalten.



**Gesamtes Energiesystem von bisher unentdeckten Vorräten bis zur Umweltbelastung durch Verbrennung**

Wenn der Bestand *bekannter Reserven* durch die *Produktion* verringert wird, investieren Unternehmen in die Exploration, um den Bestand wieder aufzufüllen. Aber dabei werden immer nur weitere Teile des eigentlich vorhandenen Grundbestands fossiler Brennstoffe in der Erdkruste entdeckt, der nicht wieder aufgefüllt wird. Der Bestand an *noch nicht entdeckten Reserven* könnte sehr groß sein, aber er ist endlich und nicht erneuerbar.

Am anderen Ende des Durchsatzes entstehen durch die Verbrennung Schadstoffe, die letztendlich in die Senke eingehen – in die biogeochemischen Kreisläufe der Erde. Durch diese werden die Schadstoffe wieder in den Kreislauf zurückgeführt oder unschädlich gemacht, oder die Kreisläufe werden selbst durch die Schadstoffe vergiftet oder geschädigt. Auch in allen anderen Stadien des Durchflusses fossiler Brennstoffe, von der Entdeckung über die Produktion, die Raffination, den Transport und die Lagerung, werden verschiedene Schadstoffe ausgestoßen. Zwar ist es bei guter Prozessführung gelungen, Schadstoffemissionen durch erhebliche Verbesserungen der ökologischen Effizienz im Laufe der letzten zehn Jahre zu senken, aber in den Vereinigten Staaten stellt die Energieerzeugung trotzdem immer noch eine der Hauptquellen für die Verschmutzung des Grundwassers dar.

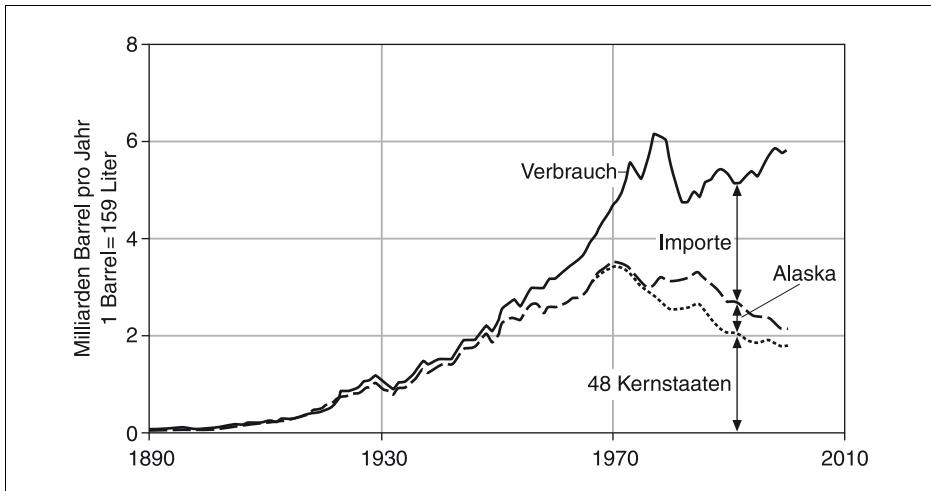
Niemand weiß, welche Seite der Durchsatzzkette fossiler Brennstoffe stärker begrenzend wirken wird, die Quellen oder die Senken. Vor 30 Jahren, kurz vor der Erhöhung der Ölpreise durch die OPEC, schien der Flaschenhals eindeutig

auf Seiten der Quellen zu sein. Heute richtet sich das Augenmerk viel stärker auf Klimawandel, sodass nun offenbar die Senken die größere Einschränkung darstellen. Es gibt solche enormen Kohlemengen, dass wir glauben, ihr Verbrauch wird durch die Kohlendioxidsenke in der Atmosphäre begrenzt. Beim Erdöl könnten die Einschränkungen von beiden Seiten herkommen. Durch seine Verbrennung entstehen Treibhausgase und andere Schadstoffe, und Erdöl wird sicherlich als erster fossiler Brennstoff erschöpft sein. Erdgas gilt heute vielen als diejenige Ressource, durch die sich die Energieproduktion aufrechterhalten lässt, bis sich nachhaltige Energiequellen etabliert haben. Aber bisher hat es gewöhnlich 50 Jahre gedauert, bis die Gesellschaft den Übergang von einer vorherrschenden Energiequelle zu einer anderen geschafft hat. Unterdessen könnte die Lebensqualität abnehmen, sei es durch klimatische Veränderungen oder durch Einschränkungen des Verbrauchs fossiler Brennstoffe.

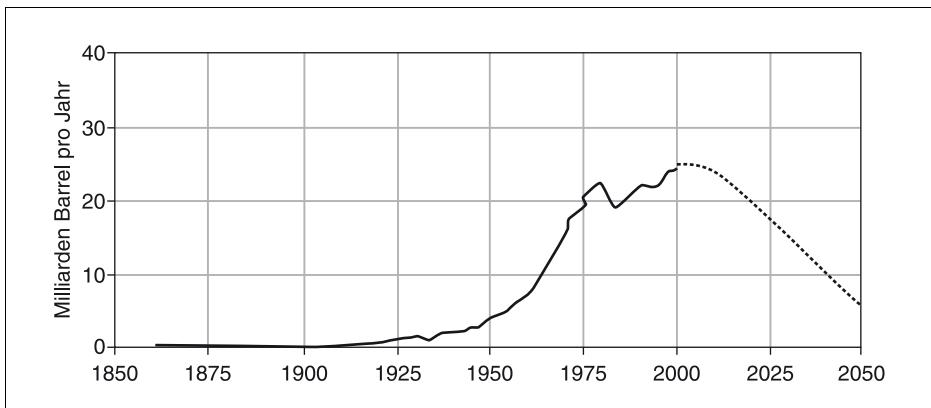
Schätzungen der noch nicht entdeckten Erdöl- und Erdgasreserven schwanken stark und können nie ganz zuverlässig sein; dennoch haben wir in Tabelle 3-1 einige Schätzwerte aufgenommen. Wegen der geringen Verlässlichkeit schwanken sie in einem großen Bereich. Demnach könnten die verbliebenen Erdölressourcen (definiert als die Summe der gegenwärtig entdeckten und noch nicht entdeckten Reserven) bei einem Verbrauch wie im Jahr 2000 noch 50–80 Jahre lang ausreichen, Erdgas hingegen 160–310 Jahre. Die Kohlevorräte sind sogar noch umfangreicher. Allerdings werden die Kosten zur Erschließung der Ressourcen steigen, je mehr diese erschöpft sind. Und zu den Produktionskosten könnten noch politische Kosten kommen: Im Jahr 2000 stammten 30% der weltweiten Erdölproduktion aus dem Mittleren Osten, und 11% kamen aus der ehemaligen Sowjetunion; zusammen verfügen diese beiden Regionen über zwei Drittel aller bekannten Erdölreserven.

Die Erschöpfung des Erdöls wird sich nicht als völliger Produktionsstopp bemerkbar machen, als plötzliches Austrocknen der Hähne. Vielmehr werden die Investitionen in die Exploration immer geringere Erträge bringen, die verbliebenen Reserven werden auf immer weniger Länder konzentriert sein, und schließlich wird auf ein Maximum der weltweiten Produktion ein allmäßlicher Rückgang folgen. Die Vereinigten Staaten können hierfür als Fallstudie dienen. Mehr als die Hälfte ihrer ursprünglich enormen Ölrroräte ist schon ausgebeutet. Die meisten neuen Erdöllagerstätten wurden in den 1940er- und 1950er-Jahren entdeckt, die nationale Ölproduktion erreichte ihr Maximum um 1970, und der Bedarf an Erdöl wird heute zunehmend durch Importe gedeckt (siehe Abbildung 3-11).

Das Gleiche passiert gerade in globalem Maßstab. Abbildung 3-12 zeigt den bisherigen und den wahrscheinlichen zukünftigen Verlauf der weltweiten Erdölproduktion. Letzterer beruht auf ähnlichen Annahmen bezüglich der Ressourcen wie in Tabelle 3-1. Demnach ist zu erwarten, dass der Erdölverbrauch vom heutigen Stand nicht mehr viel ansteigen und dann nach einigen

**Abbildung 3-11 Erdölproduktion und -verbrauch in den USA**

Die nationale Erdölproduktion in den Vereinigten Staaten erreichte 1970 ihren Höchststand; seither ist die Produktion in den 48 zusammenhängenden Staaten um 40% zurückgegangen. Selbst neu entdeckte Lagerstätten in Alaska konnten diesen Rückgang nicht kompensieren. (Quellen: API; EIA/DoE)

**Abbildung 3-12 Szenario für die globale Erdölproduktion**

Die durchgezogene Linie zeigt die globale Erdölproduktion bis zum Jahr 2000. Die wahrscheinlichste Entwicklung der zukünftigen Produktion wurde mit dem Verfahren des Geologen M. King Hubbert geschätzt. Die gestrichelte Linie rechts zeigt die wahrscheinliche Jahresproduktion, wenn die letztendlich förderbaren Erdölvorräte 1,8 Billionen Barrel betragen (Fläche unterhalb der Kurve). (Quelle: K. S. Deffeyes)