Ugo Bardi

Der geplünderte Planet

Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen

bpb:
Bundeszentrale für politische Bildung

Schriftenreihe Band 1373

Ugo Bardi

Der geplünderte Planet

Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen

Aus dem Englischen von

Eva Leipprand (Hauptteil)
Hans Freundl, Thomas Pfeiffer, Werner Roller,
Heike Schlatterer (Ausblicke)

bpb:
Bundeszentrale für politische Bildung

Ugo Bardi lehrt Chemie an der Universität Florenz. Seine Interessen gelten der Ressourcenerschöpfung, der Energiefrage und dem Klimawandel. Er ist Vorsitzender von ASPO (Association für the Study of Peak Oil and Gas) Italien.

Dieses Buch wurde klimaneutral aus FSC-zertifiziertem Recycling-Papier und aus Papier aus anderen kontrollierten Quellen hergestellt.

Diese Veröffentlichung stellt keine Meinungsäußerung der Bundeszentrale für politische Bildung dar. Für die inhaltlichen Aussagen tragen die Autorinnen und Autoren die Verantwortung.

Bonn 2013
Lizenzausgabe für die Bundeszentrale für politische Bildung
Adenauerallee 86, 53113 Bonn

© 2013 oekom Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH, München

Umschlaggestaltung: Michael Rechl, Kassel
Umschlagfoto: © plainpicture / Magnum, the plainpicture edit. / David Hurn
Bergbau in Wales, Großbritannien

Gestaltung und Satz: Reihs Satzstudio, Lohmar
Lektorat: Martina Blum (Hauptteil), Christoph Hirsch / Torsten Merz (Ausblicke), alle oekom Verlag

Druck: CPI books GmbH, Leck

ISBN 978-3-8389-0373-6

www.bpb.de

Vorwort von Ernst Ulrich von Weizsäcker 9

Einführung:
Die Grenzen des Wachstums rücken näher 13

Kapitel 1
Gaias Gaben: die Herkunft der Bodenschätze

Die Geburt einer neuen Wissenschaft 19
Ein Planet wird geboren 29
Gaia: der lebende Planet 33
Erze: Gaias Gaben 43
Gaias Tod 59

Kapitel 2
Der geplünderte Planet: die Geschichte des Bergbaus

Die lange Geschichte des Bergbaus 63
Die Entstehung des Bergbaus 73
Fossile Brennstoffe und die Geburt des modernen Bergbaus 85
Die kurze Periode der Atomenergie 93
Eine riesige Industrie in permanenter Entwicklung 103

Kapitel 3
Auf Bodenschätze gegründete Weltreiche:
Bergbau und Kriege

Eine Welt ohne Geld 109
Die Geburt der Münzwährung 111
Münzprägung als Kriegswaffe 125
Auf Mineralien gegründete Weltreiche 128
Globale Handelsimperien 140
Auf fossilen Brennstoffen gegründete Weltreiche 144

Kapitel 4

Eine Universalmaschine für den Bergbau: Mineralien und Energie

Eine Universalmaschine für den Bergbau 153
Energie und Mineralgewinnung 154
Mineralabbau in den Ozeanen 166
Der Stein der Weisen 177
Mineralabbau im Sonnensystem 180
Ressourcenknappheit ist unausweichlich 189

Kapitel 5

Die Glockenkurve: ein Modell der Knappheit

Brennstoff für Öllampen 191
Die Glockenkurve 193
Modelle für Knappheit 203
Die Tragik der Allmende im Bereich der Mineralien 206
Füchse und Hasen 210
Die Achillesferse der Mineralindustrie 212
Perspektiven der Mineralienknappheit 220

Kapitel 6

Die dunkle Seite des Bergbaus: Umweltverschmutzung und Klimawandel

Wie ich dich liebe, Mary! 225
Abfälle des Bergbaus 228
Abfall, Abfall überall! 241
Schwermetallabfall: Quecksilber und andere Giftstoffe 246
Abfall der Moderne: Treibhausgase 257
Das Anthropozän 268

Kapitel 7

Die Red-Queen-Hypothese: die Zukunft der Zivilisation

Wettlauf nach den Regeln der Roten Königin 271
Substitution 274
Wiederverwertung und Wiederverwendung 281
Anpassung und Effizienz 297
Wie die Zukunft aussehen wird 311

Schlussbetrachtung

Eine mineralische Eschatologie 317

Danksagung 320
Anmerkungen 321
Ergänzende deutschsprachige Literatur 346
Bildnachweis 348
Orts- und Sachregister 350

Ausblicke

Es werden keine Gefangenen gemacht:
gegenwärtige Trends der Ausbeutung des Planeten 21
Karl Wagner

Erdöl: der wichtigste Rohstoff der globalen Ökonomie 46
Colin J. Campbell

Fruchtbarer Boden:
eine Grundvoraussetzung für das Überleben der Menschheit 65
Toufic El Asmar

Das Ende des billigen Urans oder warum Atomenergie
in die Sackgasse führt 97
Michael Dittmar

Money makes the world go around:
Gold und Silber als Wertanlage und Zahlungsmittel 116
Luís de Sousa

Kupfer: geht eine lange Erfolgsgeschichte bald zu Ende? 134
Rui Namorado Rosa

Platinmetalle und ihre Verwendung in der Automobiltechnologie . . 157
Ugo Bardi & Stefano Caporali

Volle Fahrt voraus? Lithium und der Einstieg
in die Elektromobilität 171
Emilia Suomalainen

Nickel und Zink: der stete Kampf gegen die Korrosion 181
Philippe Bihouix

Das Hubbert-Modell als Prognoseinstrument für die Entwicklung
der Rohstoffreserven der Welt 194
Marco Pagani & Stefano Caporali

Phosphor: brauchen wir einen Paradigmenwechsel? 215
Patrick Déry

Peak Coal oder warum Kohle keine Lösung ist 233
Werner Zittel & Jörg Schindler

Erdgas und unkonventionelle Rohstoffe:
können wir das Hubbert-Modell überlisten? 250
Ugo Bardi

Auf Kosten der Umwelt:
mit Fracking die letzten Reserven erschließen 261
Ian T. Dunlop

Seltene Erden im Elektroschrott:
die Nadel im Heuhaufen recyceln 286
Rolf Jakobi

Suffizienz und Wertstoffrückgewinnung
statt Rohstoffverschwendung 301
Jutta Gutberlet

EINFÜHRUNG

Die Grenzen des Wachstums rücken näher

Die große Geschichte des Bergbaus nahm ihren Anfang vor Zehntausenden von Jahren, als unsere fernen Vorfahren erstmals Löcher in die Erde gruben, um werkzeugtaugliche Steine zu finden. Das war der bescheidene Auftakt einer Revolution, aus der die moderne Bergbauindustrie hervorging, eine Industrie, die heute Milliarden von Tonnen Material abbaut und verarbeitet. Es ist dieser gigantische Zufluss an Mineralrohstoffen, der der weltweiten Industriewirtschaft die Energie und die lebenswichtigen Ressourcen liefert, die sie braucht, um auch weiterhin Güter und Dienstleistungen zu produzieren.

Doch während die Ausplünderung der Erde fortschreitet, ist immer häufiger die Befürchtung zu hören, die Bodenschätze könnten uns »ausgehen«. Ängste dieser Art wurden immer wieder als Kassandrarufe verlacht. Und doch dürfen wir nicht vergessen, dass die Erde ein endlicher Planet ist, und auch die Adern sind endlich, die Erze und die Flöze, aus denen wir die Mineralien gewinnen. Die Frage, wie lange diese Vorräte wohl noch reichen werden, ist also durchaus berechtigt. Und ebenso berechtigt ist die Frage, wie sich deren allmähliche Erschöpfung auf die Wirtschaft auswirken wird – und zwar schon lange bevor der jeweilige Stoff definitiv nicht mehr zur Verfügung steht. Und mit noch viel mehr Recht darf man fragen, welche Folgen es haben wird, wenn wir die abgebauten Rohstoffe über das ganze Ökosystem verteilen; es geht also um die Folgen dessen, was wir als »Umweltverschmutzung« definieren. Viele dieser Materialien sind für den Menschen giftig und der Abbau fossiler Kohlenwasserstoffe führt im letzten Ergebnis zu Kohlendioxid (CO_2), das sich auf das gesamte Ökosystem negativ auswirkt und das Erdklima unwiderruflich verändert.

Eine der ersten Studien, die diese Probleme zu analysieren und zu quantifizieren versuchten, erschien 1972 unter dem Titel *Grenzen des Wachstums*[1]. Sie wurde vom Club of Rome gefördert, einer Denkfabrik von Intellektuellen, die sich über die Zukunft der Erde Gedanken machten. Durchgeführt wurde sie von einer Forschergruppe am Massachussetts Institute of Technology. Von Anfang an war die Studie mit dem Ziel konzipiert, ein Gesamtbild zu erstellen und nicht einfach nur die grob vereinfachende Vorstellung von den »zur Neige gehenden Ressourcen« zu behandeln. Da man die besten Computer der damaligen Zeit zur Verfügung hatte, konnte die Studie *Grenzen des Wachs-*

tums die Interaktion verschiedener Parameter des Weltwirtschaftssystems berücksichtigen und Szenarien für die mögliche Entwicklung des Systems bis zum Ende des 21. Jahrhunderts entwerfen. Die steigenden Kosten bei der Ressourcenförderung und beim Kampf gegen die durch die industriellen Prozesse entstehende Umweltverschmutzung waren in der Studie einkalkuliert. Die Ergebnisse ließen für Optimismus wenig Raum. Die Kombination aus Ressourcenverknappung und Schäden, die aus der Umweltverschmutzung herrührten, würde irgendwann in nicht allzu ferner Zukunft mit Sicherheit das Wirtschaftswachstum zum Stillstand bringen und einen unumkehrbaren Niedergang des industriellen wie auch des agrarwirtschaftlichen Systems bewirken. Das »Basisfall«-Szenario, das von den zuverlässigsten Daten ausging, die man seinerzeit zur Verfügung hatte, ließ den Beginn des Niedergangs zu einem Zeitpunkt in den ersten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts erwarten. Weitere Szenarien, die auf anderen Einschätzungen der Eingabeparameter beruhten, errechneten den Niedergang für einen späteren Zeitpunkt; vermeidbar erschien er aber auch hier nicht. Allein ein radikaler Wandel in der Organisation der Weltwirtschaft könnte, so die Studie, den Niedergang verhindern und das Wirtschaftssystem langfristig stabilisieren. Um dieses Ziel zu erreichen, empfahlen die Autoren Maßnahmen wie die Begrenzung des industriellen Wachstums und des Abbaus von Mineralressourcen. Empfohlen wurden auch nachhaltige Verfahren in Industrie und Landwirtschaft sowie geeignete Maßnahmen zur Begrenzung des Bevölkerungswachstums.

Es ist unnötig zu erwähnen, dass keine dieser Maßnahmen je in die Praxis umgesetzt wurde. Die Geschichte der *Grenzen des Wachstums* ist nicht nur die Geschichte einer wissenschaftlichen Untersuchung; sie erzählt auch davon, wie schwer es unserer Gesellschaft fällt, Zukunftsplanungen zu entwickeln. Die Veröffentlichung des Buchs im Jahr 1972 trat eine hitzige Debatte los, die im Lauf der Jahre in eine regelrechte Schmutzkampagne ausartete. Dadurch wurden die Glaubwürdigkeit der Studie und der Ruf der Autoren unterminiert. Am Ende war die Öffentlichkeit überzeugt, dass die Studie *Grenzen des Wachstums* nichts weiter als eine Reihe falscher Vorhersagen war und ihre Verfasser eine Gruppe verblendeter, womöglich halbirrer Wissenschaftler, die geglaubt hatten, uns würden demnächst sämtliche Bodenschätze nicht mehr zur Verfügung stehen.

Das war aber nicht richtig. Keines der in der Studie *Grenzen des Wachstums* entwickelten Zukunftsszenarien sagte voraus, dass der Menschheit vor dem Ende des 21. Jahrhunderts irgendetwas »ausgehen« würde. Die Szenarien basierten vielmehr auf der einleuchtenden Überlegung, dass fortschreitende Verknappung zwangsläufig eine Erhöhung der Förderkosten bewirken müsse, während die Anhäufung von Abfällen die Kosten im Kampf gegen die Umweltverschmutzung in die Höhe treiben würde. Aus eben diesen Kosten-

steigerungen, und nicht aus der simplifizierenden Vorstellung vom »Ausgehen« der Bodenschätze, entwickeln die in der Studie verwendeten Modelle die »Grenzen des Wachstums«. Die *Grenzen des Wachstums* wie auch die Folgeberichte von 1982 und 2004 wurden durch spätere Studien[2,3] überprüft und bestätigt und man hat nachgewiesen, dass der Kurvenverlauf der weltwirtschaftlichen Parameter bis heute dem Basismodell doch recht eng gefolgt ist[4].

Die Studie hatte sich nie zum Ziel gesetzt, den genauen Zeitpunkt für den Beginn des Niedergangs festzulegen. Deshalb geht es gar nicht um die Frage, ob eines der konkreten Szenarien diesen Punkt korrekt angesetzt hat. Es kann aber sehr wohl sein, dass das Basisszenarium der Studie in seiner Einschätzung richtig lag, dass nämlich die Kombination von Verschmutzung und Verknappung sich in den ersten beiden Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts allmählich als Hemmschuh für das Wirtschaftswachstum erweisen würde. Das könnte eine Erklärung für die Verwerfungen sein, die wir heute in der Weltwirtschaft beobachten. Angesichts dieser Situation war es mit Sicherheit nicht besonders klug, die Durchführung systemischer Studien zur Entwicklung der globalen Industrie als eine Funktion der Ressourcenknappheit abzubrechen und aufzugeben, wie dies in der Welle des Optimismus der 1990er Jahre geschah, als die Mehrheit der Menschen vorübergehend überzeugt zu sein schien, das Internet werde uns eine immerwährende Ära unbegrenzten Wohlstands bringen.

Heute ist das Interesse am Thema Ressourcenknappheit neu erwacht; es sind zahlreiche einschlägige Bücher und Artikel erschienen[5–11]. Einige dieser Studien kommen zu dem Schluss, dass wir uns in der Tat einem Punkt nähern, an dem die fortschreitende Erschöpfung billiger Bodenschätze zu einem wichtigen Begrenzungsfaktor für das Wachstum der Wirtschaft geworden ist, ja die Aufrechterhaltung des gegenwärtigen Niveaus der Wirtschaftsleistung in Frage stellt. Das Problem der schwindenden Bodenschätze ist umso gravierender, als es parallel mit der beschleunigten Zerstörung der Ökosysteme auftritt, die sich derzeit vor allem in Form des Klimawandels zeigt. Die Temperaturen steigen weltweit an, dazu treten eine Menge weiterer Probleme auf, wie die Versauerung der Meere, Dürren, der Verlust an Biodiversität oder die Verschärfung von Extremwetterereignissen, um nur einige, hinlänglich bekannte Aspekte zu nennen. Bei diesen Phänomenen besteht das Problem nicht allein darin, dass uns etwas ausgeht oder dass wir die globale Erwärmung abmildern müssen. Diese Symptome sind nichts weiter als der sichtbare Ausdruck der vollständigen Umwandlung des gesamten Ökosystems Erde, verursacht durch das Eingreifen des Menschen. So wird der Aufruf zum Handeln, den die Studie *Grenzen des Wachstums* schon im Jahr 1972 an uns alle gerichtet hat, zunehmend dringlicher. Wir müssen der Zerstörung des Ökosystems und dem Schwinden der Mineralvorräte

mit höherer Effizienz in allen Bereichen der Industrie begegnen – mit dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Ressourcen und mit der Entwicklung effizienter Recyclingprozesse, um die Lebensdauer der verbleibenden Ressourcen zu verlängern (vgl. die Beiträge von Jakobi, S. 286 ff. und Gutberlet, S. 301 ff.). Will man diese Probleme wirksam bekämpfen, braucht man eine funktionierende Wirtschaft, die für den Ersatz von fossilen Brennstoffen durch nicht kohlenstoffbasierte Ressourcen, für Minderungsmaßnahmen und eventuell auch für gewisse, risikoarme Formen eines »Geo-Engineering« die notwendigen finanziellen Überschüsse zur Verfügung stellen kann. Nur so können wir uns der doppelten Herausforderung von Ressourcenverknappung und Klimawandel stellen, mit der sich die Menschheit in den kommenden Jahren auseinandersetzen muss.

Das vorliegende Buch gibt einen Überblick über die Idee des Rohstoffabbaus im Kontext der Erdsystemwissenschaft und im Zusammenhang mit ihren Auswirkungen auf Wirtschaft und Ökosystem. Es stützt sich auf die Sachkenntnis, die der Hauptautor, Ugo Bardi, mit seinem früheren Werk *La Terra Svuotata* (Editori Riuniti, 2011), das sich mit dem gleichen Thema befasst, gewonnen hat. Es handelt sich hier aber nicht um eine Übersetzung des ursprünglichen Buchs, sondern um einen neu verfassten Text, der beim Thema Mineralverknappung mehr in die Tiefe geht und die Verknüpfung von Mineralabbau mit Umweltverschmutzung und Klimawandel expliziter und detaillierter herausarbeitet.

Die Aufgabe des Buchs besteht nicht darin, für bestimmte Mineralressourcen detaillierte Vorhersagen zu treffen; vielmehr wird eine globale Sicht auf die vielen Fragen angestrebt, die mit dem Prinzip des Ressourcenabbaus und seiner Auswirkung auf das Ökosystem verbunden sind. Untersucht wird die große Periode des Bergbaus, die vor Zehntausenden von Jahren begann und heute Symptome aufweist, die auf einen Prozess des Niedergangs hindeuten. Das Buch erzählt die Geschichte des Bergbaus bis zum heutigen Tag und gibt einen Überblick über die Prozesse der Frühzeit, in deren Verlauf die Bodenschätze, die wir heute noch abbauen, entstanden sind. Es stellt die Frage, was uns denn überhaupt noch übrig bleibt für einen Abbau unter vernünftigen Bedingungen, und schildert die dynamischen Prozesse, die aller Wahrscheinlichkeit nach dazu führen werden, dass die Wirtschaft in Zukunft immer weniger Material zur Verfügung haben wird. Es umreißt die Konsequenzen für das Ökosystem, die sich aus der Verteilung von großen Mengen an Mineralien und Schutt aus dem Abbauprozess ergeben. Und schließlich versucht das Buch, eine Strategie zu entwerfen, zum Erhalt einer Gesellschaft, die, was den Energiefluss und erwirtschafteten Überschuss betrifft, mit der heutigen vergleichbar ist – wohl wissend, dass uns der bisher so selbstverständliche Vorrat an billigen Mineralrohstoffen dann nicht mehr zur Verfügung stehen wird.

Die Aufgabe, die Zukunft bestimmter Ressourcen zu untersuchen, wird von einer Gruppe von Experten in ihren Beiträgen übernommen. In diesen Ausblicken geht es darum, die Situation anhand einiger zentraler relevanter Rohstoffe zu beleuchten. Darüber liefern sie Einblicke in einige mit Ressourcenmanagement verknüpften Probleme, welche die Autorinnen und Autoren in der aktuellen Situation für besonders signifikant hielten. Bei der Konzeption wurde nicht der Versuch unternommen, *alle* die Mineralressourcen, die zurzeit in der Weltwirtschaft auf dem Markt sind, abzudecken. In einer jährlich aktualisierten Erhebung listet der United States Geological Survey 88 solche Ressourcen auf und es macht keinen Sinn, wenn es hier zwischen beiden Arbeiten zu Überschneidungen kommt. Stattdessen haben wir Themen ausgewählt, die von Relevanz zu sein scheinen, entweder was die besondere Bedeutung der untersuchten Ressourcen betraf (zum Beispiel der fossilen Brennstoffe) oder auch für den Zugang zu Themen, die für umfassende Veränderungen verantwortlich sind, welche sich gerade in der Weltwirtschaft vollziehen (zum Beispiel partizipatorische nachhaltige Abfallwirtschaft). Die Autorinnen und Autoren wurden also gebeten, sich um eine langfristige Perspektive zu bemühen und auf weltweite Trends zu konzentrieren, den Akzent also nicht auf kurzfristig schwankende Dinge wie etwa die Preise der wichtigsten Rohstoffe zu setzen. Dabei ist eine Reihe von sechzehn Ausblicken herausgekommen, die zu verschiedenen Aspekten der heutigen Mineralindustrie und zu den möglichen Zukunftstrends ein richtiges Bergwerk (um im Bild zu bleiben) an Informationen liefern. Vorhersagen sind immer schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen. Insofern sind die Ausblicke nicht als Prognosen zu betrachten, sondern als Hinweise auf das, was kommen wird.

Schwarzer Kaviar vom Kaspischen Meer. Bis vor etwa zehn Jahren waren diese blauen Dosen in Russland billig und weit verbreitet. Dann verschwanden sie vom Markt, zeitgleich mit dem Verschwinden ihrer Bezugsquelle: dem Stör aus dem Kaspischen Meer. Schwarzen Kaviar kann man heute immer noch kaufen, er ist aber selten und extrem teuer. Die Jagd nach Kaviar illustriert beispielhaft, wie ein Fanggebiet fast bis zur vollständigen Ausrottung ausgebeutet worden ist. Der Stör ist nicht der einzige Fall einer Ressource, die in der Theorie zwar nachhaltig ist, aber dennoch durch Übernutzung vernichtet wurde.

KAPITEL 5

Die Glockenkurve: ein Modell der Knappheit

Brennstoff für Öllampen

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts schuf das durch die Kohlerevolution angestoßene Wirtschaftswachstum eine lebhafte Nachfrage nach einem Wirtschaftsgut, das die Kohle nicht liefern konnte: nämlich Brennstoff für die Innenbeleuchtung der Häuser. Zur damaligen Zeit wurden Innenräume herkömmlicherweise mit Öllampen beleuchtet, einer jahrtausendealten Technik. Die einzige Alternative bot das »Stadtgas«, das durch Vergasung von Kohle hergestellt wurde. Das Verfahren war jedoch kompliziert und teuer und konnte nur in großen Städten angeboten werden. Überall sonst war flüssiger Lampenbrennstoff in irgendeiner Form erforderlich. Bislang hatte man hierfür pflanzliches oder tierisches Fett verwendet. Beides war immer teuer gewesen. Wir müssen uns nur das Gleichnis von den zehn Jungfrauen im Matthäusevangelium ins Gedächtnis rufen, um zu verstehen, wie knapp und kostbar – verglichen mit heute – dieses Brennmaterial früher war. Im Zeitalter der Kohle stieg durch den Bevölkerungszuwachs die Nachfrage nach dem Lampenbrennstoff und die Preise für die herkömmlichen Quellen kletterten höher und höher. Die Kohle allerdings konnte den flüssigen Brennstoff, den man für die Lampen brauchte, nicht liefern. Zwar ließen sich einige Kohlesorten zur Gewinnung einer brennbaren Flüssigkeit destillieren, aber das Verfahren war kostspielig und brachte wenig Ertrag. Als man dann entdeckte, dass Walöl die Eigenschaft hatte, mit sauberer Flamme zu brennen, und dass es preiswert herzustellen war, boomte der Walfang.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts hatte sich die Walfangindustrie weltweit zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig entwickelt. Sie unterhielt ganze Flotten und produzierte mehr als zehn Millionen Gallonen (etwa 38 Millionen Liter) Öl pro Jahr[146], das überwiegend als Lampenbrennstoff zum Einsatz kam. Die Geschichte des Walfangs blieb uns vor allem durch Herman

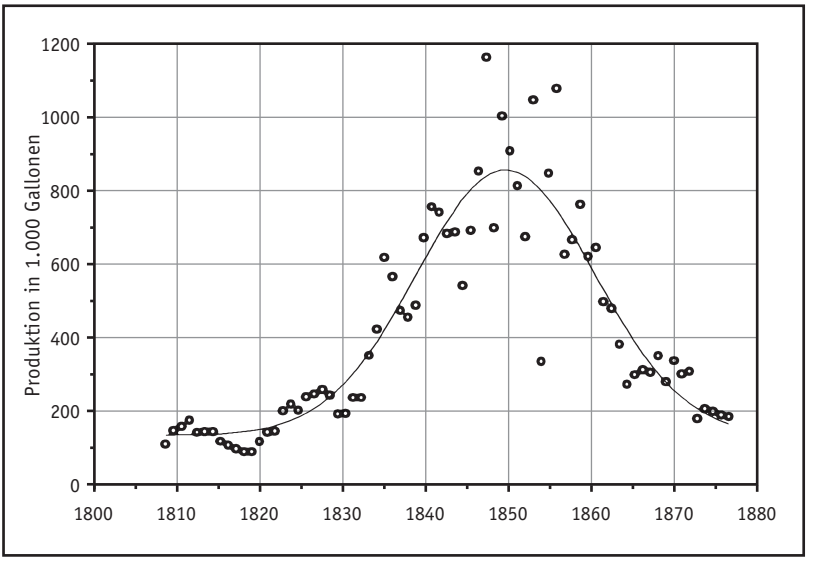

Abbildung 5–1: Verlauf der Walölproduktion im 19. Jahrhundert.

Der Walfang ist ein geradezu perfektes Beispiel, um den Lebenszyklus bei der Ausbeutung einer natürlichen Ressource zu illustrieren: Binnen weniger Jahrzehnte steigt die Produktion von Walöl stark an, erreicht ihren Höhepunkt, um dann mit der Abnahme der Bestände stark zurückzugehen. Das hier gewählte Beispiel zeigt die Walölproduktion in den Vereinigten Staaten mit ihrem Peak im Jahre 1845[147].

Melvilles Roman *Moby Dick*, der 1851 erschien, im Gedächtnis. Dabei fällt ein interessanter Aspekt ins Auge. Melville schildert in seiner Geschichte immer wieder ausführlich die Jagd der »Pequod« nach Walöl. Was allerdings seine Verwendung betrifft, so gibt es darauf nur einen einzigen Hinweis, an der Stelle, wo Starbuck, der erste Steuermann, Walsteak verzehrt, und zwar im Licht einer mit Walöl gefüllten Lampe. Dass Walöl hauptsächlich für Lampen gebraucht wurde, war für Melville so selbstverständlich wie für uns heute Benzin als Treibstoff für Autos und Lastwagen.

Es gibt noch eine weitere Tatsache, die uns Melville in seinem Roman nicht ausdrücklich mitteilt, nämlich dass sich die Walölindustrie bereits auf dem absteigenden Ast befand. Die Überfischung der Fanggebiete hatte die Bestände erschöpft und die damals gejagte Tierart war selten geworden[148]. Neuere Studien weisen darauf hin, dass am Ende der Walfangperiode im 19. Jahrhundert nur noch etwa 50 Weibchen der Glattwale in den Meeren übrig geblieben waren. Die Walölproduktion erlebte ihren Höchststand um das Jahr 1845 herum und erholte sich danach nie wieder. Während die Preise stiegen und immer weniger Öl zur Verfügung stand, gelang es – zum Glück für die Lampenbenutzer –, einen Walölersatz in Form von »Kerosin« zu finden, einer brennbaren Flüssigkeit, die durch Destillieren von sogenanntem

»Steinöl« gewonnen wurde. Für dieses Öl bürgerte sich dann später die Bezeichnung »Petroleum« ein.

Vielleicht war die hektische Nachfrage nach Walöl, die in *Moby Dick* ihren Niederschlag gefunden hat, ein Hinweis darauf, welche Schwierigkeiten die Industrie seinerzeit hatte, die Produktion aufrechtzuerhalten, auch wenn der Gedanke einer »Ressourcenerschöpfung« auf keiner Seite des Romans auftaucht. Diesen Punkt wollten die Walfänger nie zugeben und doch war es eine Tatsache, dass ihnen die Wale ausgingen. Merkwürdigerweise wird sogar heute noch der Niedergang der Walfangindustrie gerne mit dem Aufkommen der Kerosinindustrie erklärt. Das stimmt aber nicht. Als die Massenproduktion von Kerosin begann, in den Jahren 1870 bis 1880, war die Walfangindustrie bereits auf ein Drittel ihres Höchststands zurückgefallen.

Außerdem ist der Walfang nicht das einzige Beispiel für eine Fischindustrie, der wegen Übernutzung die Bestände ausgegangen sind. Weiteres Anschauungsmaterial liefert der kaspische Kaviar. Der Störfang im Kaspischen Meer erlebte seinen Höhepunkt und anschließenden Niedergang um 1980[149]. In diesem Fall gab es keinen »mineralischen Kaviar«, der den biologischen hätte ersetzen können. Noch immer kann man auf dem Markt viele Kaviarsorten finden; der »schwarze Kaviar« jedoch, der vom Kaspischen Meer kam und eigentlich stets als der beste galt, ist derart teuer geworden, dass er für die meisten Menschen inzwischen unerschwinglich ist.

Die Kabeljaufischerei im Nordwestatlantik bietet ein weiteres bekanntes Beispiel für den Kollaps eines Fischereigebiets[150]. Ob Wal, Stör oder Kabeljau – ihre Geschichten belegen, dass die Ausbeutung durch den Menschen sehr wohl zur Zerstörung selbst solcher Ressourcen führen kann, die theoretisch erneuerbar sind.

Die Glockenkurve

Die Geschichte der Walfangindustrie illustriert exemplarisch einen nahezu vollständigen Lebenszyklus bei der Ausbeutung einer natürlichen Ressource: Er begann bei Nullproduktion und, nachdem die Ressource komplett verbraucht war, endete er bei Nullproduktion. Wale sind ganz augenscheinlich erneuerbar in dem Sinne, dass sie sich reproduzieren können, doch braucht die Reproduktion ihre Zeit. In der Praxis wurden sie erheblich schneller vernichtet, als sie sich zahlenmäßig hätten erneuern können. Die Wachstums- und Degenerationsprozesse der Walfangindustrie weisen deshalb alle Merkmale der Ausbeutung einer nicht erneuerbaren Ressource auf, wie etwa Öl oder Kohle. So gesehen können wir die historischen Daten zu Produktion und Preis des Walöls als eine wertvolle »Laborsituation« interpretieren. An ihnen lässt sich ablesen, wie eine auf nicht erneuerbare Ressourcen gegrün-

dete Industrie funktioniert und wie sich der Lebenszyklus entwickelt bis zu dem Zeitpunkt, wo es keine Ressourcen mehr auszubeuten gibt. Die historischen Produktionsdaten für Walöl lassen sich grafisch als »Glockenkurve« darstellen, die einigermaßen gut mit einer Gaußglocke oder dem Integral einer Lorenzkurve übereinstimmt.

Die glockenförmige Produktionskurve ist keineswegs auf den Walfang beschränkt. Bei der Untersuchung historischer Kreisläufe der Ressourcenausbeutung stießen wir auf zahlreiche Fälle, bei denen die Produktionskurve eine glockenförmige und symmetrische Gestalt aufweist. Mit dem Kahlschlag der Wälder in Irland lässt sich mindestens ein Beispiel benennen, das sogar noch weiter zurückgeht als der Walfang im 19. Jahrhundert. Auch dort wurde eine erneuerbare Ressource erheblich schneller verbraucht, als sie sich regenerieren konnte. Bäume stellten in Irland wie überall auf der Welt eine hoch begehrte wirtschaftliche Ressource dar. John Barrington, anglo-irischer Gutsbesitzer aus dem 18. Jahrhundert, hat das seinerzeit so ausgedrückt: »Bäume sind Stümpfe, die die Natur zum Zurückzahlen von Schulden bereitstellt«[151]. Die Zerstörung der alten irischen Wälder war im späten 18. Jahrhundert abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt bedeckten Bäume gerade noch weniger als ein Prozent der Inselfläche[152]. In Irland hatte die Entwaldung besonders tragische Folgen. In dem kalten irischen Klima brauchen Bäume sehr lange, bis sie nachwachsen, und bei Regen ist der entblößte Boden der Erosion schutzlos ausgesetzt. Letztendlich war der Verlust von fruchtbarem Boden ein wichtiger Faktor bei der Entstehung der Hungersnöte, die 1848 einsetzten und Millionen von Menschen das Leben kosteten.

Das Hubbert-Modell als Prognoseinstrument für die Entwicklung der Rohstoffreserven der Welt

Marco Pagani & Stefano Caporali

Über die Reserven und Ressourcen der Industriemetalle wird viel diskutiert. Es herrscht große Unsicherheit und das Vertrauen auf die Berechnungen, die auf geologischen Faktoren beruhen, führte zu Schätzungen, die entweder viel zu hoch oder manchmal auch zu niedrig lagen. Gibt es eine zuverlässigere Methode, um festzustellen, welche Mengen wir in Zukunft noch abbauen werden können? Nachfolgend ein Vorschlag, der auf dem Gedanken fußt, dass der Schlüssel zur Zukunft in der Vergangenheit liegt.

Eine Prognose über die künftige Entwicklung der Förderung von Bodenschätzen ist stets mit Unsicherheiten behaftet und gibt Anlass für Enttäuschungen. Oft sind die verwendeten Modelle sehr schlicht. Die produktive Lebensdauer einer Rohstoffquelle wird nur auf der Grundlage der geschätzten Reserven und der geplanten durchschnittlichen Förderung berechnet. Eine solche Bewertung kann nur wenig über die tatsächliche zukünftige Entwicklung aussagen, weil sie davon ausgeht, dass eine Ressource für die gesamte restliche Lebenszeit einer Mine in gleichbleibendem Maße genutzt werden kann. Es gibt jedoch keinen bekannten Fall, in dem die Förderung über einen längeren Abschnitt des Nutzungszyklus konstant blieb.

Das ist nicht das einzige Problem, das eine Förderprognose erschwert, ein wichtigeres besteht darin, dass der Begriff »Reserven« mit einigen Unsicherheiten verbunden ist. Mit Reserven wird definiert, welche Menge förderbar oder ausbeutbar ist. Doch Förderbarkeit ist eine Eigenschaft, die auf sich rasch verändernden wirtschaftlichen Faktoren beruht. Dennoch wird sie von Geologen häufig auf der Grundlage geologischer Parameter errechnet. Die Unsicherheit dieser Schätzungen beeinträchtigt den gesamten Bereich der Prognostizierung der Rohstoffgewinnung.

In diesem Beitrag stellen wir einen Ansatz vor, der nicht ausgetretenen Pfaden folgt, sondern in die entgegengesetzte Richtung führt. Während Reserven gewöhnlich mittels geologischer Parameter bewertet werden, versuchen wir sie hier auf der Grundlage historischer Fördermuster einzuschätzen. Wir werden sehen, dass auch dieser Ansatz seine Grenzen hat, aber dass er durchaus hilfreiche Erkenntnisse über die Zukunft ermöglichen kann.

Rohstoffressourcen

Die Angabe der »Ultimate Recoverable Resource« (URR) ist eine Schätzung der maximal förderbaren Menge eines Rohstoffs, der aus der Erdkruste gewonnen werden kann und daher der Menschheit zur Verfügung steht. Die Begriffe »Ressource«, »Reserve« und »Erz«, die für mineralische Lagerstätten häufig synonym verwendet werden, haben jeweils unterschiedliche Bedeutungen. Ein Erz ist definiert als »ein natürlich vorkommendes Mineral oder eine Ansammlung von Mineralien, aus der ein wirtschaftlich bedeutsamer Teil extrahiert werden kann«. Nur wenige Mineralien können als Erze eingestuft werden. Nehmen wir zum Beispiel Eisen. Die meisten Silikate, also Minerale, die in der Erdkruste sehr häufig vorkommen, enthalten Eisen in großen

Mengen. Fayalit, eine Varietät eines Silikats namens Olivin, hat einen Eisengehalt von bis zu 54,8 Prozent. Daher kann man die Eisenmenge, die aus diesen Mineralien gewonnen werden könnte, theoretisch als unbegrenzt betrachten. Doch es gibt keine Möglichkeit, Eisen zu Kosten aus Silikaten zu extrahieren, die es erlauben, ein marktfähiges Produkt herzustellen. Aus diesem Grund können diese Gesteine nicht als echte Eisenerze und auch nicht als Ressourcen im wirtschaftlichen Sinne eingestuft werden.

Liegen natürlich vorkommende Erze in einer Form und Menge vor, die gegenwärtig oder in der Zukunft einen wirtschaftlich sinnvollen oder vertretbaren Abbau ermöglichen, stellen sie eine mineralische Ressource dar. Davon bildet jener Teil, der zu einem gegebenen Zeitpunkt wirtschaftlich und rechtlich abbaubar ist, eine Reserve. Mineralische Reserven sind sehr selten und ihre Entdeckung erfordert einen hohen finanziellen Aufwand und große Anstrengungen. Viele Gründe können dazu beitragen, dass ein mineralisches Vorkommen nicht als Reserve (oder als Erz) qualifiziert werden kann: etwa der Mineralgehalt, die Größe des Vorkommens, die Tiefe, die Lage, politische Rahmenbedingungen, Umweltbedenken und dergleichen.

Manchmal ermöglicht die Entwicklung neuer Techniken die Extraktion von Teilen eines Vorkommens, das nur einen niedrigen Mineralgehalt aufweist oder bislang nicht förderbar war. Dadurch wird dieses Vorkommen zum Erz oder zur Reserve. Für eine solche Entwicklung gibt es einige historische Beispiele wie etwa das von Jackling und Gemmel erfundene Abbauverfahren, das es ermöglichte, auch Kupfer aus Lagerstätten (Porphyr-Kupfer) zu verarbeiten, die nur geringe Mengen enthalten. Das Verfahren existiert seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts und ermöglichte einen deutlichen Anstieg der weltweiten Kupferressourcen (vgl. den Beitrag von Rosa, S. 134 ff.). Ein ähnlicher technologischer Durchbruch vollzog sich Mitte der 1960er Jahre, als durch das neue Verfahren der Cyanid-Bleichung die »unsichtbaren«, mikrometergroßen Goldminerale in der Carlin-Mine im US-Bundesstaat Nevada abbaubar wurden (vgl. den Beitrag von de Sousa, S. 116 ff.). Natürlich gibt es auch gegenteilige Beispiele und die Förderung von Erzen kann zu teuer werden. Das bedeutet, dass Reserven zu Ressourcen herabgestuft werden, was etwa aufgrund neuer rechtlicher Vorschriften oder Umweltauflagen der Fall sein kann, die zu einer Erhöhung der Extraktionskosten führen.

Zudem kann ein Erz in der Erdkruste sehr inhomogen verteilt sein, was die Berechnung der vorhandenen Gesamtmenge stark erschweren

kann. In Abhängigkeit von den geologischen Daten werden die jeweiligen Prognosen den Kategorien »erwiesen«, »wahrscheinlich« oder »vermutet« zugeordnet. Es ist offenkundig, dass dadurch sehr große Unterschiede zwischen der geschätzten Größe einer Lagerstätte und der Menge des tatsächlich gewinnbaren Erzes auftreten können.

Ein Beispiel dafür war die Campiano-Mine in der Toskana. Mitte der 1980er Jahre wurde in der Lagerstätte nach gemischten Sulfiden gesucht. Systematische Kernbohrungen ergaben Anhaltspunkte für ein großes Porphyr-Vorkommen, das interessante Mengen an Kupfer und Zink aufwies. Als die Lagerstätte untertage erschlossen wurde, zeigte sich aber, dass der Kupfer- und Zinkgehalt des Erzes stark schwankte, was einen Abbau sehr erschwerte. Dadurch wurde die Förderung insgesamt unwirtschaftlich.

Die ungesicherten Informationen über die geologischen Verhältnisse erleichtern Betrugsversuche wie beispielsweise im Falle des Busang-Goldvorkommens. Im Oktober 1993 erwarb die kleine kanadische Bergbaufirma Bre-X das Höffigkeitsgebiet Busang auf der indonesischen Insel Borneo. Bre-X begann mit Explorationsaktivitäten und meldete stetig steigende Vorräte an abbaubarem Gold. Aus anfänglich sechs Millionen Unzen im Mai 1995 wurden 30 Millionen im Januar 1996, 40 Millionen im März, 50 Millionen im Juli, 57 Millionen im Dezember und 71 Millionen im Februar 1997. Durch diese Meldungen wurden Investoren angelockt. Der Kurs der Aktie von Bre-X stieg von 0,08 US-Dollar auf mehr als 210 US-Dollar. Im März 1997 wurde jedoch in einem unabhängigen Untersuchungsbericht festgestellt, dass das Goldvorkommen wesentlich kleiner war als erwartet und dass Erzproben »gesalzen« worden waren (wertloses Gestein also absichtlich mit Gold angereichert worden war). Das Abbauprojekt wurde unverzüglich fallen gelassen und die Verantwortlichen von Bre-X setzten sich ins Ausland ab, um sich einer Strafverfolgung zu entziehen.

Die Berechnung der Extraktion

Obwohl eine genaue Schätzung der Größe von Rohstoffvorkommen eine fast unlösbare Aufgabe ist, lässt sich der URR-Wert eines Minerals mittels einer historischen Methode berechnen, die auf den Gewinnungsraten der Vergangenheit beruht. Diese Methode geht von der Beobachtung aus, dass bei vielen mineralischen Rohstoffen im Laufe der Zeit ein exponentielles Wachstum der Förderrate zu beobachten ist. So verzeichnete beispielsweise die Gewinnung von Metallen wie Kupfer, Zink, Nickel und Platin im Laufe des 20. Jahrhunderts eine expo-

Der geplünderte Planet

Dünger oder Daten – unsere Lebensgrundlagen, aber auch Kommunikation, Mobilität und Wohlstand hängen von den Rohstoffen der Erde ab. Nicht umsonst spricht man von Bodenschätzen: Viele sind inzwischen knapp und teuer, und zumeist geht ihre Ausbeutung mit der massiven Degradierung der Umwelt einher. Zudem ist längst absehbar, dass wichtige Rohstoffe nicht unendlich verfügbar sein werden. Der Chemiker Ugo Bardi erklärt das Entstehen und die Verbreitung von Bodenschätzen aus der Erdgeschichte und beleuchtet deren Rolle für unsere Zivilisation. Er plädiert eindringlich für ein Ende des Plünderns, für einen verantwortungsbewussteren und nachhaltigeren Umgang mit den Schätzen dieser Erde.

bpb:
Bundeszentrale für politische Bildung