

Naturwissenschaften im Fokus
Reihenherausgeber
Harald Frater

Dieter Lohmann · Nadja Podbregar

Im Fokus: Bodenschätze

Auf der Suche nach Rohstoffen



Springer

Autoren

Dieter Lohmann
MMCD, NEW MEDIA GmbH
Drakeplatz 5
40545 Düsseldorf, Deutschland
redaktion@scinexx.de

Nadja Podbregar
MMCD, NEW MEDIA GmbH
Drakeplatz 5
40545 Düsseldorf, Deutschland
redaktion@scinexx.de

ISBN 978-3-642-22610-6

e-ISBN 978-3-642-22611-3

DOI 10.1007/978-3-642-22611-3

Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
(www.springer.com)

Inhaltsverzeichnis

1	Werden Rohstoffe knapp? – Ein Boom und die Folgen	1
	<i>Volker Steinbach, Bernhard Cramer, Jürgen Vasters</i>	
	1.000 t mineralische Rohstoffe pro Person	2
	Neue Rollenverteilung beim Rohstoffkonsum	2
	Rohstoffe genug?	3
	„Peak Oil“ in Sicht.....	4
	Explorationsaktivitäten und Anpassungsfähigkeit	5
	Freier Zugang zu Rohstoffen	5
2	Kampf um Seltene Erden – Hightech-Rohstoffe als Mangelware	7
	<i>Dieter Lohmann</i>	
	Alles „made in China“	8
	China „bunkert“ Seltene Erden	10
	Neue Minen braucht die Welt	12
	Recycling ist (noch) keine Lösung.....	14
3	Coltan – ein seltenes Erz mit Konfliktpotenzial	17
	<i>Edda Schlager, Dieter Lohmann</i>	
	„Blut-Coltan“	19
	Bergbau statt Landbau	20
	Handarbeit ersetzt Maschinenkraft:	
	Artisanaler Coltan-Bergbau	22
	Chemischer Fingerabdruck soll Kriege verhindern	23

Coltan-Abbau im Gorilla-Land.....	25
Coltan – ein „kritischer“ Rohstoff	26
Keramik statt Tantal?.....	27
4 „Die Zeit der billigen Rohstoffe ist vorbei“ – Prof. Harald G. Dill im Interview.....	29
5 Erdöl und Erdgas „made in Germany“	57
<i>Dieter Lohmann</i>	
Medizinisches Wundermittel und Wagenschmiere.....	58
Eine künstliche (Bohr-)Insel inmitten der Nordsee.....	60
Gefahr für die Natur? Erdölförderung im Nationalpark Wattenmeer	62
Erdgas-Euphorie im „Entenschnabel“	64
„Air guns“, 3D-Seismik und virtuelle Reisen in die Tiefe	65
Unterirdische Supertanks als Erdgasspeicher	67
Als Deutschland noch am Äquator lag: wie Erdöl und Erdgas entstanden	70
6 Mit Mikrofossilien auf Erdöl-Jagd.....	73
<i>Professor Martin Langer</i>	
7 „Deepwater Horizon“: eine Ölkatastrophe als Zeugnis technischer Ohnmacht.....	77
<i>Nadja Podbregar</i>	
8 Erdgas aus Schiefer	81
<i>Dieter Lohmann</i>	
Ein geologischer „Fahrstuhl“ als Hilfsmittel	82
Shale Gas-Boom in den USA	83
Ein amerikanischer Traum wird wahr.....	85
Pionierarbeit in Sachen Shale Gas – Forschungsprogramm GASH	86
Ein Programm der Superlative.....	87
Streit um Shale Gas.....	88
Shale gas: Fluch oder Segen?	90

9	Shale Gas – eine neue Energiequelle für Europa?	
	Die GFZ-Forscher Brian Horsfield	
	und Hans-Martin Schulz im Interview	91
10	Grubengas: tödliche Gefahr	
	oder wichtige Energiequelle?	95
	<i>Martin Krüger</i>	
11	Brennendes Eis – Gashydrate	97
	<i>Dieter Lohmann</i>	
	Weltmeere und Permafrostböden als Lagerstätten.....	99
	Wie kann man Gashydratvorkommen ausbeuten?	100
	„SUGAR“ schlägt zwei Fliegen mit einer Klappe.....	103
	Storegga-Effekt und Blow-Outs.....	104
	„Methan-Rülpser“ schaffen Unterseehügel.....	106
12	Geheimnisvolle Manganknollen – Schätze der Tiefsee.....	109
	<i>Dieter Lohmann</i>	
	Eine „Wundertüte“ für Metalle.....	111
	Mikroben sorgen für Initialzündung	112
	Mangan, Kobalt, Nickel und noch viel mehr	113
	Mit „Kartoffelrodern“ in die Tiefsee	115
	Per Staubsauger an die Wasseroberfläche.....	116
	Mit OMI auf Manganknollenjagd.....	117
	Tiefsee in Gefahr? – Die Folgen des Manganknollenabbaus.....	118
	Wolken in der Tiefsee.....	120
	Stillstand bei Forschung und Technik.....	121
	Ein Grundgesetz für die Ozeane	122
	Von der Utopie zur Realität?	124
	Gute Manganknollendichte.....	125
13	Diamanten – Hochkarätiges aus dem Erdinneren	127
	<i>Dieter Lohmann</i>	
	Kohlenstoff pur – Entstehung und Eigenschaften	
	von Diamanten.....	129
	Diamantenfieber im Burenstaat	130

Die Namib als El Dorado für Edelsteinsucher	133
Diamanten aus dem Meer	134
Kein Nachschub für de Beers?	134
Vom Kieselstein zum Edelstein – die Kunst des Schleifens	136
Der Kampf gegen Blutdiamanten	137
 14 Flözbrände: schwelende Umweltkatastrophe durch den Kohleabbau	 141
<i>Nadja Podbregar</i>	
 15 Kupferabbau: verseuchte Giganten?	 145
<i>Dieter Lohmann</i>	
 16 Salz – vom Luxusgut zum Massenprodukt	 149
<i>Dieter Lohmann</i>	
Salzgeschichte(n)	151
Salzgewinnung heute	153
 17 „Make-up“ für die Erde – künstliche Koh- le-Landschaften	 155
<i>Dieter Lohmann</i>	
Ein Tafelberg in der Jülicher Börde	157
Seenlandschaften aus der Retorte	158
 Index	 161
 License: creative commons – Attribution-ShareAlike 3.0 Unported	 165

Werden Rohstoffe knapp? – Ein Boom und die Folgen

1

Volker Steinbach, Bernhard Cramer, Jürgen Vasters

Zusammenfassung

Boomende Märkte, steigende Preise, Versorgungsprobleme: Rohstoffe sind zurzeit in aller Munde – sowohl in der Wirtschaft und der Politik, als auch in der Öffentlichkeit. Deshalb beschäftigen sich die Experten der neugegründeten Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover intensiv mit der Zukunft von Industriemineralen, Erzen, Erdöl oder Kohle. Wie lange reichen unsere Rohstoffreserven noch? Von wo werden wir unsere Rohstoffe künftig beziehen und unter welchen Bedingungen werden sie gewonnen? Auf diese und viele andere Fragen versuchen sie eine Antwort zu finden.

In unserem Alltag sind wir in hohem Maße von Energierohstoffen abhängig – egal ob es um eine heiße Dusche, eine warme Mahlzeit oder die tägliche Fahrt zur Arbeit geht. Noch mehr Energie wird für die industriellen Produktionsprozesse, das Transportwesen und Dienstleistungen benötigt. In den letzten drei Jahrzehnten ist der Primärenergieverbrauch weltweit um mehr als 80 % gestiegen. Den größten Anteil des „Energie-

Volker Steinbach (✉) · Bernhard Cramer · Jürgen Vasters
Deutsche Rohstoffagentur (DERA), Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover, Deutschland
e-mail: volker.steinbach@bgr.de, bernhard.cramer@bgr.de, j.vasters@bgr.de

hungers“ deckt dabei derzeit Erdöl mit einem Anteil von über 33 %. Kohle (30 %), Erdgas (24 %), erneuerbare Energie (8 %) und Kernenergie (5 %) steuern den Rest bei.

1.000 t mineralische Rohstoffe pro Person

Auch der Bedarf an mineralischen Rohstoffen ist enorm. So verbraucht jeder Deutsche im Laufe seines Lebens durchschnittlich circa 1.000 t Rohstoffe. Dabei handelt es sich vor allem um Baurohstoffe, wie Sand und Kies für den Hausbau und die Infrastruktur, metallische Rohstoffe für Hightechgeräte, Fahrzeuge, Maschinen und Industrieanlagen sowie Industriemineralien, beispielsweise für Düngemittel und die chemische Industrie.

„Vor allem, wenn Rohstoffe knapper und teurer werden, wird uns bewusst, dass unsere Industriegesellschaft zu einem großen Teil auf der Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen basiert“, sagt Volker Steinbach von der DERA. „Die Rohstoffpreis-Hausse von 2003 bis 2008 sowie der deutliche Wiederanstieg der Rohstoffpreise seit 2009, die im Allgemeinen der wirtschaftlichen Entwicklung der Schwellenländer China, Indien und Brasilien zugeschrieben werden, haben erneut Fragen nach der Sicherheit der Rohstoffversorgung aufgeworfen.“

Neue Rollenverteilung beim Rohstoffkonsum

Die Experten der DERA haben unter anderem festgestellt, dass sich beim Verbrauch von mineralischen und Energierohstoffen in den letzten Jahren ein deutlicher Wandel abzeichnet. Die alte Faustregel, dass ein Fünftel der Menschheit 80 % der Rohstoffförderung konsumieren, gilt nicht mehr. Mit Indien und China sowie anderen bevölkerungsreichen Schwellenländern ist heute über die Hälfte der Weltbevölkerung an der Nutzung von Rohstoffen entscheidend beteiligt. Bei den sich abzeichnenden demographischen und wirtschaftlichen Entwicklungen könnte

sich im Laufe der nächsten 30 Jahre der derzeitige weltweite Rohstoffverbrauch sogar verdoppeln.

Um nun ein Szenario für die längerfristige Perspektive der Rohstoffmärkte oder sogar eine Abschätzung der Reichweite von bestimmten Rohstoffen entwickeln zu können, betrachten die Experten sowohl das Angebot als auch die Nachfrage. „Dabei muss die regionale Verteilungsproblematik der Rohstoffe berücksichtigt werden, genauso wichtig sind zudem die Intergenerationengerechtigkeit sowie die ökologischen und sozialen Fragen der Rohstoffgewinnung und Nutzung. Denn auch künftigen Generationen müssen ausreichend Rohstoffe für die Entwicklung zur Verfügung stehen“, erläutert Steinbach. „In einem wirtschaftlich-strategischen Ansatz hingegen sind die geologische, die technische und die Markt-Verfügbarkeit zu untersuchen.“

Rohstoffe genug?

Die geologische Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen macht den Fachleuten der DERA derzeit kaum Sorgen. Denn aufgrund des enormen Lagerstättenpotenzials der Erde ist kein Erschöpfungszeitpunkt absehbar – selbst wenn die bekannten Reserven einzelner mineralischer Rohstoffe teilweise nur für Jahrzehnte vorhalten. Eine oft verwendete, aber an sich irritierende, Beurteilungsgröße für eine Bewertung der Verfügbarkeit von Rohstoffen in der Zukunft ist ihre (statische) Reichweite oder Lebensdauer. Sie ergibt sich aus dem Quotienten der derzeit bekannten und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte eines Rohstoffs und der aktuellen Jahresförderung.

„Die Kennziffer beschreibt aber nur den augenblicklichen Kenntnisstand und ist somit eine Momentaufnahme eines sich dynamisch entwickelnden Systems“, schränkt Jürgen Vasters ein, der ebenfalls an der Deutschen Rohstoffagentur DERA tätig ist. „Denn in der Realität ändern sich die Ausgangsgrößen, nämlich die Vorräte und die Produktionsmengen ständig.“ Dies liegt zum einen an der fortschreitenden Exploration und verbesserten Fördertechniken. Andererseits passt sich die Produktion in der Regel dem Bedarf an Rohstoffen an. Beide Aus-

gangsgrößen – Vorräte und Produktion – werden darüber hinaus maßgeblich vom Preis bestimmt.

„Die Reichweite beziehungsweise die Lebensdauer sagt daher nichts über den endgültigen Erschöpfungszeitpunkt mineralischer Rohstoffe aus, sondern gilt unter Fachleuten eher als ein Indikator für die Notwendigkeit von Explorations- und Innovationsaktivitäten“, so Vasters. Eine immer größere Rolle bei der Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit spielen heute bereits das Rohstoffrecycling, das Ersetzen von höherwertigen Rohstoffen durch Massenrohstoffe sowie der sparsame und effiziente Umgang mit Rohstoffen.

„Peak Oil“ in Sicht

Anders als bei den mineralischen Rohstoffen ist die Situation beim Erdöl. Es entsteht nur in bestimmten Tiefenbereichen der Erdkruste, etwa zwischen 2.000 und 4.000 Metern. Oberhalb ist es zu kalt, unterhalb zu heiß. Dieser Tiefenbereich ist jedoch in den leicht zugänglichen Sedimentbecken der Erde bereits weitgehend erkundet. Da in der Erdölindustrie zudem die Erfahrungsregel gilt, dass die großen Lagerstätten zuerst entdeckt werden, sind die geologischen Potenziale für konventionelles Erdöl zu einem hohen Grad abschätzbar. Die Wissenschaftler der DERA gehen davon aus, dass die weltweite Produktion von Erdöl noch bis mindestens 2035 gesteigert werden könnte. Dazu dürfen sich die Bedingungen des Erdölmarktes jedoch nicht grundlegend verändern. „Bis dahin wird der Preis für Erdöl signifikant ansteigen, so dass auch unkonventionelle Ölressourcen wie beispielsweise Schweröl- und Ölschiefervorkommen sowie Teersande oder die Kohleverflüssigung wirtschaftlich werden können“, wagt Professor Bernhard Cramer, Energieexperte der BGR, einen Blick in die Zukunft.

Erdgas ist im Gegensatz zum Erdöl genügend vorhanden, um lange Zeit den Bedarf zu decken. Die erfolgreiche Förderung von unkonventionellem Schiefergas und Kohleflözgas der letzten Jahre, insbesondere in den USA, erweitert das Potenzial von Erdgas noch einmal erheblich. Das größte Potenzial im Vergleich zu den übrigen nicht-erneuerbaren

Energie-Rohstoffen besitzt aber die Kohle, die noch über viele Jahrzehnte in ausreichender Menge zur Verfügung steht.

Explorationsaktivitäten und Anpassungsfähigkeit

„Die geologische Verfügbarkeit von Rohstoffen wird durch die Explorationsaktivitäten nachgewiesen. Steigen die Preise beispielsweise für Erdgas, ist dies in der Regel auch ein Anreiz, die Explorationsaktivitäten für diesen Rohstoff zu verstärken“, so Steinbach. Je intensiver die Explorationsaktivitäten jedoch sind, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit bis dahin unbekannte Lagerstätten zu entdecken. Häufig muss sich aber auch erst ein neues geologisches Konzept oder eine neue Explorationsmethode als erfolgreich erweisen, um einen Entdeckungsschub auszulösen.

Die technische Verfügbarkeit der Rohstoffe dagegen bestimmen die aktuellen Produktions- oder auch Infrastrukturkapazitäten. Sie unterliegen somit der Anpassungsfähigkeit der Marktakteure. Wie viele mineralische Rohstoffe beispielsweise tatsächlich abbaubar sind, hängt dabei unter anderem vom Investitionsverhalten der Bergwerksgesellschaften ab. Gerade am Markt für mineralische Rohstoffe hat es in letzter Zeit sowohl Lieferengpässe als auch heftige Preisausschläge gegeben, die Fragen zur Marktverfügbarkeit aufgeworfen haben. „Durch Handelsbeschränkungen und -hemmnisse kam es hier in verschiedenen Wirtschaftsräumen zu durch den Rohstoffmangel bedingten Produktionseinschränkungen, zum Beispiel bei der Stahlherstellung durch das Fehlen von Hochofenkoks“, erläutert Steinbach.

Freier Zugang zu Rohstoffen

Insbesondere für rohstoffabhängige Volkswirtschaften – zu denen auch Deutschland gehört – ist der freie Marktzugang aber überlebenswichtig. Betroffen sind vor allem Buntmetall-Sekundärrohstoffe, wie beispielsweise Kupfer, aber auch Rohstoffe, deren Markt nicht nach kla-

ren und transparenten Regeln funktioniert. So werden im großen Maßstab Altfahrzeuge aus Deutschland, die als fahrbereit deklariert wurden, zur Verschrottung ins Ausland gebracht und damit der einheimischen Recyclingindustrie Rohstoffe entzogen. Ein weiterer Aspekt der Wettbewerbsverzerrung beim Rohstoffbezug wird auch dadurch deutlich, dass ein Teil der rohstoffimportierenden Schwellenländer beim Einkauf der Rohstoffe nicht auf ethische, soziale und ökologische Kriterien beim Rohstoffabbau achtet. Die Handelspolitik der EU strebt daher neben der Öffnung der Exportmärkte auch die Sicherung eines diskriminierungsfreien Zugangs zu den Rohstoffen an.

Der enorme Run auf mineralische Rohstoffe wirft verstärkt Fragen zu den globalen Auswirkungen des Bergbaus auf die Umwelt und die Gesellschaft auf. Dementsprechend werden „Codes of Conduct“ (Verhaltenskodexe) von Bergbauunternehmen, nationalen Regierungen und internationalen Organisationen erarbeitet. Weiterhin werden von der internationalen Gemeinschaft neue Transparenz-Initiativen entwickelt, um nachhaltige und entwicklungspolitisch relevante ökonomische, finanzielle, soziale und Umwelt-Standards im Bergbau, im Rohstoffhandel sowie bei der Rohstoffverarbeitung einzuführen. Ein Beispiel hierfür ist das von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Rahmen der G8-Initiative entwickelte Programm der „Zertifizierung von Handelsketten mineralischer Rohstoffe“ und der „Analytische Herkunftsnachweis von Coltan“.

Vor dem Hintergrund der erhöhten Nachfrage nach Rohstoffen hat die Bundesregierung unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Jahr 2010 die „Rohstoffstrategie der Bundesregierung“ entwickelt. Die Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele der Rohstoffstrategie folgen dem Leitgedanken der Nachhaltigen Entwicklung unter der gleichrangigen Berücksichtigung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Belange.

Kampf um Seltene Erden – Hightech-Rohstoffe als Mangelware

2

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Kennen Sie Praseodym, Dysprosium und Yttrium? Oder Gadolinium, Lanthan und Promethium? Nein? Kein Problem, Sie stehen mit Ihrer Unwissenheit sicher nicht alleine da. Denn außer unter Chemikern, Geowissenschaftlern und einigen Industrieexperten waren alle diese chemischen Elemente noch vor wenigen Jahren so gut wie unbekannt – dabei wurden die meisten bereits im 18. und 19. Jahrhundert von Forschern wie Carl Auer von Welsbach oder Carl Axel Arrhenius entdeckt.

Heute dagegen sind diese Elemente in aller Munde. Wenn auch weniger unter ihren eher kryptischen Einzelnamen als unter der Sammelbezeichnung „Seltene Erden“. Denn egal ob Plasmafernseher, Laser, Rußpartikelfilter oder „smarte“ Bomben: Kaum ein modernes Hightech-Produkt kommt mittlerweile noch ohne Seltene Erden aus. Mal werden nur winzige Mengen von einem der Elemente benötigt, dann wieder einige Kilogramm – zum Beispiel bei Hybrid-Autos – oder wie bei Windrädern gleich mehrere Tonnen. Klar jedoch ist: Ganz ohne diese Rohstoffe gäbe es viele wichtige Katalysatoren, Magnete, Polituren, Keramiken, Leuchtmittel oder Legierungen nicht.

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

Doch was sind Seltene Erden eigentlich genau? Und wo werden sie abgebaut? Wenn man versucht, eine Antwort auf diese Fragen zu geben, wird schnell deutlich, dass die Bezeichnung Seltene Erden eigentlich eine Mogelpackung ist. Denn dabei handelt es sich weder um Raritäten – Edelmetalle wie Gold und Silber sind in der Erdkruste viel seltener zu finden –, noch geht es um verschiedene Varianten von Erde. „Die Bezeichnung Seltene Erden ist eigentlich missverständlich, denn sie stammt noch aus der Zeit der Entdeckung dieser Elemente. Sie beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher ‚Erden‘) isoliert wurden“, erklärt das Fachportal Rohstoffwelt auf seiner Website.

Insgesamt gehören zur Gruppe der Seltenen Erden 17 unterschiedliche Metalle, die in der Regel gemeinsam in Erz-Lagerstätten weltweit vorkommen. Geowissenschaftler unterscheiden dabei zwischen so genannten leichten Seltenen Erden wie Cer, Lanthan, Neodym oder Praseodym und schweren Seltenen Erden. Dazu gehören unter anderem Yttrium, Terbium, Dysprosium oder Europium. Während erstere meist in großen Mengen in den Lagerstätten existieren, sind die schweren Seltenen Erden oft nur in minimalen Konzentrationen darin zu finden. Hinzu kommt, dass in Erzen wie Monazit und Bastnäsit neben den Seltenen Erden in der Regel auch radioaktive Elemente wie Uran und Thorium auftreten. Dieser ebenso vielseitige wie begehrte und brisante Rohstoff-Mix kann in der Regel nur zusammen abgebaut werden. Waren die Seltenen Erden früher häufig nur ein Abfallprodukt bei der Förderung von Eisenerzen oder anderen Metallen, haben sie diesen Rohstoffen mittlerweile längst den Rang abgelassen. Weltweit führend bei der Förderung und dem Export der Seltenen Erden ist seit einiger Zeit China. Rund 97 % aller Seltenen Erden werden derzeit im Reich der Mitte gewonnen, der Rest stammt laut der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) aus Russland, den USA und Indien.

Alles „made in China“

Diese „chinesische Ära“ dauert aber noch gar nicht so lange. Eingeläutet wurde sie erst Mitte der 1990er Jahre unter anderem in der autonomen

men Region Innere Mongolei der Volksrepublik China. Dort befindet sich nur wenige Kilometer vom Zentrum der Millionenstadt Baotou entfernt die Mine Bayan Obo, einer der größten Tagebaue der Welt. Bayan Obo ist aber nicht irgendeine x-beliebige Erz-Lagerstätte, sondern das Herz der Seltene Erden-Produktion im Reich der Mitte – und damit auch weltweit. Über die Hälfte der globalen Förderung an Neodym, Lanthan & Co. stammte nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2010 aus Bayan Obo. In den 570 bis 1.000 Mio. Jahre alten Gesteinen aus dem Erdzeitalter des Oberen Proterozoikums lagern bis zu 35 Mio. t an Seltenen Erden. Zum Vergleich: Im letzten Jahr wurden weltweit gerade mal rund 130.000 t davon abgebaut.

Doch Bayan Obo ist längst nicht Chinas einziges Seltene Erden-Vorkommen. Auch in vielen anderen Provinzen des Landes werden die weltweit begehrten und teuren Rohstoffe in großem Maßstab aus dem Boden geholt. Ein großer Anteil der raren schweren Seltenen Erden stammt dabei aus dem Süden Chinas, wo es neben einigen großen staatlichen Produktionsstätten auch zahlreiche illegale Betriebe gibt. Aus letzteren stammt nach aktuellen Angaben der BGR fast die Hälfte des weltweiten Angebots an schweren Seltenen Erden.

So weit so gut. Doch warum ist gerade China nahezu Monopolhalter bei der Förderung und beim Export Seltener Erden? Konzentrieren sich in seinen Landesgrenzen alle Lagerstätten für diese Rohstoffe? Ein Blick auf die Weltkarte der Seltenen Erden vermittelt ein anderes Bild. Danach verfügt China zwar über rund 38 % der Reserven, der große Rest ist jedoch in anderen Regionen zu finden. Dazu gehören unter anderem die Staaten der früheren Sowjetunion mit 19 %, die USA mit 13 % sowie Australien und Indien mit 5 bzw. 3 %. Doch wenn nicht die Rohstoffverteilung, was ist dann schuld daran, dass China heute der einzige ernst zu nehmende Global Player in Sachen Seltene Erden ist? Gleich zwei Gründe waren nach Ansicht von Experten für den Siegeszug der chinesischen Hightech-Rohstoffe in den letzten 20 Jahren entscheidend: Preis-Dumping und gravierende Umweltprobleme beim Abbau und der Aufbereitung der Seltenen Erden. So konnte das Niedriglohnland China aufgrund geringer Personal- und Produktionskosten sowie fehlender Umweltauflagen die Rohstoffe ab Anfang der 1990er Jahre viel günstiger und in größeren Mengen an-

bieten als seine Konkurrenten. Es überschwemmte mit seinen Seltenen Erden sogar regelrecht den Weltmarkt. Die Minenbetreiber im Land des damaligen Marktführers USA oder in anderen Ländern hatten das Nachsehen.

Hinzu kam: „Beim Abbau von Seltenen Erden fallen im Bergbau sehr große Mengen an Rückständen an, die giftige Abfälle enthalten. Diese werden in künstlichen Teichen, umgeben von einem Damm, abgelagert. Ein Dammdurchbruch [...] kann zu zerstörerischen Umweltauswirkungen mit spezifischen Emissionen von Thorium, Uran, Schwermetallen, Säuren und Fluoriden führen. Darüber hinaus enthalten die meisten Seltenen Erden-Lagerstätten radioaktive Materialien, die Gefahren wie das Austreten von Radioaktivität in den Luft- oder Wasserpfad bergen“, beschreibt das Öko-Institut einige der wichtigsten Gefahren, die vom Seltene Erden-Bergbau ausgehen. Warum nicht die „Drecksarbeit“ und die Umweltprobleme den Chinesen überlassen? Und stattdessen lieber Rohstoffe aus dem Reich der Mitte zu konkurrenzlos niedrigen Preise einkaufen? Dies dachte sich so mancher Politiker, Unternehmer und Wirtschaftsmanager in den Industrieländern und setzte voll auf Chinas Seltene Erden. Dass deshalb fast alle nicht mehr rentabel arbeitenden Minen in den USA, Japan oder Australien schlossen, war ihnen offenbar gleich.

China „bunkert“ Seltene Erden

Dieses „Setzen auf eine einzige Karte“ ging solange gut, bis China anfang, dem Rest der Welt die Daumenschrauben anzusetzen. „Der Nahe Osten hat sein Öl, wir haben die Seltenen Erden“, erkannte der langjährige Vorsitzende der Kommunistischen Partei Chinas, Deng Xiaoping schon vor 20 Jahren. Und ähnlich wie die ölexportierenden Staaten in den Zeiten der Ölkrise 1973 und 1979/80 hat China vor einiger Zeit begonnen, den längst dringend auf die Seltenen Erden angewiesenen Industriestaaten langsam aber sicher den Rohstoff-Hahn ab-zudrehen. Das Land drosselte die Exporte von noch 65.600 t im Jahr 2005 auf gerade mal 14.500 t für das erste Halbjahr 2011. Offiziell aufgrund von Produktionseinschränkungen infolge von neuen, höheren

Umweltschutzstandards – und damit die einheimische Industrie selbst auf Dauer ausreichend Seltene Erden zur Verfügung hat.

Eine wichtige Rolle bei der neuen Strategie spielt wohl aber auch, dass China sein Image als einfacher Rohstofflieferant abstreifen und den Markt für Hochtechnologie vermehrt mit eigenen Produkten erobern will. „Chinas Beschränkungen sind industriepolitisch motiviert. Das Land versucht, die Wertschöpfung im eigenen Land zu halten“, sagte denn auch der ehemalige Hauptgeschäftsführer des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), Werner Schnappauf im Oktober 2010 in der Welt. Die immer weiter sinkenden Exportquoten und stark steigende Exportzölle bei den Rohstoffen „made in China“ haben mittlerweile dazu geführt, dass die Seltenen Erden rar und begehrt sind wie nie zuvor. Folge: die Versorgungslage ist auch in Deutschland kritisch. Prognosen zufolge könnten bald bis zu sieben Elemente – Dysprosium, Europium, Lanthan, Neodym, Praseodym, Terbium, Yttrium – nicht mehr im ausreichenden Maße vorhanden sein. „Seltene Erden sind für die deutsche Wirtschaft mindestens so wichtig wie Erdöl und Erze“, erklärt der Präsident des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien (Bitkom), August-Wilhelm Scheer. „Die künstliche Verknappung kann zu Preissteigerungen und Lieferengpässen bei stark nachgefragten Geräten führen.“

Und noch eines hat das Rohstoff-Horten der Chinesen bewirkt: „Von 2005 bis Mitte 2008 sind die Preise für nahezu alle Seltenen Erden stark, für Terbium sogar sehr stark, gestiegen“, konstatierte Harald Elsner von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in einer Studie im April 2011. Nach einer kurzen Preisberuhigung durch die Wirtschaftskrise setzte sich der Trend laut Elsner später weiter fort. „Ab dem 3. Quartal 2009 hat ein erneuter starker Preisanstieg eingesetzt, der bis heute unvermindert anhält und sich sogar beschleunigt. Seit Beginn des Jahres 2011 haben die Preise für alle schweren Seltenen Erden schwindelerregende Höhen erreicht, wobei ein Ende dieses Höhenfluges nicht abzusehen ist.“ So kostete etwa das Kilogramm Neodym, das unter anderem in Windkraftanlagen zum Einsatz kommt, Anfang Mai 2011 283 statt 42 US-\$, wie noch vor einem Jahr. Ähnlich sieht es auch bei dem für Raketen und Dauermagneten benötigten Samarium aus. Hier haben sich die Preise sogar nahezu verachtfacht.

Hinzu kommt, dass sich der Hype um die Seltenen Erden in den nächsten Jahren vermutlich noch deutlich steigern wird. Etwa durch den steigenden Absatz an Hightech-Produkten wie Handys, Laser, LEDs oder Energiesparlampen und die Entwicklung immer neuer Anwendungen. So könnte schon bis 2012 die Nachfrage nach Seltenen Erden laut einer BGR-Studie um rund die Hälfte von heute 130.000 auf 190.000 t anwachsen. Marktwert zwei Milliarden US-\$ – mindestens. Doch woher sollen die zusätzlich benötigten Seltenen Erden kommen? China hat bereits abgewinkt.

Neue Minen braucht die Welt

Die Seltenen Erden standen deshalb auch auf einer Liste „kritischer Rohstoffe“ ganz weit oben, die die EU-Kommission im Juni 2010 veröffentlicht hat, um vor einer gravierenden Rohstoffknappheit in Europa zu warnen. Gleich 13 weitere Namen waren dort aufgeführt: Antimon, Beryllium, Kobalt, Flussspat, Gallium, Germanium, Graphit, Indium, Magnesium, Niob, Metalle der Platingruppe, Tantal und Wolfram.

Um die drohenden Engpässe zu verhindern und Versorgungssicherheit für die Industrie zu schaffen, wurden in der Folge verschiedene Maßnahmen diskutiert und umgesetzt. So gründete Bundeswirtschaftsminister Rainer Brüderle im Oktober 2010 bei seinem Besuch der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Deutsche Rohstoffagentur. Sie soll unter anderem die Wirtschaft in Fragen der Verfügbarkeit und aktueller Marktentwicklungen sowie bei der nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen unterstützen. Es wurde Anfang Februar 2011 aber auch eine europäische Rohstoffstrategie vorgestellt, die beispielsweise vorsieht, den Abbau Seltener Erden in Europa massiv voranzutreiben. „Wir wollen das Potenzial finden“, so EU-Industriekommissar Antonio Tajani. Rund 7 % der weltweiten Vorkommen soll es in der EU geben, etwa in Großbritannien, auf Grönland und sogar in Deutschland. Nahe dem kleinen Ort Storkwitz in Sachsen existiert eine Lagerstätte, die nach Angaben von Geowissenschaftlern möglicherweise über 41.000 t Seltene Erden enthalten könnte. Eine Gewinnung ist dort zurzeit aber noch nicht einmal ansatzweise absehbar.

Doch nicht nur in der EU auch in Russland, in den USA, Kanada, Australien und vielen anderen Ländern der Erde versucht man zurzeit händeringend neue Seltene Erden-Minen aus dem Boden zu stampfen – oder aufgegebene zu reaktivieren. So wird beispielsweise im US Bundesstaat Kalifornien die Mountain Pass-Mine mit Investitionen von rund einer halben Mrd. \$ wieder auf den modernsten Stand der Technik gebracht. Sie soll vielleicht schon ab 2012 rund 18.000 t Seltene Erdoxide (SEO) liefern.

Insgesamt sind weltweit zurzeit rund 270 Seltene Erden (SE)-Projekte in Planung oder im Bau. Ob diese alle jedoch irgendwann größere Mengen an Terbium, Yttrium oder Lanthan liefern werden, ist heute noch mehr als unklar. Dazu Harald Elsner von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in einer Studie aus dem Jahr 2011: „Trotz anderweitiger Beteuerungen der jeweiligen Lizenzinhaber werden hiervon sicherlich nur ein sehr geringer Anteil, geschätzt 5 %, jemals in Produktion gehen. Die wichtigsten Gründe hierfür liegen im Fehlen strategischer Investoren, im fehlenden Knowhow der hydrometallurgischen Aufbereitung der SE-Mineralerale sowie auch in der irgendwann einsetzenden Übersättigung des Marktes für leichte SE.“

Wie schnell aus einem Hoffnungsträger ein Problemfall werden kann, hat zuletzt ein australisches Projekt gezeigt. Im Bundesstaat Western Australia sollte in der Mount Weld Mine eigentlich noch im Jahr 2011 mit dem Abbau der insgesamt 1,4 Mio. t Seltene Erden begonnen werden. Doch nun droht dem ohnehin unter Finanzproblemen leidenden Besitzer Lynas – zwischenzeitlich war sogar der Einstieg chinesischer Investoren im Gespräch – ein herber Rückschlag. Denn vor allem die Weiterverarbeitung der in Mount Weld gewonnenen Rohstoffe steht mittlerweile in den Sternen. Diese sollte eigentlich ab Herbst 2011 rund 4.000 Kilometer weit entfernt in Malaysia beginnen. Dort entsteht zurzeit nahe der Großstadt Kuantan die größte Seltene Erden-Raffinerie der Welt. Allerdings verzögern die Behörden die Erteilung der Betriebserlaubnis – unter anderem weil es öffentliche Sorge über die natürlich vorkommende, niedrig-dosierte radioaktive Kontamination des Erzes gibt, das in Australien abgebaut wird.

Raja Dato Abdul Aziz bin Raja Adnan, der Generaldirektor des malaysischen Atomenergie-Kontrollgremiums erklärte im Mai 2011, dass das Gremium die Lynas Corporation gebeten hat, zusätzliche Unterla-

gen vorzulegen, bevor der Antrag auf eine Betriebserlaubnis akzeptiert werden kann. Um den Antrag zu prüfen, werde es sechs Monate dauern, so Raja Adnan. Lynas dürfe keinerlei Rohmaterial in die Anlage bringen, bevor nicht die Erlaubnis erteilt worden ist. Hintergrund der Entscheidung sind wohl vor allem die massiven Proteste von Gegnern des Projektes in Malaysia. Sie fürchten im Zusammenhang mit der neuen Fabrik eine ähnliche ökologische und humanitäre Katastrophe wie vor 20 Jahren. Damals hatte Mitsubishi in einem abgelegenen Gebiet des Landes ebenfalls jahrelang eine Seltene Erden-Raffinerie betrieben, die gewaltige Mengen an radioaktivem Abfall produzierte. Die Folge: verseuchte Böden, kontaminiertes Wasser und ungewöhnlich viele Krebsfälle in der betroffenen Region. Die Reinigungs- und Dekontaminations-Maßnahmen vor Ort sind noch immer nicht endgültig abgeschlossen.

Doch warum soll die Seltene Erden-Fabrik überhaupt in Malaysia gebaut werden und nicht direkt in Australien? Dann könnte man sich doch den mühsamen und teuren Transport der Rohstoffe sparen. Lynas argumentiert in erster Linie mit geringeren Kosten beim Bau und Betrieb der Anlage in Malaysia. Der wahre Grund ist jedoch wohl ein anderer: In Australien existiert eine einflussreiche grüne Partei, die aufgrund der Umweltgefahren gegen das Projekt Sturm gelaufen wäre und seine Durchsetzung vermutlich verhindert hätte.

Recycling ist (noch) keine Lösung

Neue oder reaktivierte Minen weltweit können demnach wohl erst mittel- oder langfristig eine nennenswerte Entspannung auf dem Weltmarkt für Seltene Erden bringen. Doch gibt es vielleicht andere Möglichkeiten oder Strategien, die schneller die Rohstoffsicherheit wiederherstellen? Recycling etwa? Klar ist, dass die Methoden zur Wiedergewinnung von Neodym, Europium oder Yttrium aus Elektroschrott – wenn überhaupt vorhanden – noch in den Kinderschuhen stecken. Trotzdem wird unter anderem in Deutschland, den USA oder Japan intensiv daran geforscht.

Das Öko-Institut hat sogar in einer Studie im Auftrag der Fraktion „Die Grünen/Europäische Freie Allianz“ im Europäischen Parlament im Januar 2011 einen ausführlichen Acht-Punkte-Plan für ein effizientes

Seltene Erden-Recycling vorgestellt. Dieser umfasst unter anderem den Aufbau eines „Europäischen Seltene-Erden-Kompetenz-Netzwerks“ und die Identifizierung von Pilotprodukten und die Entwicklung von Pilot-Recycling-Anlagen. Aber auch das Durchführen von Forschungsvorhaben, das Installieren eines Sammel- und Vorbehandlungssystems sowie das Schaffen der notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen gehören danach zu den vordringlichsten Aufgaben in Sachen Recycling. In fünf bis zehn Jahren, so die Einschätzung des Öko-Institutes, könnte das europäische Recycling-System einsatzbereit sein – zumindest wenn der Startschuss dafür umgehend gegeben wird. Die Vorteile liegen auf der Hand. So würde Deutschland bei den Seltenen Erden unabhängiger von Importen aus China, da zumindest die Sekundärproduktion in Europa stattfinden würde. Ein weiterer Vorteil: Beim Recycling würden keine gefährlichen radioaktiven Abfälle anfallen.

Weniger optimistisch als die Studie des Öko-Instituts ist jedoch der Rohstoffexperte Harald Elsner von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover. In der Online-Ausgabe von „Der Aktionär“ kommt er zu dem Schluss: „Recycling ist aber in vielen Bereichen nicht möglich. Denken Sie nur an Autokatalysatoren oder Gläser. Die Stoffe sind zu dissipativ verteilt. Die Magnete, in denen große Mengen Seltene Erden verarbeitet sind, befinden sich in Windkraftanlagen und zukünftig in Hybridautos. Die Windkraftanlagen befinden sich fast alle noch in Betrieb.“ Und weiter: „Aktuell wird die Quote in Deutschland von Recycling an Seltenen Erden auf ungefähr 1 % geschätzt. Optimistische Vorhersagen gehen davon aus, dass sie in einigen Jahren bis auf 10 % steigen kann. Das heißt 90 % müssen immer noch als Primärmaterial gewonnen werden.“ Es sei denn, es gelingt, Neodym & Co in vielen Produkten durch andere Materialien zu ersetzen. Große Hoffnung, dass dies nicht nur schnell, sondern auch in großem Umfang gelingen könnte, gibt es momentan allerdings nicht.

Coltan – ein seltenes Erz mit Konfliktpotenzial

3

Edda Schlager, Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Kein Flugzeug fliegt, kein Bordcomputer rechnet, kein Mauszeiger bewegt sich, kein Handy klingelt ohne Coltan. Spätestens seitdem die Mikroelektronik mit Internet, PCs und Mobiltelefonen zu einem Massenprodukt geworden ist, hat die wirtschaftliche Bedeutung des begehrten Roherzes enorm zugenommen. Denn die in ihm enthaltenen Metalle erwiesen sich aufgrund ihrer spezifischen chemischen Eigenschaften als wichtige Baumaterialien für nahezu alle elektronischen Geräte.

In der Öffentlichkeit war Coltan dagegen bis vor rund 10 Jahren kaum bekannt. Ein Grund dafür ist vermutlich das etwas verwirrende Namenskonstrukt. Denn Coltan steht für Columbit-Tantalit, eine Mineralgruppe, die aus den beiden metallischen Elementen Tantal und Niob besteht. In der Erdkruste tauchen die beiden Metalle stets gemeinsam auf, meist in Granitvorkommen.

Vor allem Tantal gilt dabei als kostbar. Mit einem enorm hohen Schmelzpunkt von 2.996 °C und einem Siedepunkt von 5.429 °C ist es eines der temperaturbeständigsten Metalle. Ebenso gehört es zu den am

Edda Schlager · Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

wenigsten reaktiven Elementen überhaupt. Bei Zimmertemperatur widersteht Tantal selbst Säuren und Basen, erst ab 150 °C wird es von diesen angegriffen. Wegen dieser Beständigkeit konnte es erst verhältnismäßig spät industriell genutzt werden. Doch gerade weil das Metall chemisch so stabil und kaum von Korrosion gefährdet ist, kommt es mittlerweile unter anderem in der Medizintechnik und bei medizinischen Implantaten zum Einsatz. So werden zum Beispiel Knochennägel, Prothesen oder Kieferschrauben für Zahnimplantate aus Tantal gefertigt.

Ebenso nutzt man Tantal als Bestandteil von Superlegierungen. Diese Mischungen aus zahlreichen Metallen mit unterschiedlichen Eigenschaften sollen die Materialbeständigkeit von extrem beanspruchten Bauteilen – zum Beispiel für Gasturbinen oder Flugzeugmotoren – garantieren. Die hohe elektrische Kapazität von Tantal und damit die Fähigkeit, elektrische Ladung zu speichern, prädestiniert es zudem für den Einsatz in elektrischen Kondensatoren. Die ersten Tantal-Elektrolytkondensatoren wurden bereits in den 1930er Jahren gebaut. Doch erst nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelten Wissenschaftler die Technik maßgeblich weiter, mit dem Effekt, dass heutige Elektronikprodukte kaum noch ohne Tantal auskommen.

Dem großen Bedarf gegenüber stand seit Beginn der industriellen Nutzung die Tatsache, dass Tantal ein sehr seltenes Element ist. Von den 80 stabilen der insgesamt etwa einhundert chemischen Elemente rangiert es im Vorkommen weltweit auf Platz 50. Innerhalb der Erdkruste ist Tantal mit einem Anteil von nur 0,00017 % vorhanden. Zum Vergleich: Eisen kommt dort mit einem Anteil von 4,6 % vor, Calcium mit etwa 3,6 % und Kupfer mit 0,006 %.

Kein Wunder, dass mit steigender Nachfrage nach Tantal in den 1990er Jahren – als elektronische Geräte für Verbraucher erschwinglicher und aufgrund der „digitalen Revolution“ immer notwendiger wurden – auch der Preis für das Metall in die Höhe schoss. Während eines ersten Coltan-Booms um das Jahr 2000 war Tantal auf dem Weltmarkt teurer als Silber und kostete pro Kilogramm etwa 500 US-\$. Mittlerweile liegt der Preis nach einem zwischenzeitlichen Tief – es wurden mehrere neue Lagerstätten erschlossen – wieder bei deutlich über 300 US-\$ pro Kilo (Stand Februar 2011). Tendenz allerdings stark steigend.

Eines ist sicher: Coltan und seine Bestandteile Tantal und Niob sind endliche Rohstoffe. Pro Jahr werden nur etwa 1.400 t reines Tantal

produziert, rund 60 % davon gehen in den Bau von elektronischen Geräten wie Mobiltelefonen, Laptops oder Spielekonsolen. Mit Niob wird dagegen hauptsächlich Stahl veredelt. Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) in Köln stuft heute sowohl Tantal als auch Niob unter dem Gesichtspunkt künftiger Verfügbarkeit als „besonders kritische“ Rohstoffe sein, ähnlich wie Chrom, Molybdän oder Platinmetalle.

„Blut-Coltan“

Ein Großteil der weltweiten Coltan-Reserven liegt im Herzen Afrikas, vor allem in der Demokratischen Republik Kongo (DRC). Und Coltan ist auch eine der Ursachen der Kongokriege, die seit 1996 über 5 Mio. Todesopfer gefordert haben – mehr als jeder andere Konflikt seit dem Zweiten Weltkrieg. Erst im Jahre 2009 wurde der dritte und bisher letzte Kongokrieg zumindest offiziell für beendet erklärt. Mehr als 10 Jahre lang hatten sich zuvor in diesem Bürgerkrieg rivalisierende Gruppen gegenseitig verfolgt. Dabei wurden ethnische Identitäten im Kampf um politische und ökonomische Vorherrschaft instrumentalisiert. Denn in den ostkongolesischen Provinzen Ituri und Kivu liegen die größten Goldvorräte der Welt, es gibt aber auch Diamanten, Erdöl und eben Coltan.

Der Konflikt entwickelte sich in den 1990er Jahren und richtete sich gegen die teilweise schon seit der Kolonialzeit in Kivu lebenden Einwanderer aus Ruanda und Burundi. Als nach dem Völkermord in Ruanda 1994 über 1 Mio. Flüchtlinge aus Ruanda in den Kongo kamen, unter ihnen auch die für den Völkermord an Tutsi und moderaten Hutu verantwortlichen Hutu-Milizen, eskalierte der Konflikt. Kongolesische und ruandische Milizen gingen seitdem gemeinsam gegen die im Kongo lebenden ruandischen und kongolesischen Tutsi vor. Nachdem im Jahr 2000 ruandische und ugandische Truppen in der Provinzhauptstadt Kisangani gegeneinander kämpften und dabei 600.000 Kongolesen umkamen, beriefen die Vereinten Nationen eine Untersuchungskommission ein. Sie sollte der illegalen Ausbeutung von Rohstoffen im Kongo nachgehen. Denn im illegalen Rohstoffhandel vermutete man sowohl eine Ursache für die Konflikte, gleichzeitig aber auch eine Geldquelle,

durch die die Kriegsparteien ihre Kämpfe finanzieren konnten. Schnell war in den Medien unter anderem vom „Blut-Coltan“ die Rede.

Offiziell behauptete der ruandische Präsident Paul Kagame gegenüber den Vereinten Nationen, die ethnischen Konflikte in der Republik Kongo verhindern zu wollen. Doch die UN-Kommission kam zu dem Schluss, dass sowohl der ugandische Präsident Yoweri Museveni als auch Kagame in Wirklichkeit die Fäden beim illegalen Rohstoffexport in den Händen hielten. Die Kommission bezeichnete sie gar als „Paten des illegalen Rohstoffhandels“. Ihr Auftritt im Kongo galt allein den Mineralressourcen des Landes. 85 westliche Konzerne, so der UN-Bericht aus dem Jahr 2002 weiter, seien damals am Handel mit kongolesischen Rohstoffen beteiligt gewesen – wenn auch zum Teil nur indirekt – und hätten so zur persönlichen Bereicherung einzelner Kriegstreiber und zur Finanzierung des Bürgerkriegs beigetragen. Auch ein deutsches Unternehmen gab es auf der Liste, das 75 t Coltan von den Kriegsparteien eingekauft und an ein auf die Produktion von Tantal spezialisiertes Unternehmen hierzulande verkauft hatte.

Die Zeit des Coltan-Booms und der zunehmenden kriegerischen Auseinandersetzungen im Kongo fiel mit der steigenden Popularität von Spielekonsolen und Handys zusammen. Während sich die reichen Industrienationen mit Computerspielen und Mobiltelefonen eindeckten, profitierten die Kriegstreiber im Kongo von der großen Nachfrage nach Coltan.

Bergbau statt Landbau

Der steigende Bedarf an dem seltenen Erz führte zu Beginn des neuen Jahrtausends nicht nur dazu, dass zahlreiche große internationale Industrieunternehmen in den Abbau und den Handel einstiegen – auch außerhalb von Zentralafrika wurden in Südamerika, Australien und Kanada Vorkommen entdeckt, deren Nutzung sich lohnte. Doch da in Zentralafrika die weitaus größten Reserven des begehrten Erzes lagern, brachte hier der Coltan-Boom auch die stärksten sozialen Veränderungen mit sich. Zu dieser Erkenntnis kommt jedenfalls eine gemeinsame Studie der kongolesischen Entwicklungshilfe-Organisation

Pole-Institut, des Deutschen Evangelischen Entwicklungsdienstes und der deutschen Tageszeitung taz. Zur Zeit des großen Coltan-Booms Ende 2000 bis August 2001 untersuchten die Entwicklungshelfer insbesondere die Gegend um Masisi im Osten der Demokratischen Republik Kongo – dort leben die Menschen traditionell von Landwirtschaft – und die Region um die Coltan-Minen von Numbi.

Anders als in den Industrieländern Kanada oder Australien, wo Abbaukonzessionen vergeben werden und der Abbau selbst industriell erfolgt, hofften durch den Kleinbergbau im Kongo oder in Ruanda auch einfache Menschen, finanziell vom Coltan-Rausch zu profitieren. Ihr Ziel war es, sich aus ihrer oft ärmlichen Lebenssituation zu befreien. In dem durch den Bürgerkrieg entstandenen wirtschaftlichen und politischen Vakuum gab es zudem kein staatlich reguliertes Abbausystem. Jeder der wollte, konnte anfangen zu graben. Professionelle Händler vermittelten anschließend den Verkauf des abgebauten Coltans und drückten den Lohn oft zu Ungunsten der Bergleute, während die Preise auf dem Weltmarkt stiegen. Dennoch – während man im Kongo damals als Bauer etwa 10 \$ pro Monat verdiente, brachte der Coltan-Bergbau bis zu 50 \$ pro Woche ein. „Natürlich kann der Coltan-Abbau unsere Alltagsprobleme langfristig nicht lösen“, so ein befragter Minenarbeiter, ein ehemaliger Bauer, in einem der zahlreichen Interviews, die das Pole-Institut für die Studie durchführte. „Aber wir verdienen jetzt sehr viel mehr Geld als vorher.“ Kurzfristig könne er sich auf keinen Fall vorstellen, wieder als Bauer zu arbeiten. Aber das verdiente Geld wolle er später wieder in seine Landwirtschaft zuhause investieren.

Auch Célestin Maniriho, Manager einer Coltan-Mine in Numbi, sah nur die positiven Effekte des Bergbaus: „Die Arbeitslosigkeit nimmt ab, durch den Krieg vertriebene Menschen finden neue Arbeit, Schüler und Lehrer können arbeiten und Geld verdienen, während sie auf den Wiederaufbau der Schulen warten.“ Doch viele Kongolesen wurden auch enttäuscht. So berichten Nzakuza und Ndagije, zwei Coltan-Kumpel aus Luwovo und Mishavu, dass sie in den Minen zwar mehr Geld verdienen als zuhause als Bauern. Doch sei die Versorgung in den Bergarbeiter-Camps doppelt bis dreimal so teuer wie daheim. Alles Geld würde so wieder aufgebraucht. „Oft kehren wir ohne Geld nach Hause zurück, weil wir alles für Essen ausgegeben haben.“ Seine Zukunft sah im Interview keiner von beiden im Coltan-Abbau. „Wir hoffen, eines Tages

einen großen Diamanten zu finden und uns davon Vieh und Felder kaufen zu können.“ Wie Nzakuza and Ndagije verließen viele Kongolesen ihre heimatlichen Dörfer mitsamt Feldern und Vieh, überließen die Landwirtschaft den Frauen und verdingten sich als Minenarbeiter. Die Folge: Nahrungsmittelknappheit, denn viele Felder wurden nicht mehr bewirtschaftet, die Lebensmittel wurden teurer.

Auch viele Kinder verdingten sich in den Minen, oft auf Geheiß ihrer Eltern. Alphonse Batibwira, Lehrer aus Matanda meint: „Mehr als 30 % der Kinder und fünf bis 10 % der Lehrer hier haben die Schule verlassen, um stattdessen in den Minen zu arbeiten.“

Handarbeit ersetzt Maschinenkraft: Artisanaler Coltan-Bergbau

Auch heute, rund 10 Jahre nach dem ersten großen Coltan-Boom, leben noch immer viele Menschen vom Abbau des Roherzes – einem der wenigen Wirtschaftsbereiche, die im Kongo noch weitgehend funktionieren –, denn die Nachfrage auf dem Weltmarkt ist weiterhin enorm. Aktuell gehört die Demokratische Republik Kongo trotz des Rohstoffreichtums zu den ärmsten Regionen der Welt. Im Human Development Index 2010 der Vereinten Nationen liegt das Land auf Platz 168 und ist damit vorletzter. Für viele Menschen bleibt der Coltan-Abbau deshalb nach wie vor eine Alternative zur Landwirtschaft.

„Rund 2 Mio. Bergleute gibt es in der Demokratischen Republik Kongo“, schätzt denn auch Jürgen Vasters von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), „und rund 10 Mio. vom Kleinbergbau abhängige Menschen – das sind rund 20 % der Gesamtbevölkerung des Landes.“ Diese Bergleute im so genannten artisanalen Bergbau, der nahezu ausschließlich in Handarbeit erfolgt und kaum mechanisiert ist, haben bis vor kurzem – je nach Rohstoff – zwischen 80 und 100 % der kongolesischen Gesamtproduktion gefördert. Neben Coltan stehen unter anderem Gold und Silber sowie Wolfram und Kobalt auf der Liste der im Kongo abgebauten Rohstoffe. Weltweit sind inzwischen sogar rund 15 Mio. Menschen im artisanalen und Kleinbergbau beschäftigt. Wissenschaftler schätzen aber, dass insgesamt

sogar 100 Mio. Menschen existenziell davon abhängig sind. Zum Vergleich: Der industrielle Bergbau beschäftigte zur Jahrtausendwende weltweit lediglich etwa 7 Mio. Menschen.

Der Bürgerkrieg im Kongo hat der Entwicklung des Kleinbergbaus Vorschub geleistet. Doch obwohl dadurch zahlreiche alternative Einkommensquellen entstanden sind, birgt er auch Gefahren. „Obwohl die meisten Berggesetze den artisanalen Bergbau theoretisch regeln, ist der Einfluss der gesetzlichen Bestimmungen auf den Sektor in der Realität sehr gering“, so Frank Melcher, der an der BGR den Kleinbergbau im Kongo untersucht hat. „Die Arbeitsbedingungen sind schlecht, Kinder- und Zwangsarbeit sind üblich. Die mangelnde Arbeitssicherheit führt darüber hinaus häufig zu Unfällen.“ Aufgrund der fehlenden technischen Ausrüstung und mangelnder Ausbildung sind die Bergarbeiter in den Coltan-Minen des Ost-Kongo besonderen Gefahren ausgesetzt. Vor allem Erdbeben verursachen dort immer wieder Todesfälle. Oft graben die Bergleute an Berghängen bis zu 6 m tief. Wenn die Löcher mit Wasser volllaufen, können sie einstürzen, oder der gesamte Hang rutscht ab.

Zudem werden die Bergleute während der Anfangsphase ihrer Tätigkeit oft von Händlern zwischenfinanziert und sind später dann gezwungen, dieses Darlehen abzuarbeiten. Die Folge: langfristige Abhängigkeit. Die Minenarbeiter selbst können die geförderten Rohstoffe kaum selbst verkaufen, da sie weder über die technische noch die ökonomische Infrastruktur verfügen, und so keinen Zugang zu freien Rohstoffmärkten finden. Händlern vor Ort gibt dies die Möglichkeit, die Preise noch stärker zu diktieren als ohnehin.

Chemischer Fingerabdruck soll Kriege verhindern

Die Kongokriege haben gezeigt, wie der Kampf um Rohstoffe derartige Konflikte wirtschaftlich und politisch beeinflussen kann. Seitdem die Vereinten Nationen die illegalen Handelsströme des kongolesischen Coltans aufgedeckt und westliche Unternehmen weltweit angeprangert haben, galt der Rohstoff aus dem afrikanischen Bürgerkriegsland auf dem Weltmarkt als nicht mehr akzeptabel. Eine Zeitlang hat kongolesi-

sches Coltan daher nahezu keine Rolle mehr gespielt und wurde boykottiert. Firmen wie H.C. Starck aus Deutschland, Weltmarktführer bei der Verarbeitung von Coltan, verpflichteten sich, nur noch solches Roherz zu kaufen, von dem klar war, dass es ohne Umwelt- und Gesundheitsschäden und unter Einhaltung internationaler Förderstandards produziert wird. Bislang existiert jedoch in der Rohstoffwirtschaft kein Verfahren, mit dem Produkte aufgrund von Nachhaltigkeits- und Entwicklungsstandards in der Produktion gekennzeichnet werden – etwa vergleichbar mit den Gütesiegeln, die es in Forstwirtschaft und Fischerei bereits gibt.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat deshalb im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) ein Konzept erarbeitet, um soziale und ökologische Mindeststandards beim Abbau mineralischer Rohstoffe in Entwicklungsländern sicherzustellen. Mit diesem Konzept sollen die Handelsketten dieser Rohstoffe und die beteiligten Partner zertifiziert werden. So wolle man legale von illegalen Handelswegen unterscheiden, so Markus Wagner von der BGR. Ebenso soll den Produzenten aus dem Kleinbergbau auf diese Weise der Weg zu den industriellen Rohstoffabnehmern vereinfacht werden.

Mithilfe eines „chemischen Fingerabdrucks“ können auch konkrete Herkunftsnachweise für bestimmte Erze, Minerale oder Metalle in das Konzept der BGR einbezogen werden. Zum Einsatz kommen dabei Methoden, mit denen die Rohstoffe auf ihr Alter und ihre spezifischen chemischen und mineralogischen Eigenschaften untersucht werden. Denn aufgrund seiner geologischen Entstehung kann ein Coltan-Erz aus dem Kongo andere Merkmale aufweisen als ein solches aus Ruanda. So variieren mitunter beispielsweise die prozentualen Anteile an Tantal und Niob oder bestimmte Gang- und Nebengesteine im Erz weisen auf eine eindeutige Herkunft hin. Besonders einfach ist dies bei Erzen und Mineralen, deren Mineralogie und Geochemie relativ variabel sind, die aber nur in wenigen Lagerstättentypen und Liefergebieten vorkommen. Coltan, so die BGR, habe all diese Voraussetzungen, das Roherz sei somit besonders für die Zertifizierung geeignet.

Regionaler Schwerpunkt für die Zertifizierung von Rohstoffen soll Afrika sein. Einerseits sind mineralische Rohstoffe für Entwicklungsländer wirtschaftlich besonders wichtig. Andererseits ist die Steuerung

und Kontrolle in der Rohstoffwirtschaft dort in vielen Ländern so defizitär, dass die Produktion weder transparent noch nachhaltig ist. Das Zertifizierungsverfahren der BGR soll demnächst kongolesisches und ruandisches Coltan sauber voneinander unterscheiden. Denn was man in jedem Fall verhindern will ist, dass erneut Coltan aus Minen unter militärischer Kontrolle auf den Weltmarkt gelangt und der Konflikt im Kongo so möglicherweise wieder angefacht wird.

Coltan-Abbau im Gorilla-Land

Der Coltan-Abbau in Zentralafrika bringt nicht nur wirtschaftliche und soziale Probleme mit sich, sondern richtet auch erhebliche Umweltschäden an. Ausgerechnet dort, wo die wichtigsten Coltan-Lagerstätten zu finden sind – im Osten der Demokratischen Republik Kongo an der Grenze zu Uganda und Ruanda –, erstreckt sich einer der artenreichsten Naturräume der Region. Dieser tropische Regenwald ist lange Zeit nahezu unberührt geblieben und beherbergt eine einzigartige Tier- und Pflanzenwelt. Hier liegt beispielsweise der Kahuzi Biega National Park, der bereits seit 1980 zum UNESCO-Weltnaturerbe gehört. Auf 2.100 bis 2.400 m Höhe über dem Meeresspiegel und auf etwa 600.000 ha erstreckt sich hier ein zusammenhängendes Stück tropischen Regenwalds, das sich um die beiden Vulkane Kahuzi und Biega zieht. In diesem Schutzgebiet sind zahlreiche seltene Tierarten zu finden, wie beispielsweise der Östliche Flachlandgorilla. Rund 86 % der insgesamt noch etwa 5.000 bis 10.000 Mitglieder umfassenden Gesamtpopulation dieser Gorilla-Unterart leben im Kahuzi Biega National Park. Mit 790.000 ha noch größer ist der Virunga-Nationalpark im Großen Afrikanischen Grabenbruch. Dort hat ein Großteil der noch verbliebenen seltenen Berggorillas ein letztes Rückzugsgebiet gefunden. Etwa 790 Tiere gibt es dort nach Schätzungen aus dem Jahr 2010 noch.

Doch der Coltan-Abbau hat auch hier seine Spuren hinterlassen. Wie der Dian Fossey Gorilla Fund schon vor einiger Zeit in einer Studie nachwies, zerstört der Erz-Abbau insbesondere den Lebensraum der Gorillas und nimmt ihnen so die Lebensgrundlage. So wird beispielsweise der Regenwald abgeholzt, um neue Fundstätten zu erschließen,

Bergarbeiter-Camps zu errichten oder sich mit Feuerholz zu versorgen. Die Flüsse dagegen verschmutzen durch das Auswaschen der Coltan-Lagerstätten, das beeinflusst die Fischbestände und das Wachstum von Wasserpflanzen. Durch das Abholzen kommt es laut dem Report darüber hinaus immer wieder zu Erdbeben, die den verbliebenen Lebensraum langfristig zerstören. Die Gorillas, aber auch andere Arten wie Elefanten oder im Regenwald lebende Raubkatzen werden durch den Abbau so gestört oder sogar ganz aus ihrer Heimat verdrängt. Doch nicht nur die Umweltveränderungen machen den Tieren zu schaffen, die Gorillas werden auch gejagt. Ihr Fleisch ist als so genanntes „Bushmeat“ sehr begehrt.

Die Zoologische Gesellschaft Frankfurt (ZGF) betreibt im Virunga-Nationalpark deshalb eines ihrer ältesten und wichtigsten Schutzprojekte zur Rettung der Gorillas. Bis heute, so die ZGF, ist die Gefahr für die Affen längst nicht gebannt. Denn nach wie vor sei offensichtlich gerade der Lebensraum der Gorillas – die unzugänglichen Regenwälder – ein bei den noch existierenden Rebellen und Militärmilizen beliebtes Gebiet um abzutauchen. Schon häufig seien Gorillas dabei Schießereien zum Opfer gefallen oder aus reiner Provokation getötet worden.

Coltan – ein „kritischer“ Rohstoff

Grundsätzlich gilt: Nicht jedes Kilogramm Coltan ist aus ökologischen oder politischen Gründen bedenklich. Die Betreiber der Minen in Australien, Kanada, Ägypten oder Brasilien haben sich internationale Förder-Standards auferlegt – auch wenn dies für den Endabnehmer schließlich mehr kostet. Doch mittlerweile kommt laut einem Bericht der Tagesschau im August 2010 wieder etwa die Hälfte des auf dem Weltmarkt benötigten Tantals aus Zentralafrika, vor allem aus dem Kongo. Dazu Gudrun Franken von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: „Die Produktion in Australien ist rund doppelt so teuer wie die Produktion in Afrika. Insofern kaufen natürlich Händler großteils in Afrika ein.“

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe und das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewer-

tung IZT haben Anfang 2009 eine Studie vorgelegt, die den zukünftigen Rohstoff-Bedarf bestimmter Zukunftstechnologien analysiert. „Eine Reihe von Zukunftstechnologien ist auf bestimmte seltene Metalle so stark angewiesen, dass ihr massenhafter Ausbau durch Rohstoffengpässe bedroht ist“, warnte Lorenz Erdmann, Experte für seltene Metalle beim IZT. Zu den betroffenen Technologien gehört auch die Mikroelektronik, bei der Tantal zum Einsatz kommt. Es steht deshalb zusammen mit Niob auch auf der Liste mit 14 „kritischen Rohstoffen“, die die EU-Kommission im Juni 2010 vorgelegt hat. Die Empfindlichkeit der Rohstoffe verbrauchenden Wirtschaftssektoren ist insbesondere dort erhöht, wo die Möglichkeit fehlt, knappe und teure Rohstoffe zu ersetzen. Dies gilt vor allem, wenn diese Rohstoffe nur in wenigen Ländern vorkommen, die zudem in politisch instabilen Regionen liegen – so wie es beim Coltan der Fall ist. Spätestens bis zum Jahr 2030 könnte es daher in Deutschland zu erheblichen Engpässen bei Hightech-Metallen wie Tantal oder Niob kommen. Weltweit gibt es nach einer Schätzung des USGS aber immerhin Coltan-Reserven für noch 150 Jahre.

Keramik statt Tantal?

Doch gibt es vielleicht Alternativen zum besonders wichtigen Tantal? Kann man es durch andere Rohstoffe oder Materialien ersetzen? Bei den elektrischen Mikro-Kondensatoren könnte das Metall künftig nach Ansicht von Experten vielleicht von Keramiken abgelöst werden. So ist es der deutschen EPCOS AG bereits gelungen, alternativ zu Tantal-Kondensatoren nahezu gleichwertige Produkte aus Keramik zu entwickeln. Sie haben sich zum Teil sogar als robuster erwiesen, sind jedoch in Bezug auf das Verhältnis von Größe und Kapazität den Tantal-Kondensatoren noch unterlegen. Christoph Schnitter vom Tantal-Produzenten H.C. Starck hält ebenfalls vor allem Keramik- und auch Aluminium-Kondensatoren für zukunftsträchtig.

Schnitter und seine Kollegen erforschen derzeit aber auch die Möglichkeiten, Niob für Kondensatoren zu nutzen. Bislang verhinderte die mangelnde Reinheit von Niob in Verbindung mit der notwendigen großen Oberfläche dessen Einsatz. Doch in einer Pilotanlage im Haupt-

sitz seines Unternehmens in Goslar stellen Schnitter und seine Kollegen mittlerweile hochreines Niob her. Dies wiederum liefern sie an spezialisierte Firmen, die alternative Niob-Kondensatoren entwickeln, welche etwa gleich leistungsfähig sind wie solche aus Tantal. Während Tantal-Kondensatoren für Betriebsspannungen bis 60 V geeignet und unerreicht stabil und zuverlässig sind, eignen sich die günstigeren Kondensatoren mit Niob bisher jedoch nur für Spannungen bis 10 V. Tantal setzt man deshalb gerne in Bauteilen ein, die besonders zuverlässig arbeiten müssen, etwa in Flugzeugen, Autos oder in der Medizintechnik. Niob dagegen ist ein Produkt für den Massen- und Wegwerfmarkt und bisher besser geeignet für Spielekonsolen und Laptops.

Die alternativen Neuentwicklungen haben laut Schnitter aber noch ihre Tücken. Aluminium-Kondensatoren seien zwar preiswert, hätten aufgrund ihrer flüssigen Kathode jedoch recht hohe Widerstände. „Bis zu zehn herkömmliche Aluminium-Kondensatoren“, so Schnitter, „können deshalb für bestimmte Anwendungen durch einen Niob-Kondensator ersetzt werden. Der Preisvorteil des Aluminiums ist dann allerdings wieder dahin.“ Zwar gibt es auch Hochleistungs-Kondensatoren aus Aluminium mit einem leitfähigen Polymer als Kathode, aber die sind deutlich teurer. Bei den Keramik-Kondensatoren ist es ähnlich: Wenn nur kleine Kapazitäten benötigt werden, sind sie konkurrenzlos günstig. Die Zukunft, davon sind Schnitter und seine Kollegen überzeugt, gehört jedoch den Niob-Kondensatoren. Denn die immer höheren Taktraten bei Computern bringen immer niedrigere Betriebsspannungen mit sich, wie sie für Niob-Kondensatoren erforderlich sind. Wenn die weltweiten Coltan-Reserven ausgehen, wäre damit allerdings dennoch nicht viel gewonnen.

„Die Zeit der billigen Rohstoffe ist vorbei“ – Prof. Harald G. Dill im Interview

4

Prof. Harald G. Dill

ist als Diplomgeologe in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und als Dozent an verschiedenen in- und ausländischen Universitäten tätig. Zu seinen Arbeitsschwerpunkten gehören die Lagerstättenkunde, die technische Mineralogie und die angewandte Sedimentologie (www.hgeodill.de). Er ist Autor des „Chessboard classification scheme of mineral deposits“ (Earth Science Reviews, 100, 1–420, 2010), das seit einem Jahr unter den „25-hottest-articles“ in den Geowissenschaften auf den Rängen 1 bis 4 steht.

Frage: Die Nachfrage nach vielen mineralischen Rohstoffen ist in den letzten Jahren immer stärker gestiegen. Welche wichtigen Rohstoffe könnten schon bald zur Mangelware werden? Bei welchen sind auf absehbare Zeit keine Lieferengpässe zu erwarten?

Dill: Eine verlässliche Vorhersage, welche Rohstoffe sich verknappen ist meines Erachtens fast so schwer wie die präzise Vorhersage des DAX-Wertes nächstes Jahr um diese Zeit; denn bei Aktien spielen, wie

Harald D. Gill (✉)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2,
30655 Hannover, Deutschland
e-mail: dill@bgr.de

man weiß, nicht nur die wirtschaftlichen Daten eines Unternehmens, sondern auch psychologische und politische Faktoren eine Rolle. Eine Mangelsituation bei mineralischen Rohstoffen ist häufig nicht nur ein physisches Phänomen. Eine solche Situation wird meist von zwei Faktoren beeinflusst, dem geogenen und dem anthropogenen. Wir können die Geologie nicht ändern, nur studieren und darauf aufbauend Vorhersagen wagen, die im Hinblick auf die Rohstoffe gegenwärtig nicht allzu trübe sind. Wir können unsere Gewohnheiten ändern und auf unsere Mitmenschen einwirken, aber es ist schwer das menschliche Verhalten bezüglich der Rohstoff-Problematik wirklich vorherzusagen.

Man kann für eine realitätsnahe Lagebeurteilung auf dem Rohstoffsektor verschiedene Methoden heranziehen und möglichst viele Parameter in die Bewertung einbeziehen. Dies gelingt beispielsweise mit so genannten Matrixsystemen, in denen Punkte wie die Umweltverträglichkeit eines Rohstoffes, seine Substitutionsmöglichkeit, seine Recyclingrate, technologische Veränderungen in der Anwendung, die politische Stabilität der Lieferländer, die Transportroutensicherheit und die Energiefragen eine Rolle spielen.

Die EU glaubt, eine solche Lagebeurteilung auf dem Rohstoff-Sektor vornehmen zu können, und hat deshalb im Juni 2010 eine „List of critical raw materials“ herausgegeben. In dieser Gruppe von 14 kritischen Rohstoffen befinden sich Rohstoffe wie Germanium, Indium, Gallium, Platin-Gruppen-Elemente, aber auch Minerale wie Graphit und Flussspat. Beim Flussspat beispielsweise gibt es in Deutschland gegenwärtig einige interessante bergmännische Neuaufschlüsse, außerdem sind nicht alle stillliegenden Lagerstätten bei uns erschöpft. Ob die eine oder andere wieder geöffnet und sich auch über einen längeren Zeitraum behaupten wird, das bestimmt jedoch vor allem China, der führende Produzent für Flussspat, der sich weder im Hinblick auf seine Ressourcen noch auf seine Abbaustrategien in die Karten schauen lässt. Auch für die genannten elektronischen Elemente Germanium, Indium und Gallium ist der wirtschaftliche Sektor schwer zu beurteilen. Es werden zwar nur geringe Mengen von Spezialunternehmen abgerufen, aber bereits bei Ausfall eines Bausteins in einem elektronischen System arbeitet der Rest fehlerhaft oder das gesamte System ist wirkungslos.

Andere Rohstoffe wie etwa Lithium, dem in der „green technology“, eine wichtige Rolle zugesprochen wird, werden unter ausschließlicher

Betrachtung des geogenen Faktors seitens der EU als relativ problemlos eingestuft. Das Metall wird aber in wirtschaftlich relevanter Form fast ausschließlich in den südlichen Anden gewonnen. Die Welt-Reserven wurden für 2010 mit 76 % für Chile und 8 % für Argentinien angegeben. Der Tsunami in Japan hat die Autoindustrie stark durcheinandergewirbelt. Ein großes Erdbeben oder eine andere Katastrophe in Südamerika könnten möglicherweise ähnlich schwerwiegende Folgen haben und für gravierende Lieferengpässe beim Rohstoff Lithium sorgen.

Auch Phosphat, ein Rohstoff in der Düngemittelindustrie, spielt offensichtlich für die EU nur eine geringe Rolle, da es rein von seiner Vorratssituation her als unbedenklich eingestuft wird. Die regionale Verteilung dieses Rohstoffs in Schwellen- und Entwicklungsländern und die politische Kontrolle der Produzenten machen aber eine permanente Beobachtung notwendig. Nicht nur elektronische Schaltkreise, sondern auch die Ernährung der stetig wachsenden Weltbevölkerung müssen bei der Rohstoffversorgung im Auge behalten werden. Wegen überhöhter Brotpreise gab es schon manche Revolution. Dabei wird auch deutlich, dass zwischen den organischen und den anorganischen Rohstoffen enge Verflechtungen bestehen und vorschnelle Aussagen zur Rohstoffverknappung in einer der beiden Gruppen sehr gewagt sind, wenn man diese Komplexität aus den Augen verliert.

Frage: Prognosen über die Reichweiten von vielen Rohstoffen haben sich in den letzten Jahrzehnten immer wieder als falsch erwiesen – etwa weil weitere ergiebige Vorkommen entdeckt worden sind. Wie verlässlich sind die heutigen Abschätzungen über Menge und Ergiebigkeit der Lagerstätten? Rechnen Sie noch mit größeren Neufunden? Wenn ja, in welchen Bereichen?

Dill: Bleiben wir beim Bild vom Aktienmarkt. Dort kann man mit zwei unterschiedlichen Methoden versuchen, dem Verlauf des Aktienindex etwas die Unsicherheit zu nehmen. Man kann einer gekonnt vorgetragenen Chartanalyse glauben oder sich der Kärnerarbeit unterziehen und die einzelnen Unternehmen betriebswirtschaftlich genauer unter die Lupe nehmen. Was ist sinnvoller? Ansatzweise eine Antwort auf diese Frage gibt ein Blick in die Vergangenheit.

Denn die größte Fehlinterpretation in Sachen Rohstoffprognosen leistete sich 1972 der „Club of Rome“ mit seinem „Limits of Growth“, eine Chartanalyse der besonderen Art. Blei, Zinn, Zink, Platin usw. sollten danach im Jahr 2000 nicht mehr verfügbar sein. Es bildete sich damals zum Beispiel ein Zinnkartell vergleichbar dem der OPEC – und was ist heute davon übrig geblieben? Die Zinnschmelzen sind geschlossen. Platin-Gruppen-Elemente werden zwar als kritisch eingestuft, sind aber immer noch vorhanden. Von einer Verknappung der Metalle Blei, Zink und Zinn spricht nicht einmal mehr die EU. Die ganze Club of Rome-Prognose war von den Ereignissen einer Wegwerfgesellschaft beeinflusst und basierte damals auf einer sehr schwachen Datenbasis, die sich zusätzlich fortwährend ändert. Fazit: Für Marktschreierei oder eine Statistikgläubigkeit ist wenig Platz in der Rohstoffwirtschaft.

Als Kärnerarbeit kann man dagegen die regionale Lagerstättenkunde bezeichnen. Hier werden vor Ort die „Unternehmensdaten der Erde“ untersucht. Das ist zwar viel mühsamer, liefert aber dafür ein genaueres Bild der Rohstoffsituation. So sind der afrikanische Kontinent und Australien mit Ozeanien lagerstättenkundlich besonders attraktiv. Dort muss man immer mit Neufunden rechnen, wie die Entdeckung einer neuen Vanadiumlagerstätte in Madagaskar oder einer Rhenium-Molybdänlagerstätte in Australien beweisen. Die alten Schildregionen vor allem in Australien und Afrika bieten Platz für große Lagerstätten und sind auch heute noch nicht ausexploiert. Eine sehr große Zahl von privaten Explorationsunternehmen und die südostasiatischen Staaten sind besonders auf dem afrikanischen Kontinent aktiv.

In den Ländern Lateinamerikas dagegen sind Erweiterungen von bereits im Abbau stehenden Lagerstätten durch verbesserte Methoden unter anderem auf dem „Remote Sensing-Sektor“ (Luftbild- und Satellitenbildauswertung) und Geophysiksektor möglich. Das zeigen unter anderem Neufunde durch chinesische Firmen im Umfeld von bekannten Lagerstätten in Peru. Andere Methoden werden durch den Altbergbau in den Anden in ihrer Anwendung stark eingeschränkt. Patagonien im Süden Argentiniens ist nach meiner Einschätzung in Bezug auf seine Bodenschätze noch nicht genau genug erforscht, aber bezüglich der dortigen Bergbaugesetzgebung kein einfaches Terrain.

Auch die zentralasiatischen Regionen von Kasachstan bis in die Mongolei sind rohstoffgeologisch interessant. Man darf aber nicht

vergessen, dass hier jahrzehntelang viele erfahrene Geländegeologen in den Staatshandelsländern am Werk waren. Mangel an „high technology“ hat bei diesen Kollegen dazu geführt, dass die „human resources“ voll ausgeschöpft werden mussten. Von diesen Geologen gibt es nicht mehr viele in unserer „touch-screen-world“. Eines der größten Projekte im Sektor Kupfererzbergbau ist zurzeit die Lagerstätte Oyuu Tolgoi in der Wüste Gobi, die von zwei westlichen Firmen, Ivanhoe Mines und Rio Tinto in Angriff genommen worden ist. 2013 soll dort die Produktion beginnen. Das Kapital ist westlich, das Basis-Know-How zentralasiatisch. Diesen Wiederfund verdanken wir in erster Linie der Erfahrung und dem Gespür eines mongolischen Feldgeologen, der in diesem Gebiet Kupferschlacken bei früheren Geländebegehungen gefunden hatte.

Wenn es um die Ergiebigkeit und die Menge bei den herkömmlichen Rohstoffen Eisen, Blei, Zink und Kupfer geht, schneidet unsere mitteleuropäische „patchwork geology“ leider schlecht ab. Wenn es noch Metallrohstoffe gibt, dann häufig in einer Tiefe, wo der Abbau am seidenen Faden hängt. Nur bei einem wirklich hohen Preisniveau und einer bereits bestehenden bergbaulichen Infrastruktur im nahen Umfeld, kann man diese Lagerstätten rentabel abbauen. Ob aus einem Vorkommen eine Lagerstätte und schließlich ein Grubenbetrieb wird, darüber entscheidet nicht allein die Geologie, sondern auch die Konkurrenten und die Spekulanten, um nur zwei wichtige Unbekannte in der Gleichung zu nennen.

Einen Bereich darf man bei der Rohstoffsuche nicht außer Acht lassen, den Meeresgrund. Nautilus Minerals Inc. aus Canada hat bereits mit ferngesteuerten Unterwasserrobotern begonnen, vor Papua-Neuguinea (PNG) die Erze hydrothermalen Quellen, so genannte „black smoker“, die reich an Buntmetallen sind, zu „pflücken“. Zwischen PNG und den Salomonen herrscht gar eine Art „untermeerischer Goldrausch“. Ein Claim reiht sich an den anderen. PNG ist aber ein gebranntes Kind, was Bergbaufolgelasten im Zusammenhang mit dem Kupfer- und Gold-Bergbau an Land angeht und wird in diesem marinen Bereich sicherlich ein Auge auf den Naturschutz werfen.

Wir kommen auch hier, wie man sieht, nicht um den anthropogenen Faktor herum, wenn es um eine sachgerechte Bewertung eines Rohstoffvorkommens geht. Ob es sich dabei um ein ökologisch-relevantes Prob-

lem oder um Rebellen handelt, die den Abbau stören können, mag in den Medien eine unterschiedliche Resonanz hervorrufen, für den Bergbau ist das Ergebnis das Gleiche. Der Rohstoff-Abbau wird beeinträchtigt.

Frage: Mithilfe neuer Bergbau-Technologien lassen sich in Zukunft vielleicht auch Rohstoff-Lagerstätten nutzen, die bislang nicht wirtschaftlich abbaubar waren. An welchen Methoden und Verfahren wird in der Branche zurzeit intensiv geforscht?

Dill: Man muss drei verschiedene Ebenen, auf denen man mit neuen Ansätzen und Methoden zu Erfolgen kommen kann, unterscheiden: die strategische, die taktische und die operative Ebene. Auf dem Sektor Rohstoffstrategie gibt es den Begriff der „large-tonnage-low-grade“-Lagerstätten (große Mengen, niedriger Mineralisierungsgrad). Die größte Lagerstätte dieser Art ist gewissermaßen das Meer. Der technologische Fortschritt wird zeigen, wie viel wir aus dieser Lagerstätte herausholen können ohne dabei andere Bereiche zu stark in Mitleidenschaft zu ziehen. An Land sind dem Abbau solcher Lagerstätten jedoch Grenzen gesetzt; je geringer der Erzgehalt, desto höher die Abraumhalde.

Auf dem Energiesektor tut sich vor allem im Bereich unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten wie „Tight Gas“ oder „Shale Gas“ einiges. Gegenwärtig sehen sich einige ausländische Firmen die mitteleuropäischen Sedimentbecken näher an. Aber auch bei diesem Vorhaben gehen die Meinungen der an diesen Projekten beteiligten Personen sehr auseinander. So wird unter anderem die Umweltverträglichkeit der beim Abbau eingesetzten Verfahren von manchen in Zweifel gezogen.

Nachdem Deutschland sich von der Nuklearenergie verabschiedet hat, müssen die Verantwortlichen aus meiner Sicht die Technologien fördern, die auf den Energierohstoff ausgerichtet sind, von dem wir noch reichlich haben: Kohle. Tiefere Förderschächte und größere Tagebaue sind aber wohl keine Lösung. Die Vergasung von Kohle unter Tage durch Injektion von Dampf-Luft-Gemischen in die Lagerstätte (In-situ-Vergasung) ist ein interessanter Ansatz, die Verwendung von Grubengas ein anderer. Viele dieser noch zu etablierenden Verfahren sind jedoch noch nicht endgültig erforscht und sie fordern große finanzielle Anstrengungen bereits in der Vorphase.

Die Zeit der billigen Rohstoffe ist in Mitteleuropa vorbei und der Glaube an die regenerierbaren Energieträger als allein seligmachende Quelle kann aus meiner Sicht schnell zum Irrglauben werden. Vor allem, wenn man sich den Wirkungsgrad von Windkraftanlagen oder deren Abhängigkeit von knappen Spurenelementen wie Neodym betrachtet. Ich persönlich halte viel vom sogenannten Energie-Mix („Lege deine Eier nie alle in einen Korb“), bei dem es keine ideologischen Barrieren oder Präferenzen geben darf. Die Schwachpunkte der einen Methode werden durch die Stärke einer anderen Technik kompensiert, wobei man die intelligenteste und effektivste Koppelung von Generation und Speicherung der Energie finden muss. Eine Koppelung von Maßnahmen zur Energiegewinnung im Bereich regenerierbarer mit solchen aus den klassischen Feldern versteht sich dabei von selbst.

Die taktischen und operativen Ebenen auf dem Rohstoffsektor wurden bereits in der vorhergehenden Frage berührt, als es um den Einsatz satellitengestützter und geophysikalischer Methoden ging. Kosten lassen sich einsparen, wenn man High-Tech-Verfahren ins Gelände bringt und nicht das Gelände ins Labor transportiert: Neue mobile und handhabbare Kartierungs- und Analysemethoden an denen zurzeit gearbeitet wird, können dazu beitragen, vor Ort schneller Explorations-Entscheidungen zu treffen. Physikalische Methoden, die zum Beispiel das Infrarot-Spektrum für die Mineralanalyse beim Monitoring des Abbaumaterials und in der Exploration verwenden, sind in manchen Bergbaunationen bereits gang und gäbe.

Frage: Welche Möglichkeiten bietet das Rohstoff-Recycling?

Dill: In der Presse liest man häufig, dass auf unseren Mülldeponien riesige Schätze lagern. Das mag zutreffend sein, wenn man die Gehalte der Elemente isoliert betrachtet. Doch wie ist die „Erzverteilung“ in diesen urbanen Lagerstätten? Wie viel Energie und Chemie muss man aufwenden, um die Rohstoffe zurückzugewinnen, und mit welchem Personaleinsatz finden diese Rückholaktionen statt? Auf dem Recyclinggebiet tut sich sicherlich sehr viel, aber man kann die naturwissenschaftlichen Gesetze nicht außer Kraft setzen. Biologische Laugungsverfahren beispielsweise können sicherlich bei der Aufbereitung von

Armerzen – Erzen mit einem niedrigen Metallgehalt – wie auch bei der Rückgewinnung von Restwertstoffen noch einen wichtigen Beitrag leisten. Sie schonen den Geldbeutel und minimieren die Umweltbelastung. Die Transmutationstechnologie, aus Abfall höherwertiges oder aus strahlendem ungefährliches Material zu erzeugen, sollte man nicht ins Reich der Utopie verbannen.

Frage: Die Volksrepublik China, aber auch andere Schwellen- und Entwicklungsländer sichern sich mit großem finanziellen Engagement Rohstoffreserven in aller Welt, drosseln aber den Export eigener Bodenschätze wie „Seltene Erden“ drastisch. Deutschland ist jedoch fast vollständig auf den Import von Rohstoffen angewiesen. Wie kann man dieses Problem in den Griff bekommen?

Dill: In den Griff bekommen impliziert, etwas festhalten und kontrollieren wollen. Der „Rohstoffzug“ hat aber den Bahnhof Deutschland bereits verlassen. Er ist kein Bummelzug, sondern ein Expresszug mit Lokomotiven wie China, Indien, Südkorea und Japan, auf den man nicht einfach aufspringen kann. Man muss rechtzeitig am Bahnsteig stehen und manchmal auch Geduld mitbringen, „wenn der Erfolg Verspätung hat“. Unsere „Fahrdienstleiter“ in Sachen Rohstoffversorgung haben meiner Meinung nach bereits vor Jahren die Weichen falsch gestellt. Eine deutsche Rohstofffirma auf dem Erzsektor mutierte zu einem Touristikunternehmen, andere Energiefirmen wurden an unsere Nachbarn verkauft oder sie verschwanden vollständig vom Markt.

Man betrieb eine „rohstofforientierte Scheckbuchdiplomatie“, das heißt man kaufte, um eigene Risiken bei der Exploration zu vermeiden, auf den Weltmärkten jegliche Rohstoffe ein. Dies war ein Traum, aus dem es für die Industrienation Deutschland ein böses Erwachen gab. Die Verantwortlichen haben noch eine geraume Zeit in den Medien lamentiert und die Einrichtung einer nationalen Rohstoffbasis beschworen. Substanziell ist auf dem Metall- und Energiesektor aber wenig geschehen.

Wie viele andere westliche Staaten müssen wir mehr oder minder behutsam unsere Rohstoffindustrie restrukturieren und uns vermehrt im Ausland etablieren. Dazu müssen unter anderem neue Rohstoff-

firmen gegründet werden. Das erfordert erhebliche finanzielle Investitionen. Noch viel schwieriger ist es aber, die richtigen und erfahrenen Mitarbeiter dafür zu finden – vor allem, wenn man über Jahre hinweg diesen Zweig nicht gepflegt hat. Was wir in Deutschland nicht benötigen, ist ein neues „Berggeschrey“, Leute, die noch eine weitere Statistik erstellen und beispielsweise von der Utopie der schadstofffreien Zink-„Ökoerze“ fabulieren, ohne zu berücksichtigen, dass sie große Mengen an Cadmium enthalten können. Was wir brauchen, sind angewandt arbeitende Geowissenschaftler, die die nötigen Kenntnisse und Erfahrung für den Kampf um die Rohstoffe besitzen und dort erfolgreich ihre Arbeit tun. Was nützen uns zertifizierte Handelswege, wenn die Verfahren nicht die Qualität eines DNA-Fingerabdrucks haben und andere die Quellen ausbeuten? Nicht der Weg ist das Ziel, sondern die Lagerstätte.

Frage: Gibt es überhaupt Rohstoffe, bei denen Deutschland seinen Bedarf im Prinzip aus eigenen Ressourcen decken könnte?

Dill: Im Prinzip nur bei der Ressource Wasser. Und selbst hier importieren wir Mineralwasser aus Nachbarstaaten. Bei den Mineralagerstätten ist der Steine-Erden-Bereich nach wie vor ein wichtiger Versorgungs- und Produktions-Sektor in Deutschland. Wir haben hochwertige Sandlagerstätten, gute Karbonatvorkommen für die Zementindustrie und Spezialtone geeignet für keramisch hochwertige Produkte. Leider steht dieser Rohstoff-Bereich immer etwas zu Unrecht im Schatten des Metall- und Energiesektors. Für einige Firmen auf dem Nicht-Metallsektor wird in den nächsten zehn Jahren jedoch die Rohstoffsituation auch kritisch. Der technologische Vorsprung und die hohe Flexibilität dieser zum Teil mittelständischen Unternehmen können manche Probleme bei der heimischen Rohstoffversorgung ausgleichen, aber nicht gänzlich. Es handelt sich bei diesen Rohstoffen in den meisten Fällen um Massenhochstoffe wie Sand, Kies, Kalkstein. Der Eingriff in den Raum ist beim Abbau zum Teil sehr beträchtlich. Es kommt zu konkurrierenden Nutzungsansprüchen, bei denen nicht selten die Rohstoffseite den Kürzeren zieht. Die Restriktionen beim Zugriff auf den heimischen Rohstoff dürfen daher meiner Meinung nach nicht Überhand nehmen. Änder-

falls wird dieser Industriezweig, der mehr als 100.000 Menschen in Deutschland den Broterwerb sichert und mehr als 25 Mrd. € Umsatz erzielt, trotz eines guten Rohstoffpotentials das gleiche Schicksal erleiden wie der Metall- und der Energierohstoffsektor, wo wir aus geogenen Gründen bereits an unsere Grenzen gestoßen sind.

Frage: Ihr Arbeitgeber, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), ist unter anderem bei der Erforschung der Manganknollen der Tiefsee führend. Diese enthalten große Mengen an Kupfer, Nickel und Kobalt. Wann wird es mit dem Abbau der Manganknollen losgehen?

Dill: Manganknollen sind so genannte potenzielle Erze (Lagerstätten), weil sie *per definitionem* mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Methoden noch nicht wirtschaftlich gewonnen werden können. Trotzdem werden sie sowohl in den Wissenschaftsmagazinen von Tages- und Wochenzeitungen als auch in den Nachrichtenmagazinen immer wieder als kommende Rohstoffquelle gehandelt. Bereits zu Beginn meiner Tätigkeit in der BGR, Ende der 1970er Jahre, waren diese Manganknollen in aller Munde. Man fuhr zur See, sammelte Knollen, analysierte sie in der BGR und an den Universitäten und schrieb Berichte und Veröffentlichungen. Es gab sogar bereits ein deutsches Industriekonsortium, das den Abbau dieser marinen Rohstoffe verwirklichen wollte. Was am Ende blieb, war eine große Manganknolle in einer Vitrine in der BGR.

Die Voraussetzungen für einen aktiven Tiefseebergbau von deutscher Seite scheinen mir aber auch heute noch nicht gegeben zu sein. Die Manganknollen haben historisch betrachtet gewissermaßen etwas Tragisches für uns Deutsche an sich. Als die Kolonien in Afrika, Asien und im Pazifik im 19. Jahrhundert aufgeteilt wurden, wollte das damalige Deutsche Reich nicht abseits stehen und auch noch etwas vom Rohstoffkuchen abbekommen. Es musste sich um die Jahrhundertwende mit dem begnügen, was die anderen übrig gelassen hatten und woran diese nur ein begrenztes Interesse hatten. So erscheint mir auch die gegenwärtige Jahrhundertwende auf dem Rohstoffmarkt. Wir befinden uns zwar nicht mehr im Zeitalter des klassischen Imperialismus, aber die Rohstoffwelt ist bereits ziemlich aufgeteilt. Unter den 530 Rohstofffirmen

weltweit, die ich mir auf den Bildschirm holen kann, ist keine deutsche. Es gilt nur noch Nischen zu besetzen oder im Schlepptau anderer sich einen Claim zu sichern.

Die bereits genannten „black smoker“ zum Beispiel liegen in den Hoheitsgewässern der Anrainerstaaten des westpazifischen „ring of fire“. Dort sind asiatische, australische und amerikanische Firmen sehr aktiv. Auf den Kontinenten werden die porphyrischen Kupferlagerstätten unter anderem von amerikanischen und australischen Firmen gesucht und abgebaut. Deutschland war einmal ganz nahe an einer solchen Lagerstätte dran, heute entwickelt jedoch Rio Tinto in Peru das Projekt La Granja weiter. Große Flächenstaaten wie Australien (BHP Billiton) und Brasilien (Companhia Vale do Rio Doce) haben marktbeherrschende Eisenproduzenten. Die südostasiatischen Staaten treten zwar nicht mit alteingesessenen Firmen auf, sie sind aber im Stillen auf den verschiedenen Kontinenten aktiv und zum Teil sehr erfolgreich. Was bleibt da noch für das notorisch rohstoffarme Deutschland? Die freie Zugänglichkeit der Rohstoffe auf dem Meeresgrund treibt die Deutschen wieder auf den Ozean hinaus.

Doch die Manganknollen im deutschen Lizenzgebiet liegen in 5.000 bis 6.000 Meter Meerestiefe auf weiten Tiefseeebenen des Pazifiks und sind dort nicht leicht zu gewinnen. Darüberhinaus ist ihr Abbau nicht unentgeltlich, denn man muss Lizenzgebühren bezahlen. Die Gewinnung macht zudem die Ausweisung „ökologischer Ausgleichsflächen“ nötig. Meines Erachtens nach sind auch zahlreiche meeresbergbautechnische und umweltschutzrelevante Fragen noch nicht hinreichend geklärt. Provokant gesagt: Möglicherweise endet dieses aktuelle Engagement in Sachen Manganknollen auch wieder mit einer neuen Manganknolle im Schaukasten der BGR.

Die Fragen stellte Dieter Lohmann.



Big Hole: Eine mittlerweile stillgelegte und mit Grundwasser gefüllte Diamantenmine in Kimberley, Südafrika. Beim Einstellen der Arbeiten im Jahr 1914 hatte das „Loch“ einen Durchmesser von 500 und eine Tiefe von 800 m © I, Bothar (Rudolph Botha) / CC BY-SA 3.0



Seltene Erden-Oxide im Überblick: Praseodym, Cer, Lanthan, Neodym, Samarium und Gadolinium (im Uhrzeigersinn, oben in der Mitte beginnend.) © Peggy Greb / Agricultural Research Service / USDA



Rund sieben Prozent der gesamten Methanvorkommen der Erde liegen in Form von Grubengas vor. Wissenschaftler arbeiten seit einiger Zeit daran, dieses Grubengas in Zukunft vermehrt zur Energieproduktion zu nutzen. Zur Erforschung des Energie-Rohstoffes sind Probenahmen untertage – etwa in stillgelegten Bergwerken oder Kohlegruben im Ruhrgebiet – unabdingbar. © Martin Krüger / BGR Hannover



Manganknollen sind in bestimmten Tiefseeregionen in riesigen Mengen auf den Meeresböden zu finden. Diese wurde im Jahre 1982 aus dem Pazifik geborgen. © Koelle / CC BY-SA 3.0



Steinsalz – hier mit deutlich erkennbarer Eisenverunreinigung – wird heutzutage nicht nur zur Gewinnung von Speisesalz, sondern auch in der chemischen Industrie verwendet. © gemeinfrei



Handelsübliches Speisesalz wird mit Zusätzen wie Carbonaten, Hexacyanoferrat oder Kieselsäure versehen, damit es nicht verklumpt und besser aus dem Salzstreuer rieselt. © APPER aus de.wikipedia.org / CC BY-SA 3.0



Die Bohr- und Förderinsel Mittelplate: Ein kompaktes System mit getrennten Wohn-, Bohr- und Prozessbereichen. © RWE Dea AG



Bohrarbeiten in der Abenddämmerung. Aus der Baugrube heraus wird mittels horizontaler Richtbohrtechnik gebohrt. Dieses Verfahren minimiert im seeseitigen Bereich den Eingriff in den Wattboden während der Bauphase. © RWE Dea AG



Mit der Bohrung „Völkersen Z 6“ hat die RWE Dea AG im November 2002 neue Gasreserven im Erdgasfeld Völkersen nahe Bremen erschlossen. Die Bohrung wurde mit der eigenen Bohranlage T-160 abgeteuft, eine moderne und leise Tiefbohranlage mit Elektroantrieb. Die gesamte Bohrstrecke betrug über 5.100 m. © RWE Dea AG



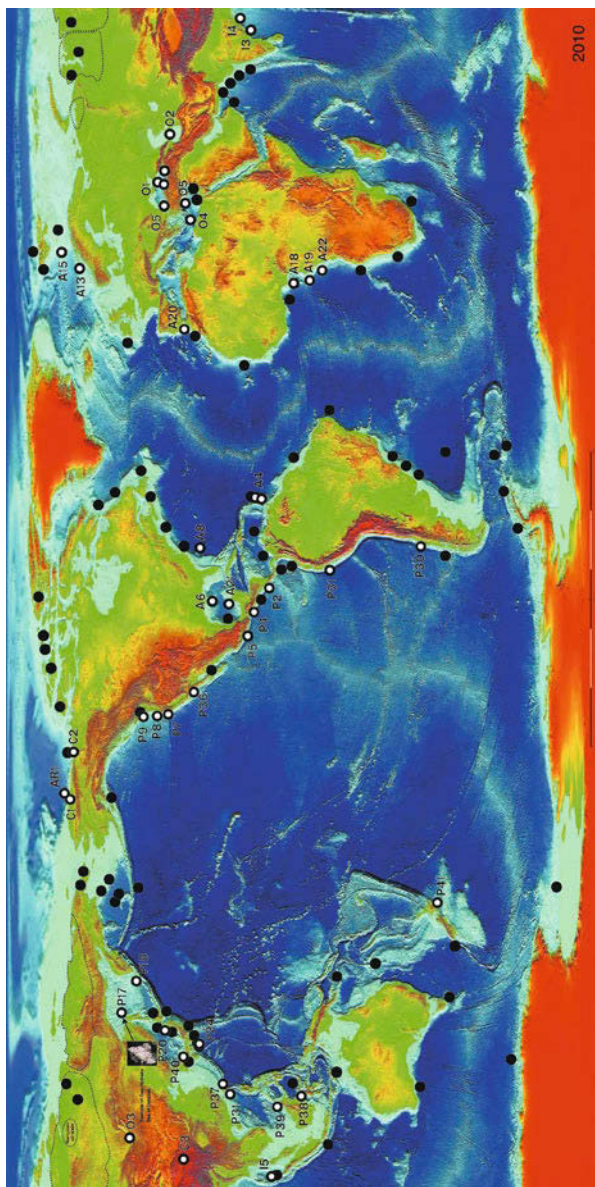
Gas hydrate sind feste, kristalline Substanzen aus Gas (meist Methan) und Wasser, die nur bei hohem Druck und niedrigen Temperaturen existieren. Unter normalen Umgebungsbedingungen zerfällt das eisartige Gemisch schnell in seine Bestandteile. © IODP/TAMU



Beim Zerfall von Gashydraten wird nach und nach Methan frei, das leicht entzündlich ist. Das so genannte „brennende Eis“ erinnert stark an lodernde Grillanzünder.
© MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen



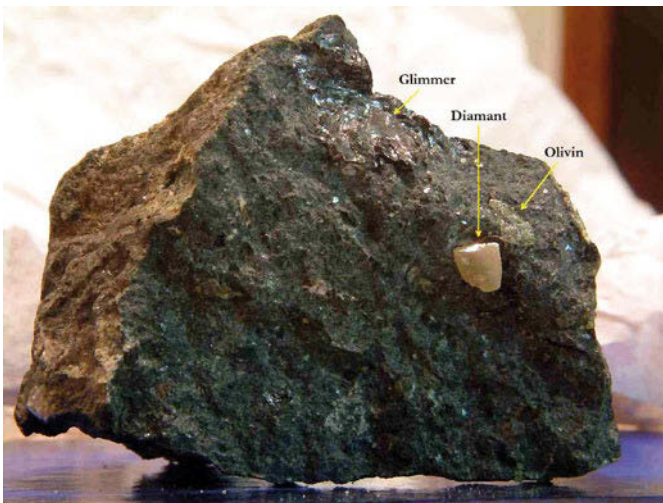
Mit Gashydraten durchsetztes Sediment aus rund 1.200 m Wassertiefe vom „Hydrate Ridge“ vor der Küste des US-Bundesstaats Oregon. © Wusel007 / CC BY-SA 3.0



In Permafrostgebieten, an den Kontinentalhängen vieler Ozeane und in mächtigen Binnengewässern können sich Gashydrate bilden. Die Karte zeigt die wichtigsten Fundorte. (Schwarze Kreise = Wahrscheinliche Gashydratvorkommen; Kreise mit schwarzen Konturen = Entnahmeorte von Gashydratproben; von gestrichelten Linien umgebene Flächen = Gebiete mit möglichen Gashydratvorkommen in Russland). © Keith A. Kvenvolden, Thomas D. Lorenson / USGS Pacific Coastal & Marine Science Center



Uranerz (Pechblende) aus der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda in Deutschland.
© Geomartin / CC BY-SA 3.0



Kimberlit – hier ein Brocken aus Südafrika – ist ein Gestein magmatischen Ursprungs, in dem häufig Diamanten eingeschlossen sind. © H.m.2009 / gemeinfrei



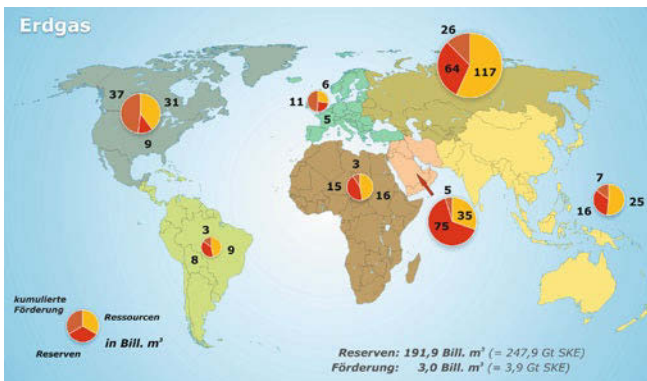
Diamant-Oktaeder auf einem Kimberlitgang. © Parent Géry / gemeinfrei



Monazit ist eines der wichtigsten Erze zur Gewinnung von Metallen der Seltenen Erden. © Aangelo / CC BY-SA 3.0



Handarbeit ersetzt Maschinenkraft: Der kaum mechanisierte so genannte Artisanale Bergbau ist typisch für die zahlreichen Coltan-Lagerstätten in Afrika (hier Mosambik). © BGR Hannover



Die Lagerstätten von konventionellem Erdgas sind auf der Erde ungleich verteilt. Dargestellt ist das Gesamtpotenzial 2009, die Summe aus kumulierter Förderung, Reserven und Ressourcen. (kumulierte Förderung = bisherige Gesamtfördermenge; Reserven = Rohstoff-Lagerstätten, die nachweislich wirtschaftlich abbaubar sind; Ressourcen = bekannte Lagerstätten, die zurzeit nicht wirtschaftlich abgebaut werden können). © BGR Hannover



Offen liegendes Steinkohleflöz am Point Aconi in der kanadischen Provinz Nova Scotia. © Michael C. Rygel / CC BY-SA 3.0



Riesige Lastwagen laden den Abraum aus der Kupferproduktion in der Umgebung der Chuquicamata-Mine in der chilenischen Atacama-Wüste ab. © Pierre cb / gemeinfrei



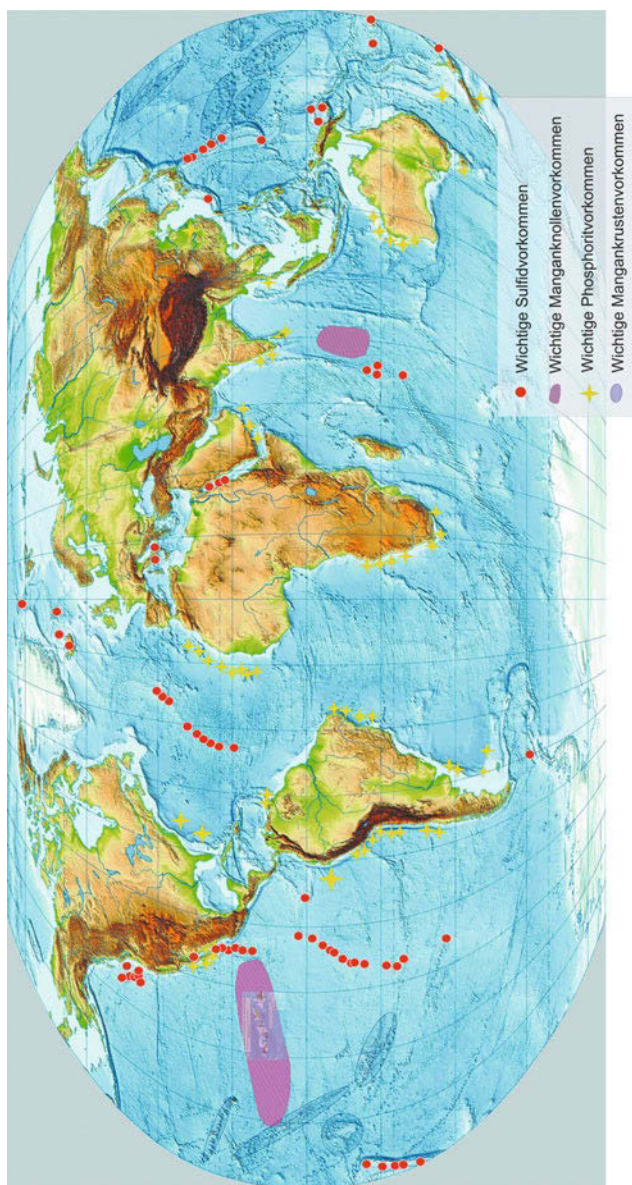
Seit fast 100 Jahren wird in der Chuquibambilla-Mine 215 km nordöstlich der chilenischen Stadt Antofagasta Kupfer gewonnen. © Till Niermann / CC BY-SA 3.0



Panoramaaufnahme des Braunkohlentagebaus Garzweiler in Nordrhein-Westfalen. © Raimond Spekking / CC-BY-SA 3.0



„Brennender Berg“: Zwischen den Orten Dudweiler und Sulzbach-Neuweiler im Saarland brennt seit mehr als 300 Jahren ein Kohleflöz. © Elya / CC BY-SA 3.0



„Schätze der Tiefsee“: Die Karte gibt einen Überblick über wichtige Vorkommen mineralischer Rohstoffe im Meer. Das deutsche Lizenzgebiet zur Erforschung von Manganknollen liegt im riesigen „Manganknollengürtel“ im Pazifik. © BGR Hannover



Nahe des Viti-Kraters am Krafla-Vulkan, Island, findet man Eisenausfällungen (rötlich), neben Schwefelausfällungen (gelblich) und Kalkausfällungen (weißlich).
© Wolfgang Sauber / CC BY-SA 3.0



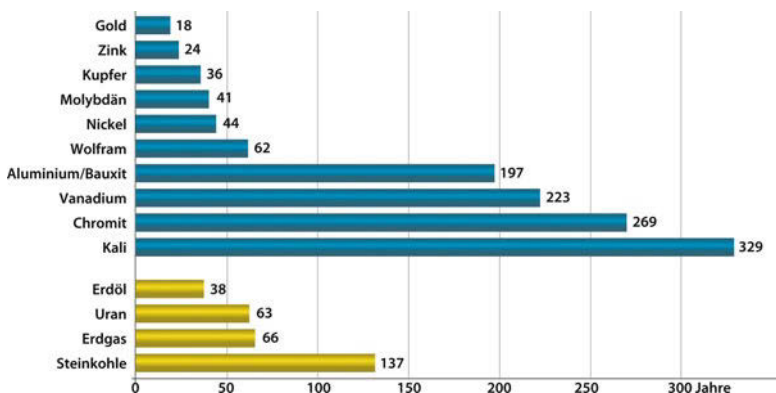
Das Gold der Twin Creeks Lagerstätte im US-Bundestaat Nevada bildete sich vor 30–42 Mio. Jahren. © Geomartin / CC BY-SA 3.0



Galenit oder Bleiglanz – hier aus dem „Tri-State District“, Jasper County (US-Bundesstaat Missouri) – gehört zu den ersten Mineralen, die von Menschen bergmännisch gewonnen wurden. © Didier Desouens / CC BY-SA 3.0



Die „Deepwater Horizon“ im Golf von Mexiko kurz nach der Explosion am 20. April 2010. Schon wenige Tage später versank die Bohrinself im Meer. Über 780 Mio. l Öl strömten damals ins Wasser und verseuchten unter anderem die US-amerikanische Golfküste. Die Folgen der Ölpest sind im Ozean und an Land noch heute zu spüren. © US Coast Guard



Wie lange reichen die Rohstoffe noch? Die Grafik zeigt die aktuellen Prognosen von Geowissenschaftlern. © MMCD, Daten unter anderem BGR



In Handys und anderem Elektroschrott befinden sich große Mengen an Rohstoffen, die in Zukunft vermehrt recycelt werden sollen. © MikroLogika / CC BY-SA 3.0

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Deutschland ist Windkraftweltmeister, die Solarenergie boomt und auch andere erneuerbare Energien machen in den letzten Jahren immer stärker als Energielieferanten von sich reden. Die heimischen Kernkraftwerke tragen – zumindest bis zum Atomausstieg – neben Braun- und Steinkohle aus deutschen Landen ebenfalls erheblich dazu bei, dass genügend Strom und Wärme vorhanden sind. Für den großen Rest der Energie jedoch, immerhin rund 60 % des Bedarfs, sind in erster Linie Erdöl oder Erdgas zuständig. Und diese Rohstoffe müssen ausnahmslos importiert werden – könnte man zumindest meinen. Doch stimmt das überhaupt?

Klar ist, dass zwei Drittel der bekannten Erdöl- und Erdgasreserven der Erde in einem Gebiet liegen, das vom Golf von Aden über das kaspische Meer und den Ural bis in den Westen Sibiriens reicht. Hier, aber auch in Nordamerika oder anderswo, sprudeln jährlich insgesamt über 3,8 Mrd. t an Erdöl – rund 6 % davon stammen aus Tiefwassergebieten – und gut 3 Brd. m³ an Erdgas (Stand 2009) an die Erdoberfläche. Bei gleich bleibendem Verbrauch, so haben die Fachleute von British Petro-

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

leum (BP) errechnet, reichen die bekannten Erdölreserven noch rund 40 Jahre, beim Erdgas sind es rund 65 Jahre. Der Höhepunkt der weltweiten Förderung von konventionellem Erdöl, der so genannte „Peak Oil“, wird aber voraussichtlich schon bis 2020 erreicht. Danach erfolgt vermutlich ein Rückgang der Produktion.

Ein nicht unerhebliches Stück vom zu verteilenden „Rohstoffkuchen“ schneidet sich Deutschland ab. Um unseren gewaltigen Energiehunger zu stillen, benötigen wir rund 110 Mio. t Erdöl und circa 110 Mrd. m³ Erdgas im Jahr. Viel mehr als wir selbst auf eigenem Terrain fördern können. Dabei sind die heimischen Quellen zumindest beim Erdgas durchaus ergiebig. Immerhin 13,6 Mrd. m³ und damit gut 12 % des Bedarfs, stammten im Jahr 2010 laut dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Niedersachsen (LBEG) aus deutschen Lagerstätten. Geradezu bescheiden wirken dagegen die rund 2,5 Mio. t Erdöl, die hierzulande 2010 gefördert wurden. Sie decken nicht einmal ein Vierzigstel des Rohölbedarfs der Republik. Schon bald werden zudem viele der „nickenden Pferdeköpfe“, hydraulische Pumpen, die beispielsweise im Emsland das Erdöl aus den Lagerstätten nach oben befördern, abgestellt. Zurzeit prägen sie dort mancherorts noch zu Hunderten das Landschaftsbild. Ein weiteres Problem nennt der LBEG-Präsident Lothar Lohff: „In der Bundesrepublik werden zwar immer noch Erdöl und Erdgas gefördert. In den vergangenen zehn Jahren wurde aber nur eine neue Lagerstätte entdeckt.“

Medizinisches Wundermittel und Wagenschmiere

Die Geschichte des Energierohstoffes Erdöl in Deutschland begann spätestens im 16. Jahrhundert. Schon damals wurde es nicht nur als universelles Schmiermittel für Wagenräder oder -achsen verwendet, sondern erstaunlicherweise auch als medizinisches Wundermittel: „Täglich drei Löffel eingenommen, ist dieses die edelste Feuchtigkeit, die hilft, wann die Nerven vertrucknet, bey heyserkeit und hundsbiß, vertreibt dieses Öl den Stein, stercket die memoriam, heylet fistelen, Teigwartzen und faulende stinckende Schäden...“, heißt es in Überlieferungen aus dieser Zeit. Die pechschwarze und klebrige Substanz stamm-

te aus zahlreichen Teerkuhlen, die beispielsweise in Niedersachsen an vielen Orten zu finden waren. Überall dort, wo das „schwarze Gold“ bis an die Erdoberfläche gelangte, erregte es das Interesse der Menschen. Mit einfachen Gefäßen fischten die ersten Ölsucher den Rohstoff aus dem Wasser und sammelten ihn in Fässern. Nach und nach sprachen sich die angeblich so erstaunlichen Fähigkeiten des Erdöls herum und es entwickelte sich ein lebhafter Handel mit dem schon damals begehrten Gut.

Lange Zeit blieben diese Teer- oder Ölkuhlen jedoch die einzige Erdöl-Quelle. Dies änderte sich erst Mitte des 19. Jahrhunderts. Georg Christian Konrad Hunaeus, ein Professor an der Polytechnischen Schule in Hannover, war es, der in den Jahren 1858 und 1859 einen Meilenstein in Sachen Erdölförderung in Deutschland setzte: Ihm gelang die vermutlich erste Erdölbohrung der Welt. Bei einem Projekt nahe Wietze in Niedersachsen, in dem es eigentlich um das Aufspüren von Braunkohle ging, stieß er mit seinen Mitarbeitern in 35 m Tiefe auf größere Mengen des wertvollen Rohstoffes. In der Folge suchte man zunächst rund um Wietze nach neuen Erdölvorkommen. Später schossen auch im Emsland, nahe Celle oder bei Hannover immer neue Fördertürme in die Höhe. Mit der Zeit entwickelten sich Ölhochburgen, die aussahen wie ein plattdeutsches Dallas. Der geförderte Rohstoff befriedigte am Anfang vor allem das Bedürfnis der Menschen nach Lampenbrennstoff, in der Folge wurde er auch für die aufstrebende Autoindustrie benötigt.

Fast zur gleichen Zeit wurde in der Nähe von Bad Bentheim erstmals auch ein Erdgasfeld entdeckt. Schuld daran war eine Ölbohrung, die wider Erwarten in größerer Tiefe auf größere Mengen an gasförmigen Kohlenwasserstoffen stieß. Dieser Zufallsfund löste eine Art „Erdgas-Rausch“ aus. Überall begann man nach dem begehrten Rohstoff zu suchen. Vor allem in Niedersachsen wurden die Techniker und Ingenieure häufig auch fündig. Zu einem El Dorado für die Erdöl- und Erdgasindustrie, soviel wurde jedoch schnell klar, würde es Deutschland nie bringen. Dazu waren die Lagerstätten auf heimischem Terrain zu selten, zu klein und zudem viel zu tief im Erdboden versteckt.

Rohstoffexperten gehen heute davon aus, dass die deutschen Vorräte sowohl beim Erdgas als auch beim Erdöl noch rund 20 Jahre halten. Während die Branche gerade bei den gasförmigen Kohlenwasserstoffen in Zukunft noch auf einige Neuentdeckungen hofft, setzt sie beim Erdöl – notgedrungen – inzwischen fast ausschließlich auf die Nordsee, denn

die Vorkommen an Land sind weitgehend ausgeschöpft. Der Siegeszug des Erdöls aus der Nordsee begann vor rund 30 Jahren, als große Energiekonzerne nur 7,5 km von der Küste entfernt inmitten des Wattenmeeres eine neue Lagerstätte entdeckten. Sie konnte von ihrer Größe her selbst international einigermaßen mithalten. Diese Schlussfolgerung ließen jedenfalls die Probebohrungen zu, die Anfang der 1980er Jahre im Bereich der Sandbank Mittelplate durchgeführt wurden. In 2.000 bis 3.000 m Tiefe fand das aus den Firmen RWE Dea und Wintershall gebildete Mittelplate-Konsortium in porösen Dogger-Sandsteinschichten tatsächlich reichlich „Schwarzes Gold“. Nach einigen Machbarkeitsstudien und weiteren Probebohrungen, die Millionen von Euro kosteten, stand fest: Mindestens 57 bis 100 Mio. t Erdöl warteten rund um die Mittelplate im Meeresboden auf ihre Erschließung.

Den Rohstoff Erdöl an der Mittelplate zu gewinnen, stellte sich jedoch aufgrund der geologischen Situation vor Ort als schwieriger heraus als zunächst gehofft. Größere Teile des Erdölfeldes ließen sich selbst vom optimalen Standort für die geplante Offshore-Bohranlage aus nicht erreichen. Neue Techniken und Ideen waren deshalb gefragt. Herausgekommen ist am Ende ein weltweit einzigartiges Konzept, das auf zwei Beinen steht: eine Förderinsel offshore und eine Station onshore, die die Lagerstätte zusätzlich vom Land aus anzapft.

Eine künstliche (Bohr-)Insel inmitten der Nordsee

Die Förderplattform Mittelplate wirkt dabei wie eine Festung in der rauen Nordsee. Sie ist inklusive Bohr- und Förderturm weit über 60 m hoch, so groß wie ein Fußballfeld und vollständig von einer Wanne aus Stahl und Beton umgeben, die keine Flüssigkeit nach außen dringen lässt. Ihre Hochseetüchtigkeit hat Deutschlands wichtigste Erdölförderstätte seit der Fertigstellung im Jahr 1987 längst unter Beweis gestellt. Selbst die schweren Frühjahrsstürme „Vivian“, „Wiebke“ oder „Kyrill“, die zu Beginn der 1990er Jahre und im Jahr 2007 in Deutschland eine Spur der Verwüstung hinterließen, konnten ihr nichts anhaben. Auch gegen Eis ist die Insel nach Angaben der Betreiber „resistent“. Mehrere tausend Tonnen Rohöl täglich fördert die Mittelplate

seit dem Ende der Pilotphase im Jahr 1991 aus der Tiefe nach oben. Sie wurden von unerwünschten Nebenprodukten wie Erdölgas oder Lagerstättenwasser befreit und anschließend mit Spezialschiffen zur Weiterverarbeitung in den Hafen Brunsbüttel gebracht – zumindest bis zum Jahr 2005. Denn seitdem ist die 10 km lange Pipeline fertig, die von der Plattform durch das Watt nach Friedrichskoog führt und weiter bis Dieksand.

Zahlreiche Bohrungen, die von einem speziellen Bohrkeller der Mittelplate aus in den Meeresboden getrieben wurden, greifen heute auf die rund 2.000 bis 3.000 m tief liegende Erdöllagerstätte zu und zapfen sie an. „Wir haben im Bereich der Bohr- und Förderinsel Mittelplate 44 Slots, die sich auf dem Boden des Bohrkellers befinden. Durch diese Schächte, die oben zunächst mit Metalldeckeln verschlossen sind, können die Bohrungen ‚abgeteuft‘ werden“, erläutert RWE Dea-Presse Sprecher Derek Mösche. Die dort ankommenden Förderrohre sind an der Oberfläche mit Sicherheitsabsperrventilen gesichert, die sich bei Druckabfall automatisch schließen. Doch das Öl sprudelt nicht nur hier inmitten des Nationalparks Wattenmeer an die Erdoberfläche, sondern seit dem Jahr 2000 auch in der Landstation Dieksand. Dort befindet sich nicht nur die Aufbereitungsanlage für flüssige Kohlenwasserstoffe, sondern von hier aus wird auch über sieben Bohrungen Öl direkt aus dem Feld Mittelplate gefördert. Doch wie kann man eine Lagerstätte anzapfen, die nicht nur 2 km tief in der Erde liegt, sondern auch horizontal rund 8 km entfernt ist? Ganz einfach: Man muss um die Ecke bohren. Die relativ neue Horizontalbohrtechnik macht's möglich. Dabei kämpft sich das Bohrteam mit dem technischen Gerät zunächst einige hundert bis tausend Meter tief vertikal in den Untergrund hinein, bevor man sich nach einem sanften Bogen horizontal dem Ziel nähert. Solche abgelenkten Bohrungen erreichen von Dieksand aus eine Länge von bis zu 9.275 m. Die Bohrungen sorgen dafür, dass auch die östlichen Teile des Ölfeldes, die von der Offshore-Bohrplattform aus nicht zugänglich sind, geleert werden.

Der Clou an der Technik ist eine Art „Pfadfinder“, ein Messgerät, das während des Bohrvorgangs mithilfe von empfindlichen Sensoren das Gestein untersucht und den Bohrmeißel zielsicher steuert. Der Bohrkopf selber ist so ausgelegt, dass er allen Anweisungen des Pfadfinders folgen kann, egal ob er sich nun geradeaus vorarbeiten oder

einen Bogen beschreiben soll. Auch auf der Förderinsel Mittelplate kommt diese Technik mittlerweile seit einigen Jahren zum Einsatz. Denn noch immer sind von dort aus längst nicht alle Bereiche des Ölfeldes nutzbar. Insgesamt gewannen die beteiligten Erdölfirmer 2010 in der Nordsee rund 1,4 Mio. t Erdöl – deutlich mehr als die Hälfte der gesamten deutschen Erdölförderung. Insgesamt waren es in den letzten 20 Jahren sogar 25 Mio. t. Zwar hat das Mittelplate-Projekt bereits hunderte Millionen Euro gekostet, doch bei einem geschätzten Wert des Ölfeldes von mehreren Milliarden Euro hat sich dies längst als eine gut überlegte Investition erwiesen.

Gefahr für die Natur? Erdölförderung im Nationalpark Wattenmeer

Wirtschaftlich ist die Erdölförderung im Wattenmeer zumindest für den Betreiber demnach risikolos, wie aber sieht es mit möglichen Umweltgefahren durch die Mittelplate aus? In Deutschland wachen Umwelt- und Naturschutzorganisationen wie Greenpeace, NABU oder WWF mit Argusaugen darüber, ob Industrie- oder Rohstoffprojekte für Schäden in der Natur sorgen können oder ob bei laufenden Vorhaben alle Umweltauflagen durch die beteiligten Konsortien eingehalten werden. RWE Dea und andere Firmen haben sich deshalb Begriffe wie Nachhaltigkeit oder Umweltverträglichkeit auf die Fahne geschrieben und werden nicht müde, diese im Zusammenhang mit der Suche nach Rohstoffen immer wieder zu betonen. Und einiges ist wohl auch dran an den Argumenten der Erdöl- und Erdgasindustrie. Zum Beispiel bei der künstlichen Förderinsel Mittelplate im Wattenmeer: Um das fragile Ökosystem so gut wie möglich vor Verunreinigungen durch das „schwarze Gold“ zu schützen, hat man die Anlage fast vollständig von der Umgebung abgeschottet. So kann beispielsweise keinerlei Flüssigkeit unkontrolliert aus der künstlichen Insel nach außen gelangen, nicht einmal Regenwasser. Auch sonst hat das Betreiber-Konsortium zumindest nach eigenen Angaben alles nur Erdenkliche zum Schutz der Umwelt getan.

Für das Abwasser der Förderinsel steht eine Kläranlage zur Verfügung. Trotzdem wird das gereinigte Wasser gesammelt und zusammen mit den Abfällen an Land entsorgt. So genanntes Lagerstättenwasser aus der Erdölförderung recycelt man und injiziert es in Form eines geschlossenen Kreislaufs wieder in das Ölfeld. Mit dem Öl nach oben gelangtes Gas nutzen die Betreiber der Mittelplate, um Energie zu erzeugen. Überschüssiger Strom aus den Gasturbinen soll in Zukunft über ein Kabel an Land in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Doch trotz aller Vorsichtsmaßnahmen bleibt immer ein erhebliches Restrisiko, wenn Erdöl im Spiel ist. Dies haben nicht zuletzt die verheerende Ölpest im Golf von Mexiko nach der Explosion der Bohrplattform „Deepwater Horizon“ 2010 und Tankerunfälle wie bei der Exxon Valdez oder der Prestige gezeigt. Und auch andere Beeinträchtigungen der Natur – etwa im Jahr 2005 durch die Verlegung der Ölpipeline im Wattenmeerboden – lassen sich nicht vermeiden. Unabhängige geomorphologische Untersuchungen und ein Biomonitoring haben aber gezeigt, dass sich die Schäden in der Natur durch den Bau und den Betrieb der Bohrplattform in Grenzen halten. Fischfauna und Vogelwelt, so scheint es, haben sich an die Mittelplate gewöhnt.

Für Aufsehen gesorgt hat zuletzt jedoch im Januar 2011 ein neues Planfeststellungsverfahren, in dem es um die Genehmigung weiterer Baumaßnahmen im Bereich der Mittelplate geht. Der so genannte Kolksschutz – ein Bollwerk aus Steinen und Mörtel, das die Bohr- und Förderinsel vollständig einfasst – soll verbessert werden. Ziel ist es, die Unterspülung der Mittelplate durch den Priel Trischenflinge zu verhindern, der in den letzten Jahren immer näher an die Ölanlage herangewandert ist. „Ein Priel, der seinen Lauf verändert, ist ein normaler Vorgang in der dynamischen Natur des Wattenmeeres. Dass ein so alltägliches Ereignis die angeblich sichere Plattform bedroht, macht die Gefährlichkeit der Ölförderung im Nationalpark deutlich“, sagte dazu Silvia Gaus, Naturschutzexpertin bei der Schutzstation Wattenmeer. „Die Öl-Insel hat im Nationalpark nichts zu suchen. Sie ist eine ständige Gefahr und ihr Betrieb erfordert laufend weitere Eingriffe. RWE Dea verbaut das Watt einfach und fragt erst später nach der erforderlichen Genehmigung. Kein Häuschenbauer kann sich so etwas ungestraft erlauben“, so Hans-Ulrich Rösner, Leiter des WWF-Watten-

meerbüros. Mit einer Entscheidung pro oder contra Kolkschutz wird noch im Jahr 2011 gerechnet.

Erdgas-Euphorie im „Entenschnabel“

Ähnlich wichtig wie für die Erdölförderung ist die Nordsee auch in Sachen Erdgas. Zu einem Meilenstein bei der Förderung wurde dabei der 19. September 2000. Rund 300 km nordwestlich von Borkum in der Nordsee nahm damals eine neue Erdgas-Förderplattform im so genannten „Entenschnabel“, dem äußersten Zipfel des deutschen Wirtschaftsraumes, seine Arbeit auf – Deutschlands erstes und bis heute einziges Offshore-Erdgas-Projekt in internationalen Gewässern. Gerade mal 18 Monate waren vergangen, seit hier ein ganzes Heer von Architekten, Technikern und Bauarbeitern mit dem Bau des Megaprojektes begonnen hatte. Dann jedoch war die Bohrplattform, die das ergiebige Erdgasfeld A6/B4 ausbeutet, im Meeresboden des Festlandssockels der Nordsee fest verankert. Und auch die Gaspipeline nach Den Helder in den Niederlanden, von wo aus das Erdgas weiter verteilt wird, gab es längst.

Die Erdgasplattform wiegt mit Bohrturm, Unterkünften und Helikopterlandeplatz erstaunliche 4.500 t und fördert jährlich bis zu 1,2 Mrd. m³ Gas aus der Lagerstätte A6/B4 im Meeresboden – rund 10 % der deutschen Erdgasproduktion. Verantwortlich für das Projekt: Das Deutsche Nordsee-Konsortium, an dem unter anderem die Wintershall AG und die BEB Erdgas und Erdöl GmbH beteiligt sind. 48 m tief ist das Wasser, in dem die Plattform steht. Noch viel tiefer, 2.600 m unter der Nordsee, warten insgesamt 13,5 Mrd. m³ Erdgas unter großem Druck im porösen Speichergestein auf die Ausbeutung. Die Rohstoffexperten haben mit mehreren Bohrungen von 3.800 m Länge den unterirdischen Speicher angezapft. Rund 1.000 m der Bohrstrecke führen dabei horizontal mitten durch die Lagerstätte hindurch, um die maximal mögliche Förderrate zu erreichen. Etwa drei Viertel des vorhandenen Gases, in der Regel Methan, strömen im Laufe der Zeit allein durch den enormen Druck in der Tiefe über die Förderleitungen an die Erdoberfläche. Sinkt dieser im Erdgasfeld nach einigen Jahren ab, müssen die beteiligten Erdgasfirmen künstlich nachhelfen. Mithilfe von weiteren Bohrungen

werden dann neue Bereiche des gewaltigen Erdgasfeldes erschlossen. Vielleicht jedoch werden die Techniker und Ingenieure bis zum geplanten Ende der Förderung im Jahr 2016 sogar neue Fließwege für das Gas schaffen. Mithilfe des so genannten (Multi-)Frac-Verfahrens pressen sie dazu eine Flüssigkeit, die mit Spezialsand versehen ist, tief in den Untergrund. Auf diese Weise sprengen sie bis zu 100 m lange Risse ins Gestein, damit das Gas leichter fließen kann. Das geförderte Gas wird in einer Aufbereitungsanlage zunächst getrocknet und vom mitgeführten Lagerstättenwasser befreit. Hier eliminiert man aber auch unbrauchbare Beiprodukte wie Schwefel, Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid, bevor die Verteilung des jetzt reinen Erdgases, in der Regel Methan, an die Verbraucher beginnt.

Doch nicht nur in der Nordsee läuft die Suche nach Erdgas in Deutschland auf vollen Touren, auch an Land haben die Experten immer wieder Erfolg gehabt. Das Mekka der Erdgasförderung ist seit jeher Norddeutschland und vor allem Niedersachsen. Mehr als 90 % der deutschen Produktion von 13,6 Mrd. m³ strömen hier kontrolliert durch Fördertürme an die Erdoberfläche und später in das heimische Pipeline-Netz. In Niedersachsen befinden sich zudem rund 98 % der deutschen Erdgas-Reserven. Das in Hochdruckpipelines durch Deutschland rasende Methan ist von Natur aus geruchlos. Erst die Stadtwerke versehen es später mit dem typischen „Parfüm“, der Substanz Tetrahydrothiopen, die für den leicht erkennbaren typischen Gasgeruch sorgt.

„Air guns“, 3D-Seismik und virtuelle Reisen in die Tiefe ...

Bis zu 100 Mio. t Erdöl lagerten zu Beginn der Förderung unter der ehemaligen Sandbank Mittelplate in der Nordsee, 13,5 Mrd. m³ Erdgas sind es im Erdgasfeld A6/B4 – mindestens. Doch mit welcher Technik spüren Wissenschaftler solche massiven Vorkommen an Kohlenwasserstoffen auf, die zum Teil Tausende von Metern tief versteckt im Bodenschlummern? Die Suche nach den kostbaren Bodenschätzen gleicht auch im 21. Jahrhundert noch einer Detektivarbeit. Am Anfang steht eine Art Verdacht, den Wissenschaftler nach der Untersuchung der

Geologie des Untergrunds äußern. Erhärtet wird diese meist noch relativ vage Prognose durch die 3D-Seismik – einem Verfahren, das auf der Analyse des Erdinneren mithilfe von Schallwellen beruht. Die Methode wurde zu Beginn der 1990er Jahre entwickelt und ermittelt die geologische Struktur der potenziellen Lagerstätte. Um die notwendigen Schallwellen zu erzeugen, setzen die Fachleute an Land gezielte Sprengungen oder spezielle Fahrzeuge, so genannte „Vibro Trucks“, ein. Auf dem Meer sind es Schiffe mit einer „Air gun“ im Schlepptau, die pulsierend komprimierte Luft Richtung Meeresboden schicken. Die so produzierten Schallwellen wandern durch den Boden und werden je nach Dichte der Schichten und der Beschaffenheit des Gesteins unterschiedlich reflektiert. An der Erdoberfläche erlauschen empfindliche Sensoren von so genannten Geophonen die zurückkommenden Signale und ermitteln die Zeit, die die Schallwellen für ihren Weg durch den Untergrund benötigt haben. „Das Besondere an der 3D-Seismik im Vergleich zu ähnlich arbeitenden früheren 2D-Techniken ist, dass man eine hohe Anzahl an Messpunkten hat, die später im Computer gemeinsam ausgewertet werden. Auf diese Weise wird eine 3D-Darstellung erzeugt, die dann bei der Interpretation sehr viel mehr Möglichkeiten bietet“, erläutert Peter Gerling, Rohstoffexperte bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover. Die Analyse der so gewonnenen Daten ist Sache von Geowissenschaftlern und Ingenieuren. Mit speziell dafür entwickelten Computerprogrammen deuten und bewerten sie das Rohmaterial und gewinnen so ein detailliertes Bild von der Situation im Untergrund. Die 3D-Seismik liefert beispielsweise Aufschluss darüber, wie wahrscheinlich und wie mächtig eine Lagerstätte im Untergrund ist oder ob in unmittelbarer Nähe vielleicht noch weitere ergiebige Vorkommen existieren könnten.

Auch aufwändige Computersimulationen helfen den Forschern und Technikern dabei, mögliche Lagerstätten zu entdecken und einzugrenzen. Sie rekonstruieren die Geschichte der Lagerstätte über zum Teil mehrere hundert Millionen Jahre. Manchmal können die Teams anhand dieses Blicks in die Vergangenheit sogar bereits die chemischen Details der potentiellen unterirdischen Öl- oder Gasfelder prognostizieren. Mithilfe von 3D-Brillen reisen die Experten dabei „virtuell zu den aussichtsreichen Lagerstätten in tausenden Metern Tiefe. Selbst die entlegenen Vorkommen können hier simuliert und in ihrer räumlichen

Ausdehnung begutachtet werden“, wie die Wintershall AG berichtet. Was sich wie Science-Fiction oder spektakuläres Hollywood-Kino anhört, ist im 3D-Raum in Kassel längst Realität. Hier entwickeln die Forscher auf diese Weise unter anderem Pläne für neue Bohrungen.

All diese Untersuchungen liefern zwar eindeutige Indizien, aber fehlerfrei sind auch diese nicht. Die Gewissheit, dass sich im Untergrund eine lukrative Lagerstätte befindet, bringt letztlich nur eine Probebohrung. Doch diese ist aufwändig und teuer und die Erdöl- und Erdgasfirmen überlegen es sich zweimal, bevor sie ein solches Unterfangen in Angriff nehmen. Trotzdem haben die heimischen „Rohstoffbarone“ nicht immer so viel Glück wie beim Erdgasfeld A6/B4 oder der Mittelplate. In durchschnittlich zwei von drei Fällen ziehen sie bei der Bohrung nach Erdöl und Erdgas auch heute noch eine Niete. So geschehen am Erdgasbohrplatz Rheiderland westlich von Bunderhee im Landkreis Leer. Mit großem Aufwand hatte man dort im September 2003 einen Bohrturm errichtet, weil Geologen in Gesteinsschichten von mehr als 3.800 m Tiefe ein viel versprechendes Erdgasvorkommen vermuteten. Eine Probebohrung und die anschließende Analyse der Bohrkerne brachte jedoch ein deprimierendes Ergebnis: Keine Rohstoffe weit und breit. Der daraus resultierende Verlust für die beteiligten Firmen belief sich auf bis zu 10 Mio. €.

Unterirdische Supertanks als Erdgasspeicher

Der Erdgasbedarf in Deutschland schwankt innerhalb eines Jahres fast so stark wie die Fieberkurve eines Malaria-Patienten. Im Winter beispielsweise laufen aufgrund der kalten Temperaturen die Heizungen in vielen Haushalten nahezu rund um die Uhr und sorgen so für Rekordwerte beim Gasverbrauch. Im Sommer dagegen herrscht normalerweise Flaute auf dem Gasmarkt, die Nachfrage ist gering. Doch wie schaffen es die Gasproduzenten, immer genügend von dem fossilen Brennstoff parat zu haben? Schließlich kann man die Erdgasfelder nicht einfach von April bis Oktober dicht machen und für den Rest des Jahres oder bei hohem Gasbedarf auf Zuruf mit doppelter Leistung ausbeuten. Was also sorgt für die von Politikern gern und vielgepriesene Versorgungs-

sicherheit in Sachen Erdgas? „Horten für die kalte Jahreszeit“ lautet das Motto, das in der Natur allgegenwärtig ist. Und so wie beispielsweise Eichhörnchen unterirdische Vorratskammern für den Winter anlegen, so tun dies auch die Erdgaslieferanten.

Dabei wird ein erheblicher Aufwand betrieben. Bereits ausgebeutete frühere Erdgas- oder Erdöllagerstätten oder ehemals Wasser führende Schichten, so genannte Aquifere, sind es, die nach der notwendigen technischen Vorbereitung zumeist im Sommer mit dem überschüssigen Gas vollgepumpt werden. Die Konzerne scheuen aber auch nicht davor zurück, mit Wasser riesige Löcher in unterirdische Salzstöcke zu spülen und diese anschließend mit reinem Erdgas zu füllen. Der größte natürliche Erdgas-„Supertank“ befindet sich nahe der idyllischen Moorlandschaft Rehden in Niedersachsen. Er erstreckt sich unterirdisch über eine Fläche von acht Quadratkilometern. Erstaunliche 4 Mrd. m³ Erdgas fasst dieser Speicher in rund 2.000 m Tiefe, der in Zeiten hohen Angebots und geringem Bedarfs über zahlreiche Bohrlöcher pausenlos befüllt wird. Zum Vergleich: Die Gasmenge reicht aus, um 2 Mio. Einfamilienhäuser ein Jahr lang mit Gas zu versorgen.

Die Füllung des unterirdischen Mammutspeichers ist aber nicht so einfach wie es sich anhört. So müssen die Techniker und Ingenieure bei der Einlagerung beispielsweise den enormen Druck überwinden, der in mehreren tausend Metern Tiefe herrscht. Das Gas wird deshalb mithilfe von Spezialgerät zunächst verdichtet und erst dann mühsam in den Speicher injiziert. Und auch die Situation im Vorratslager wird peinlich genau überwacht: „Zur Steuerung der Gasqualitäten und zur optimalen Nutzung des Arbeitsgasvolumens wird ein Lagerstättensimulationsmodell verwendet, das die jeweils aktuelle Drucksituation in jedem Bereich des Speicherhorizontes darstellt“, beschreibt Bernhard Schmidt von der Wintershall AG die Vorgehensweise.

Doch Rehden ist kein Einzelfall. Mehrere Dutzend weitere unterirdische Erdgaslager gibt es, um „das Angebot den Verbrauchsschwankungen flexibel anzupassen“, wie der Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung betont. Einige zusätzliche sind unter deutschen Äckern, Feldern und Wiesen gerade im Bau. Wie nötig diese Erdgasspeicherung ist, zeigt ein Blick in die aktuellen Statistiken des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb). Wie die Rohstoffexperten berichten, mussten die Vorratslager beispielsweise vor rund 15 Jahren

im eiskalten Winter 1995/96 fast vollständig entleert werden, um die enorme Nachfrage zu decken. Wohl auch aus dieser Erfahrung heraus hat die Branche die Speicherkapazität für Erdgas noch einmal um mehr als ein Drittel auf heute 21,3 Mrd. m³ gesteigert. Demnach wird deutlich mehr Erdgas ständig eingelagert, um Engpässe bei der Versorgung der Verbraucher zu verhindern, als man Jahr für Jahr mühsam dem Untergrund abringt. Doch damit nicht genug: Um 11,3 Mrd. m³ soll das Speichervolumen in den nächsten Jahren noch einmal erhöht werden, so das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in seinem Bericht „Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2010“. „Mit dem Ausbau der Speicherkapazitäten will die Industrie flexibler auf neue Marktentwicklungen und potenzielle Abhängigkeiten reagieren“, so LBEG-Chef Lothar Lohff.

Zwischenlager sind aber nicht nur beim Erdgas gefragt, auch beim Rohöl oder bei Mineralölprodukten ist Vorratshaltung an oder tief unter der Erdoberfläche längst Realität. Nach dem so genannten „Erdölbevorratungs-Gesetz“ lagern in den zahlreichen Depots für Benzin oder Schweröle bundesweit Reserven, die für rund 90 Tage reichen. Zum Vergleich: Die in Deutschland eingelagerten Lebensmittelvorräte reichen gerade mal für knapp 14 Tage. Vor allem die unterirdischen Speicher sowohl für Erdgas als auch für Erdöl haben neben ihrer gewaltigen Größe noch weitere Vorteile: Sie sind sicherer als Tanks an der Erdoberfläche, aus der Luft nicht so leicht zu entdecken und können deshalb an „strategisch“ wichtigen Orten in Deutschland eingerichtet werden – wenn es denn die geologische Situation im Untergrund zulässt. Ausgelöst wurde das Sammelverhalten der Erdöl- und Erdgas-konzerne allerdings nicht durch eigene Einsicht oder vorausschauende Planung der Politiker. Erst nachdem Teile der erdölexportierenden Länder 1973 Deutschland und dem Rest der Welt den Ölhahn zudrehen und für Aufregung unter Autofahrern und Politikern sorgten, ist die Speicherung Normalität geworden. Wie wichtig diese Strategie ist, zeigte sich beispielsweise im Jahr 2005. Damals zerstörte der Hurrikan „Katrina“ zahlreiche Ölbohrinseln im Golf von Mexiko, monatelang musste sogar die komplette dortige Ölproduktion eingestellt werden. Folge: Stark steigende Ölpreise. In Deutschland wurden daraufhin zur Entspannung der Lage 450.000 m³ aus der strategischen Ölreserve freigegeben.

Als Deutschland noch am Äquator lag: wie Erdöl und Erdgas entstanden ...

Erdöl und Erdgas sind heute aus unserem alltäglichen Leben kaum mehr wegzudenken. Denn sie liefern nicht nur Strom und Wärme, sondern werden auch für die Erzeugung der verschiedensten Produkte benötigt. Kunststoffe gehören genauso dazu wie viele Lösungsmittel und andere Chemikalien. Aber auch bei der Herstellung von Kosmetika – etwa Seifen, Parfüms oder Lippenstifte – kommen sie zum Einsatz. Doch was ist das Besondere an diesen Alleskönnern unter den Rohstoffen? Und wie und wann sind sie im Laufe der Erdgeschichte entstanden? Drei Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit sich Erdöl oder Erdgas bilden können: Zunächst eine Schicht aus totem organischen Material, die aufgrund von Sauerstoffmangel nicht verwesen kann, dann hohe Temperaturen und Zeit, viel Zeit:

Deutschland vor rund 300 Mio. Jahren, im Zeitalter des Karbons. Zusammen mit großen Teilen des heutigen Europas und Nordamerikas liegt unsere Heimat in tropischen Gefilden nahe des Äquators. Nicht nur heiß und feucht ist es hier, auch die Vegetation zeigt sich üppig. Pflanzen und Bäume haben zum Teil gigantische Ausmaße angenommen. In den riesigen Sumpfgebieten sammeln sich mit der Zeit große Mengen an abgestorbenen Landpflanzen an, die wegen akuten Sauerstoffmangels oft nicht verwesen. Nach und nach bilden sich daraus gewaltige Torfschichten. Circa 100 Mio. Jahre später im Jura – die Landmassen sind mittlerweile um Einiges nach Norden gewandert – hat sich die Situation vollkommen verändert. Nichts ist mehr zu sehen von den riesigen Wäldern, Europa ist vollständig von Wasser bedeckt. Im Urmeer wimmelt es von Lebewesen wie Ammoniten, Schnecken oder Algen. Vor allem große Mengen an Plankton sammeln sich nach dem Tod am Meeresboden in etwa 200 bis 1.000 m Tiefe an. Sauerstoff ist hier äußerst knapp, so dass sich große Teile des toten organischen Materials nicht zersetzen und erhalten bleiben ...

Soweit das Szenario, das Geowissenschaftler und Biologen für diese Epochen der Erdgeschichte entworfen haben. Damit aus dem Faulschlamm des Jura oder den Torfschichten des Karbons jedoch flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe entstehen konnten, mussten sich

die Meeresfriedhöfe und Moore zunächst für Jahrmillionen einer „Hitzekur“ unterziehen. Denn Erdöl bildet sich immer dann, so haben Forscher herausgefunden, wenn sich das abgestorbene organische Material in 2.000 bis 4.000 m Tiefe befindet und dort Temperaturen von etwa 65 bis 120 °C ausgesetzt ist. Für die Erdgasentstehung dagegen sind noch extremere Bedingungen erforderlich: Erst bei 120 °C bis 180 °C und 4.000 bis 6.000 m Tiefe sind die optimalen Voraussetzungen vorhanden. Doch wie gelangen die Schichten mit dem organischen Material so tief in den Erdboden? Verantwortlich dafür waren damals beispielsweise Sedimente, die sich im Laufe der Jahrmillionen immer wieder in Schichten oberhalb ablagerten und den Faulschlamm oder die Pflanzenteile wie ein riesiges, mehrere hundert Meter dickes Leichentuch überdeckten. Die Erdkruste ist zudem ständig in Bewegung: Sie hebt und senkt sich, verschiebt sich oder bricht. Dadurch sanken immer wieder Schichten mit den Überresten der Lebewesen in einem geologischen „Fahrstuhl“ in den Untergrund.

Mit jedem Meter tiefer stiegen dabei die Temperaturen weiter an und alles was von den ehemaligen Meeresfriedhöfen und Sümpfen bis dahin noch übrig geblieben war, wurde langsam „gekocht“. Nach einigen chemischen Umwandlungsprozessen blieben schließlich bestimmte Kohlenwasserstoff-Verbindungen übrig. Aus den ehemaligen Landpflanzen entstanden zunächst Braun- und Steinkohle und daraus dann Erdgas, aus dem Faulschlamm der Meere wurde Erdöl. Schon kurz nach der Bildung wanderten die flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffe aufgrund des enormen Drucks von ihrem jeweiligen Ursprungsort aus wieder nach oben. In Poren und Rissen suchten sie sich ihren Weg Richtung Erdoberfläche bis sie eine dichte Deckschicht aus Ton oder Steinsalz aufhielt. Hatte dieser gewaltige „Deckel“ eine Ausbuchtung nach oben, saßen die Rohstoffe fest. Sie sammelten sich mit der Zeit in den Poren des Gesteins und bildeten größere Lagerstätten. Die heute zum Teil gewaltigen Depots beispielsweise in Sandstein- oder Kalksteinschichten gleichen dabei weniger einem flüssigen Ozean als einem tropfnassen Schwamm, nur dass die Zwischenräume im Geflecht statt mit Wasser mit Erdöl oder Erdgas belegt sind.

Professor Martin Langer

Zusammenfassung

Weltweit erleben Autofahrer im Moment fast jeden Tag ihr blaues Wunder: Die Spritpreise an den Tankstellen steigen immer weiter – ein Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht. Neben dem nahezu unstillbaren Energiehunger der rapide wachsenden Weltbevölkerung, Spekulationen von Hedgefonds oder Förderbeschränkungen der OPEC sind vor allem die schwindenden Erdölreserven dafür verantwortlich, dass die fossilen Kohlenwasserstoffe regelmäßig teurer werden. Um bisher unbekannten Lagerstätten auf die Spur zu kommen, setzen Bonner Mikropaläontologen sehr effiziente Untersuchungsmethoden ein. Dabei kommen auch kleinste Mikrofossilien zum Einsatz, die sich als wahre Spürnasen für Erdöl und Erdgas erweisen.

Seit etwa zwei Milliarden Jahren bevölkern winzig kleine Organismen wie Acritarchen, Foraminiferen, Dinoflagellaten und Conodonten in großer Zahl das Wasser der Weltmeere. Zu bestimmten Zeiten der Erdgeschichte haben ihre Skelette und Schalen umfangreiche Schichten im Sediment gebildet, die als so genannte poröse Speichergesteine ideale

Martin Langer (✉)

Steinmann Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Universität Bonn,
Nussallee 8, 53115 Bonn, Deutschland
e-mail: martin.langer@uni-bonn.de

Lagerstätten für Erdöl und Erdgas darstellen. Vergleichbare Massenablagerungen findet man aber auch heute noch an zahlreichen tropischen Stränden. Sie präsentieren sich unter dem Mikroskop als wahrhaft „lebende Sande“ aus Schalen und Skeletten von Einzellern. Im Laufe der Evolution haben diese Urtierchen eine enorme Formen- und Artenvielfalt entwickelt. Sie werden von Mikropaläontologen heute als Marker genutzt, um die Abfolge von Gesteinsschichten mit höchster Präzision zeitlich zu datieren. „Diese Technik nennt sich Biostratigraphie und kann das Alter der Sedimente bis auf eine Million Jahre genau bestimmen“, erläutert Professor Martin Langer vom Steinmann Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie der Universität Bonn. Die Methode wird bereits seit mehr als 100 Jahren erfolgreich angewandt und Mikropaläontologen gehörten daher lange Zeit auch zur Standardbesetzung jeder Erdölfirma.

Doch in den 1980er Jahren änderte sich das Bild. Damals wurde die Seismik, eine Art Untergrundtomographie der Erdschichten, als Standardmethode in der Erdölindustrie etabliert. Die Konzerne waren von den seismischen Bildern so begeistert, dass sie glaubten, damit alle Explorationsprobleme lösen zu können. Die industrielle Mikropaläontologie wurde durch diese Entwicklung dagegen beinahe zum Aussterben verurteilt. Die Seismik leistete den Geologen und Bergbauingenieuren in der Folge tatsächlich gute Dienste. Mittlerweile sind nahezu alle besonders großen Erdölfelder der Erde bekannt oder werden sogar bereits ausgebeutet.

Die Suche nach neuen Lagerstätten konzentriert sich deshalb auf kleinere und fragmentierte Felder, deren Mächtigkeit oft nur wenige zehn Meter beträgt. Und auch die Muttergesteine, die Ausgangsgesteine des Erdöls, dieser Lagerstätten sind häufig nicht dicker als wenige Meter. „Lagerstätten dieser Größe werden von der Seismik aber nicht erfasst und übersehen. Ihr vertikales Auflösungsvermögen zur Unterscheidung verschiedener Gesteinsschichten erreicht nur circa 50 beziehungsweise 100 m. Die Methode ist einfach zu ungenau“, erläutert Langer. Ganz anders die Mikropaläontologie: Sie liefert mittels präziser Biostratigraphie eine vertikale Auflösung von etwa einem Meter. Dies erlaubt eine zielgenaue Steuerung von vertikalen und horizontalen Bohrungen und eine ökonomische Exploration der gesamten Erdgas- oder Erdölquelle.

Doch wie kommen die Forscher an das dafür notwendige Wissen? Bei jeder Bohrung werden Mikrofossilien mit dem zerkleinerten Gestein nach oben gespült. Sie geben den Mikropaläontologen Auskunft über das genaue Alter der Gesteinsschichten und über Lage und Größe der möglichen Lagerstätte. Darüber hinaus liefern die Farben der Mikrofossilien Informationen über die thermale Reife des Gesteins. Mit ihrer Hilfe können Experten wie Langer aber auch erkennen, ob sich im Untergrund überhaupt Erdöl oder Erdgas befindet – und wenn ja, welche Qualität es hat. Die hohe Präzision der Mikropaläontologie beruht dabei auf der exakten Interpretation der Funde, anhand kleinster Strukturen der Mikrofossilien. Erdölfirmen haben deshalb längst wieder erkannt, dass Mikropaläontologen die Erfolgsquote und Ausbeutung von Lagerstätten wesentlich verbessern können. „Mikrofossilforscher mit ihrem Wissen über Foraminiferen, Nanoplankton, Conodonten oder Dinoflagellaten, sind deshalb heute wieder gefragte Spezialisten. Das Fach erlebt eine einzigartige Renaissance“, sagt Langer.

„Deepwater Horizon“: eine Ölkatastrophe als Zeugnis technischer Ohnmacht

7

Nadja Podbregar

Zusammenfassung

Am 20. April 2010 begann mit einer Explosion auf der Bohrinself „Deepwater Horizon“ im Golf von Mexiko eine der größten Umweltkatastrophen der Neuzeit. Mehr als 780 Mio. l Öl strömten aus gebohrten Förderrohren ins Meer und verseuchten weite Teile des Meeres und der US-amerikanischen Golfküste. Der monatelang andauernde Kampf gegen das ausströmende Öl und die dabei zutage tretende technische und logistische Hilflosigkeit des verantwortlichen Ölkonzerns British Petroleum (BP) enthüllten auf drastische Weise, dass zwar die Explorations- und Produktionstechnologien der Ölindustrie für Tiefseebohrungen heute sehr weit entwickelt sind, nicht aber die entsprechenden Routinen und technischen Lösungen für den Havariefall. Doch wie konnte es zu dem Unglück kommen? Ein Blick zurück.

Die Katastrophe beginnt bereits Wochen vor dem 20. April: Im Golf von Mexiko, 84 km südöstlich der Küste von Louisiana, führt BP eine Erkundungsbohrung in das Macondo-Ölfeld durch. Die in 1.500 m tiefem Wasser liegende Bohrplattform „Deepwater Horizon“ stößt

Nadja Podbregar (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

dabei zwar auf ein reiches Erdölvorkommen, doch die Bedingungen für eine Förderung sind extrem kritisch. Rund 4.000m unter dem Meeresboden existiert eine Zone starken Überdrucks, die mehrfach die stabilisierende Schwerspülung wegdrückt. BP hat zwei Möglichkeiten: die Bohrung wieder versiegeln und aufgeben, oder trotzdem fördern. Der Konzern entscheidet sich für Letzteres. Am 20. April wird die vorläufige Förderleitung im Bohrloch platziert, doch wieder gibt es Probleme mit dem Überdruck. Mehrere Stunden kämpfen die Ölarbeiter gegen den sich kontinuierlich aufbauenden Druck in der Bohrung an – vergeblich. Schließlich brechen Öl und Gas mit so hohem Druck aus der Lagerstätte aus, dass sie die Schwerspülung endgültig hochdrücken. Der „Blow-Out-Preventer“, ein eigens zur Verhinderung solcher Vorkommnisse auf dem Bohrloch aufsitzender Ventilkopf, versagt. Das Öl kann ungehindert aufsteigen und erreicht nach eineinhalb Minuten das Bohrschiff. Eine 70 m hohe Fontäne aus Wasser, Öl und Schlamm schießt in die Höhe. Auch Erdgas tritt aus. Öl und Gas lösen schon 15 s später eine Explosion aus und setzen die gesamte Anlage in Brand.

Die Explosion und das Versagen des Blow-Out-Preventers führen zum GAU: Innerhalb weniger Tage wächst der Ölfleck von gut zehn Quadratkilometern um die Unglücksstelle herum zu einem riesigen Ölteppich von rund 10.000 km² Fläche an. Nahezu ungehindert sprudeln Öl und Gas aus mehreren Lecks der geborstenen Förderleitung – 1.500 m tief unter der Wasseroberfläche und damit außer Reichweite von Tauchern und herkömmlicher Bergungstechnik. Versuche, das austretende Öl mit einer Abfangglocke oder einer Absaugleitung abzuleiten, schlagen fehl. Am 29. April 2010 erreichen Ausläufer des Ölteppichs erstmals die Küste von Louisiana, die US-Regierung ruft dort und in den angrenzenden Bundesstaaten den Notstand aus und erklärt das Ganze zur „nationalen Katastrophe“. Fortan sind auch US Coastguard und Armee im Einsatz, um die Ölpest mit Lösungsmitteln, Absaugschiffen und schwimmenden Barrieren einzudämmen – größtenteils vergeblich. Weite Teile der Golfküste werden in der Folge verseucht, tausende Seevögel, Meeressäuger, Fische und andere Meeresbewohner verölt.

Am 26. Mai startet BP einen weiteren Versuch das Leck am Meeresgrund zu schließen – mit einer aus dem Irakkrieg bekannten Methode: dem „Top Kill“. Damals im Kampf gegen die brennenden Ölfelder von

Kuweit eingesetzt, wird dabei das Bohrloch quasi von innen verstopft. Dafür pressen Techniker unter hohem Druck über Leitungen mehr als 5 Mio. l Spezialschlamm sowie Gummireste und Fasermaterial in den Bohrhochaufsatz. Die Masse soll sich weiter nach unten ausbreiten und wie ein Pfropf für das nach oben drängende Öl wirken. Doch Operation „Top Kill“ scheitert. BP gelingt es nicht, das austretende Öl zu bremsen, es gibt Hinweise, dass die unterirdische Einfassung des Bohrlochs, das so genannte „well casing“ beschädigt sein könnte. Ein Nachgießen des Zements, wie eigentlich geplant, kommt nicht in Frage. Weiterhin strömen große Mengen Öl ins Meer.

Anfang Juli beginnt BP einen neuen Versuch am Blow-Out-Preventer. Eine bisher nur lose aufsitzende, notdürftig befestigte Abdeckkappe wird von Tauchrobotern entfernt und durch ein mehrteiliges Verschlussystem, einen Stahlkoloss von 70.000 kg Gewicht, ersetzt. Dieser wird in mehreren Teilen vom Bohrschiff aus auf den Blow-Out-Preventer abgesenkt und verschraubt. Die große Frage ist: Hält der Verschluss dem Druck des aufsteigenden Öls stand? Am Morgen des 16. Juli schließlich die erlösende Meldung: Der erste Test ist erfolgreich. Erstmals seit April fließt kein Öl mehr ins Meer. Gleichzeitig ist damit eine wichtige Voraussetzung für die Operation „Static Kill“ erfüllt, einen erneuten Versuch, Spezialschlamm in das defekte Bohrloch einzuleiten und es damit von innen heraus zu verstopfen. Da das Öl nicht mehr unter hohem Druck ausströmt, sondern durch die Verschlusskappe auf dem Blow-Out-Preventer gehalten wird, kann der Pumpvorgang dieses Mal langsam und kontrolliert vonstattengehen. Am 4. August 2010 meldet BP zwar einen Erfolg dieser Maßnahme, doch die Ingenieure können nicht ausschließen, dass auch das well-casing des defekten Macondo Bohrlochs Lecks aufweist. Ist dies der Fall, tritt ein Teil des Schlamms seitlich in den Untergrund aus und kann das von unten nachdrückende Öl nicht auf Dauer halten.

Erst am 19. September, fast auf den Tag genau fünf Monate nach der Zerstörung der „Deepwater Horizon“, gelingt die endgültige und dauerhafte Versiegelung des Bohrlochs durch den so genannten „Bottom Kill“. Über bereits im Mai begonnene seitliche Bohrungen leiten Techniker erst Spezialschlamm und später Zement nicht von oben, sondern direkt im Untergrund kurz über der Macondo-Lagerstätte in das Bohrloch ein. Damit werden auch mögliche Lecks im well-casing

quasi „unterlaufen“. Der Zement bildet einen Pfropfen und dichtet das Bohrloch endgültig ab. Ein weiterer Ölaustritt ist damit verhindert.

Doch die bereits ausgeströmten 780 Mio. l Erdöl machen den Blow-Out der „Deepwater Horizon“ zur schlimmsten Ölpest der Geschichte. Ihre Folgen sind immens und langfristig: Die einzigartigen Naturschutzregionen entlang der Golfküste sind verseucht, Fischerei ist in den meisten Küstengewässern nicht mehr möglich. Wissenschaftler finden noch ein Jahr nach der Katastrophe zentimeterdicke Ölablagerungen am Meeresboden, tote Korallenriffe und dezimierte Fischpopulationen. Experten warnen zudem wegen der anhaltend erhöhten Belastung mit Kohlenwasserstoffen vor dem Verzehr von Austern und Shrimps aus der Region.

Nachspiel: Fast genau ein Jahr nach Beginn der Ölkatastrophe reicht der Ölkonzern BP Klage unter anderem gegen die Eigentümer-Firma der havarierten Bohrplattform „Deepwater Horizon“ und gegen den Hersteller des Blow-Out-Preventers ein. Sie seien für das Versagen der Sicherheitssysteme und für Materialfehler der technischen Anlagen verantwortlich. Mindestens 27,5 Mrd. € fordert der Ölkonzern von den beteiligten Firmen.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Knapp 70 Jahre reichen die Erdgasreserven weltweit nach Schätzungen von Rohstoffexperten noch – vorausgesetzt die Nachfrage steigt nicht noch stärker an als vermutet und alle bereits identifizierten Lagerstätten können auch wirklich abgebaut werden. Rechnet man die Erdgasvorkommen hinzu, die bislang aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht nutzbar sind, kommt man auf rund 170 Jahre. Nicht schlecht, aber auch nicht wirklich beruhigend.

Kein Wunder, dass Wissenschaftler, Ingenieure und Rohstoffkonzerne bei ihrer Suche nach neuen Energierohstoffen mittlerweile Alternativen einbeziehen, die man bisher vernachlässigt hatte. Ins Visier der Gasfirmen geraten sind dabei auch Speicher, die nur mit technisch aufwändigen Methoden angezapft werden können und deshalb auch als unkonventionelle Ergasvorkommen bezeichnet werden. Dazu gehört neben Gashydraten und Flözgasen in Kohlegruben auch das Erdgas in Tonsteinen wie Schiefer – so genanntes Shale Gas.

Das Potenzial dieser Gasquellen ist riesig. Allein die weltweiten Vorkommen an Shale Gas betragen vermutlich erstaunliche 450 Bio. km³.

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

Zum Vergleich: Die Netto-Weltförderung von Naturgas im Jahr 2004 betrug nur knapp 2,7 Bio. km³. Wenn es gelänge, dieses Reservoir zu nutzen, wäre die Erdgasversorgung für viele weitere Jahrzehnte gesichert. Doch woher stammt das Shale Gas eigentlich? Und kann man es überhaupt fördern?

Ein geologischer „Fahrstuhl“ als Hilfsmittel

Entstanden ist Shale Gas im Laufe von Jahrmillionen nachdem sich große Mengen an abgestorbenem organischen Material beispielsweise am Grund flacher Meere angesammelt hatten. Aufgrund von Sauerstoffmangel konnten die Überreste der Lebewesen dort nicht verwesen. Durch Sedimente, die sich immer wieder darüber ablagerten oder Bewegungen der Erdkruste sanken diese Schichten in einem geologischen „Fahrstuhl“ immer tiefer, bis schließlich perfekte Bedingungen für die Bildung von Erdgas herrschten: enormer Druck und hohe Temperaturen. Das entstehende Gas wurde mit der Zeit eingeschlossen in Speichergesteine wie Schiefer und befindet sich heute mehrere hundert oder tausend Meter tief unter der Erdoberfläche.

An das Shale Gas heranzukommen ist nicht leicht, denn die Gasfelder stellen Forscher und Rohstofffirmen vor einige Probleme. Das beginnt schon damit, dass bisher weder die Größe noch die Lage aller vielversprechenden Shale-Gas-Vorkommen genau bekannt sind. Hinzu kommt, dass sich das Shale Gas mit der herkömmlichen Technik kaum abbauen lässt. Es befindet sich überwiegend in winzigen Poren oder Bruchzonen des Schiefers. Da dieses Gestein nur wenig durchlässig ist, sammelt sich das Shale Gas nicht in gewaltigen Blasen und kann deshalb auch nicht mit einer einfachen vertikalen Tiefenbohrung abgesaugt werden. Stattdessen kommen hier Technologien zum Einsatz, die erst in den letzten zehn Jahren entwickelt worden sind – zum Teil speziell für die Shale Gas-Förderung.

Als äußerst effektiv haben sich dabei insbesondere horizontale Bohrungen erwiesen. Dabei frisst sich das Bohrgerät zunächst Hunderte von Metern senkrecht in die Tiefe und arbeitet sich dann, wenn der Ziel-

bereich erreicht ist, horizontal weiter vorwärts. So können nicht nur Lagerstätten, die beispielsweise unter Großstädten liegen, abgebaut werden, die Bohrung verbindet auch zahlreiche natürliche, meist senkrecht verlaufende Bruchstellen im Schiefergestein. Dadurch sammelt sich mehr freies Gas an und die Produktion steigt enorm. Lässt der Gasstrom einige Zeit nach Erschließung einer Quelle trotzdem nach, kommt ein weiteres neues Verfahren zum Einsatz, das so genannte „hydraulic fracturing“, auch „Fracking“ genannt. Dabei wird unter hohem Druck ein Gemisch aus Wasser und Sand oder Gel zusammen mit Zusätzen wie Korrosionsschutzmitteln, Bioziden und Oxidationsmitteln in das Bohrloch gepresst, das die Schieferschichten zerstört und für viele neue Bruchstellen im Gestein sorgt. Das Shale Gas kann zwar anschließend besser fließen und strömt wieder mit Macht aus der Quelle. Die zum Teil giftigen Additive des Frac Fluids können jedoch direkte Auswirkungen auf die Umwelt haben und beispielsweise eine Gefahr für das Grundwasser darstellen.

Enorm effektiv bei der Suche nach Shale Gas-Vorkommen ist die seismische 3D-Analyse. Mit diesem Verfahren, das auf der Untersuchung des Erdinneren mithilfe von Schallwellen beruht, können Wissenschaftler zum Beispiel die Lage der Gasfelder präziser auskundschaften. Das Verfahren gibt aber auch Auskunft über die Größe und Ausdehnung der gashaltigen Schichten. Da all diese Methoden sehr teuer sind, waren die Shale Gas-Vorkommen lange Zeit nicht wirtschaftlich abbaubar. Durch die erheblich gestiegenen Gaspreise hat sich die Situation in den letzten Jahren aber schlagartig verändert. Längst ist das Shale Gas zu einer sprudelnden Einnahmequelle für die Gasfirmen geworden – vor allem in den USA.

Shale Gas-Boom in den USA

Fredonia im US-Bundesstaat New York im Jahr 1821. Schon zu Beginn der Industriellen Revolution hat hier William Hart bei Bohrungen eine Quelle entdeckt, die zumindest auf lokaler Ebene für Aufsehen sorgt. Denn sie zapft eine unterirdische Gaslagerstätte an, die sich

als Segen für die wenigen Bewohner erweist. Das Shale Gas wird in Fredonia genutzt, um Geschäfte zu beleuchten und eine Mühle zu betreiben. Doch damit nicht genug. Schon knapp 40 Jahre später entsteht dort, aufbauend auf der Arbeit des Pioniers Hart, die Fredonia Gas Light Company – die erste Gesellschaft für Naturgas in Amerika überhaupt.

Dieser Blick zurück in die Geschichte zeigt, welche große Tradition Shale Gas in den USA hat. Kein Wunder, dass mittlerweile rund 5 bis 6 % der Gasproduktion in den Vereinigten Staaten aus Shale Gas stammen. Und das will durchaus etwas heißen. Denn mit einem Anteil von rund 19 % sind die USA nach Russland der zweitgrößte Erdgasproduzent der Welt. Rohstoffexperten wissen längst, dass ein großer Teil der mehr als 450 Bio. km³ Shale Gas weltweit in den Vereinigten Staaten lagern. Etwa ein Fünftel der US-amerikanischen Vorkommen lässt sich nach Angaben des dortigen Gas Technology Institute, einer von der Industrie finanzierten Forschungseinrichtung, mit den heutigen Mitteln schon ausbeuten.

„Neue Technologien haben zur schnellen Entwicklung von Shale Gas zu einer bedeutenden Energiequelle beigetragen, eine Entwicklung, die die US-Energieversorgung entscheidend verändert hat“, erklärt Aubrey McClendon, der Präsident von Chesapeake Energy, einem großen US-Gasproduzenten in der Zeitung „The National“. Denn gelingt es, alle Shale Gas-Reserven auszubeuten, könnten die USA ihren Gasverbrauch leicht aus eigenen Quellen decken und damit unabhängig werden von Importen. „Amerikanische Produzenten können eindeutig genügend Naturgas liefern, um den heutigen Bedarf zu decken und eine wirtschaftliche Quelle für Verkehrsgas (als Antrieb) noch für die nächsten Generationen zu werden“, so McClendon weiter.

Dass es tatsächlich soweit kommt wie von McClendon prognostiziert, ist keineswegs ausgeschlossen. Denn beim Shale Gas herrscht in den USA seit einiger Zeit eine Aufbruchstimmung wie es sie seit langem nicht mehr gegeben hat. „Dies ist nur mit dem Goldrausch im 19. Jahrhundert vergleichbar“, sagt Ed Ratchford von der Arkansas Geological Commission in Little Rock. „Jeder sichert sich seinen Claim. Du fragst nicht, ob dieser oder doch ein anderer Platz besser ist. Du hast einfach keine Zeit dafür. Die Menschen pachten tausende von Morgen Land – jeden Tag.“

Ein amerikanischer Traum wird wahr

Ein solcher „Gasrausch“ findet zurzeit unter anderem im Bereich der so genannten Fayetteville Shale Formation im Arkoma Basin statt. Sie gilt als eine der ergiebigsten Lagerstätten für Shale Gas in den gesamten Vereinigten Staaten. Begonnen aber hatte der Hype schon einige Jahre früher in der Barnett Shale Formation im Norden von Texas. Entstanden ist diese vor 320 bis 360 Mio. Jahren im Erdzeitalter des Devon, beziehungsweise des Karbon, und erstreckt sich heute über 15 oder mehr texanische Landkreise. „Es handelt sich um ein unendliches Reservoir“, erklärt Larry Brogdon, Chefgeologe der Four Sevens Oil Company mit Sitz in Fort Worth. „Es ist überall. Man kann kein Loch bohren ohne das Barnett zu treffen und das Gas ist immer da. Die Frage ist nur, ob du es herausbekommst oder nicht.“ Schätzungen des US Geological Survey (USGS) zufolge existieren im Barnett Shale mindestens 764 Mrd. km³ an unkonventionellem Gas. Andere Experten gehen sogar von über 1,1 Bio. km³ Shale Gas aus. Seit 2001 hat sich die Produktion dort vervielfacht. Dass die Region seit einiger Zeit gewaltig boomt, kommt ziemlich überraschend. Denn nach 50 Jahren intensiver Öl- und Gasförderung schien sie eigentlich längst ausgemustert zu sein.

Gründe für den aktuellen Erfolg des Barnett Shale gibt es einige. „Es war nicht nur Hightech, es war die Beharrlichkeit und die Experimentierfreude einer einzigen Firma, die diesen Boom ausgelöst hat“, beschreibt Eric Potter vom Bureau of Economic Geology an der Universität Texas in Austin die wichtige Rolle von Mitchell Energy bei diesem wahr gewordenen amerikanischen Traum. „Sie fingen irgendwann an sich umzusehen, was in diesem Gebiet noch getan werden konnte“, so Potter weiter. „Sie haben dabei registriert, dass es immer eine ‚Gas show‘ gab, wenn man die Barnett Formation durchbohrte. Aber jeder glaubte, dass man dort nicht viel Gas finden würde.“ Nur der Eigentümer von Mitchell Energy, George Mitchell, war anderer Meinung. Er investierte viel Geld in die Erforschung des Barnett Shales und behielt am Ende auch recht. Innerhalb von weniger als zwanzig Jahren entwickelte sich die Barnett Shale-Lagerstätte zum größten Erdgaslieferanten von Texas. In Zahlen: Waren dort Mitte der 1980er Jahre gerade mal 10 Quellen in Betrieb, sind es mittlerweile weit über 12.000 (Stand

Januar 2010). Tendenz weiter stark steigend, denn das Barnett Shale wird in rasantem Tempo erschlossen.

Der enorme wirtschaftliche Erfolg von Mitchell und seinen Kollegen im Barnett Shale hat in den USA und in Kanada mittlerweile für viele Nachahmer gesorgt. Landesweit wird mit Macht nach unkonventionellen Gaslagerstätten gesucht – oft genug mit Erfolg. Egal ob das Fayetteville Shale in Arkansas, das Marcellus Shale in den Appalachen Pennsylvanias, West Virginias und New Yorks oder das Woodford Shale in Oklahoma: überall stoßen Gasfirmen auf neue Quellen, aus denen große Mengen des begehrten Rohstoffes strömen.

Pionierarbeit in Sachen Shale Gas – Forschungsprogramm GASH

In Europa dagegen fristete Shale Gas lange Zeit nur ein Mauerblümchen-Dasein und dementsprechend steckt die Forschung dazu noch in den Kinderschuhen. Einen entscheidenden Wendepunkt könnte nun aber GASH darstellen. Denn „Gas Shales in Europe“ ist ein neues Forschungsprogramm, das seit 2009 die Shale Gas-Vorkommen in Deutschland, den Niederlanden, Skandinavien und anderen Ländern erstmals präzise untersucht. Ziel von GASH ist es, eine sichere wissenschaftliche Basis für eine mögliche spätere kommerzielle Nutzung des Shale Gas zu schaffen. Klar ist dabei längst, dass es auch in Westeuropa vielerorts Schwarzschieferschichten in großer Tiefe gibt, in denen vermutlich größere Mengen des begehrten Erdgases lagern. Wissenschaftler schätzen sogar, dass unter unseren Füßen erstaunliche 14 Bio. km³ Shale Gas auf ihre Förderung warten.

„Man findet diese Schichten in Deutschland, nicht nur hier in Brandenburg, auch in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, in vielen Ländern. Und man kann nach Norden gehen, Dänemark, Schweden. Wir wissen, es gibt so etwas in England, Frankreich, und sehr wahrscheinlich in Polen, in der Türkei“, sagte Professor Brian Horsfield vom Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam im September 2008 im Deutschlandfunk. Zusammen mit seinem Kollegen Hans-Martin Schulz ist er seit Januar 2009 für die Koordination aller Aktivitäten innerhalb von GASH verantwortlich. Sie sind aber nur die Speerspitze einer viel-

köpfigen interdisziplinären und multinationalen Experten-Task Force aus Forschungsinstituten, geologischen Diensten, Universitäten und der Industrie, die alle an diesem Projekt beteiligt sind. Inoffizieller Startschuss für GASH war die Konferenz „Shale Gas in Europe“. Am 24. September 2008 trafen sich dazu am GFZ über 100 Wissenschaftler und Vertreter der führenden Öl- und Gasunternehmen aus aller Welt, um Forschungskonzepte für diesen neuen Hoffnungsträger der Energieunternehmen zu diskutieren und zu planen.

Ein Programm der Superlative

Doch was genau passiert in dem insgesamt sechs Jahre dauernden Programm? Welche Herausforderungen haben die Wissenschaftler zu bestehen? Um erst einmal einen genauen Überblick über die Shale Gas-Vorkommen in Europa zu bekommen, wird ein Konsortium zunächst eine europaweite Schwarzschiefer-Datenbank aufbauen. Dabei werden die zugänglichen Daten der europäischen geologischen Dienste kompiliert und in Form eines geografischen Informationssystems visualisiert. In der Datenbank abrufbar sein werden unter anderem Informationen über die Vorkommen in den beteiligten Ländern und Daten zur Mächtigkeit und Ausdehnung der lokalen Schwarzschieferschichten.

Wichtig im Rahmen von GASH sind aber auch insgesamt elf größere Forschungsprojekte. In ihnen geht es beispielsweise um tektonische Modelle, Wanderungsprozesse des Erdgases oder die seismische Analyse von Shale Gas-Vorkommen. Welche tektonischen Bedingungen und Sedimentcharakteristika begünstigen die Bildung und das „Einfangen“ von unkonventionellem Erdgas? Wie heilen künstlich erzeugte Bruchstellen in den unterirdischen Tonsteinpaketen? Welche Rolle spielen Bakterien bei der Shale Gas-Erzeugung? Dies sind nur einige von vielen Fragen, die die GASH-Forscher während des Projektes beantworten wollen. Diese Detektivarbeit im Untergrund soll am Ende dabei helfen, vielversprechende Schwarzschieferschichten in Europa zu identifizieren, in denen sich die Förderung von Shale Gas lohnen könnte. Endgültigen Aufschluss darüber werden dann aber erst Probebohrungen vor Ort liefern.

Können die europäischen Shale Gas-Lagerstätten tatsächlich irgendwann wenigstens teilweise angezapft werden, wäre Europa auf einen

Schlag einen Teil seiner Sorgen in Sachen Energiesicherheit los. Und noch ein Vorteil: Das Shale Gas würde Deutschland und die anderen Länder weitestgehend aus der Abhängigkeit von den wenigen mächtigen Erdgas exportierenden Staaten wie Russland befreien. „Die Europäer müssen hoffen, dass diese Shales dasselbe für sie tun, wie die Shales im Osten der Vereinigten Staaten für die US-amerikanische Energieversorgung“, erklärte Don Hertmark, ein Öl- und Gas-Fachberater in Washington im Jahr 2008 in der International Herald Tribune. Und weiter: „Das würde die Preise, die die Russen vom Endverbraucher in Europa verlangen können, deutlich reduzieren.“

Einige Firmen sind bei der Erkundung von Shale Gas-Vorkommen längst zu Vorreitern geworden. So wie der österreichische Erdöl- und Erdgaskonzern OMV, der sich dabei im Moment vor allem auf das Wiener Becken konzentriert. „Wir haben mit Shale Gas-Projekten begonnen, aber wir sind noch in der ersten Phase der Auswertung“, erklärte die OMV-Sprecherin Christa Hanreich. Trotz aller Euphorie und aller Aktivitäten wird es daher wohl noch Jahre dauern, bis die europäischen Shale Gas-Quellen zu „sprudeln“ beginnen – vorausgesetzt sie erweisen sich überhaupt als wirtschaftlich nutzbar. Dies glaubt zumindest Alastair Syme, Energieexperte beim Finanzdienstleistungsunternehmen Merrill Lynch & Co in London: „Es handelt sich noch um ein sehr embryonales Stadium im Vergleich zu den Vereinigten Staaten. Es ist eine Geschichte für die Mitte des nächsten Jahrzehnts, nicht für sofort.“

Streit um Shale Gas

„Sollte die Weltgemeinschaft die fatale Entscheidung treffen, zukünftig auch noch die letzten Reserven an Öl, Gas und Kohle zu bergen und zu verbrennen und, noch schlimmer, auch die unkonventionellen fossilen Reserven zu erschließen und zu verbrennen, hätte dies katastrophale Folgen für das Klimasystem unseres Planeten.“ Dieses Fazit zieht die Umweltschutzorganisation Greenpeace auf ihrer Website. Und sie hat auch gleich ein Szenario parat, was dann passieren könnte: „Kohlendioxidkonzentrationen von über 1.200 bis zu 4.000 ppm (parts per million = Teilchen pro Millionen Teilchen) in der Atmosphäre wären damit

nicht mehr abwegig (im Vergleich zu 280 ppm vor der Industrialisierung). Das entspräche einem mittleren Temperaturanstieg von etwa vier bis neun Grad Celsius und einem Meeresspiegelanstieg von drei bis acht Metern im Vergleich zu heute.“

Ob die Ausbeutung von Shale Gas und Co. tatsächlich solche dramatischen Auswirkungen für Mensch und Klima hätte, ist mehr als umstritten. Viele Wissenschaftler und Rohstoffexperten sehen dies grundsätzlich anders. Für sie macht eine vermehrte Nutzung von Erdgas und speziell Shale Gas durchaus Sinn. So konstatierte Frank Maio, Besitzer einer Öl- und Gasfirma in Texas im September 2008 im Deutschlandfunk: „Deutschland zum Beispiel verbrennt eine Menge Kohle. Und wenn sie die durch Erdgas ersetzen könnten, würden sie weniger Kohlendioxid erzeugen.“

Doch die Förderung von Shale Gas ist nicht nur wegen der bei der späteren Verbrennung entstehenden Treibhausgase umstritten. Kritiker weisen beispielsweise auch darauf hin, dass bei einem Shale Gas-Boom zahlreiche neue Pipelines zum Abtransport des Gases in die Zielregionen gebaut werden müssten. Diese verschandeln ihrer Ansicht nach nicht nur die Landschaft, sondern sind auch anfällig für Lecks und bieten neue Ziele für terroristische Angriffe. Viel eindeutiger und konkreter sind dagegen die Auswirkungen auf das Grundwasser in den Förderregionen – dies zeigen einige Beispiele aus dem aktuellen Shale Gas-Wunderland USA. Denn um die begehrten Energierohstoffe beispielsweise aus den Beton-artigen Schiefergesteinen des Barnett Shale in Texas lösen zu können, werden gewaltige Mengen an Wasser gebraucht. Dieses wird unter hohem Druck in die Bohrlöcher gepumpt, um die gashaltigen Tonsteinpakete im Untergrund zu zerstören und so eine maximale Gasproduktion zu gewährleisten. Für eine einzige horizontale Bohrung benötigen US-Gasfirmen manchmal mehr als 11 Mio. l Wasser. Das Problem an der Sache: Es handelt sich dabei nicht etwa um Schmutzwasser, sondern um wertvolles Grundwasser.

Im texanischen Barnett Shale wird beispielsweise der Trinity Aquifer für solche so genannten „frac jobs“ angezapft. Schätzungen der Texas Railroad Commission zufolge flossen zeitweise bis zu 10 Mio. km³ pro Jahr aus dem Grundwasserleiter in die Shale Gas-Förderung – 1,6 % des insgesamt für menschliche Zwecke genutzten Aquifer-Wassers. „Dies ist für den Aquifer im Durchschnitt keine große Sache“, sagt der Inge-

nieur Jean-Philippe Nicot vom Bureau of Economic Geology in Austin. „Aber in Regionen, wo es viele Bohrungen gibt wie im Denton County, könnte es zu einem Problem führen. Und wenn es auch noch anderswo in der Region zur Ausweitung der Fördertätigkeit kommt, wird es möglicherweise bedeutsam.“ Und genau das ist zurzeit im Barnett Shale vielerorts der Fall. Rund 80 neue Gasbohrungen werden dort durchgeführt – pro Monat. Wissenschaftler haben daher berechnet, dass von 2007 bis 2025 vermutlich 226 Mio. m³ Wasser aus dem Trinity Aquifer für die Shale Gas-Förderung benötigt werden. Zum Vergleich: Das reicht um eine Metropole wie Hamburg knapp zwei Jahre lang mit Wasser zu versorgen. Die Wissenschaftler und Ingenieure der Gasfirmen haben dieses Problem aber längst erkannt und arbeiten deshalb seit einiger Zeit an neuen wasserschonenden Technologien zur Gesteinszerstörung im Untergrund. Auch verbesserte Recyclingmethoden für das verbrauchte Wasser könnten dazu beitragen, dass der Bedarf für jede einzelne Bohrung in Zukunft deutlich gesenkt werden kann.

Shale gas: Fluch oder Segen?

Größere Rohstoffsicherheit, mehr Unabhängigkeit von Gas exportierenden Ländern, geringere CO₂-Emissionen als bei der Erdöl- oder Kohleverbrennung: Dies sind nur einige Vorteile, die für eine Nutzung von Shale Gas sprechen – wenn sich die Vorkommen überhaupt wirtschaftlich nutzen lassen. Dem stehen bei einer intensiven Förderung aber auch gravierende Nachteile wie hoher Wasserverbrauch oder zusätzliche Treibhausgasemissionen gegenüber. Ob sich das Gas aus Tonsteinen tatsächlich zu einer wichtigen Energiequelle der Zukunft entwickeln kann oder soll scheint heute noch unklar. Umso wichtiger ist es, die Gasvorkommen, ihre Größe, sinnvolle Fördertechniken und mögliche Probleme bis ins Detail zu untersuchen. Einen entscheidenden Beitrag zu dieser Grundlagenforschung leistet das im Januar 2009 gestartete GASH-Projekt. Erst auf der Grundlage seiner Ergebnisse kann vermutlich eine seriöse Entscheidung Pro oder Contra Shale Gas gefällt werden.

Shale Gas – eine neue Energiequelle für Europa? 9

Die GFZ-Forscher Brian Horsfield und Hans-Martin Schulz im Interview

Brian Horsfield und Hans-Martin Schulz

sind Mitarbeiter des Deutschen GeoforschungsZentrums in Potsdam (GFZ). Gemeinsam haben sie das Projekt GASH (Gas Shales in Europe) ins Leben gerufen und koordinieren auch alle Aktivitäten im Rahmen des neuen Forschungsprogramms. In einem Interview nehmen die beiden Wissenschaftler ausführlich Stellung zu der ungewöhnlichen Erdgasquelle aus Schiefer.

Frage: Shale Gas ist in den USA schon seit einiger Zeit sehr populär und trägt bereits entscheidend zur Energieversorgung bei. In Europa dagegen steckt die Forschung dazu noch in den Kinderschuhen. Warum ist das so?

Horsfield: Vor circa 20 Jahren wurde bereits auf mögliche Shale Gas-Potenziale in England aufmerksam gemacht. Zu dieser Zeit waren jedoch Erdöl und Erdgas sehr preisgünstig und die Industrie sah keine

Brian Horsfield (✉) · Hans-Martin Schulz
Deutsches GeoforschungsZentrum (GFZ), Telegrafenberg,
14473 Potsdam, Deutschland
e-mail: brian.horsfield@gfz-potsdam.de, hans-martin.schulz@gfz-potsdam.de

Veranlassung, unkonventionelle Vorkommen zu untersuchen. Der steigende Energiebedarf und die prognostizierte Verknappung des Erdölangebotes haben in den letzten Jahren jedoch zu einem Umdenken geführt. Vormalig unattraktive Gasvorkommen wie „Tight Gas“ (Gas in dichten Reservoiren), „Coal Bed Methane“ (Kohlenbürtiges Methan) und auch Shale Gas werden heute insbesondere auch aufgrund der verbesserten technischen Fördermöglichkeiten als wirtschaftliche Energiequellen an Bedeutung zunehmen.

Frage: Im Januar 2009 hat das Projekt „GASH – Gas Shales in Europe“ offiziell begonnen, an dem auch Sie beide entscheidend mitbeteiligt sind. Welche Erwartungen verbinden Sie mit GASH?

Schulz: Wir erwarten Forschungsergebnisse zu grundlegenden Prozessen zur Shale Gas-Bildung. Natürlich wurden schon zahlreiche Aspekte in den nordamerikanischen Sedimentbecken analysiert, jedoch ist die Übertragbarkeit auf die europäischen Becken problematisch. Denn jedes Sedimentbecken hat seine eigene Geschichte. Wir hoffen, dass unsere Bemühungen und Arbeiten dazu führen, dass in Europa lokale Energiequellen erschlossen werden können, die auch lokal genutzt werden können, ohne Pipelines über große Distanzen bauen zu müssen.

Und natürlich hoffen wir, dass insbesondere das Helmholtz-Zentrum Potsdam sich als europäisches Zentrum zur Shale Gas-Forschung etabliert. Neben GASH wurde mittlerweile auch ein weiteres Projekt gestartet, das GeoEnergie heißt. Eine wesentliche Forschungskomponente hier sind regionale Studien zu Shale Gas, die wir überwiegend in den neuen Bundesländern durchführen wollen.

Frage: Was genau ist Ihre Aufgabe dabei?

Horsfield: Es war unser Ziel, ein Projekt ins Leben zu rufen, dass europäische Expertise bündelt. Zu diesem Zweck haben wir zahlreiche Universitäten, Forschungsinstitute und geologische Dienste aus ganz Europa eingebunden. Natürlich ist dies nicht ohne die entscheidende Hilfe von Koordinatoren für einzelne Fachbereiche möglich. Hier engagieren

sich insbesondere Francois Lorant und Isabelle Moretti (IFP, Rueil-de-Malmaison), Andy Aplin (Universität Newcastle) und Hans Doornenbal (TNO, Utrecht). Langfristig wird ein hauptamtlicher Projektmanager GASH koordinieren, da die das Projekt finanzierenden Firmen klare Vorgaben machen, in welchen Zeiträumen welche Ergebnisse geliefert werden müssen. Dies ist uns im laufenden Tagesgeschäft einer Großforschungseinrichtung nicht möglich. Wir selbst sind auch mit eigenen Forschungsaktivitäten in GASH eingebunden und werden weiterhin GASH als Projektverantwortliche leiten.

Frage: Kann Shale Gas in Zukunft tatsächlich ein Ausweg aus der Rohstoffkrise in Europa sein?

Horsfield: Das ist natürlich eine provokante Aussage. Ich stelle mir eher solche Gasressourcen vor, die den steigenden Energiebedarf lokal puffern können. Das impliziert natürlich die erfolgreiche Auffindung solcher Shale Gas-Vorkommen, die unter technischen Gesichtspunkten ökonomisch förderbar sind. Es muss zudem berücksichtigt werden, dass die geologischen Einheiten in Europa nicht den nordamerikanischen Dimensionen entsprechen. Somit werden möglicherweise die Produktionsraten Nordamerikas in Europa nicht erreicht werden, allerdings können sie als einheimische Energiequellen einen Beitrag leisten. In Nordamerika prognostizieren Geologen, dass Shale Gas mittelfristig 20 % der einheimischen Gasproduktion ausmachen wird.

Frage: Wenn ja, wann rechnen Sie mit dem Startschuss für die Gasproduktion aus Shale Gas-Vorkommen?

Schulz: In Schweden und Österreich wurde bereits Shale Gas in Testbohrungen nachgewiesen. Dort laufen derzeit Untersuchungen, inwieweit eine kommerzielle Nutzung realisiert werden kann. Allerdings haben sich mittlerweile die Explorationsaktivitäten europaweit ausgeweitet. Besonders in Polen haben internationale Energiekonzerne weiträumige Erkundungslizenzen erworben. Die derzeit intensiven Bemühungen der Erdöl- und Erdgasindustrie werden sicherlich dazu führen,

dass hoffige Shale Gas-Vorkommen in Europa in den nächsten Jahren ausgebeutet werden können.

Herr Horsfield, Herr Schulz, vielen Dank für das Interview.

Die Fragen stellte Dieter Lohmann.

Grubengas: tödliche Gefahr oder wichtige Energiequelle?

10

Martin Krüger

Zusammenfassung

Es ist unsichtbar, besteht vor allem aus Methan und gilt bei einem bestimmten Mischungsverhältnis mit Luft als leicht entzündlich: Grubengas kommt in vielen Bergwerken oder Kohlegruben vor und hat dort bereits oft zu so genannten Schlagwetterexplosionen mit vielen Opfern und hohen Schäden geführt. Inzwischen ist Grubengas aber nicht mehr nur als tödliche Gefahr bekannt, sondern wird auch als Energielieferant genutzt. „In den Mittelpunkt des Interesses gerückt sind sowohl die noch im Abbau befindlichen Lagerstätten, als auch stillgelegte Bergwerke, in denen noch immer Methan freigesetzt wird“, erklärt Martin Krüger von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover.

In den USA wird das Gas schon seit Jahrzehnten abgesaugt und anschließend zur Energieproduktion verwendet. Längst hat aber auch Europa das große Potenzial des Grubengases erkannt. In Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Polen und der Tschechischen Republik entstehen an den Standorten der Bergwerke – wie zum Beispiel im Ruhrgebiet – immer mehr regional bedeutsame Kleinkraftwerke, die zur

Martin Krüger (✉)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2,
30655 Hannover, Deutschland
e-mail: Martin.Krueger@bgr.de

Stromerzeugung aber auch zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Die in Deutschland installierte Leistung liegt mittlerweile bei rund 180–200 MW (Stand 2010; Hochrechnungen). Zum Vergleich: Damit können bis zu 200.000 Haushalte mit Strom versorgt werden. „Diese Kraftwerke haben aber eine unsichere Laufzeit, weil über das vorhandene, nutzbare Gasvolumen und die Entstehung des Methans lange nicht genügend bekannt war“, erläutert Krüger.

Seit einiger Zeit beschäftigen sich die Forscher der BGR um Krüger in einem Projekt intensiv mit dem Thema Grubengas. Wird das Methan ausschließlich durch Erhitzung der Kohle in den Tiefen der Erdkruste gebildet? Welche Rolle spielen Mikroben bei der Entstehung des Gases? Wie ausdauernd ist Methan aus Bergwerken als Energielieferant? Wie groß sind die aktuellen Grubengasvorkommen in Deutschland? Um Antworten auf diese Fragen zu finden, haben die Wissenschaftler exemplarisch verschiedene Schachtanlagen im Ruhrgebiet untersucht – mit verblüffendem Ergebnis. Denn als Quelle der Methanentstehung identifizierten sie nicht nur die Kohle selbst, sondern auch das zum Ausbau benutzte Grubenholz.

„Anhand des ‚Fingerabdrucks‘ in den Isotopenverhältnissen der Gase und der Quellmaterialien hatte man schon seit längerem vermutet, dass zumindest ein Teil des Methans noch heute durch Mikroorganismen gebildet wird“, so Krüger. „In den Laboren der BGR und auch vor Ort in den Kohleschächten konnten wir dies aber erstmals direkt nachweisen.“ Dabei zeigte sich, dass – anders als bisher gedacht – nicht nur die hohen Temperaturen unter Tage zum Auftreten von Methan führen, sondern dass Mikroben deutlich und kennzeichnend zur Methanbildung beitragen.

Diese Ergebnisse sind von großer Bedeutung, denn die Wissenschaftler können nun unter anderem eine zukünftige Nutzung des Grubengases besser beurteilen. Sie haben aber auch weltweit übertragbare Erkenntnisse über mögliche Bildungsbedingungen vorgelegt. Sogar der Anteil des Grubengases am gesamten Methanvorkommen auf der Erde ist nun eher abschätzbar: Er liegt bei rund sieben Prozent. „Damit liefert die BGR wichtige Grundlagen für die weltweite Beurteilung der Nutzungspotenziale, die im Methan aus Bergwerken stecken. Schon jetzt ist absehbar, dass die lokale Nutzung dieses Energieträgers trotz des weiter bestehenden Gefahrenpotenzials auch zukünftig eine interessante Form der Energiegewinnung sein wird“, fasst Krüger den aktuellen Forschungsstand zum Thema Grubengas zusammen.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Schon seit langem weiß man, dass sich aus Wasser und Gas unter bestimmten Bedingungen eisähnliche Substanzen bilden können. Doch erst Mitte der 1980er Jahre rückten diese so genannten Gashydrate in den Mittelpunkt der Forschung. Mit dem Schwinden der Vorräte an fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas begann damals auch die Suche nach alternativen Energierohstoffen. Gashydrate kamen da gerade recht. Schließlich schätzen Energieexperten die nutzbaren Gashydratreserven weltweit auf mehr als 1.500 Bio. km³. Sie sind damit gut fünf Mal so groß wie die gesamten konventionellen Erdgasvorräte auf unserem Planeten.

Doch was sind eigentlich Gashydrate? Wie entstehen sie? Wo genau findet man die Gashydratlagerstätten? Und vor allem: Werden sie irgendwann eine echte Alternative zu Erdöl oder herkömmlichen Erdgas sein? Mit diesen und vielen anderen Fragen haben sich in den letzten 25 Jahren Geowissenschaftler und Rohstoffexperten intensiv beschäftigt. Nicht zuletzt aufgrund der verbesserten Technik – etwa autonome

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

Tauchboote zur Untersuchung des Meeresbodens, neue Bohrtechniken etc. – ist das Wissen über Gashydrate dabei erheblich gewachsen. Entscheidend dazu beigetragen haben beispielsweise die Forscher vom Integrated Ocean Drilling Program (IODP), die etwa im Jahr 2005 die Gashydrate in der Region Cascadia Margin vor der Westküste Kanadas und der USA näher unter die Lupe genommen haben. Im Laufe der Zeit konnte man dabei nicht nur viele Gashydrat-Vorkommen weltweit identifizieren, sondern auch die physikalisch-chemische Struktur der Gashydrate weitgehend aufklären.

Danach sind Gashydrate feste, kristalline Substanzen, die bei Temperaturen von 2–4 °C und unter enormem Druck aus einem Gas- und Wasser-Gemisch entstehen. 90 % der natürlich vorkommenden Hydrate enthalten das Erdgas Methan als zentrales Molekül, um das sich die Wassermoleküle käfigartig herumgruppieren. Die Begriffe Gashydrate und Methanhydrate werden deshalb häufig – nicht ganz korrekt – synonym verwendet. Denn es gibt durchaus noch andere hydratbildende Gase wie Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff und verschiedene andere Kohlenwasserstoffe.

Ein besonderer „Fang“ in Sachen Gashydrate ist im Sommer 1996 deutschen Forschern im Pazifik vor der Westküste des US-Bundesstaats Oregon gelungen. Am Südgipfel des dortigen untermeerischen Hydratrückens holten sie mithilfe von Videogreifern aus knapp 800 m Wassertiefe zentnerweise Sediment nach oben, das stark mit Gashydraten versehen war. Diese lagern dort vergleichsweise leicht erreichbar direkt am Meeresgrund. Die Wissenschaftler wurden aber auch Zeugen eines Schauspiels, das sich immer ereignet, wenn Gashydrate aus ihrem Milieu geholt werden und normalen Temperatur- und Druckbedingungen ausgesetzt sind: Die Energierohstoffe zerfallen innerhalb von Minuten in ihre Bestandteile, Wasser und Gas. Das dabei frei werdende Methan kann man leicht entzünden und es entsteht dann das typische Bild, das an „brennendes Eis“ oder lodernde Grillanzünder erinnert. Bei Messungen haben Wissenschaftler zudem festgestellt, dass Gashydrate als starke Gaskonzentrierer fungieren. Ein Kubikmeter Gashydrat entspricht demnach 164 m³ Gas und 0,8 m³ Wasser.

Weltmeere und Permafrostböden als Lagerstätten

Die notwendigen Bedingungen für die Entstehung von Gashydraten sind auf der Erde unter anderem 200 bis 1.000 m tief im Boden der Permafrostgebiete vorhanden. Sie bilden sich aber auch an den Kontinentalhängen vieler Ozeane sowie in mächtigen Binnengewässern wie dem Baikalsee. Dort hat man an vielen Stellen, wo das Wasser zwischen 500 und 3.000 m tief ist, Gashydrate gefunden. Die wichtigste Methode Gashydrate in den Weltmeeren und Seen aufzuspüren, ist die Verwendung von Schallwellen. Von Forschungsschiffen aus werden diese in Richtung Meeresboden geschickt. Die Gashydratschichten im Sedimentbereich reflektieren die Schallwellen anschließend in charakteristischer Weise. Nach akustischer Aufzeichnung wird die Unterseite der Gashydratschicht als sogenannter „Boden-simulierender Reflektor“, kurz „BSR“, sichtbar.

Bei solchen Untersuchungen ist in den letzten Jahren auch aufgefallen, dass es durchaus Ausnahmen von der genannten „Tiefen-Regel“ für Gashydrate gibt. So hat beispielsweise ein internationales Wissenschaftlerteam im Jahr 2006 während einer Bohrexpedition im Rahmen des IODP vor Kanadas Westküste Gashydrate gefunden, wo es sie eigentlich gar nicht geben dürfte. „Wir fanden unnormale Vorkommen von hohen Konzentrationen des Gashydrats in relativ niedrigen Tiefen, 50 bis 120 m unter dem Meeresboden“, erklärt Michael Riedel von der McGill Universität in Montreal im Fachmagazin EOS den Fund, der das Wissen um die Energierohstoffe deutlich erweiterte. Die Resultate gaben unter anderem einen neuen Einblick in die Entstehungsmechanismen des Hydrats: Vor der Bohrung hatten die Wissenschaftler nicht nur eine größere Tiefe, sondern auch eine gleichmäßigere Verteilung des Gashydrats im Sediment erwartet. Doch die Neuentdeckungen enthüllten einen anderen Zusammenhang: „Nachdem wir wiederholt hohe Konzentrationen des Gashydrats in sandreichen Schichten des Sediments gefunden haben, sehen wir darin eine starke Bestätigung für die Korngröße des Sediments als kontrollierenden Faktor in der Gashydratbildung“, so Timothy S. Collett vom US Geological Survey (USGS) in Denver. Um die Gashydrate intakt zu bergen, setzten die Forscher spezielle Bohrsysteme ein. In diesen werden die hohen Drücke, die am Meeresboden herrschen, bis an

Bord aufrechterhalten. Was bei herkömmlichen Systemen passiert, beschreibt die deutsche Wissenschaftlerin Verena Heuer folgendermaßen: „Die Plastikrohre, in denen die Bohrkerns üblicherweise an Deck kommen, dehnen sich durch das zerfallende Gashydrat aus und zerplatzen manchmal sogar. Das Sediment in den Rohren hat dann die Konsistenz von Mousse au Chocolat – nur riecht es nicht so gut.“

In diesem und anderen Projekten haben Wissenschaftler aber nicht nur die Chemie der Gashydrate und die Bildungsbedingungen aufgedeckt, klar ist längst auch, woher das für die Hydraterzeugung notwendige Methangas stammt. In der Natur fällt es in großen Mengen bei der bakteriellen oder thermischen Zersetzung von organischem Material an. Die Überreste abgestorbener Pflanzen und Tiere stellen hierfür die wichtigste Quelle dar. Nur wenn durch diesen Vorgang kontinuierlich Gas im Boden erzeugt wird, kann sich mit der Zeit Methanhydrat in größerer Menge bilden. Entdeckt hat man dieses in den Ozeanen vorwiegend in den Porenräumen der Sedimente. Wissenschaftler sind aber mittlerweile auch auf ganze Schichten und gewaltige „Klumpen“ aus reinem Methanhydrat gestoßen. Eine Dicke der Gashydratvorkommen von mehreren hundert Metern ist dabei keine Seltenheit.

Angesichts dieser Beobachtungen ist es kein Wunder, dass manche Gashydratlagerstätten erstaunliche Energierohstoffmengen enthalten. So haben Forscher bei Bohrungen im Rahmen des Ocean Drilling Program (ODP) beispielsweise ein relativ kleines, eng umgrenztes Gebiet mit Gashydratvorkommen entdeckt – das „Blake Ridge“ im Südosten der USA. Die Abschätzungen von Mitarbeitern des United States Geological Survey (USGS) ergaben, dass allein in dieser Region Methanvorräte lagern, die den jährlichen Gasbedarf der USA für mehr als 30 Jahre decken könnten. Die meisten Gashydratlagerstätten gelten zudem als undurchlässig für andere Gase und bilden daher oft Deckschichten von konventionellen Erdgasvorkommen.

Wie kann man Gashydratvorkommen ausbeuten?

Die Gashydratvorkommen zu entdecken und zu erforschen ist natürlich nur der erste Teilschritt auf dem Weg zu einer neuen Energiequelle.

Schon seit einiger Zeit sind Wissenschaftler und Techniker unter anderem in Japan dabei, verschiedene Fördertechniken für Gashydrate zu erproben, die zum Teil auch in Kombination angewandt werden können. Ziel ist es dabei immer, das Hydrat zu „zerstören“, um freies Methangas zu erhalten, das dann „abgeschöpft“ werden kann.

Doch welche Möglichkeiten gibt es, um die Ressourcen an Gashydraten auszubenten?

- **Druckentlastung in Bohrungen**

Bei dieser Methode wird das Gashydrat durch Herabsetzen des Druckes systematisch destabilisiert. Bei einer Druckentlastung um den Faktor zehn kann so eine zehnfache Gasausbeute erzielt werden. Diese Maßnahme wendet man unter anderem im Messoyakha-Feld in den Permafrostgebieten Westsibiriens an, wo nach russischen Angaben seit über 30 Jahren Methan aus Hydrat gewonnen wird.

- **Methanol-Injektion**

Eine andere Möglichkeit das Hydrat zu zerstören, ist die Injektion von Lösungsmitteln wie Methanol oder Glykol. Auch damit wird im Messoyakha-Feld bereits seit längerem experimentiert. Durch die Kombination von Druckentlastung und Methanol-Injektion konnte die Erdgasausbeute angeblich noch einmal um den Faktor zehn gesteigert werden. Da Methanol sehr teuer ist, ist die Injektions-Technik zwar effektiv, aber leider auch sehr kostenintensiv. Um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, ist man deshalb auf der Suche nach Substanzen, die das teure Methanol ersetzen können.

- **Wärmezufuhr**

Auch eine Wärmezufuhr während der Bohrung bei gleichbleibendem Druck führt zur Auflösung des Gashydrats. Die Vorgehensweise ist dabei folgende: Über eine Injektionsbohrung wird der Lagerstätte Wärme beispielsweise in Form von Dampf zugeführt – das Hydrat zerfällt. Über mehrere Produktionsbohrungen in der Nähe kann dann das freie Methan gewonnen werden. Das Verhältnis von Energiegewinn zu Energiezufuhr ist dabei mit mindestens 15:1 sehr günstig.

Leider funktioniert diese Technik nur bei Hydratschichten, die mehr als 5 m dick sind.

• **Kombination Wärmezufuhr und Druckentlastung**

Um eine weitere Ökonomieverbesserung zu erreichen, kann man auch die Methoden Wärmezufuhr und Druckentlastung kombiniert anwenden. In der Regel wird dabei zunächst mit einer Wärmezufuhr gearbeitet, um freies Gas zu produzieren, anschließend erfolgt dann die kontrollierte Druckentlastung.

Auf der Basis der vor Ort vorgefundenen geologischen Verhältnisse muss jeweils neu entschieden werden, welche Technik zur Förderung des Methangases eingesetzt werden kann. Die Druckentlastungsmethode bietet dann Vorteile, wenn sich sowieso schon freies Gas unter dem Hydratvorkommen befindet. Eine geringe Porosität und Permeabilität der durchbohrten Gesteine in der Umgebung der Gashydratfelder sprechen dagegen für die Wärmetechnik. Die Wärmeverluste bleiben niedrig und die Wirtschaftlichkeit erhöht sich dementsprechend deutlich.

Berücksichtigt man den Aspekt der Wirtschaftlichkeit, sind zunächst die Methanhydratlagerstätten zur Nutzung interessant, die mit einfachen Fördermethoden wie der Druckentlastung ausgebeutet werden können. Diese liegen in erster Linie in den Permafrostgebieten. Befinden sich die Hydratlagerstätten dann noch in der Nähe potenzieller Abnehmer (Kanada, Alaska) und stehen vielleicht sogar in Verbindung mit konventionellen Gasvorkommen, erhöhen sich die Chancen auf einen Abbau deutlich. An eine Ausbeutung der Hydratvorräte an den Kontinentallhängen ist dagegen – wenn überhaupt – erst in fernerer Zukunft mit steigenden Energiepreisen und dem weiteren Schwinden der Vorräte an konventionellem Erdgas zu denken. Zu groß sind heute einfach noch die Kosten für die Erschließung der Felder, zu gering die technischen Möglichkeiten im Rahmen der Gasgewinnung. Erschwerend kommt hinzu, dass die Hydratmächtigkeiten in den Meeressedimenten der Ozeane in der Regel erheblich niedriger sind als in den Permafrostgebieten. Große Teile der Kontinentallänge fallen deshalb schon von vornherein aus den Planungen heraus.

„SUGAR“ schlägt zwei Fliegen mit einer Klappe

Ein aktuelles deutsches Großprojekt unter dem Namen „SUGAR“ (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) versucht nun in diesem Zusammenhang gleich zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen – oder zumindest die Grundlagen dafür zu schaffen. Gefördert von den Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und für Bildung und Forschung (BMBF) wollen die insgesamt 30 Projektpartner mit innovativen Methoden nach neuen Möglichkeiten suchen, wie Methan aus untermeerischen Hydratlagerstätten gewonnen werden kann. Im Gegenzug soll dann dort Kohlendioxid aus Kraftwerken als eisartiger Feststoff sicher eingelagert werden. Grund: CO_2 ist so nicht mobil und Lecks können weitgehend ausgeschlossen werden.

Ein konkretes Beispiel für die anfallenden Arbeiten nannte Professor Gerhard Bohrmann vom Bremer MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen – 2008 zum Start des zunächst dreijährigen Projekts: „SUGAR bietet uns die Möglichkeit, das Bremer Meeresboden-Bohrgerät (MeBo) so umzurüsten, dass wir gashydratreiche Sedimente beproben können. Das versetzt uns in die Lage, die Mengen an Methan und Methanhydraten im Meeresboden genauer als bislang abzuschätzen, denn eine möglichst exakte Mengenabschätzung lokaler Vorkommen ist eine Grundlage für jeglichen Abbau.“

Offshore-Vorkommen – egal ob Erdöl, Erdgas oder Gashydrate – werden heute aufgrund der hohen Kosten meist von internationalen Konsortien erkundet und dann gegebenenfalls abgebaut. Mit den SUGAR-Technologien kann die deutsche Wirtschaft nach Ansicht der Politiker, Wissenschaftler und Ingenieure eine wichtige Rolle in möglichen zukünftigen Hydrat-Konsortien spielen – und so vielleicht einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung der nationalen und internationalen Energieversorgung leisten.

Storegga-Effekt und Blow-Outs

Doch Gashydrate sind nicht nur wichtige Energierohstoffe, sie können auch die Ursache von gefährlichen Naturkatastrophen sein. Letzteres ist beispielsweise der Fall, wenn sich einer der beiden Parameter Druck oder Temperatur an einem mit Gashydraten durchsetzten Kontinentalrand verändert. Dann kommt es zum Zerfall der Substanzen und die fragilen Hänge werden instabil. Gewaltige untermeerische Erdbeben könnten dann die Folge sein. Und die haben es in sich. So wie vor gut 8.000 Jahren, als sich am Kontinentalabhang im europäischen Nordmeer vor der norwegischen Küste – Storegga genannt – ein solches Phänomen ereignete. Dabei rutschten in drei Etappen insgesamt 3.500 km^3 Material ab und lösten einen verheerenden Tsunami aus, der nicht nur die Küsten Norwegens, sondern unter anderem auch Großbritannien verwüstete.

Mindestens ebenso gefährlich sind aufsteigende Methanblasen, die bei der Auflösung von Gashydraten – beispielsweise in Folge der globalen Erwärmung oder durch den Abbau der Lagerstätten – entstehen können. Denn bei diesen so genannten „Blow-Outs“ würden große Mengen des Methans in die Atmosphäre gelangen. Methan ist jedoch ein sehr viel stärkeres Treibhausgas als CO_2 . In der Atmosphäre trägt es rund 30 Mal intensiver als Kohlendioxid zum Treibhauseffekt bei. Solche „Methanschocks“ hat es in der Erdgeschichte bereits mehrfach gegeben. Was dabei genau passiert und wie das Ganze zeitlich abläuft, haben Geowissenschaftler um Ursula Röhl vom MARUM Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen bereits vor einigen Jahren in einer „Nature“-Studie aufgedeckt.

Bereits vorher wusste man, dass der Ozean irgendwann an der Grenze zwischen Paläozän zum Eozän vor 55 Mio. Jahren umkippte. Schlagartig starben damals etwa 70 % aller am Meeresboden lebenden Foraminiferen aus. Ebenso plötzlich tummelten sich in der freien Wassersäule neue, bislang unbekannte Arten dieser kalkschaligen Mikroorganismen, während große Bereiche der Tiefsee zu lebensfeindlichen Zonen wurden. Zeitgleich machten die Kontinente eine biologische Revolution durch: Aus tropisch-subtropischen Breiten wanderten Primaten und andere Säugetiere nach Nordamerika ein, und in der Arktis

lebten Krokodile. Auslöser dieser Umwälzungen an Land und im Ozean waren möglicherweise riesige Rutschungen an untermeerischen Hängen. Sie ließen das Gashydrat im Meeresboden instabil werden. Innerhalb von nur wenigen Jahrtausenden entwichen 1.200 bis 2.000 Mrd. t des Treibhausgases Methan in Ozean und Atmosphäre. Ein Temperatursprung war die Folge. Das ohnehin schon relativ warme Tiefenwasser im mittleren Ozeanstockwerk wurde auf 15°C erwärmt. Zum Vergleich: Heute herrschen dort kühle 2–4 °C.

Wie Göhl und ihre Kollegen zeigen konnten, bahnte sich diese Naturkatastrophe innerhalb von nur einigen Tausend Jahren – vielleicht auch weniger – an und erreichte nach dreißigtausend Jahren ihren Höhepunkt. Erst weitere 120.000 Jahre später hatte sich das Klima von dem Methanschock erholt und auf ein neues Gleichgewicht eingependelt. Die Untersuchungen machen es zudem möglich, das Ereignis erstmals zeitlich genau einzuordnen: Es setzte vor 54,95 Mio. Jahren ein. „Unsere neuen Erkenntnisse verdanken wir einem Bohrkern aus dem westlichen Atlantik“, erklärte Röhl. Dieser wurde mit dem Forschungsschiff Joides Resolution rund 500 km westlich vom Florida in 1.980 m Wassertiefe erbohrt. „Die Ablagerungen vom Meeresboden machen uns zu Zeugen eines dramatischen, aber natürlichen Klimaexperiments“, so Röhl's Fazit.

Sollte es künftig – etwa bei einer nichtsachgemäßen Gewinnung von Gashydraten – zu einer Methanfreisetzung wie vor 55 Mio. Jahren kommen, wären ähnlich dramatische Temperaturanstiege in der Atmosphäre und im Ozeanwasser vorprogrammiert. Welche Auswirkungen diese auf das globale Klimageschehen und damit auf das Überleben der Menschheit hätten, ist nach dem Stand der heutigen Forschung nicht absehbar. Umstritten ist die Nutzung der Gashydratlagerstätten aber nicht nur wegen möglicher „Unfälle“ beim Abbau, sondern auch, weil die Menschheit dann wieder auf einen Energieträger setzt, bei dessen Verbrennung große Mengen an klimaschädlichem CO₂ in die Atmosphäre gelangen. Dies könnte den Klimawandel noch weiter antreiben.

Ein erhöhter Ausstoß von Methan aus dem im Meeresboden eingelagerten Gashydrat infolge der aktuellen globalen Erwärmung ist neuesten Forschungsergebnissen zufolge dagegen wohl erst einmal nicht zu befürchten. Dies haben Wissenschaftler des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) 2011 in einer Studie gezeigt.

Der Ozeanograph Arne Biastoch fasst die Ergebnisse wie folgt zusammen: „Unsere Berechnungen mit verschiedenen Computermodellen zeigen deutlich, dass dem Klima in den nächsten hundert Jahren keine zusätzliche Gefahr durch erhöhte Methanaustritte droht. Die Gashydrate lösen sich mit einer zeitlichen Verzögerung auf, so dass eher in zwei- bis dreihundert Jahren mit Folgen zu rechnen ist – ein Zeitraum, über den sich heute wenig Definitives sagen lässt. Diese Langzeitwirkungen sollten wir bei der Diskussion über Klimaänderungen berücksichtigen. Aber wir sollten die Situation nicht dramatisieren.“ Doch die Meeresforscher hatten auch eine schlechte Nachricht parat: Das nach und nach austretende Klimagas verstärkt die Ozeanversauerung stärker als bisher angenommen. Besonders die bisher in den wenig gefährdeten bodennahen Wasserschichten lebenden Korallen und Schalentiere wären davon betroffen.

„Methan-Rülpser“ schaffen Unterseehügel

Gashydrate können massive Klima- und Umweltfolgen haben, mitunter jedoch erschaffen sie auch einzigartige Naturphänomene. So wie die bis zu 40 m hohen, mehrere hundert Meter breiten, seltsamen rundlichen Hügel tief unter der Meeresoberfläche im Bereich des arktischen Kontinentalschelfs. Sie ähneln rein äußerlich verblüffend so genannten „Pingos“, die man in vielen arktischen Regionen an Land häufig antrifft. Bisher glaubten Forscher, dass die „Pseudo-Pingos“ möglicherweise einst als Pingos auf dem Trockenen gebildet wurden. Durch den Meeresspiegelanstieg nach dem Ende der letzten Eiszeit vor 10.000 Jahren seien sie dann langsam überflutet worden.

Doch genau diese Theorie haben jetzt Forscher des Monterey Bay Aquarium Research Instituts (MBARI) um Charlie Paull und William Ussler im Jahr 2007 widerlegt. Sie untersuchten dafür den Meeresboden des Beaufort Schelfs, eines Meeresgebietes vor der Nordküste Kanadas. In dieser Region des Permafrosts und Meereises verbrachten sie einen Monat lang, um den Meeresboden zu kartieren, Gasproben einzusammeln und Sedimentproben zu erbohren. Auch diverse andere Messungen rund um die Pingo-ähnlichen Hügel unternahmen die Wissenschaftler.

Nach Abschluss der Laboranalysen war klar: Die Hügel konnten nicht auf dem Land entstanden sein, sondern waren stattdessen ein Ergebnis der hohen Gasaktivität im Meeresboden. Nach Ansicht der Forscher entstehen sie, wenn sich Methanhydrat zersetzt und das Gas durch das Sediment nach oben steigt. Dabei drückt es den Boden heraus wie Zahnpasta aus einer Tube. Folge sind rundliche Aufwölbungen auf dem Meeresboden – eben die „Pseudo-Pingos“.

Die Wissenschaftler konnten ihre Hypothese mit einer ganzen Reihe von Daten untermauern. Zum einen zeigten Sonaruntersuchungen, dass die Hügel nicht wie die echten Pingos aus Schichten bestehen, sondern aus einer ungeordneten Mischung von Sediment und kleinen Blasen von Süßwassereis. C-14 Messungen ergaben darüber hinaus, dass das organische Material auf den Hügelkämmen tausende von Jahren älter ist als der umgebende Meeresboden – ein Hinweis darauf, dass hier ursprünglich tiefer liegende Bodenschichten emporgeschoben worden sind.

Aus dem Gipfel einiger Pseudo-Pingos stiegen zudem Gasblasen auf, die die Forscher sehr schnell als Methan identifizierten. Chemische Analysen zeigten, dass es aus Gashydraten stammen musste, die in diesem Teil des arktischen Ozeans normalerweise mehrere hundert Meter unter dem Meeresboden liegen. „Wir wissen noch nicht, ob dieses Gas innerhalb eines einzigen Jahres an die Oberfläche geblubbert ist oder sich langsam wie ein Gletscher nach oben bewegte“, so Paull.

In jedem Fall deuten die Daten darauf hin, dass die langsame Erwärmung des Untergrunds seit der letzten Eiszeit eine entscheidende Rolle dafür gespielt haben könnte. Denn das Meerwasser in dieser Region hat sich innerhalb der letzten 10.000 Jahre so weit erwärmt, dass es heute rund zehn Grad wärmer ist als beispielsweise der Permafrostboden an Land. Durch den Meeresspiegelanstieg ist gleichzeitig ehemaliger Permafrostboden überflutet worden und wurde dabei langsam aufgewärmt. Diese Wärme erreichte schließlich auch die Gashydratvorkommen in mehreren hundert Metern Tiefe und begann, einen Teil des eisförmigen Wasser-Gasgemisches aufzutauen. Folge: das Methan stieg auf. Dieser Prozess ist nach Angaben der Wissenschaftler noch immer im Gange, neue Pseudo-Pingos entstehen deshalb weiterhin.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Sie sind schwarzbraun, nur wenige Zentimeter groß und bedecken in riesigen Mengen die Meeresböden in 4.000 bis 6.000 m Tiefe: Manganknollen gehören zu den merkwürdigsten Phänomenen, die bisher in den Weiten der Ozeane entdeckt worden sind. Was sie für Wissenschaftler und Rohstoffexperten seit ihrer Entdeckung vor mehr als 100 Jahren gleichermaßen interessant macht, ist nicht das zeitlupenartige Wachstum oder das blumenkohlartige Aussehen, sondern ihr außergewöhnliches Innenleben: Die Knollen enthalten neben Mangan auch andere wertvolle Metalle wie Nickel, Kupfer oder Kobalt.

Solange genügend dieser Rohstoffe aus Lagerstätten an Land zur Verfügung standen, kümmerte man sich kaum um die Förderung dieser „Schätze der Tiefsee“. Das änderte sich dann aber in den 1960er und 1970er Jahren deutlich. Politiker, Rohstoffexperten und die Bürger unter anderem in Deutschland befürchteten damals in Zeiten der Erdölkrise auch ein baldiges Ende anderer Rohstoffvorräte wie Eisen, Kupfer, Nickel, Kobalt oder Mangan. Schuld an diesem globalen Schockzu-

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

stand der Gesellschaft waren nicht zuletzt die Prognosen des Club of Rome, einem Zusammenschluss von Wissenschaftlern, Wirtschaftsfachleuten, Staatschefs und Geschäftsmännern. In seinen Zukunftsprognosen sagte der Club of Rome eine baldige Verknappung der Rohstoffreserven und damit verbunden einen dramatischen Anstieg der Preise voraus. In der Folge begann zunächst eine fieberhafte Suche nach neuen Lagerstätten an Land. Man erinnerte sich aber auch an die merkwürdigen Knollen, die ein britisches Forscherteam um Sir C.W. Thomson rund 100 Jahre zuvor im Rahmen der „Challenger-Expedition“ erstmals aus den Tiefen des Meeres ans Tageslicht befördert hatte.

Enthielten diese nicht auch größere Mengen an Mangan und anderen wichtigen Metallen? Könnte man durch einen Tiefseebergbau womöglich sogar gleich mehrere Fliegen mit einer Klappe schlagen? Doch waren diese merkwürdigen Knollen selbst bei rasant steigenden Weltmarktpreisen für Rohstoffe überhaupt wirtschaftlich förderbar? Eine schnelle Antwort auf diese drängenden Fragen zu finden, erwies sich zunächst als schwierig: Man wusste einfach zu wenig über das Ausmaß der unterseeischen Manganknollenfelder und tiefseetaugliche Förder-techniken gab es nicht. Doch die Aussichten auf neue sprudelnde Einnahmequellen waren für die Rohstofffirmen so verlockend, dass schnell neue Konsortien entstanden, die sich nur mit der Erkundung und der möglichen Förderung von Manganknollen befassten. In aller Eile baute man Forschungsschiffe und rüstete sie mit Tiefseewinden aus. Am Boden geschleppte Sonargeräte wurden entwickelt, mit Fernsehkameras bestückte Greifer sammelten die wertvollen Metallklumpen vom Meeresboden, um die Größe der Lagerstätten zu erkunden. Auch U-Boote beteiligten sich an der Suche nach den Manganknollen.

Doch längst nicht jedes Forschungsprojekt, das den Titel „Manganknollen“ trug, versuchte auch wirklich den so begehrten „Kartoffeln der Tiefsee“ auf die Spur zu kommen. So wurde in den USA Ende der 1960er, Anfang der 1970er Jahre das Projekt Jennifer aus der Taufe gehoben. Der Milliardär Howard Hughes ließ damals ein Tiefsee-Bergbauschiff mit dem Namen Glomar Explorer bauen, das vor Hawaii nach Manganknollen suchen und diese im Rahmen eines Testbetriebs auch fördern sollte. Dies war jedenfalls das offizielle Ziel der Mission. Die Aktion passte gut zur damals herrschenden Euphorie um die Knollen am Meeresgrund und erregte in der US-amerikanischen Öffentlichkeit kaum

Aufsehen. In Wahrheit jedoch verbarg sich hinter dem angeblichen Forschungsprojekt eine Spionage-Mission des CIA. Die Behörde hatte über die US Navy Kenntnis vom Sinken des sowjetischen U-Boots K-129 erhalten, das mit Atomraketen beladen in 5.000 m Tiefe nahe Hawaii auf dem Meeresboden lag. Die Glomar Explorer war ausgestattet mit allem was man brauchte, um das U-Boot zu heben. Mitten im Kalten Krieg erhoffte sich die CIA von einer Bergung Erkenntnisse über die neuen russischen Waffen- und U-Bootgenerationen. Und der große Coup gelang tatsächlich. Die als Manganknollensucher getarnte Glomar Explorer hievte unter großen Mühen zumindest Teile des russischen U-Bootes an Bord ...

Eine „Wundertüte“ für Metalle

Ebenso großen Erfolg hatte auch die weltweite Jagd nach Manganknollen in der Tiefsee. Wie Hühnereier in einer Lage aus Pappe, so stellten die Rohstoffexperten schon bald fest, liegen sie in fast allen Ozeanen auf den Meeresböden verstreut. Die Manganknollen sind meist annähernd rund oder oval, haben einen Durchmesser von bis zu 20 cm und ragen meist nur zur Hälfte oder zu einem Drittel aus dem Sediment der Tiefseeböden heraus. Vor allem im so genannten Perubecken vor der Küste Südamerikas, in einem mehrere tausend Kilometer langen „Manganknollengürtel“ von Hawaii bis Mexiko, den so genannten Clarion und Cliperton Frakturzonen (CCZ) und im Indischen Ozean gibt es sie in Massen. Bis zu 60 kg Manganknollen warten dort in 4.000 bis 6.000 m Tiefe auf ihre Förderung – pro Quadratmeter. Auf mindestens 300 Mrd. t oder mehr taxieren Rohstoffexperten die Größe der Manganknollenfelder insgesamt. „Das ist recht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die Konzentration von Mangan im Meereswasser verschwindend gering ist“, erklärt Professor Werner Müller vom Institut für Physiologische Chemie und Pathobiochemie der Universität Mainz.

Zwar bildet das Mangan mit 20 bis 40 % den Hauptanteil der Knollen, mindestens genauso spannend aber sind für Rohstoffexperten die anderen chemischen Elemente, die sich in den blumenkohlartigen Klumpen verbergen. Nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissen-

schaften und Rohstoffe, reichen die Metallvorräte in den Manganknollen aus, um den Bedarf an Nickel, Kobalt, Kupfer und Mangan im gesamten 21. Jahrhundert zu decken – mindestens. Rohstoffexperten haben zudem errechnet, dass allein in den Manganknollen des Pazifischen Ozeans mehr Nickel und Kobalt zu finden ist als in allen zurzeit ausgebeuteten Lagerstätten an Land.

Doch wie entstehen eigentlich solche Ansammlungen von Metallen? Und wieso sind sie gerade in 4.000 bis 6.000 m Tiefe zu finden? Auf Fragen wie diese haben Wissenschaftler auch heute noch keine endgültige Antwort parat. Nach einer weitgehend akzeptierten Theorie stammen das Mangan, Nickel oder Kobalt der Knollen zu einem großen Teil aus dem Bereich der mittelozeanischen Rücken. Geowissenschaftler haben festgestellt, dass dort gewaltige Mengen an Meerwasser in die sich stetig neubildende ozeanische Erdkruste eindringen und Elemente aus dem Gestein herauslösen. An speziellen Austrittskaminen, so genannten „vents“, gelangt das heiße Wasser anschließend wieder in den Ozean zurück. Durch den Temperatursturz fallen die gelösten Elemente aus. Anschließend werden sie mit der Strömung in die angrenzenden Tiefseeebenen abtransportiert und fixiert. Ein Teil der chemischen Elemente in den Manganknollen geht vermutlich aber auch auf abgestorbene und zersetzte Lebewesen zurück. Spätestens beim Erreichen der so genannten CCD (Calcite compensation depth), der Kalzium-Kompensationstiefe, werden alle kalkigen Schalenreste von Meerestieren aufgelöst. Sedimente, die unterhalb dieser Grenze liegen, sind kalkfrei. Das Auflösen der Schalenreste führt aber auch dazu, dass sich darin eingelagerte Elemente wie Mangan oder Kobalt im Wasser lösen. Sobald diese mit den relativ sauerstoffreichen Meeresströmungen der Tiefsee in Kontakt kommen, werden sie oxidiert. Dadurch fallen sie aus und stehen zum Aufbau der Knollen bereit. Auch im Sediment der Meeresböden enthaltenes Mangan wird auf ähnliche Weise mobilisiert.

Mikroben sorgen für Initialzündung

Die Initialzündung für die Entstehung der Manganknollen geht höchstwahrscheinlich von der belebten Natur aus, wie die Chemiker um Pro-

fessor Werner Müller im Jahr 2009 gezeigt haben. Sie sprechen deshalb auch von einer Biomineralisation. Als Bio-Keime fungieren demnach Bakterien, an deren Außenwand eine zusätzliche Proteinschicht sitzt, das so genannte S-Layer. „Die äußerste Schicht des S-Layers ist eine ideale organische Matrix, die nicht nur die Mikroorganismen gegen schädigende Umwelteinflüsse schützt, sondern auch die Ablagerung von Mineralien erlaubt.“ Müller und seine Kooperationspartner haben in Manganknollen ganze Ketten aus Bakterien mit S-Layern gefunden, an denen die Synthese der Biomaterialien ihren Anfang genommen hat. „Ist aber erst einmal die erste Schicht vorhanden, kommt es zu Autokatalyse, das Material vervollständigt sich selbst.“

Das ungewöhnliche Gebilde wächst langsam aber stetig weiter und bildet mit der Zeit zwiebelartige Schalen aus, die aus einer bunten Mischung von wertvollen Metallen bestehen. Am Boden lebende Seegurken und Fische drehen die Knollen auf der Suche nach Nahrung von Zeit zu Zeit um. Neue Schichten aus Metallen sorgen nach und nach von allen Seiten für die Kugelform. Umstritten ist unter Forschern die Dauer der Manganknollen-Genese. Während man früher sicher war, dass sie in einer Million Jahre nur um wenige Millimeter wachsen, legen neue Forschungsergebnisse andere, viel kürzere Entstehungszeiträume nahe. So haben Wissenschaftler angeblich im Inneren von Manganknollen sogar Reste von Cola-Dosen gefunden.

Mangan, Kobalt, Nickel und noch viel mehr

Manganknollen enthalten durchschnittlich einen Anteil von rund 25 % Mangan, gemischt mit rund 3 % Kupfer, Nickel oder Kobalt. Dazu kommen Ton, Quarz, Wasser oder Sauerstoff. Doch warum sind gerade die Wertmetalle der Manganknollen für den Menschen von so großer Bedeutung? Für welche Industrieprodukte werden sie benötigt? Mehr als 90 % des Mangans, das weltweit gefördert wird, verbraucht beispielsweise heute die Stahlerzeugung. Es dient zur Veredlung und macht den Stahl korrosionsbeständiger oder stabiler. So haben Forscher vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung vor einiger Zeit neue

Leichtbaustähle für den Automobilbau entwickelt, deren Vorteile auch auf der Beimischung von Mangan beruhen. So erwies sich eine Legierung aus Eisen mit einem Gehalt von 15 % Mangan sowie 3 % Aluminium und Silizium als außerordentlich fest. Dieser Stahl ließ sich um rund 50 % dehnen, verfestigte sich aber auch stark, ohne zu zerreißen. Nachdem die Wissenschaftler den Mangananteil auf 25 % erhöht hatten, zeigte der Stahl andere wertvolle Eigenschaften: Er war weniger fest, ließ sich aber um etwa 90 % in die Länge ziehen, ohne Schaden zu nehmen. „Eine solche Duktilität, also Dehnbarkeit, erreicht nicht einmal Gold, das als ausgesprochen duktil gilt. Bei 60 % Dehnung ist Schluss“, berichtet der Max-Planck-Forscher Georg Frommeyer. Diese Stahlsorte ist nach Ansicht der Wissenschaftler perfekt geeignet für Crash-Bauteile im Auto, die sich bei einem Unfall zusammenfallen müssen und könnte so in Zukunft Menschenleben retten.

Doch nicht nur an einer möglichen Revolution im Fahrzeugbau ist das Mangan entscheidend beteiligt, es ist auch Teil einer neuen Metalllegierung, die in Zukunft in Hochtemperatur-(SOFC)-Brennstoffzellen zum Einsatz kommen soll. Werkstoffforscher um Willem Josel Quadackers vom Forschungszentrum Jülich haben sie vor einigen Jahren in Kooperation mit ThyssenKrupp entwickelt, um die Leistungsfähigkeit dieser Brennstoffzellen-Sorte zu steigern. SOFC-Brennstoffzellen könnten in Zukunft unter anderem als Zusatzaggregate für Autos dienen und Batterie und Lichtmaschine unterstützen. Nach Angaben der Forscher sind sie beispielsweise in der Lage, auch bei abgeschaltetem Motor den Strom für eine Standheizung zu liefern.

Kobalt, das durchschnittlich mit einem Anteil von weniger als 1 % in den Manganknollen vertreten ist, wird in großem Maßstab in Batterien verwendet. Ähnlich wie Mangan kommt es zudem in Werkstoffen vor, die rostfrei und verschleißfest sein müssen. Nickel dagegen kann sogar Tote zum Leben erwecken. Denn noch immer werden viele medizinische Hilfsmittel von Energiespendern aus Nickel-Kadmium gespeist. Dazu gehören unter anderem auch zahlreiche Wiederbelebungsgeräte. Ansonsten spielt Nickel unter anderem eine wichtige Rolle als Überzugsmaterial zum Schutz vor Rost. Unentbehrlich ist das Metall aber auch als Drahtmaterial für Widerstände, als Elektroden in Akkumulatoren oder als Bestandteil von Glühlampen und Vakuumröhren.

Das Kupfer der Manganknollen dagegen könnte künftig als hervorragender elektrischer Leiter in nahezu allen elektrischen Geräten eingesetzt werden.

Mit „Kartoffelrodern“ in die Tiefsee

Doch noch ist die Ernte von Manganknollen in großem Maßstab reine Fiktion. Dabei haben Wissenschaftler und Ingenieure seit den 1960er Jahren die erstaunlichsten Strategien ersonnen, um die „Kartoffeln der Tiefsee“ einzusammeln und an die Meeresoberfläche zu hieven. Dazu gehören beispielsweise Tausende meterlange Eimerketten, die von Schiffen über den Meeresboden gezogen werden. Oder an einen Kartoffelroder erinnernde Fahrzeuge, die die Manganknollen aus dem Sediment graben, sowie Raupenfahrzeuge, die sie vom Ozeanboden absaugen. Um an die Manganknollen heranzukommen, hatten die Rohstoffexperten aus den USA, Japan oder Deutschland einige Hindernisse zu überwinden. Da die Klumpen in mehreren tausend Metern Tiefe lagern, mussten die selbstfahrenden oder ferngesteuerten Geräte den enormen Druck am Meeresgrund aushalten. Die neu entwickelten Kollektormaschinen waren deshalb äußerst stabil, durften aber auch nicht zu viel wiegen. Denn das feine, zum Teil mehrere hundert Meter dicke Sediment, in dem die kostbaren Knollen lagern, ist weich und gibt leicht nach.

Die Ingenieure und Techniker konstruierten deshalb zudem Antriebsmechanismen, die ein Kriechen über den Meeresboden erlaubten, ohne dass sich die Fahrzeuge dabei in den Schlamm eingruben. Wissenschaftler der Universität Siegen bauten beispielsweise zwischen 1995 und 2000 eine spezielle Antrieb-Schlupf-Regelung (ASR) für die Tiefseeraupen, die in ähnlicher Form bei Autos längst eingesetzt wird. Dreht dort ein Rad beim Anfahren durch, wird über ein elektronisches Kontrollsystem automatisch die Motorleistung gedrosselt und das Rad fasst wieder „Tritt“. Aufgrund der außergewöhnlichen Bedingungen am Meeresboden konnten die bestehenden ASR aus dem Automobilbau jedoch nicht einfach übernommen werden. Die Wissenschaftler mussten deshalb ein ASR für die Tiefseeraupen maßschneidern, das ein

Durchdrehen der Ketten verhindert. Erste Praxistests für den neuen Antrieb verliefen im Golf von Mannar in Indien positiv – allerdings in nur 40 m Wassertiefe.

Per Staubsauger an die Wasseroberfläche

Doch nicht nur die Fortbewegung am Meeresboden machte den Experten damals Sorgen, auch der Transport der eingesammelten Knollen an die Wasseroberfläche gab den Wissenschaftlern zunächst Rätsel auf. Wie konnten die 4.000 bis 6.000 m Entfernung vom Schürfort bis in die Frachträume der Schiffe oder hoch zur Förderplattform am schnellsten und sichersten überwunden werden? Die Eimertechnik stellte sich schnell als zu unzuverlässig und fehleranfällig heraus. Erfolgsversprechender waren da schon kilometerlange flexible Schlauch- oder Rohrsysteme, die die Manganknollen und das mitgeführte Sediment, direkt von den Knollensammlern übernahmen und an Bord transportierten. Riesige Pumpen, die in den Rohrstrang eingefügt wurden, sorgten dafür, dass die wertvolle, aber auch schwere Last kontinuierlich nach oben „schwebte“.

Doch auch damit waren längst nicht alle Schwierigkeiten überwunden. Noch sammelten die Tiefseegeräte viel zu viel Sediment zusammen mit den Manganknollen ein. Dies bescherte den Konsortien gleich drei Probleme: Es dauerte viel zu lange, bis eine nennenswerte Menge an Manganknollen in den Laderäumen der Schiffe landete, die Pumpen verloren zudem viel Zeit und Energie damit, unnötigen Ballast nach oben zu bringen. Und auf den Schiffen oder später an Land mussten die wertvollen Manganknollen dann auch noch mühsam vom Abraum getrennt werden. Deshalb investierte man in den Abbaulizenzen besitzenden Nationen viel Zeit und Geld, um die Technik der Tiefseeraupen mit ihren Kollektoren zu verbessern. Forscher der Universität Siegen um Professor Wilhelm Schwarz entwickelten beispielsweise Mitte der 1990er Jahre einen neuartigen Rüttelaufnehmer, der dafür sorgen sollte, dass das umliegende Sediment liegen bleibt und nur saubere Manganknollen an Bord der Schiffe gelangen. Andere

Sammeleinrichtungen konnten sogar zu kleine und zu große Knollen aussortieren und lieferten als Ergebnis Mangankugeln in Einheitsgröße.

Mit OMI auf Manganknollenjagd

Ein funktionierendes Tiefseebergbau-Konzept besteht aus einem wie auch immer gearteten Knollensammler am Meeresboden, einem Förderschiff oder einer Förderplattform und zahlreichen Transportschiffen, die die Rohstoffe schließlich zum Zielhafen bringen sollen. Erste Abbau-tests der Ocean Management Incorporation (OMI) unter Leitung der ehemaligen Preussag im Pazifischen Ozean lieferten bereits im Jahr 1978 rund 800 t Manganknollen. Ein ähnliches Projekt wenige Monate später förderte ebenfalls im Stillen Ozean immerhin rund 500 t des wertvollen Materials nach oben.

Die Standorte für die Probeläufe in Sachen Tiefseebergbau waren mit Bedacht ausgewählt, denn Manganknolle ist nicht gleich Manganknolle. Je nachdem, wo und unter welchen Umweltbedingungen sie in der Tiefsee im Laufe der Zeit heranwachsen, unterscheiden sich die metallhaltigen Klumpen in ihrer chemischen Zusammensetzung enorm. Auch die Anzahl der Knollen, die auf dem Boden verstreut liegen, erwies sich schnell als sehr uneinheitlich. Für die Rohstofffirmen war ein Abbau aber nur dann rentabel, wenn sich in den Manganknollen genug Kupfer, Nickel oder Kobalt verbarg und mindestens 5–10 kg von den Klumpen auf einem Quadratmeter lagerten. Dies war in den pazifischen Testgebieten der Fall. Wissenschaftler wie Jacek A. Janowski und Professor Werner Zielke vom Institut für Strömungsmechanik der Universität Hannover errechneten, dass eine Förderung von mindestens 5.000 t pro Tag und Bergbaueinheit (Schiff/Plattform und Raupenfahrzeug mit Sammler) nötig sei, um keine Verluste einzufahren. Um diese Menge an Knollen einzusammeln, hätte täglich ein Quadratkilometer Ozeanboden abgegrast werden müssen. Dieser enorme Flächenbedarf und die damit verbundenen Folgen für die Tiefseumwelt riefen jedoch schnell Wissenschaftler und Umweltschützer auf den Plan.

Tiefsee in Gefahr? – Die Folgen des Manganknollenabbaus

Licht? Nicht vorhanden. Wärme? Mangelware, es ist 3 °C kalt. Druck? Enorm. Geräusche? Ausnahmeerscheinungen. Die Welt der Tiefsee und der Meeresböden 4.000 bis 6.000 m unter der Wasseroberfläche ist öde und lebensfeindlich – so scheint es. Doch selbst hier hat sich eine erstaunliche Vielfalt von Organismen entwickelt, denen die extremen Bedingungen nichts ausmachen. Schwämme, Krebse, Tintenfische oder Seelilien gehören genauso dazu wie Würmer oder Einzeller: ein Ökosystem der ganz besonderen Art. Doch dieser Idylle drohte in den 1960er und 1970er Jahren ein schnelles Ende. Dies vermuteten damals zumindest Ökologen und Meeresschützer weltweit. Dann nämlich, wenn dort riesige Tiefseefahrzeuge erscheinen würden, mit ihren Kollektoren den Meeresboden nach den wertvollen Manganknollen absuchen und dabei alles an Leben vernichten, was nicht rechtzeitig fliehen kann.

Um die Bedrohung, die vom Tiefseebergbau und speziell von der Förderung von Manganknollen ausging, genauer zu untersuchen, schlossen sich Geologen, Meeresbiologen, Chemiker und Ingenieure in Deutschland damals zu einem neuen Forschungsverbund mit dem Namen TUSCH (Tiefsee-Umwelt-Schutz) zusammen. Dieser nahm in den 1980er Jahren mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie seine Arbeit auf. Die beteiligten Wissenschaftler wollten einerseits Licht in das Dunkel der bis dahin noch weitgehend unbekannten Lebensgemeinschaften im Tiefseeboden bringen. Andererseits hatte sich der Verbund auch zum Ziel gesetzt, die Folgen des Abbaus der schwarzbraunen Knollen in Experimenten direkt vor Ort zu untersuchen. Daraus galt es dann Richtlinien für eine im großen Maßstab betriebene Förderung zu entwickeln. Doch wie gingen die Forscher vor, um in mehreren tausend Metern Meerestiefe an die gewünschten Informationen zu gelangen? Welche Ergebnisse konnten sie im Rahmen ihrer rund 20 jährigen Forschungsarbeiten ermitteln?

Eines der wichtigsten TUSCH-Projekte war das im Jahr 1989 gestartete DISCOL-Experiment (Disturbance and Recolonisation Experiment). Bei der Expedition SO61 mit dem deutschen Forschungsschiff „Sonne“ untersuchten Meeresforscher die gewaltigen Manganknollenfelder des

Perubeckens vor der Küste Südamerikas. Sie wollten herausfinden, wie die Geschöpfe der Tiefsee auf eine Störung durch Bergbaumaschinen reagieren. Zunächst bestimmten die Wissenschaftler die genaue Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften vor Ort mithilfe von speziellen Kastengreifern und anderen Probennehmern. Die Ergebnisse der Untersuchungen waren erstaunlich: Um die Manganknollen herum im Ozeanboden oder im Wasser gab es eine beachtliche Artenvielfalt an Würmern, Muscheln und Krebsen, Seegurken, Schwämmen oder Anemonen. Sogar die Klumpen selbst waren häufig von Organismen wie Moostierchen oder einem Geflecht von Einzellern bedeckt. Anschließend gruben die Forscher und Techniker den Meeresboden mithilfe eines gigantischen, 8 m breiten Unterwasserpflugs um. Sie wollten damit Bedingungen simulieren, die mit einem Abbau von Manganknollen vergleichbar waren. Das Untersuchungsgebiet hatte zwar nur einen Durchmesser von etwa 3,5 km, doch insgesamt waren rund 10 km² Fläche direkt oder indirekt – etwa durch aufgewirbeltes und transportiertes Sediment – von den Auswirkungen der Maßnahmen betroffen. Wie die Meeresforscher um Professor Hjalmar Thiel, Ahmet Ahnert oder Hartmut Blum feststellten, wurden durch die Rodung des Meeresbodens wie erwartet zahlreiche Meeresbodenbewohner getötet oder verletzt. Die Wissenschaftler beobachteten aber bei Probennahmen und der Analyse von Bild- und Videodokumentationen, dass auch die Bestände an Borstenwürmern und Kleinkrebsen im Meeressediment durch das Pflügen nahezu ausgerottet wurden.

Doch die Wiederbesiedlung der zerstörten Refugien ließ nicht allzu lange auf sich warten. Dies ermittelten die Meeresforscher in Folgeprojekten wie ATESEPP (Auswirkungen technischer Eingriffe in das Ökosystem der Tiefsee, S.E. Pazifik/Peru-Becken) oder ECOBENT (Investigations on the Ecology of the abyssal Benthos of the Southeast Pacific Ocean). Nach und nach kehrten – das ergab beispielsweise die Expedition mit der „Sonne“ im Jahr 1996 – viele der zunächst vertriebenen Tierarten wieder in ihr angestammtes Revier zurück. „Bereits jetzt gilt als sicher, dass sich in den gestörten Sedimenten nicht wieder die ursprüngliche Lebensgemeinschaft entwickeln wird“, resümierten die Forscher im Zweijahresbericht 1996/97 des Alfred Wegener Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) wichtige Ergebnisse der Nachuntersuchungen. „Die gestörten Flächen wurden in erster Linie von kriechenden oder grabenden adulten Tieren und nicht von freischwim-

menden Larven aus der Wassersäule wiederbesiedelt. Daher wird die Erholung ausgeglichener Lebensgemeinschaften in industriellen Abbaubereichen entscheidend von der Ausdehnung der gestörten Flächen abhängig sein“, so die Forscher weiter. „Immerhin hatte sich sieben Jahre nach unserer experimentellen Störung fast die gleiche Lebensgemeinschaft wieder eingefunden wie vorher. Da die Manganknollen untergepflügt worden waren, fehlten natürlich die Arten, die dieses Hartsubstrat besiedeln“, ergänzte Thiel im Magazin Geo Wissen. Allerdings nicht ohne sogleich einzuschränken: „Bei einem realen Bergbauprojekt werden solche Störungen allerdings intensiver und großflächiger sein.“ Die Spuren der Tiefseeraupen und Mangankollektoren – so viel steht für die Wissenschaftler fest – werden noch Jahrzehnte nach dem Abzug der Maschinen sichtbar sein. Erst dann werden neue Sedimente die Narben am Meeresboden zugedeckt haben.

Wolken in der Tiefsee

Zerpflügte Meeresböden, zerstörte Ökosysteme und zahllose tote Tiere sind längst nicht die einzigen möglichen Folgen eines intensiven Tiefseebergbaus von Manganknollen. So haben Forscher im Laufe der Zeit mindestens zwei weitere Gefahren für die Tiefseemwelt entdeckt, die bei der Durchführung von Projekten auftreten. Da ist zunächst die gewaltige Wolke aus Sedimenten, die die Raupen und Mangankollektoren beim Durchkämmen des Bodens aufwirbeln. Selbst mit der meist nur geringen Strömung in den Tiefen der Ozeane kann sich diese am Meeresboden beträchtlich ausbreiten. In einiger Entfernung lagern sich die Sedimente dann in vom Tiefseebergbau eigentlich unberührten Gebieten wieder ab und bedecken dort alles Leben mit einem zentimeterdicken Überzug aus Schlick und Schlamm.

Das Umgraben der Meeresböden sorgt aber nicht nur für Wolken über dem Ozeanboden, auch das chemische Milieu gerät durcheinander. Bisher tief im Porenwasser der Sedimente gelöste Minerale und Spurenelemente kommen mit dem Sauerstoff im Wasser in Kontakt und werden oxidiert. Das dabei umgesetzte O_2 fehlt dann beispielsweise den Tiefseetieren bei der Atmung. Bedroht wird das Ökosystem Tiefsee

zudem von einem anderen, vielleicht sogar viel gefährlicheren Dunstschleier. Denn der Mix aus Sedimenten, Resten von Lebewesen sowie kaltem Tiefenwasser, der mit den Manganknollen an Bord der Schiffe gespült worden ist, muss wieder entsorgt werden. Geschieht dies durch einfaches Abpumpen, entsteht eine „Schlammwolke“ an der Wasseroberfläche, deren Folgen bis heute noch weitgehend unerforscht sind. Wissenschaftler vermuten aber, dass unter anderem die Fischkiemen durch die Partikel in Mitleidenschaft gezogen werden und auch andere Filterapparate von Meerestieren nicht mehr optimal funktionieren. Verheerend wären vermutlich auch die Auswirkungen auf das Phytoplankton im Meer. Durch den reduzierten Lichteinfall könnten sie nur noch eingeschränkt Photosynthese betreiben und die Primärproduktion käme zumindest teilweise zum Erliegen – mit fatalen Folgen für die Nahrungskette im Ozean. Nach Ansicht von Meeresforschern besteht darüber hinaus die Gefahr, dass die Trübung des Meeres nicht auf den Ursprungsort der Einleitung beschränkt bleibt. Mithilfe von Meeresströmungen könnten die Partikel hunderte oder sogar tausende Kilometer weit wandern und unter Umständen zu einer globalen Gefahr für die Meeresumwelt werden. Die TUSCH-Wissenschaftler halten deshalb die Entsorgung von Abbauabfällen direkt an der Oberfläche für fatal. Deutlich geringere Auswirkungen hätte ihrer Meinung nach eine Einleitung des Wasser-/Partikelgemisches in Bodennähe oder zumindest in 1.000 m Tiefe. Technisch kein Problem – für die Förderkonsortium allerdings ein weiterer Kostenfaktor.

Stillstand bei Forschung und Technik

Die drohenden Natur- und Umweltgefahren waren einer der Gründe, warum das „Manganknollenfieber“ der 1960er und 1970er Jahre in der Folge abebbte und die Weiterentwicklung des Tiefsee-Bergbaus ins Stocken geriet. Dabei ist das Gerät um Manganknollen vom Meeresboden einzusammeln und nach oben zu transportieren bereits weitgehend praxistauglich – das sagen jedenfalls Wissenschaftler wie Carsten Rühlemann von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der konstatiert: „Die Technologie ist gegenwärtig so weit fort-

geschritten, dass eine Gewinnung im industriellen Maßstab in großen Wassertiefen ohne technische Probleme erfolgen könnte.“

Ausschlaggebender Faktor für den Rückzug der internationalen Förderkonsortien war, dass die Ausbeutung der Lagerstätten, die in großen Meerestiefen, oft fernab jeder Küste am Boden warten, lange Zeit keinen Gewinn versprach. Denn der erwartete explosionsartige Anstieg der Preise für Metallrohstoffe blieb lange Zeit aus. Durch die Entdeckung großer Mengen an Mangan, Kupfer, Nickel oder Kobalt in Brasilien oder Australien wurde der Weltmarkt zeitweilig mit preiswerten Metallrohstoffen sogar regelrecht überschwemmt. Der Zusammenbruch der ehemaligen Sowjetunion Anfang der 1990er Jahre, die ihre Rohstoffvorräte vorher penibel hütete, tat ein Übriges hinzu, um die Preise weiter purzeln zu lassen. Erst in den letzten zehn Jahren ist die Nachfrage nach Metallen wie Eisen, Mangan oder Nickel wieder kräftig angestiegen – und damit auch der Preis.

Rohstoffexperten schätzen jedoch, dass die vergleichsweise leicht zu fördernden weltweiten Vorkommen an Land noch einige Zeit reichen. Carsten Rühlemann von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) meint: „Schätzungen zufolge kann der Bedarf an Kupfer aus aktiven Landbergwerken noch 30 Jahre und für Nickel und Kobalt noch 25–30 Jahre gedeckt werden. Darüber hinaus decken die bereits explorierten Vorkommen dieser drei Metalle in etwa nochmal die gleiche Zeitspanne ab.“ Beim Mangan sind es nach Angaben des US Geological Survey (USGS) immerhin 30 bis 40 Jahre. Hinzu kommt, dass das Thema Recycling längst an Bedeutung zugenommen und auch vor dem Metallsektor nicht Halt gemacht hat. Immer mehr Rohstoffe werden dabei zurückgewonnen und wiederverwertet. Längst haben potenzielle Förderkonsortien bei der Erkundung und Ausbeutung von Manganknollenfeldern zudem Auflagen zu erfüllen, deren Einhaltung von einer extra dafür geschaffenen UN-Behörde überwacht wird.

Ein Grundgesetz für die Ozeane

Was für die Bundesrepublik Deutschland das Grundgesetz, ist für die Ozeane die „Verfassung der Meere“. Die 1994 in Kraft getretene Kon-

vention UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) regelt verbindlich, was auf und in den Meeren erlaubt und verboten ist, egal ob es die Schifffahrt oder den Tiefseebergbau betrifft. Einer der entscheidenden Auslöser für das „Law of the sea“ war die Entdeckung der immensen Manganknollenfelder vor 30 bis 40 Jahren. Schnell entbrannte damals ein Streit um die Nutzung der wertvollen Gebiete. Während die Industrienationen und Rohstoffkonsortien diese Regionen als rechtsfreien Raum betrachteten, deren Ausbeutung jedem möglich sei, sahen dies die Kritiker dieser Position ganz anders. Viele kleine Nationen und die Entwicklungsländer, die weder die Mittel noch die technischen Ressourcen zur Suche und zum Abbau der Knollen besaßen, betrachteten die Manganknollen als Gut der Allgemeinheit, von dem jeder profitieren sollte. Was war zu tun? Die Vereinten Nationen nahmen sich des Problems an und in zähen Verhandlungen einigte man sich schließlich auf das heute gültige Seerechtsübereinkommen. Es teilt zunächst die Ozeane in verschiedene Bereiche ein. 12 sm breit sind demnach die Küstenmeere, in den nationales Recht verbindlich ist. Es folgen bis zu 188 sm an „ausschließlicher Wirtschaftzone“, in der dem jeweiligen Land vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zustehen. Alles was außerhalb dieser Gebiete liegt, und damit auch große Teile der Manganknollenfelder der Tiefseeböden, wird in der Charta als „gemeinsames Erbe der Menschheit“ bezeichnet.

Jeder, der heute im freien Ozean außerhalb der 200 Meilen-Zone Tiefseebergbau betreiben will, muss sich mit seinem Anliegen an die ebenfalls 1994 ins Leben gerufene Internationale Meeresbodenbehörde (International Seabed Authority) mit Sitz in Kingston, Jamaika wenden. Egal ob wissenschaftliche Studie oder Schürflizenz, hier werden alle Vorhaben zu Manganknollen ausführlich geprüft, beurteilt und dann genehmigt oder abgelehnt. Grundlage der Entscheidungen pro oder contra ist ein im Juli 2000 von der UN-Meeresbodenbehörde verabschiedeter Tiefseebergbaukodex für die Suche und die Förderung von Manganknollen, der unter anderem die Vorschriften für den Umweltschutz im Rahmen der Projekte festlegt. Eine international anerkannte Behörde, die die Meere vor Wildwuchs beim Tiefseebergbau schützt und auf die Einhaltung von Umweltauflagen pocht, besser geht es doch nicht oder? Nun ja, was sich in der Theorie perfekt anhört, stößt in der Realität schnell an seine Grenzen. Denn verbindlich sind das Seerechts-

übereinkommen und auch die Entscheidungen der International Seabed Authority nur für Staaten, die die internationale Vereinbarung unterschrieben haben. Zwar gibt es mittlerweile über 160 Vertragsparteien, nicht dazu gehören jedoch prominente Mitglieder der Völkergemeinschaft wie die USA. Für sie ist es offenbar nicht akzeptabel, Schürflizenzen für Projekte in internationalen Gewässern beantragen zu müssen, einen Teil der geförderten Rohstoffe an die UN abzutreten und die verwendete Technik anderen Staaten zur Verfügung zu stellen, wie es das Gesetz der Meere fordert.

Von der Utopie zur Realität?

Abseits aller politischen Scharmützel hat das Seerechtsübereinkommen dazu beigetragen, dass immer weniger Firmen Geld in aufwändige Projekte zum Manganknollenabbau steckten, deren Profit zudem „in den Sternen“ stand. Die Folge: Forschung und Entwicklung beim Manganknollen-Bergbau stagnierten lange Zeit. Unter anderem der enorme chinesische Bedarf insbesondere an Metallrohstoffen hat aber in den letzten Jahren wieder für frischen Wind in Sachen Manganknollen gesorgt. Ein großflächiger Abbau der Vorkommen in der Tiefsee ist nach Ansicht von Experten heute und auch in den nächsten Jahrzehnten aber noch Utopie.

Nichtsdestotrotz hat die Internationale Meeresbodenbehörde (ISA) bereits acht Lizenzgebiete an Vertragspartner aus verschiedenen Ländern vergeben. Das deutsche Meeresareal zur Exploration von Manganknollen im Pazifik liegt in rund 5.000 m Tiefe im so genannten Manganknollen-Gürtel, der sich nördlich des Äquators von Mexiko bis jenseits von Hawaii erstreckt. Es ist mit immerhin 75.000 km² größer als Niedersachsen und Schleswig-Holstein zusammen und in zwei Einzelfelder aufgeteilt. Deutschland hat dort das exklusive Recht, fünfzehn Jahre lang den Bestand der rohstoffreichen Manganknollen zu erfassen.

Erste Forschungsfahrten in das Gebiet haben Wissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften in Kiel, des Alfred-Wegener Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven, des

Deutschen Zentrums für Marine Biodiversitätsforschung (DZMB) am Senckenberg-Institut in Wilhelmshaven und des Max-Planck-Instituts für Marine Mikrobiologie in Bremen denn auch bereits durchgeführt.

Gute Manganknollendichte

Die ersten Ergebnisse der stichpunktartigen Untersuchungen des Meeresbodens mit einem Videoschlitten liegen mittlerweile vor. Danach ist der deutsche Claim großflächig dicht mit Manganknollen übersät. „Die Knollen sind meist 3–6 cm groß, die größten Exemplare erreichen 20 cm Durchmesser. Erste Abschätzungen anhand der neugewonnenen Daten zeigen, dass im Lizenzgebiet etwa 1 Mrd. t Knollen liegen, mit hohen Nickel- und Kupfergehalten zwischen 2,3 und 3,0 %“, so BGR-Forscher Thomas Kuhn im Jahr 2010.

Und BGR-Expeditionsleiter Carsten Rühlemann ergänzt: „Manganknollen sind eine Rohstoffquelle der Zukunft für Buntmetalle wie Kupfer oder Nickel. Vor diesem Hintergrund ist das Vorhaben auch eine Maßnahme der strategischen Zukunftsvorsorge. Durch die frühzeitige Forschungstätigkeit der BGR wird ein Beitrag zur künftigen Rohstoffsicherung unseres Landes geleistet.“

Sollte es irgendwann im deutschen Lizenzgebiet oder anderswo tatsächlich zu einer großflächigen Förderung von Manganknollen aus der Tiefsee kommen, ist auch klar, wer für die ökologischen Risiken haftet. Denn der Internationale Seegerichtshof in Hamburg hat dazu im Februar 2011 eine Grundsatzentscheidung getroffen. Demnach müssen alle Staaten, die Förderlizenzen an private Unternehmen weitergeben, ihrer „Sorgfaltspflicht“ nachkommen und für die Einhaltung der Gesetze sorgen. Außerdem empfehlen die Richter, einen Haftungsfonds für Umweltschäden durch den Tiefseebergbau einzurichten.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Sie galten als Tränen der Götter, als Sternensplitter, die vom Himmel fielen, oder als Zeichen für Unvergänglichkeit – seit Jahrtausenden ziehen Diamanten die Menschen in ihren Bann. Und auch heute noch gelten die Hochkaräter aus dem Inneren der Erde als kostbarste aller Edelsteine.

Dabei begann die Erfolgsgeschichte der Diamanten eher zufällig in der Golconda-Region in Südostindien nahe der heutigen Millionenstadt Hyderabad. In den Flussbetten stießen die Bewohner um 2.000 v. Chr. erstmals auf merkwürdig schimmernde Minerale. Diese Rohdiamanten stammten eigentlich aus mehr oder weniger weit entfernten Lagerstätten, waren aber durch Erosion in die Flüsse und bis nach Golconda gelangt. Dort soll man damals auch den angeblich ältesten bekannten Diamanten gefunden haben, den Koh-i-Noor oder Berg des Lichts. Er hatte ein Gewicht von 37,2 g und wurde den Überlieferungen zufolge als Schmuckstück für den Thron eines indischen Fürsten verwendet. Da damals das Schleiferhandwerk noch nicht bekannt war, versprühte er

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

jedoch nur einen Bruchteil der Faszination der modernen Diamanten. Nach einigen Nachbearbeitungen gehört der Koh-i-Noor heute der englischen Queen und bereichert, wie so viele andere berühmte Edelsteine auch, die britischen Kronjuwelen.

Indien blieb in der Folge zunächst die einzige Quelle für Diamanten, die meist über persische Kaufleute und europäische Handelsreisende wie den Belgier Jean Baptiste Tavernier auch nach Europa gelangten. Erst im 18. Jahrhundert wurden dann in Brasilien größere Diamantenvorkommen entdeckt. Für den richtigen „Hype“ sorgten schließlich jedoch die sensationellen Diamantenfunde in Südafrika ab 1866. Im Laufe der Zeit entwickelte sich eine Branche, die mittlerweile systematisch und mit Hightech ausgerüstet auf die Suche nach neuen Lagerstätten geht und diese dann gezielt abbaut.

Erstaunliche 14 Mrd. US-\$ wurden allein im Jahr 2010 in der Branche umgesetzt – der Diamantenhandel hat sich zu einem wichtigen und lukrativen Wirtschaftszweig entwickelt. Die Naturdiamanten kommen heute vor allem aus Russland, der Demokratischen Republik Kongo, Botswana und Australien, erst auf Rang sechs folgt die jahrzehntelange Diamanten-Supermacht Südafrika. Die drei führenden Nationen sorgen dabei allein für mehr als 70 % der geschätzten Weltproduktion und haben sich zu Global Playern in Sachen Diamanten entwickelt. Die wichtigsten Diamantenbörsen befinden sich in Antwerpen (Belgien) – hier werden rund 60 % aller Verkäufe abgewickelt – und in New York, London, Mumbai oder Tel Aviv. Der weltweit größte Diamantenproduzent und -händler ist das Unternehmen De Beers mit Sitz in London und der südafrikanischen Metropole Johannesburg.

„Diamonds are a girl’s best friend“: Dieses Motto aus dem Kultsong von Marilyn Monroe gilt noch immer, Diamanten zieren jedoch längst nicht mehr nur den Hals oder das Dekolleté von Schauspielerinnen und Superreichen. Ob als Schneidewerkzeug für moderne Hochpräzisions-skalpelle oder als Bauteil von Bohrgeräten, die sich durch ultrahartes Gestein fräsen: Diamanten werden mittlerweile auch in vielen Bereichen der Industrie eingesetzt.

Kohlenstoff pur – Entstehung und Eigenschaften von Diamanten

„Adamas“ – unbezwingbar. Zwar kannten die Griechen der Antike noch keine Diamanten, trotzdem geht der heutige Name der Edelsteine auf ihre Sprache zurück. Und an der Bezeichnung ist ja auch etwas Wahres dran: Schließlich ist der Diamant das härteste Material, das wir auf der Erde kennen. Auf der Skala des Geologen Friedrich Mohs, der die Minerale nach ihrer Fähigkeit andere zu ritzen einteilte, steht der Diamant ganz oben. Zerstört werden kann er nur durch Feuer mit Temperaturen von mehr als 800 °C – wenn zugleich genug Sauerstoff vorhanden ist.

Ein solcher Diamant und der Graphit der Bleistifte könnten, so scheint es zumindest, unterschiedlicher kaum sein. Und doch sind sie chemisch gesehen genau das Gleiche: Beide bestehen aus reinem Kohlenstoff. Dennoch kann Diamant selbst Glas und Stahl zerschneiden, Graphit dagegen reibt sich schon bei leichtem Druck ab. Wie kommen diese unterschiedlichen Eigenschaften zustande? Des Rätsels Lösung liefert ein Blick in die Kristallstruktur der beiden Materialien. Im Diamantgitter ist jedes Kohlenstoffatom mit vier Nachbarn verbunden. Die Bindungen bilden einen Tetraeder. Im Graphit dagegen sind die Kohlenstoffatome in Schichten angeordnet. Innerhalb dieser Schichten sind die Bindungen zwischen den Atomen eng, die einzelnen Schichten jedoch sind nur über wenige Bindungen miteinander verknüpft. Werden nun beide Kristallstrukturen unter größeren Druck gesetzt, halten die nach allen Seiten eng verknüpften Strukturen des Diamantkristalls diesem stand. Beim Graphit dagegen brechen die wenigen Bindungen zwischen den Schichten entzwei und sie verschieben sich gegeneinander oder lösen sich ganz ab. Deshalb hinterlässt der Graphit auch eine graue Spur auf dem Papier.

Wie jedoch kommen diese unterschiedlichen Gitterstrukturen in der Natur zu Stande? Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, müssen wir uns auf eine Zeitreise zurück in die Urzeit unseres Planeten machen: Vor Milliarden Jahren herrschten tief im Inneren der Erde, im Erdmantel, teilweise optimale Bedingungen für das Entstehen von Diamanten. Überall da, wo es in 130 bis 700 km Tiefe unter der Erdober-

fläche größere Mengen an reinem Kohlenstoff gab, kam es dazu, dass sich die Kohlenstoffatome miteinander verbanden. Mit der Zeit kristallisierten sie in Form von Diamanten aus. Verantwortlich dafür waren die dort herrschenden Temperaturen von mehr als 1.000 °C und der enorme Druck von bis zu 40.000 bar, die die Synthese auslösten. Lagen die Temperatur- und Druckwerte dagegen niedriger, entstand an Stelle von Diamanten Graphit.

Um aus dem Erdmantel an die Erdoberfläche zu gelangen, dienten den Diamanten geschmolzenes Gestein oder Magma als „Aufzug“. Durch Konvektionsströme im Erdmantel, die auch der Motor für die Plattentektonik sind, stieg das mit Diamanten beladene Magma im Laufe der Jahrtausende immer weiter nach oben und wurde schließlich bei heftigen Vulkanausbrüchen hinausgeschleudert. Dabei bildeten sich relativ kleine Vulkankegel mit extrem langen, möhrenähnlichen Trichtern oder „Pipes“. Sie füllten sich mit Vulkangestein, Mantelfragmenten und den eingebetteten Diamanten. Dieses Gestein wird heute Kimberlit oder nach seiner Farbe „blue ground“ genannt. Die ersten dieser Pipes wurden in den 1860er Jahren in Südafrika entdeckt. Dem Siegeszug der Edelsteine und dem Aufstieg Südafrikas zur Diamantennation Nummer eins stand nichts mehr im Weg.

Diamantenfieber im Burenstaat

Wer heute etwa auf dem halben Weg zwischen Kapstadt und Johannesburg in das gut 180.000 Einwohner zählende Kimberley kommt, wird sich vermutlich kaum vorstellen können, was dort vor rund 130 Jahren los war. An das Diamantenfieber, das damals ausbrach, erinnern heute vor allem das Big Hole, eines der größten von Menschenhand geschaffenen Löcher der Erde, einige Museen und natürlich die verbliebenen Minen der Stadt. Begonnen hatte im Jahre 1867 alles eigentlich ganz harmlos. Genauer gesagt mit einigen Kindern, die beim Spielen einen Stein aufspürten, der verräterisch glitzerte. Weitere Funde einige Jahre später am nahe gelegenen Colesberg Koppje, einem kleinen Hügel in der Region, brachten dann den Diamantenboom so richtig ins Rollen. Nachdem die Meldung über die aufsehenerregenden Entdeckungen über

die Zeitungsticker in Europa und Amerika gegangen waren, überschwemmten innerhalb kürzester Zeit bis zu 30.000 Diamantensucher als Glücksritter die Region. Sie machten sich auf die Suche nach den begehrten Bodenschätzen und wollten damit vor allem eins: reich werden. Claims wurden abgesteckt, und in Handarbeit durchwühlten die selbsternannten Digger mit einfachstem Gerät die Gebiete, in denen man die ersten Diamanten gefunden hatte. Die Ausbeute war erstaunlich. Aus einfachen Lumpenhändlern oder mittellosen Schauspielern wurden in wenigen Jahren vermögende Diamantenbarone.

Untrennbar verbunden ist der Aufstieg Kimberleys zur Welthauptstadt der Diamanten mit den Namen Cecil Rhodes und Barney Banato. Die beiden hatten sich bereits einen guten Namen und erheblichen Reichtum als Zwischenhändler für Diamanten erworben und erkannten, dass der Boom ein schnelles Ende finden würde, wenn es nicht gelänge, neue Diamantenlagerstätten zu erschließen. Denn schon bald war man vielerorts auf der Suche nach den Edelsteinen auf hartes Gestein mit bläulicher Färbung gestoßen, dem Kimberlit, das sich Schaufel und Spitzhacke hartnäckig widersetzte. Rhodes und Banato beauftragten daraufhin getrennt voneinander geologische Gutachter mit der Untersuchung des „blue ground“, die bald verheißungsvolle Studien vorlegten. Sie versprachen reiche Diamantlager unter Tage und empfahlen das Graben in die Tiefe. Durch die Prognosen ermutigt, begannen die beiden Händler Claims aufzukaufen und gründeten 1880 und 1881 die rivalisierenden Unternehmen De Beers Mining und Kimberley Central Diamond Mining Company.

Dies war der Startschuss für die Massenproduktion von Diamanten in Kimberley, die dazu führte, dass immer mehr offene Minen und Schächte in die Tiefe getrieben wurden. 1888 kam es dann zur „Elefantenhochzeit“ der beiden Gesellschaften: Rhodes fügte die Banato-Company für fünf Millionen Pfund seinem Imperium hinzu. Längst hatte damals Südafrika die bis dahin führenden Länder Indien und Brasilien als wichtigste Diamanten exportierende Nationen abgelöst. Doch Rhodes war mit seinem Diamantenimperium immer noch nicht zufrieden und stampfte in den 1880er Jahren ein Syndikat aus dem Boden, das die Preise auf dem Weltmarkt kontrollierte und steuerte. Am ehemaligen Colesberg Koppje jedoch wuchs ein Loch in die Tiefe, das bis zum Einstellen der Arbeiten im Jahr 1914 einen Durchmesser von

500 m und eine Tiefe von 800 m erreichte. Erstaunliche 2.722 kg Diamanten holten die Schürfer dort innerhalb von knapp 40 Jahren aus dem Boden. Das entspricht 14,5 Mio. kt. Der Wert: 40 Mrd. €.

Doch nicht nur in Kimberley war man in Sachen Diamanten fündig geworden. Schon bald überzog ein ganzes Netz an Diamantenminen das heutige Südafrika. 1905 entdeckten Schürfer dabei beispielsweise rund 40 km östlich der Stadt Pretoria den bisher größten Einzeldiamanten aller Zeiten. Der Mega-Edelstein Cullinan hatte ein Gewicht von mehr als 3.100 kt und wurde dem damaligen englischen König Edward zu seinem 66. Geburtstag überreicht. In 105 Einzelsteine zerschnitten und prachtvoll geschliffen ist er mittlerweile im Besitz von Queen Elisabeth II. Den weiteren Aufstieg von De Beers zum weltweiten Marktführer, der bis heute große Teile des Handels mit Diamanten kontrolliert, hat der Firmengründer Cecil Rhodes jedoch nicht mehr miterlebt. Er starb im Alter von 48 Jahren bereits 1902. Nach den Wirren des ersten Weltkriegs war es Ernest Oppenheimer, der die Geschicke von De Beers übernahm und 1929 die noch heute existierende De Beers Consolidated Mining gründete. Die Nachfahren des ersten Vorstandsvorsitzenden Ernest Oppenheimer kontrollieren aber noch immer die Politik im Hause De Beers.

Südafrika gehört zwar auch heute noch zu den diamantenreichsten Regionen der Erde, längst haben ihm jedoch Länder wie Russland beim Export den Rang abgelaufen. Die Strategie beim Diamantenabbau ist dabei im Vergleich zur Pionierzeit nahezu gleich geblieben, nur dass mittlerweile die moderne Technik eine große Rolle spielt und einen Teil der lange Zeit unmenschlichen Arbeitsbedingungen revolutioniert hat. Noch immer freilich werden die diamanthaltigen Kimberlitschichten der uralten Schlote zunächst im Tagebau abgebaut. Parallel dazu treibt man in der Nähe der Pipes senkrechte Schächte in den Boden und bohrt die Schlote dann mithilfe von horizontalen Stollen an, um an das Kimberlit heranzukommen. Doch selbst der Hightech-Boom ändert nichts daran, dass die Diamantensuche bis heute ein mühsames Geschäft geblieben ist. In 5 oder mehr Tonnen Gestein steckt häufig nicht mehr als ein Karat Diamant.

Die Namib als El Dorado für Edelsteinsucher

Ein gutes Beispiel dafür, wie Diamantenfunde eine Region verändern können, ist Oranjemund in Namibia an der Grenze zu Südafrika. Die ganze Stadt wirkte früher wie der Hochsicherheitstrakt eines Gefängnisses. Ungeprüft und ohne ausdrückliche Erlaubnis kam hier keiner rein oder raus. Es waren aber keine Sträflinge, die derart abgeschottet wurden, sondern rund 10.000 Einwohner, in deren Beruf sich alles um Diamanten drehte.

Spätestens seit 1908 war bekannt, dass es hier im Südwesten des Kontinents Diamanten in Hülle und Fülle gibt, und man begann sie auszubeuten. Die Küstenregion an der Mündung des Oranjefflusses und weiter nördlich entlang der Namib bis nach Lüderitz wurde schließlich sogar zum Sperrgebiet erklärt. Anders als in den primären Lagern in Südafrika und Botswana, wo die Diamanten direkt im Kimberlit der Vulkanschlote sitzen, waren sie in Namibia tief unter dem Wüstensand oder in den Sedimenten der Küstengewässer versteckt.

Es handelte sich dabei um Edelsteine, die eigentlich aus den diamantenreichen Regionen Südafrikas stammen und im Laufe der Jahrmillionen durch Flüsse wie den Oranje River dort abgelagert worden sind. Um diese so genannten Sekundärlager auszubeuten, ließen sich die Bergbauexperten einiges einfallen. Mit gewaltigen Schutzwällen wurden potenzielle Diamantendepots vor der Brandung abgeschirmt. Im Schatten dieser Bauwerke arbeiteten riesige Bagger daran, den Sand und die Sedimente abzutragen, um an die diamanthaltigen Schichten heranzukommen. Die Edelsteine selbst wurden anschließend in Oranjemund oder anderswo aus dem angelieferten Material herausgefiltert.

Trotz des Hightechs war hier aber auch Handarbeit bei der Diamantensuche durchaus gefragt. Nach dem Abzug der Maschinen schwärmten zahlreiche Arbeiter aus, um die bereits abgeräumten Gebiete noch einmal direkt in Augenschein zu nehmen. In Löchern oder Felsritzen wurden diese „menschlichen Ameisen“ immer wieder fündig und brachten oft die besten Rohdiamanten zurück.

Diamanten aus dem Meer

Mittlerweile jedoch ist der Diamantenrausch in der Oranjemund-Region weitgehend vorbei. Die Vorkommen an Land sind nahezu erschöpft. Dafür ist man in Namibia auf eine neue Edelsteinquelle gestoßen: das Meer. Spezialschiffe tummeln sich seit einigen Jahren vor den Küsten des Landes und erkunden in den Brandungszonen des Atlantiks bis in mehrere Hundert Meter Wassertiefe das Terrain. Mit ausgeklügeltem Spezialgerät saugen sie dabei große Mengen an Sand vom Meeresboden ab und machen dabei häufig erstaunliche Funde. Geologen schätzen, dass in den Hoheitsgewässern des Landes insgesamt zwischen einer und 3 Mrd. Karat Diamanten auf ihre Entdeckung warten. Um auch an tiefer im Sediment versteckt liegende Edelsteine heranzukommen, sind mittlerweile sogar Bohrschiffe vor Namibia im Einsatz. Mit ihren gewaltigen Spezialbohrern dringen sie bis zu 130 m in den Meeresboden vor und „sammeln“ dort die wertvollen Minerale ein.

Die aus Namibia und anderen sekundären Lagern stammenden Diamanten zählen zu den begehrtesten auf der ganzen Welt. Die natürliche Auslese während des Transports – schwache, verunreinigte und kleine Kristalle bleiben dabei auf der Strecke – hat sie weitgehend von lästigem, wertlosem Gestein befreit und so können fast 95 % der gefundenen Rohdiamanten später zu Schmuckstücken weiterverarbeitet werden. Zum Vergleich: die Ausbeute in primären Lagerstätten liegt normalerweise gerade mal zwischen 25 und 50 %. Während früher die meisten Diamanten aus sekundären Lagerstätten stammten, ist der Prozentsatz in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen. Heute kommen circa vier von fünf Diamanten aus primären Depots.

Kein Nachschub für de Beers?

Neue primäre Depots wird es vermutlich wohl so schnell nicht geben. Denn die Zeit der Diamantenbildung ist nach Ansicht von Geowissenschaftlern vorbei. Alle heute auf der Erde entdeckten Diamanten haben nach einer Studie der Carnegie Institution in Washington schon eine

lange Geschichte hinter sich. Bei ihrem Versuch eine Weltkarte der Diamantvorkommen zu erstellen, fanden die Geologen heraus, dass vor rund 100 Mio. Jahren zum letzten Mal kleinere Mengen der begehrten Steine in den Tiefen der Erde entstanden sind. Das Gros der Diamanten jedoch ist nach dieser Theorie noch viel älter. Nach den Erkenntnissen der Forscher gab es drei Phasen, in denen besonders viele der reinen Kohlenstoffminerale auftraten und zwar vor 3,3, vor 2,9 und letztmals vor 1,2 Mrd. Jahren. „Die Bildung von Diamanten war eine Art Laune der Natur im Teenageralter des Blauen Planeten“, sagt dazu Steven Shirley von der Carnegie Institution. Seiner Meinung nach wird es in absehbarer Zeit keinen Nachschub an Diamanten mehr geben, weil heute im Inneren der Erde die Bedingungen für die Diamantengese einfach nicht mehr vorhanden sind.

Ob in den Tiefen des Erdmantels noch Diamanten-Lagerstätten existieren, die mithilfe von Vulkanismus an die Erdoberfläche gelangen könnten, wissen die Geologen allerdings nicht. Zum letzten Mal kam es nach ihren Erkenntnissen vor 70 und 150 Mio. Jahren zu einem größeren Aufstieg der begehrten Rohedelsteine an die Erdoberfläche. Die Experten von De Beers und Co müssen sich also mit dem zufrieden geben, was bisher da ist oder darauf hoffen, dass ein Zusammenstoß mit einem anderen Himmelskörper die Diamantenreserven der Erde auffrischt. So geschehen vor rund 15 Mio. Jahren im Nördlinger Ries in Bayern, wo ein Meteoriteneinschlag für die notwendigen Druck- und Temperaturbedingungen zur Erzeugung von Diamanten sorgte. Die gefundenen Glitzersteine sind aber so klein, dass sie für eine kommerzielle Nutzung ungeeignet sind.

Doch vor allem für technische Anwendungen haben natürlich vorkommende Diamanten ohnehin längst ihre Exklusivität verloren. Forscher haben schon vor einiger Zeit Möglichkeiten gefunden, Diamanten auch auf synthetischem Weg herzustellen. Pioniere auf diesem Gebiet waren die Techniker des US-amerikanischen Elektrokonzerns General Electric, denen es bereits in den 1950er Jahren gelang, erste Prototypen unter extremen Druck- und Temperaturbedingungen zu produzieren. Von dort zu neueren Verfahren, wie sie später beispielsweise Wissenschaftler von der University of Science and Technology of China entwickelt haben, war es dann jedoch noch ein weiter Weg. Anders als bei den herkömmlichen Verfahren dient den Chinesen als Grundstoff nicht

Graphit, sondern Magnesiumcarbonat und Natrium. In einer komplizierten Reaktionsfolge entstehen daraus am Ende Graphit und Diamanten. Der Clou an der Sache: beim chinesischen Verfahren reichen zur Synthese Temperaturen von gerade mal 500 °C aus. Eine Konkurrenz für die „echten“ Diamanten sind die künstlichen allerdings nicht. Aufgrund der geringen Größe sind sie für das Schmuckhandwerk uninteressant und werden in erster Linie in der Industrie eingesetzt.

Vom Kieselstein zum Edelstein – die Kunst des Schleifens

Wenn man nicht gerade Experte ist, wird es einem vermutlich schwer fallen, einen natürlichen von einem „falschen“ Diamanten zu unterscheiden. Und auch einen Rohdiamanten würde man wohl auf den ersten Blick kaum erkennen. Denn das, was man da an angeblich so Wertvollem in der Hand hält, ähnelt in der Regel viel mehr einem Kieselstein oder Kandiszucker als einem Edelstein. Bis aus dem unscheinbaren Mineral ein einzigartiges Schmuckstück geworden ist, kann es Wochen, zum Teil sogar Monate dauern. In den Schleiferhochburgen in Indien, Israel, Antwerpen oder New York erhalten sie dabei im wahrsten Sinne des Wortes den „letzten Schliff“. Erfunden wurde das Diamantschleifen angeblich Ende des 17. Jahrhunderts von Vincente Peruzzi. Ihm gelang es damals erstmals, einem Rohedelstein durch geometrisches Schleifen das heute allbekannte typische Feuer und Strahlen zu geben. Noch heute kann ein einziger Fehler des Schleifers die ganze Arbeit zunichtemachen und den Wert des Steins ins Bodenlose fallen lassen. Je besser jedoch die Verarbeitung, desto perfekter wird das Licht durch den Stein gebrochen und der Diamant erhält seine Brillanz.

Kein Wunder, dass gerade vor der Bearbeitung von großen Rohdiamanten genau ausgelotet wird, wie der Stein am besten geschnitten und dann weiterverarbeitet werden muss. Doch die Schleifarbeiten sind nicht ohne Gefahren. Denn in vielen Schleiferhochburgen – etwa Surat und Mumbai in Indien – herrschen zum Teil noch immer unmenschliche Arbeitsbedingungen. So gefährden beispielsweise der feine Diamantestaub und die chemischen Mittel, die während des Schleifens

eingesetzt werden, die Gesundheit der Arbeiter. Zudem müssen sie dort oft für einen geringen Lohn 16 h täglich arbeiten. Ein weiterer Makel der Branche ist jedoch die Kinderarbeit. Experten von Terre des Hommes schätzen, dass etwa 20 % aller Arbeiter in den indischen Schleiferzentren Kinder sind. Zum Teil beginnen sie bereits im Alter von fünf oder sechs Jahren mit der anstrengenden und gefährlichen Tätigkeit. Nach bis zu fünfjähriger Lehrzeit, die meist nicht bezahlt wird, sind sie zu kleinen Experten herangereift. Trotzdem bekommen sie nur einen Bruchteil des ohnehin geringen Lohnes der Erwachsenen.

Der Kampf gegen Blutdiamanten

In der Kritik steht die Branche nicht nur wegen der Verarbeitung der Diamanten, sondern manchmal auch wegen der Herkunft der Steine. Denn seit Beginn der 1990er Jahre wurden die Edelsteine – vor allem in Afrika – immer wieder dazu genutzt (Bürger)-Kriege zu finanzieren. In Ländern wie Sierra Leone, Demokratische Republik Kongo oder Angola brachten militante Regimegegner oder Invasionstruppen jahrelang viele wichtige Minen unter ihre Kontrolle und nutzen die Gelder aus dem Handel mit den so genannten „Blut-“ oder Konfliktdiamanten vor allem um Waffen zu kaufen. Oft genug taten es ihnen die zum Teil korrupten Regierungen gleich. Darüber hinaus gab es einen florierenden Schmuggel mit den wertvollen Schmucksteinen, an dem Politiker, Widerstandskämpfer und Regierungstruppen, aber auch international arbeitende Schmugglerbanden beteiligt waren. Aus den Krisenregionen gelangten die Blutdiamanten in offiziell unbeteiligte Nachbarländer wie Uganda, Ruanda oder Liberia. Diese traten dann als Diamantenexporteure auf, obwohl bekannt war, dass in den Ländern gar keine derartigen Vorkommen existieren.

Wie eine Studie der Menschenrechts- und Umweltorganisation „Global Witness“ belegt, können Blutdiamanten Kriege erheblich verlängern. So wäre der von 1975 bis 2002 dauernde Bürgerkrieg in Angola vermutlich viel eher zu Ende gewesen, wenn das Land nicht so große Diamantenvorkommen besitzen würde. Allein die Rebellen der Nationalen Union für die völlige Unabhängigkeit Angolas (UNITA) sollen

zwischen 1992 und 1998 Diamanten im Wert von 3,7 Mrd. US-\$ abgesetzt haben. Ein großer Teil der Erlöse floss in die militärische Ausrüstung oder landete in den Taschen von „Warlords“ wie Jonas Savimbi, den im Februar 2002 getöteten UNITA-Führer.

Nachdem viele Menschenrechtsorganisationen lange Zeit vergeblich die Diamantenkriege anprangerten, hat sich in den letzten etwa zehn Jahren einiges zur Verbesserung der Situation getan. So verabschiedeten die Vereinten Nationen (UN) zunächst eine Resolution, die den Export von Kriegsdiamanten aus Krisengebieten verbot. Dies reichte jedoch nicht aus, um auch den Schmuggel unter Kontrolle zu bekommen und den Handel von Blutdiamanten zu befreien. Die UN und verschiedene Nichtregierungsorganisationen übten deshalb Druck auf die Diamantenindustrie aus und brachten 2003 so den Kimberley-Prozess in Gang. Die deutsche Hilfsorganisation *medico international* (*medico*) beschreibt dessen Zweck so: „Ziel ist es, ein internationales Zertifizierungssystem gegen den Handel mit Konfliktdiamanten zu schaffen, das zudem den konfliktfreien Ursprung eines Diamanten beglaubigen soll.“ Zusammengeschlossen in der Initiative sind mittlerweile nahezu alle Diamanten exportierenden und importierenden Länder einschließlich der EU und speziell Deutschland.

Trotz immer wieder auftauchender Korruptionsvorwürfe und gefälschten Zertifikaten, scheint der Kimberley-Prozess durchaus erfolgreich zu sein. So ist der weltweite Handel mit Blutdiamanten stark zurückgegangen – von ehemals 10 auf etwa 1 %. Bei einer Vollversammlung aller am Kimberley-Prozesses Beteiligten im November 2010 betonte der damalige israelische Wirtschaftsminister Benjamin Ben-Elieser zudem: „Die internationale Gemeinschaft ist sich heute bewusster denn je, welches Leid Millionen von Menschen durch illegalen Handel mit Konfliktdiamanten zugefügt wird.“ *medico* dagegen relativierte zur gleichen Zeit die bisher erzielten Fortschritte. „Ein Hauptproblem des Kimberley-Prozess-Zertifizierungssystems ist es, dass es sich nicht um ein rechtlich verbindliches Abkommen handelt. Es beruht primär auf Kriterien der Selbstverpflichtung. Daher kann es seine Wirkungskraft nur mit der aktiven Unterstützung des jeweiligen Landes entfalten“, erklärte Anne Jung von *medico*. Zudem fallen Diamanten, die zwar legal, aber unter schweren Menschenrechtsverletzungen abgebaut werden, nicht unter den Begriff Konfliktdiamanten.

medico forderte deshalb eine Erweiterung und Präzisierung des Kimberley-Prozess und eine größere Rechtsverbindlichkeit.

Sind die Diamanten erst einmal perfekt verarbeitet, verrät nichts mehr den zum Teil problematischen Werdegang der Schmuckstücke. Der Wert der Diamanten, die nach dem Schleifen und dem Einfassen in die exklusiven Juwelierläden der Shoppingmeilen in New York, Paris oder Tokio kommen, wird durch die vier großen Cs bestimmt. Neben dem Carat, dem Gewicht des Steins, gehören dazu der Cut oder Schliff, die Color oder Farbe und die Clarity oder Reinheit des Diamanten. Besonders begehrt sind beim Kunden die seltenen farblosen Steine, die lupenrein – und damit frei von sichtbaren Kohlenstoffeinschlüssen – sind und das Licht perfekt reflektieren.

Flözbrände: schwelende Umweltkatastrophe durch den Kohleabbau

14

Nadja Podbregar

Zusammenfassung

Erst vor knapp 30 Jahren sind Wissenschaftler auf eine Naturkatastrophe aufmerksam geworden, die sich mit dem zunehmenden Hunger der Industrieländer nach fossilen Brennstoffen und im speziellen nach Kohle schleichend ausgebreitet hat: Kohlebrände. Dabei beginnen ganze Flöze zu schwelen und gehen dann in Flammen auf. Diese hartnäckigen und schwer zu löschenden Brände gefährden und behindern nicht nur den Abbau der Kohle und erzeugen so millionenschwere Verluste. Sie emittieren auch große Mengen Kohlendioxid und damit klimaschädliches Treibhausgas.

Ursache für die teilweise unkontrollierbaren Flözbrände ist die Oxidation der Kohle bei Kontakt mit dem Luftsauerstoff. Kann die dabei entstehende Wärme nicht schnell genug abgeführt werden, werden leicht flüchtige, brennbare Gase freigesetzt. Diese können sich entzünden und einen Schwelbrand auslösen. Steigt die Temperatur im Inneren des Kohlenflözes weiter, schlagen Flammen hoch, und das Feuer kann bis zu 1.500 °C heiß werden. In diesem Temperaturbereich schmilzt bereits Gestein.

Nadja Podbregar (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

Allein in China, das knapp 1 Mrd. t Kohle jährlich produziert, verbrennen nach Schätzungen des niederländischen Instituts für Geoinformation und Erdbeobachtung (ITC) pro Jahr etwa 20 bis 30 Mio. t Kohle durch unkontrollierte Feuer. Insgesamt etwa 90 bis 300 Mio. t werden dadurch für den Bergbau unbrauchbar. Das Problem der Flözbrände gibt es aber auch in Russland, Südafrika, auf Sumatra, in den USA oder in Indien – in fast allen Ländern, die Kohlebergbau betreiben. Das indonesische Ministerium für Energie und Bodenschätze schätzt, dass allein in der Provinz Ost-Kalimantan auf Borneo über 76.000 Brände unter den Wurzeln des Regenwalds schwelen. Immer wieder erzeugen sie Erdspalten, aus denen dann wie aus kleinen Vulkanen Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, Methan und Schwefeldioxid aufsteigen. Messungen des Ministeriums haben ergeben, dass allein die Konzentration des Kohlenmonoxids an den Austrittsstellen mit 2.000 ppm (parts per million) bei einem Vielfachen der für einen Menschen tödlichen Dosis von 150 ppm liegt.

Weltberühmt sind auch die verlassenen Bergbaustädte Centralia oder Uniontown in Pennsylvania in den USA. Die früher vom Anthrazit-Abbau lebenden Orte wurden von ihren Bewohnern nahezu aufgegeben. Denn immer näher fressen sich die Schwelbrände an die Siedlungen der Bergarbeiter heran, wölben den Boden auf und bringen die Bausubstanz durch Hitze und veränderten Untergrund in Gefahr. Selbst in Deutschland brennt die Erde an einigen Stellen. Im Saarland zwischen den Orten Dudweiler und Sulzbach-Neuweiler steht ein Kohleflöz bereits seit dem Jahr 1668 in Flammen. Schon Goethe stattete dem „Brennenden Berg“ einen Besuch ab und erinnerte sich später: „Ein starker Schwefelgeruch umzog uns; die eine Seite der Höhle war nahezu glühend, mit rötlichem, weißgebranntem Stein bedeckt; ein dicker Dampf stieg aus den Klunsen hervor und man fühlte die Hitze des Bodens auch durch die starken Sohlen.“

Einmal aufgeflammt ist das Löschen und Eindämmen eines solchen Feuers extrem aufwändig und in manchen Regionen fast unmöglich. Die bisher effektivste Methode der Brandbekämpfung wurde in China entwickelt. Um den Brandherd zunächst herunterzukühlen, werden dafür in der betroffenen Zone mehrere Bohrungen im Abstand von jeweils etwa 20 m rasterförmig bis auf Höhe der brennenden Kohle durchgeführt. In den folgenden ein bis zwei Jahren pumpt man hier

Wasser oder Schlamm hinein – so kühlt der Brand ab und wird gelöscht. Damit das Feuer nicht erneut aufflackert, entzieht man dem Brandherd zudem den Sauerstoff. Dafür decken die Löscharbeiter die Brandzone mit einem möglichst undurchlässigen Material wie Lehm oder Löss ab. Bis ein Kohlebrand jedoch wirklich erloschen ist, dauert es in der Regel mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte. In dieser gesamten Zeit muss das Feuer überwacht werden. Wird das Flöz zu früh wieder angegraben, kommt neuer Sauerstoff an den Brand und er lodert wieder auf oder setzt sich an anderer Stelle fort.

Mittlerweile verursachen die Flözbrände nicht nur enorme wirtschaftliche Schäden, sie stellen zunehmend auch eine nicht zu vernachlässigende Quelle für die Emission von Treibhausgasen dar. Experten gehen davon aus, dass allein Chinas unkontrollierte Kohlebrände und das dabei emittierte Kohlendioxid heute einen Anteil von 2 bis 3 % der weltweiten CO₂-Emissionen ausmachen. Neben der Erforschung neuer, effektiverer Löschmethoden konzentrieren sich die nationalen und internationalen Anstrengungen inzwischen auch auf die möglichst frühzeitige Ortung neuer Brände mittels Fernerkundung.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Egal, ob Diamanten, Metalle oder Kohle: Viele von uns dringend benötigte Bodenschätze werden in offenen Gruben, so genannten open pits oder Tagebauen, gewonnen. So wie in der Bingham Canyon Mine südwestlich von Salt Lake City im U.S. Bundesstaat Utah. Seit dem Jahr 1906 schürft man hier beständig nach Erzen. Mittlerweile ist der Tagebau vier Kilometer breit, 1,2 km tief und bedeckt eine Fläche von 7,7 km² Land. Damit ist die Bingham Canyon Mine die größte weltweit vom Menschen ausgehobene Grube überhaupt – behauptet zumindest die Betreibergesellschaft Kennecott Utah Copper Corporation. Bis jetzt wurden dort mehr als 18,7 Mio. t Kupfer sowie größere Mengen an Gold, Silber und Molybdän aus dem Boden geholt.

Das meiste Kupfer – die weltweite Jahresproduktion beläuft sich nach Angaben des United States Geological Survey (USGS) auf 15,8 Mio. t (Stand 2009) – stammt aber nicht aus den USA sondern aus Chile. Der langgestreckte Andenstaat ist mit mehr als einem Drittel davon unangefochtener Spitzenreiter bei der Förderung dieses Rohstoffes. Und die

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

Folgen dieses Bergbaus sind sogar aus dem All sichtbar. So hat man beispielsweise auf Satellitenbildern der Atacama-Wüste einige ungewöhnliche „Sprenkel“ in der Haut der Erde entdeckt. Bei näherem Hingucken entpuppten sich diese als riesige, offene Gruben. Denn auch in Chile sind es nicht viele kleine Minen, die für die große Menge an Kupfer sorgen, sondern vor allem zwei gigantische Tagebaue: Chuquicamata und Escondida. Diese befinden sich 215 km nordöstlich beziehungsweise 170 km südöstlich der Stadt Antofagasta. Die beiden Escondida open pits sind sogar die größten Kupferlieferanten der Welt. 1,483 Mio. t des Metalls stammten allein im Jahr 2007 von hier. Wert: 10,12 Mrd. US-\$.

Noch bekannter ist allerdings die auf 3.000 m Höhe gelegene Chuquicamata-Mine. Schon fast 100 Jahre wird hier in großem Maßstab Kupfer gefördert. Kein Wunder, dass die Grube mittlerweile mindestens 4,3 km lang und 3 km breit ist. Wer einmal am Rande von Chuquicamata gestanden hat, wird diesen Anblick nie vergessen. Rund 900 m weit geht es hier in die Tiefe. Doch das ist längst noch nicht alles. Denn trotz der enormen Größe der Mine fühlt man sich unwillkürlich in das Land „Liliput“ aus Gullivers Reisen versetzt. Vor allem, wenn sich mit Kupfererzen beladene Trucks wie in Zeitlupe die unzähligen Serpentina am Rand der Mine hochquälen. Dann wirken sie wie Spielzeug-LKW, die man ohne weiteres in die Hand nehmen könnte. Doch erreichen sie dann nach stundenlanger Fahrzeit mit lautem Getöse den Rand der Grube, erkennt man ihre wahren Dimensionen: 7 m breit und 12 m hoch sind diese Ungetüme und sie transportieren mehrere hundert Tonnen Gestein auf einmal. In den nächsten Jahren soll Chuquicamata noch weiter ausgebaut werden. Doch die Betreiber müssen vorsichtig sein. Denn wenn es noch viel tiefer geht, gerät die Bergstatik in Unordnung und Erdbeben könnten fatale Folgen haben.

Berühmt ist die Kupfermine Chuquicamata für ihre enorme Größe und die rund 30 Mio. t Kupfer, die dort bislang abgebaut worden sind. Berühmt ist der Tagebau dagegen für die gewaltigen Abraumhalden, die in der Region die Landschaft verunzieren. Sie sind aufgehäuft worden, weil bei der Kupfergewinnung große Mengen an wertlosem, „taubem“ Gestein anfallen. So gewinnt man aus 1.000 t Erz gerade mal 5 t Kupfer. Der Rest muss so billig wie möglich irgendwo gelagert werden. Warum dann nicht gleich an einer „günstigen“ Stelle in der Nähe – denken sich offenbar zumindest die Bergwerksbetreiber. Entstanden ist

dabei in Chuquicamata ein riesiger künstlicher Berg, der unter dem Namen „La torta“, die Torte, bekannt ist. Zu den wenigen Bewohnern mit Blick auf La Torta gehörten jahrzehntelang auch tausende Arbeiter der Mine, die im gleichnamigen Ort Chuquicamata (Chuqui) am Rande der Grube lebten. Im Jahr 2004 wurden sie jedoch in die 15 km entfernte Kleinstadt Calama umgesiedelt. Dafür gab es zwei Gründe. Zum Einen sind auch im Untergrund des ehemaligen Städtchens größere Kupferlagerstätten entdeckt worden, die in den nächsten Jahren abgebaut werden sollen. Zum Anderen war die Umweltverschmutzung in der Nähe der Mine so groß, dass ein weiteres Verbleiben in der alten Heimat als unmöglich angesehen wurde – letztlich sogar von den Betreibern der Mine, dem staatseigenen Unternehmen Corporacion Nacional del Cobre de Chile, kurz „Codelco“.

„Die Verschmutzung ist fürchterlich. Besonders das Arsen, es juckt am ganzen Körper. Bei zu viel Arsen in der Luft erkrankten die Kinder, und im Radio wird gewarnt, die Häuser nicht zu verlassen. Auch die Menschen mit Herzproblemen leiden“, beschrieben zwei ehemalige Bewohner von Chuquicamata in einem Film des NDR-Fernsehens die Situation vor der Umsiedlung. „Es ist sehr ungesund, hier in Chuqui zu leben. Die da oben sollen sich nicht damit herausreden, dass durch den Umzug dem chilenischen Staat zu große Unkosten entstehen würden. Die Leute, die hier weggehen, die leben ja nicht sehr lange. Das ist die Realität der Kontamination. Die Chefs und Manager, die in Santiago wohnen, die sollen doch mal eine Zeit hier leben!“, so Ruben Maurizio Saez Pereira und seine Frau Margarita del Carmen weiter. Schuld an der enormen Umweltverschmutzung sind neben den gewaltigen Feinstaubwolken, die beim Kupferabbau entstehen und oft die ganze Region mit einem giftigen Schleier bedecken, vor allem die Überbleibsel gesundheitsgefährdender Abwässer. Sorgen machen Wissenschaftlern vor allem Arsen und einige andere Chemikalien. Sie fallen unter anderem bei der Kupferaufbereitung an und verseuchen nicht nur die Böden sondern reichern sich auch in der Luft an. Bei solchen Bedingungen überrascht es nicht, dass sich bei den Einwohnern von Chuquicamata Krankheiten wie Krebs häuften. Ob durch die Umsiedlung alle gesundheitlichen Probleme der Minenarbeiter und ihrer Familien gelöst sind, bleibt fraglich. Denn zumindest während ihrer Tätigkeit im Tagebau sind sie noch immer stundenlang den widrigen Bedingungen ausgesetzt.

Fazit: Ein überdimensionales „Loch“, künstliche Berge, vergiftete Landschaften: Chuquicamata gilt als Prototyp für eine Umgestaltung der Erde, die weder auf Mensch noch Natur Rücksicht nimmt. Und das alles für ein Metall, ohne das unsere moderne Gesellschaft undenkbar wäre. In den letzten 30 Jahren hat sich der Kupferbedarf mehr als verdoppelt – dank dem Boom bei Handys, PCs und anderen elektrischen und elektronischen Geräten.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

Jahrtausendlang war Salz einer der seltensten und begehrtesten Rohstoffe auf der Erde. Wer Salz besaß, hatte Macht, um Salz entbrannten blutige Kriege, Salz machte aus einfachen Kaufleuten reiche und einflussreiche Handelsbarone. Selbst zuvor unscheinbare Orte an den berühmten Salzstraßen der Antike oder des Mittelalters wurden damals im Nu zu reichen Handelszentren. Heute erinnern noch Städtenamen wie Salzburg, Brot und Salz als Geschenk oder das Wort Salär, das aus dem lateinischen Wort für Salz abgeleitet ist, an die große Bedeutung, die der Rohstoff schon früher hatte. Mittlerweile werden Jahr für Jahr weltweit rund 260 Mio. t Salz (Stand 2009) gewonnen, knapp 7 % davon allein in Deutschland. Salz ist längst vom Luxusgut zum Massenprodukt geworden.

Schon der Fachbegriff für das Kochsalz – Natriumchlorid (NaCl) – macht deutlich, dass es sich dabei nicht um ein chemisches Element handelt, sondern um eine Verbindung. Dabei liegen die beiden Unter-einheiten des Kochsalzes, Chlor, ein giftiges Gas, und Natrium, ein aggressives Metall, in Form von elektrisch geladenen Teilchen vor, die

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

man nach dem griechischen Wort für „Wandern“ auch Ionen nennt. Diese Ionen sind unterschiedlich geladen, das Chlor negativ (Cl^-) und das Natrium positiv (Na^+), und ziehen sich deshalb nach den Gesetzen der Elektrostatik gegenseitig an. Die Verbindung, die daraus entsteht, das Natriumchlorid, zeigt dabei keine der unangenehmen Eigenschaften der zugrunde liegenden Elemente.

Ein großer Teil der aktuellen Salzreserven ist mehrere hundert Millionen Jahre alt. Diese Steinsalzlagerstätten im Bereich des Neckar oder im Berchtesgadener Land, aber auch in den USA, Kanada oder in Russland sind beim Austrocknen von Ozeanen in verschiedenen Phasen der Erdgeschichte entstanden. So wie in Europa zurzeit des Zechstein vor mehr als 250 Mio. Jahren. Die Kontinente waren damals noch ganz anders auf der Erdkugel verteilt als jetzt. Ein gewaltiges Meer erstreckte sich über große Teile der heutigen Länder England, Polen, Dänemark und Deutschland. Trocken und heiß war es seit einiger Zeit. Kein Wunder, dass der Meeresspiegel sank und der dort existierende riesige Ozean unter den extremen Bedingungen langsam anfang zu verlanden. Vor allem in den weitgehend vom freien Wasser abgeschlossenen Meeresarmen verdunstete immer mehr Wasser und mit der Zeit lagerten sich Salze auf den trockenfallenden ehemaligen Ozeanböden ab. Aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit fielen zuerst Kalk und Dolomit aus dem Wasser aus, dann Anhydrit und Gips, schließlich Steinsalz und am Ende die Edelsalze. Im Laufe der Jahrtausende wuchsen so charakteristische Schichtungen heran, die zusammen erstaunliche Mächtigkeiten von 60 m oder mehr erreichten. Sand, Staub und überlagernde Gesteinsschichten verschlossen anschließend die Salzlager sicher und konservierten sie bis in die heutige Zeit.

Soweit das fiktive Szenario. Doch gerade die Mächtigkeit dieser Salzlagerstätten gibt den Forschern zuweilen noch immer Rätsel auf: Denn ein Meer, das eine solche Schicht hinterlassen könnte, müsste bei einem Salzgehalt von 3,5 % – wie er heute in den Weltmeeren durchschnittlich gemessen wird – fast 4.000 m tief gewesen sein. Mittlerweile haben Geowissenschaftler unter der norddeutschen Tiefebene aber sogar Salzdepots mit mehr als 1.000 m Mächtigkeit entdeckt. Welche Ausmaße muss dann erst der Ozean gehabt haben, der für solche riesigen Steinsalzlager verantwortlich war? Wissenschaftler gehen deshalb davon aus, dass insbesondere bei der Entstehung der dicksten Salz-

schichten neben dem einfachen Austrocknen noch andere Faktoren eine Rolle spielten. Dazu gehört beispielsweise ein natürlicher Salzkonzentrationsprozess in den betroffenen Meeresarmen.

Wenn, so die Theorie der Forscher, das langsam austrocknende Becken damals nicht vollständig von der Frischwasserzufuhr abgeschnitten war, könnte kontinuierlich salzhaltiges Wasser in das Bassin eingeströmt sein, während an der Wasseroberfläche reines Wasser verdunstete. Der Salzgehalt im Meeresarm stieg dadurch im Laufe der Zeit immer weiter an. Irgendwann hätte dann ein Anheben von untermeerischen Landmassen oder ein Absinken des globalen Meeresspiegels dafür gesorgt, dass das Bassin schließlich doch völlig vom offenen Ozean getrennt wurde. Aufgrund der enormen Salzkonzentration im Wasser wäre dann beim Austrocknen des Meeresarms viel mehr Salz abgelagert worden als unter normalen Umständen.

Salzgeschichte(n)

Doch es waren nicht solche Steinsalzlagerstätten, die in der Geschichte der Menschheit als erste zur Gewinnung des wertvollen Rohstoffes genutzt wurden. Vor einigen tausend Jahren lieferte zunächst das Meer den begehrten Rohstoff in Hülle und Fülle – zumindest den Küstenbewohnern. Durch das Anlegen von Salzteichen oder Salzgärten verstanden diese es bereits lange vor der Römerzeit, den Ertrag noch weiter zu steigern. Im Binnenland konnten damals lediglich Salzseen wie das Tote Meer, Salzwüsten oder salzhaltige Quellen zur Salzproduktion genutzt werden. Etwa um 1.000 v. Chr. nahm dann nahe Hallstatt, im österreichischen Teil der Alpen, das vermutlich erste Salzbergwerk der Erde seinen Betrieb auf. Warum man damals ausgerechnet in der Einöde mit Bronzepickeln bewaffnet Stollen in die Erde trieb, ist für Forscher noch immer rätselhaft. Um an das so genannte „weiße Gold“ zu gelangen, mussten die Bergleute zunächst einmal eine viele Meter dicke Stein- und Geröllschicht überwinden. Die unterirdischen Vortriebsgänge sicherten sie mit selbst erdachten und gezimmerten hölzernen Stützfeilern. Mehr als 500 Jahre war das Bergwerk mindestens in Betrieb und versorgte nicht nur Hallstatt und die umliegenden Orte mit Salz,

sondern auch große Teile Südeuropas. Hallstatt entwickelte sich mit der Zeit zu einem der wichtigsten Zentren des Salzhandels.

Später wurden dann in Hallstatt und anderswo vor allem salzhaltige Quellen als Grundlage für die Gewinnung benutzt. Mit großen Siedepfannen erhitze man das salzhaltige Gemisch – die Sole – und erhielt nach dem Verdampfen des Wassers das feste Endprodukt. Mit der Zeit nutzten die Siedebetriebe weltweit, die so genannten Salinen, immer mehr von Menschenhand erzeugte Sole für die Salzproduktion. Um die Sole zu erzeugen, wurden künstliche Kammern und Höhen in unterirdische Salzlagerstätten gehauen, in die man Süßwasser einleitete. Das Wasser löste dort aus dem umliegenden Gestein nach und nach das Salz heraus. War die Lösung endlich konzentriert genug, wurde sie in die Salinen geleitet, wo sie nach bewährter Methode weiterverarbeitet wurde. Limitierende Faktoren bei der Salzproduktion waren im Mittelalter vor allem die Konzentration der Sole und der Nachschub an Heizmaterial zum Verdampfen des Salz-Wassergemisches. Quellen mit einem Salzgehalt von 20%, wie es sie beispielsweise in Bad Reichenhall gab, waren selten. Nur diese lieferten jedoch ein Kilogramm Salz oder mehr beim Sieden von 5 l Sole.

Der Förderung von Steinsalz begannen die Salzexperten erst im 19. Jahrhundert wieder vermehrt Aufmerksamkeit zu widmen. Den Startschuss gab im Jahr 1812 der württembergische König Friedrich I. Er ließ im Örtchen Jagstfeld nach vorherigen geologischen Untersuchungen eine Probebohrung durchführen in der Hoffnung, auf eine gewaltige Salzlagerstätte zu stoßen. Nach gut drei Jahren mühevoller Arbeit entdeckten die Wissenschaftler und Techniker in 116 m Tiefe zunächst eine Schicht mit hochkonzentrierter Sole. Wenige Monate später drang der Bohrer dann 142 m unter der Erdoberfläche, wie von den Experten prognostiziert, in ein großes Steinsalzlager vor. Ermutigt durch diesen Erfolg begann schon bald überall im deutschsprachigen Raum die Suche nach ergiebigen Steinsalzlagerstätten. Fündig wurde man unter anderem in der Nähe von Stassfurt in Preußen, wo bei Bohrungen Mitte des 19. Jahrhunderts ein gewaltiges Reservoir entdeckt wurde. Schon bald begann dort auch der bergmännische Abbau des Salzes, der der Region im Laufe der Zeit europaweite Bedeutung als Salzlieferant und großen Reichtum brachte. Damit war endgültig die Ära des Steinsalzes eingeläutet. Es war viel schneller und billiger zu

gewinnen als das Siedesalz und der Salzmarkt wurde in kurzer Zeit mit großen Mengen des Bodenschatzes überschwemmt.

Salzgewinnung heute

Die moderne, industrielle Salzproduktion hat sich längst zu einem Hightech-Unternehmen entwickelt, das mit den primitiven Anfängen der Salzgewinnung nicht mehr viel gemein hat. Noch immer jedoch wird Natriumchlorid sowohl bergmännisch in Form von Steinsalz, aus Sole oder direkt aus dem Meerwasser gewonnen. Im letzteren Falle ist das Kochsalz allerdings häufig eher ein – wenn auch begehrtes – Abfallprodukt der Meerwasserentsalzungsanlagen, die immer häufiger zur Süßwasserversorgung eingesetzt werden. In vielen trockenheißen Regionen der Erde gibt es zudem auch heute noch Salzgärten an Küsten und Salzseen. In ihnen verdunstet mithilfe der Sonne Meerwasser bis schließlich nur noch Salz in den Bassins übrigbleibt, das dann abgebaut werden kann.

Um an das Steinsalz zu gelangen, werden bei vielversprechenden Lagerstätten meist zwei gewaltige senkrechte Schächte bis zu 1.000 m tief in die Erde getrieben. Sie dienen dazu, Mensch und Geräte nach unten zu transportieren und im Gegenzug das abgebaute Salz ans Tageslicht zu bringen. Weit mehr als 1.000 t Salz gelangen dabei heute stündlich weitgehend ohne menschliches Zutun an die Erdoberfläche. Die Schächte sorgen aber auch für die Belüftung des Salzbergwerkes. Zwischen diesen Verbindungen zur Oberwelt legen die Bergleute zum Teil kilometerlange Verbindungsstrecken an. Rechts und links von diesen Hauptstollen entstehen zahlreiche Abbaukammern, die am Ende viele Hundert Meter lang und bis zu 40 m hoch sein können. Der eigentliche Salzabbau in diesem verzweigten unterirdischen Tunnelsystem erfolgt in der Regel durch Bohren und Sprengen. Das so gewonnene Steinsalz wird mit riesigen Großgeräten wie Frontschaufelfahrladern, Hydraulikbaggern oder Muldenkippern abtransportiert. Manche davon können 50 t Salzbruch auf einmal transportieren. Anschließend wird das Steinsalz zerkleinert und schließlich per Förderband zu den nach oben führenden Schächten gebracht.

Auch das Anzapfen von natürlichen Solereservoirs spielt bei der Kochsalzgewinnung noch immer eine Rolle. Allerdings ist dieses Salzwassergemisch meist zu dünn für eine wirtschaftliche Siedesalzgewinnung und muss durch künstliche Salzzugabe erst Salinen-tauglich gemacht werden. Heute gewinnt man deshalb Sole meist von der Erdoberfläche aus über angebohrte Steinsalzlagerstätten. Dazu werden zwei Rohre mit unterschiedlichem Durchmesser ineinander gesteckt und bis zu 1.000 m tief in das Bohrloch eingepasst. In den Zwischenraum zwischen den beiden Rohren pumpt man anschließend Süßwasser unter hohem Druck in die Tiefe, wo es das Steinsalz auflöst. Die hochkonzentrierte Sole strömt danach im inneren Rohr wieder nach oben und steht zur Nutzung in den Salinen bereit. Experten sprechen in diesem Zusammenhang von „kontrollierter Bohrlochsolung“. Wie lukrativ die Salzproduktion in den modernen Salinen letztlich ist, hängt wie im Mittelalter vom Energieverbrauch und der Konzentration der Sole ab. Nachdem die künstliche Sole mittlerweile meist einen optimalen NaCl-Gehalt von 26,4 % besitzt, gilt es beim Verdampfen möglichst wenig Energie zu verschwenden. Deshalb werden zum Sieden oft geschlossene Anlagen eingesetzt. Häufig sind dabei ganze Ketten von Verdampfern hintereinander geschaltet, in denen bei Temperaturen zwischen 50 und 150 °C Salz gewonnen wird.

Egal woher das Salz letztlich stammt: Bevor es zur Verwendung in Industrie, Haushalte oder Gewerbetriebe gelangt, muss es erst noch aufbereitet und gesäubert werden. Damit das Speisesalz am Ende auch schön aus dem Streuer rieselt, wird es jedoch anschließend wieder künstlich verunreinigt. Zusätze wie Carbonate, Hexacyanoferrat oder Kieselsäure sorgen dafür, dass das Salz nicht verklumpt und wohldosiert auf dem Frühstücksei landet. Nur etwa 3 % des heute gewonnenen Salzes ist jedoch für uns Verbraucher gedacht. Den Großteil verwendet die chemische Industrie zur Herstellung von mehr als 10.000 verschiedenen Produkten. Wasch- und Reinigungsmittel, Farbstoffe, PVC und Kunststoffe, Seife oder Cellulose – alle diese alltäglichen Gegenstände sind ohne den Rohstoff Salz undenkbar. Salz wird aber auch zur Konservierung von Dürren, zur Herstellung von Kraftfutter und Lecksteinen oder zur Erneuerung des Wasserenthärter in Spülmaschinen verwendet. Als Streusalz schließlich gelangt es im Winter auf unsere Straßen, ja es wird sogar bei Erdölbohrungen als Spüllauge eingesetzt.

Dieter Lohmann

Zusammenfassung

988,2 Mio. t Braunkohle wurden im Jahr 2009 laut der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) weltweit gefördert. 169,9 Mio. t davon stammten aus Deutschland, das damit noch vor China „Braunkohleweltmeister“ war.

Gewonnen wird der Energierohstoff hierzulande seit Jahrzehnten ausschließlich in riesigen Tagebauen. Garzweiler I und II: 11,4 Quadratkilometer (km²) Fläche, in Betrieb; Goitzsche: 60 km² groß, stillgelegt; Dreieichen: 35,8 km², ebenfalls geschlossen, sind nur drei Beispiele dafür. Die Braunkohlengruben liefern aber nicht nur „jede Menge Kohle“, sie verändern auch die Landschaft in Deutschland nachhaltig. Nicht nur die Natur – Wiesen, Wälder oder Seen einschließlich der dort heimischen Tiere und Pflanzen – sind davon betroffen, sondern auch der Mensch. Denn fast ebenso lang wie die Aufstellung der vertriebenen Arten, ist die Liste der „abgebaggerten“ Siedlungen, wie man in der Fachsprache sagt. Allein in der Lausitz wurden bisher über 80 Orte und Gemeindeteile Opfer der Tagebaue. Und im Rheinischen und im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier mussten, Massenprotesten zum Trotz,

Dieter Lohmann (✉)

MMCD NEW MEDIA GmbH, Drakeplatz 5, 40545 Düsseldorf, Deutschland
e-mail: redaktion@scinexx.de

unter anderem schon Garzweiler, Lürken, Rundstedt oder Markkleeberg den Schaufelradbaggern weichen. Und auch in näherer Zukunft wird der Abbau weitergehen. In Deutschland ist Braunkohle immer noch entscheidend an der Primärenergieerzeugung beteiligt und, nicht zuletzt, reichlich vorhanden. Im Boden lagern bei uns nach Angaben des Bundesverbandes Braunkohle noch 40,6 Mrd. t an Reserven. Doch um an die relativ flach unter der Erdoberfläche liegenden Kohleflöze heranzukommen, muss zunächst die Deckschicht und damit die Landschaft großflächig abgetragen werden.

Beispiel: Tagebau Hambach in Nordrhein-Westfalen. Zwischen Elsdorf, Niederzier und dem Forschungszentrum Jülich gelegen, ist dies Deutschlands zurzeit größter Tagebau. Fast 400 m in die Erde haben sich die riesigen Maschinen hier bereits vorgearbeitet. Kein Wunder, denn dort sind die größten Bagger der Welt am Werk: 240 m lang, 96 m hoch und 13.500 t schwer. Sie bauen täglich 240.000 t Kohle oder Gestein ab. Zum Vergleich: Damit könnte ein normales Fußballstadion 30 m hoch zugeschüttet werden. Jährlich springen dabei 40 Mio. t Braunkohle für den Betreiber, RWE Power, heraus. Und das noch bis 2040. Unvorstellbar ist aber auch der Abraum in Hambach. Fast 300 Mio. t davon fallen im Jahresverlauf an.

Dort, wo jetzt Schaufelradbagger, Förderbänder und Bergleute tätig sind, existierte früher unter anderem ein ausgedehntes Waldgebiet, der Hambacher Forst. Mittlerweile sind große Teile des ehemals 5.500 ha großen Gebietes für immer verschwunden. Ihre Heimat verloren haben aber auch bereits über 5.000 Bewohner der Tagebauregion. So wurden die Dörfer Etzweiler und Lich-Steinstraß komplett umgesiedelt und erhielten in der Nähe ein neues Zuhause – soziale Probleme inklusive. Auswirkungen hat der Tagebau aber nicht nur auf die Betriebsfläche selbst, sondern auch auf benachbarte Regionen. Denn da die Braunkohle meist deutlich unter dem Grundwasserspiegel liegt, muss dieses ständig abgepumpt werden. Folge: Quellen in der Nachbarschaft versiegen, Orte und Landschaften sacken ab, Bergschäden. Doch warum werden angesichts solcher Nachteile Tagebaue wie in Hambach überhaupt genehmigt? Möglich macht das das deutsche Bergrecht, nach dem das Bergwerkseigentum beim Staat, und nicht beim Grundeigentümer liegt. So heißt es in einem Urteil des Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen vom 21.12.2007: „Die Zulassung des Rahmen-

betriebsplans für den Braunkohlentagebau Garzweiler I/II, der mit der Umsiedlung zahlreicher Menschen verbunden ist, greift grundsätzlich nicht in den Schutzbereich des Art. 11 Grundgesetz (GG) (Recht der Freizügigkeit) oder des Art. 2 Abs. 2 GG (Freiheit der Person) ein; die Umsiedlung ist im Sinne von § 48 Abs. 2 S. 1 Bundesberggesetz mit öffentlichen Interessen vereinbar.“

Ein Tafelberg in der Jülicher Börde

Mal sind sie größer, mal etwas kleiner: Bei der Förderung von Braunkohle und anderen Rohstoffen entstehen gewaltige Gruben. Doch was passiert eigentlich mit den vielen „Löchern“? Oder mit den großen Mengen an wertlosem und störendem Abraum? Antworten auf diese Fragen liefert zum Beispiel ein Blick in den Kreis Düren in Nordrhein-Westfalen. Die rund sechs Kilometer östlich der Kleinstadt Jülich gelegene Sophienhöhe gilt als größter künstlicher Berg der Erde, als überdimensionaler Blickfang in der flachen Bördelandschaft, aber auch als Sinnbild des Braunkohlenabbaus. Denn entstanden ist sie eigentlich durch „Müll“. Hier wurden bisher mindestens zehn Kubikkilometer Abraum aus dem nahe gelegenen Tagebau Hambach abgekippt, aufgeschichtet und verdichtet. Angeliefert haben das Material nicht etwa riesige LKW, sondern beständig ratternde, tausende von Metern lange Förderbänder. Herausgekommen ist dabei im Laufe der Jahrzehnte ein durchschnittlich 200 m hohes Tafelberg-ähnliches Gebilde, das auch jetzt noch immer weiterwächst – zumindest teilweise. Vom Gipfel auf dem Römerturm, 290 m über Normalnull, bietet sich ein außergewöhnlich schöner Blick über Wiesen und Felder, die umliegenden Städte und Gemeinden, aber auch in den Tagebau selbst. Die Sophienhöhe ist bereits weitgehend rekultiviert und besteht aus mehreren bewaldeten Geländestufen, die viel Platz für Spaziergänger, Fahrradfahrer und Reiter bieten.

Die Sophienhöhe ist einmalig, allerdings nur was ihre Höhe und Ausdehnung betrifft. Denn ansonsten sind von Menschenhand geschaffene Hügel in Deutschland keine Seltenheit. Fast 200 davon hat es allein im Ruhrgebiet gegeben, viele davon sind aber bereits wieder besei-

tigt. Auch, weil es manchmal aufgrund von Fehlern beim Aufschütten zu gefährlichen Haldenbränden kam. Zu einer besonderen Attraktion hat sich dagegen die Halde Rheinpreußen in Moers entwickelt. Von dem 70 m hohen Hügel, der aus Abraum vom längst stillgelegten nahen Steinkohle-Bergwerk „Rheinpreußen“ besteht, kann man tagsüber das Ruhrgebiet und den Niederrhein in Augenschein nehmen. In den Abendstunden und nachts jedoch hüllt sich die Halde Rheinpreußen sogar in ein rotes Gewand. Denn dann tritt ihr Wahrzeichen, das sogenannte „Geleucht“ so richtig in Aktion. Die vom Künstler Otto Piene entworfene rund 30 m hohe Plastik in Form einer Grubenlampe erstrahlt dann mit insgesamt 61 Beleuchtungskörpern und taucht mehr als einen halben Hektar Fläche in rotes Licht.

Seenlandschaften aus der Retorte

Doch nicht nur künstlich aufgetürmte Berge und Hügel zählen zu den Überbleibseln des Kohlebergbaus, sondern auch riesige „falsche“ Seen. Wie etwa der Blausteinsee in der Nähe von Eschweiler, der am 12. August 2000 – 13 Jahre nach dem Ende der Braunkohleförderung im Tagebau Zukunft-West – feierlich eröffnet wurde. Viel erinnert am Blausteinsee nicht mehr an die bergbauliche Vergangenheit des Gebietes. Bis 1987 wurden hier insgesamt 530 Mio. t Braunkohle gefördert. Nun gibt es mitten im Rheinischen Braunkohlerevier nur noch Wasser. 25 Mio. m³ genau genommen, in dem sich längst zahlreiche Tiere und Pflanzen breit gemacht haben. Krebse und Frösche leben dort, aber auch Fische wie Aale und Rotfedern. Und rund um den 100 ha großen und fast 50 m tiefen See lautet das Motto ebenfalls „Natur pur“. Extra angelegt wurde beispielsweise ein bis zu 130 m breiter abwechslungsreicher Grünstreifen, in dem verschiedene Bäume, Sträucher und Gräser wachsen und sich die verschiedensten Lebewesen tummeln. Auch für den Menschen hat das Gebiet des ehemaligen Tagebaurestlochs mittlerweile einige Attraktionen zu bieten. Hier kann man tauchen, schwimmen, surfen, segeln. Zahlreiche Wander- und Radwege liegen heute dort, wo sich vor dem Braunkohleabbau Orte wie Langendorf, Lürken, oder Obermerz befanden.

Zukunft-West ist aber nur einer von vielen Tagebauen in Deutschland, die nach dem Ende des Braunkohlenabbaus rekultiviert wurden und auf denen am Reißbrett entworfene Landschaften entstanden sind. Weiter gehören dazu die Brühler Seenplatte oder das immer weiter wachsende Leipziger Neuseenland. Letzteres war sogar als Wettkampfstätte für die am Ende dann doch nicht nach Leipzig vergebenen Olympischen Spiele 2012 fest eingeplant. Mindestens 17 Seen soll es am Ende dort geben. Der letzte und mit 840 ha größte, der Tagebausee Groitzsch, wird aber voraussichtlich erst 2060 vollständig mit Wasser gefüllt sein. Ein womöglich noch spektakuläreres Projekt wartet am Tagebau Hambach in Nordrhein-Westfalen. Noch bis zum Jahr 2040 gilt die Genehmigung zum Braunkohlenabbau. Danach soll auf dem Gelände ein See der Superlative entstehen: mehr als 4.200 ha groß, 400 m tief und mit 3,6 Mrd. m³ Wasser gefüllt. Das künstliche Gewässer würde die Top Ten der größten deutschen Seen ordentlich durcheinander bringen und Platz 2 nach dem Bodensee belegen. Der tiefste See hierzulande wäre er ohnehin – wenn er denn bis 2100 tatsächlich wie geplant realisiert wird.

Index

A

Abfall, 10, 14
Abraumhalde, 146
Air gun, 65
Aluminium, 27
Ammonit, 70
Aquifer, 89
Artenvielfalt, 119
artisanaler Coltan-Bergbau, 22
Atacama, 146
Atmosphäre, 88

B

Barnett Shale, 85
Benzin, 69
Bergbau, 6, 20, 34
Bergleute, 156
Bergwerk, 95, 146
Big Hole, 130
Biomineralisation, 113
Biostratigraphie, 74
black smoker, 33
Blausteinsee, 158
blue ground, 130
Blut-Coltan, 19

Blutdiamant, 137
Bodenschätze, 32
Bohrloch, 78, 154
Bohrung, 101
Bördelandschaft, 157
Braunkohle, 155
brennendes Eis, 97
Brennstoffzelle, 114
Buntmetall, 33
Bushmeat, 26

C

Challenger-Expedition, 110
Chemikalie, 70, 147
Chemischer Fingerabdruck, 23
Chuquicamata, 146
Claim, 131
Club of Rome, 32, 110
CO₂, 104, 143
Coltan, 6, 17

D

De Beers, 128
Deepwater Horizon, 63, 77
Deutsche Rohstoffagentur, 1

Diamant, 22, 127
Diamantenbörse, 128
Diamantschleifen, 136
Dieksand, 61
Digger, 131
DNA-Fingerabdruck, 37
3D-Seismik, 65

E

Edelmetall, 8
Edelstein, 127
Eisen, 18
Eiszeit, 106
Elektroschrott, 14
Element, 7
Energie, 1
Energie-Mix, 35
Energierohstoff, 1, 34, 58, 97
Energieversorgung, 91
Entenschnabel, 64
Erdbeben, 31
Erdgas, 57, 64, 73, 81, 91
Erdgasfeld, 64
Erdgasspeicher, 67
Erdgeschichte, 70
Erdkruste, 17, 71, 82, 112
Erdmantel, 129
Erdöl, 1, 57, 73, 78, 91
Erdölbevorratungs-Gesetz, 69
Erdölbohrung, 59
Erdölreserve, 58, 73
Erdrutsch, 104
Erz, 1, 8, 17, 38, 145
Exploration, 3

F

Feinstaub, 147
Flözbrand, 141
Flözgas, 81
Flussspat, 30
Foraminifere, 73
Fördertechnik, 3

fossiler Brennstoff, 67, 97, 141
Fracking, 83
Frac-Verfahren, 65

G

Garzweiler, 155
GASH, 86, 91
Gashydrat, 81, 97
Geophon, 66
Gestein, 9, 102
globale Erwärmung, 105
Glomar Explorer, 110
Goldrausch, 84
Golf von Mexiko, 77
Gorilla, 25
Graphit, 129
Grubengas, 95
Grundwasser, 89

H

Handarbeit, 22
Herkunftsnachweis, 24
hydrothermale Quelle, 33

I

Industriemineral, 1
Integrated Ocean Drilling Program
(IODP), 98
Internationale Meeresbodenbehörde,
123

K

Kalzium-Kompensationstiefe, 112
Karbonat, 37
Keramik, 27
Kies, 2
Kimberley, 130
Kimberlit, 130
Kleinbergbau, 21
Klimasystem, 88

Klimawandel, 105
Kobalt, 109
Kochsalz, 149
Koh-i-Noor, 127
Kohle, 1, 141, 155
Kohlebrand, 141
Kohlendioxid, 88, 141
Kohlenstoff, 129
Kohlenwasserstoff, 59, 71, 73, 80
Kohleverflüssigung, 4
Kolkschutz, 63
Konfliktdiamant, 137
Kongokrieg, 19
Kontinentalhang, 99
Kunststoff, 70
Kupfer, 5, 109
Kupferlagerstätte, 39

L

Lagerstätte, 4, 18, 58, 66, 74, 75,
83, 86, 95, 99, 109, 131, 150
Lagerstättenkunde, 32
Lagerstättenwasser, 65
Lanthan, 8
lebender Sand, 74
Lithium, 30
Lizenzgebiet, 125

M

Manganknolle, 38, 109
Manganknollengürtel, 111
Meeresboden-Bohrgerät, 103
Meeresspiegelanstieg, 89
Metall, 17, 111
Methan, 95
Methanblase, 104
Methanhydrat, 98
Methanol-Injektion, 101
Mikrofossil, 73
Mikropaläontologie, 75
Mine, 9, 12, 146
Mineral, 113

mineralischer Rohstoff, 2, 29
Minerallagerstätte, 37
Mittelplate, 60
Mount Weld Mine, 13

N

Namib, 133
Natriumchlorid, 149
Naturgas, 82
Neodym, 8, 11, 35
Nickel, 109
Niob, 17
Nordsee, 60

O

Ökosystem, 119
Ölpest, 63, 78
Ölschiefervorkommen, 4
Oranjemund, 133
Oxid, 8

P

Peak Oil, 4, 58
Permafrostboden, 99
Phosphat, 31
Pingos, 106
Pipeline, 61, 89
Plankton, 121
Primärenergieverbrauch, 1
Pseudo-Pingos, 106

R

Radioaktivität, 10
Recycling, 14, 35, 90
Regenwald, 25
Rehdener Fladder, 68
Reichweite, 3
Remote Sensing, 32
Rheinisches Braunkohlerevier, 158
Rheinpreußen, 158

Rohstoffkrise, 93
Rohstoffmangel, 5
Rohstoffprognose, 32
Rohstoffrecycling, 4
Rohstoffreserve, 1
Rohstoffstrategie, 6, 12
Rohstoffversorgung, 31

S

Salz, 149
Salzbergwerk, 151
Salzsee, 151
Salzstraße, 149
Sand, 2, 37
Schaufelradbagger, 156
Schiefer, 81
Schwarzschiefer, 86
Sediment, 99
Sedimentbecken, 34
Seismik, 74
Seltene Erden, 7, 36
Seltene Erden-Raffinerie, 13
Shale Gas, 34, 81, 91
Sole, 152
Sophienhöhe, 157
Speichergestein, 82
Stahl, 113
Steinkohle-Bergwerk, 158
Steinsalz, 150
Storegga-Effekt, 104
strategische Ölreserve, 69
Streusalz, 154
SUGAR, 103
Sumpfggebiet, 70

T

Tafelberg, 157
Tagebau, 9, 132, 145, 155

Tagebau Hambach, 156
Tantal, 17
Terbium, 8
Tiefsee, 38, 109
Tiefseebergbau, 38, 117
Tiefseebohrung, 77
Top Kill, 78
Treibhausgas, 89, 104, 141
Tsunami, 31, 104

U

Umwelt, 6
Umweltbelastung, 36
Umweltgefahr, 62
Umweltkatastrophe, 77, 141
Umweltschutzstandard, 11
Umweltverschmutzung, 147
Umweltverträglichkeit, 62

V

Verfassung der Meere, 122
Vulkanausbruch, 130
Vulkanismus, 135

W

Wattenmeer, 60
Wiener Becken, 88

Y

Yttrium, 8

Z

Zukunftstechnologie, 27

License: creative commons – Attribution-ShareAlike 3.0 Unported

THE WORK (AS DEFINED BELOW) IS PROVIDED UNDER THE TERMS OF THIS CREATIVE COMMONS PUBLIC LICENSE (“CCPL” OR “LICENSE”). THE WORK IS PROTECTED BY COPYRIGHT AND/OR OTHER APPLICABLE LAW. ANY USE OF THE WORK OTHER THAN AS AUTHORIZED UNDER THIS LICENSE OR COPYRIGHT LAW IS PROHIBITED.

BY EXERCISING ANY RIGHTS TO THE WORK PROVIDED HERE, YOU ACCEPT AND AGREE TO BE BOUND BY THE TERMS OF THIS LICENSE. TO THE EXTENT THIS LICENSE MAY BE CONSIDERED TO BE A CONTRACT, THE LICENSOR GRANTS YOU THE RIGHTS CONTAINED HERE IN CONSIDERATION OF YOUR ACCEPTANCE OF SUCH TERMS AND CONDITIONS.

1. Definitions

- a. **“Adaptation”** means a work based upon the Work, or upon the Work and other pre-existing works, such as a translation, adaptation, derivative work, arrangement of music or other alterations of a literary or artistic work, or phonogram or performance and includes cinematographic adaptations or any other form in which the Work may be recast, transformed, or adapted including in any form recognizably derived from the original, except that a work that constitutes a Collection will not be considered an Adaptation for the purpose of this Li-

cense. For the avoidance of doubt, where the Work is a musical work, performance or phonogram, the synchronization of the Work in timed-relation with a moving image (“synching”) will be considered an Adaptation for the purpose of this License.

- b. **“Collection”** means a collection of literary or artistic works, such as encyclopedias and anthologies, or performances, phonograms or broadcasts, or other works or subject matter other than works listed in Section 1(f) below, which, by reason of the selection and arrangement of their contents, constitute intellectual creations, in which the Work is included in its entirety in unmodified form along with one or more other contributions, each constituting separate and independent works in themselves, which together are assembled into a collective whole. A work that constitutes a Collection will not be considered an Adaptation (as defined below) for the purposes of this License.
- c. **“Creative Commons Compatible License”** means a license that is listed at <http://creativecommons.org/compatiblelicenses> that has been approved by Creative Commons as being essentially equivalent to this License, including, at a minimum, because that license: (i) contains terms that have the same purpose, meaning and effect as the License Elements of this License; and, (ii) explicitly permits the relicensing of adaptations of works made available under that license under this License or a Creative Commons jurisdiction license with the same License Elements as this License.
- d. **“Distribute”** means to make available to the public the original and copies of the Work or Adaptation, as appropriate, through sale or other transfer of ownership.
- e. **“License Elements”** means the following high-level license attributes as selected by Licensor and indicated in the title of this License: Attribution, ShareAlike.
- f. **“Licensor”** means the individual, individuals, entity or entities that offer(s) the Work under the terms of this License.
- g. **“Original Author”** means, in the case of a literary or artistic work, the individual, individuals, entity or entities who created the Work or if no individual or entity can be identified, the publisher; and in addition (i) in the case of a performance the actors, singers, musicians, dancers, and other persons who act, sing, deliver, declaim, play in, interpret or otherwise perform literary or artistic works or expressions of folklore; (ii) in the case of a phonogram the producer being the person or legal entity who first fixes the sounds of a performance or other sounds; and, (iii) in the case of broadcasts, the organization that transmits the broadcast.
- h. **“Work”** means the literary and/or artistic work offered under the terms of this License including without limitation any production in the literary, scientific and artistic domain, whatever may be the mode or form of its expression including digital form, such as a book, pamphlet and other writing; a lecture, address, sermon or other work of the same nature; a dramatic or dramatico-musical work; a choreographic work or entertainment in dumb show; a musical composition with or without words; a cinematographic work to which are assimilated works expressed by a process analogous to cinematography; a work of drawing, paint-

ing, architecture, sculpture, engraving or lithography; a photographic work to which are assimilated works expressed by a process analogous to photography; a work of applied art; an illustration, map, plan, sketch or three-dimensional work relative to geography, topography, architecture or science; a performance; a broadcast; a phonogram; a compilation of data to the extent it is protected as a copyrightable work; or a work performed by a variety or circus performer to the extent it is not otherwise considered a literary or artistic work.

- i. **“You”** means an individual or entity exercising rights under this License who has not previously violated the terms of this License with respect to the Work, or who has received express permission from the Licensor to exercise rights under this License despite a previous violation.
- j. **“Publicly Perform”** means to perform public recitations of the Work and to communicate to the public those public recitations, by any means or process, including by wire or wireless means or public digital performances; to make available to the public Works in such a way that members of the public may access these Works from a place and at a place individually chosen by them; to perform the Work to the public by any means or process and the communication to the public of the performances of the Work, including by public digital performance; to broadcast and rebroadcast the Work by any means including signs, sounds or images.
- k. **“Reproduce”** means to make copies of the Work by any means including without limitation by sound or visual recordings and the right of fixation and reproducing fixations of the Work, including storage of a protected performance or phonogram in digital form or other electronic medium.

2. Fair Dealing Rights

Nothing in this License is intended to reduce, limit, or restrict any uses free from copyright or rights arising from limitations or exceptions that are provided for in connection with the copyright protection under copyright law or other applicable laws.

3. License Grant

Subject to the terms and conditions of this License, Licensor hereby grants you a worldwide, royalty-free, non-exclusive, perpetual (for the duration of the applicable copyright) license to exercise the rights in the Work as stated below:

- a. to Reproduce the Work, to incorporate the Work into one or more Collections, and to Reproduce the Work as incorporated in the Collections;
- b. to create and Reproduce Adaptations provided that any such Adaptation, including any translation in any medium, takes reasonable steps to clearly label,

demarcate or otherwise identify that changes were made to the original Work. For example, a translation could be marked “The original work was translated from English to Spanish,” or a modification could indicate “The original work has been modified.”;

- c. to Distribute and Publicly Perform the Work including as incorporated in Collections; and,
- d. to Distribute and Publicly Perform Adaptations.
- e. For the avoidance of doubt:
 - i. **Non-waivable Compulsory License Schemes.** In those jurisdictions in which the right to collect royalties through any statutory or compulsory licensing scheme cannot be waived, the Licensor reserves the exclusive right to collect such royalties for any exercise by You of the rights granted under this License;
 - ii. **Waivable Compulsory License Schemes.** In those jurisdictions in which the right to collect royalties through any statutory or compulsory licensing scheme can be waived, the Licensor waives the exclusive right to collect such royalties for any exercise by You of the rights granted under this License; and,
 - iii. **Voluntary License Schemes.** The Licensor waives the right to collect royalties, whether individually or, in the event that the Licensor is a member of a collecting society that administers voluntary licensing schemes, via that society, from any exercise by You of the rights granted under this License.

The above rights may be exercised in all media and formats whether now known or hereafter devised. The above rights include the right to make such modifications as are technically necessary to exercise the rights in other media and formats. Subject to Section 8(f), all rights not expressly granted by Licensor are hereby reserved.

4. Restrictions

The license granted in Section 3 above is expressly made subject to and limited by the following restrictions:

- a. You may Distribute or Publicly Perform the Work only under the terms of this License. You must include a copy of, or the Uniform Resource Identifier (URI) for, this License with every copy of the Work You Distribute or Publicly Perform. You may not offer or impose any terms on the Work that restrict the terms of this License or the ability of the recipient of the Work to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the License. You may not sublicense the Work. You must keep intact all notices that refer to this License and to the disclaimer of warranties with every copy of the Work You Distribute or Publicly Perform. When You Distribute or Publicly Perform the Work, You

may not impose any effective technological measures on the Work that restrict the ability of a recipient of the Work from You to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the License. This Section 4(a) applies to the Work as incorporated in a Collection, but this does not require the Collection apart from the Work itself to be made subject to the terms of this License. If You create a Collection, upon notice from any Licensor You must, to the extent practicable, remove from the Collection any credit as required by Section 4(c), as requested. If You create an Adaptation, upon notice from any Licensor You must, to the extent practicable, remove from the Adaptation any credit as required by Section 4(c), as requested.

- b. You may Distribute or Publicly Perform an Adaptation only under the terms of:
 - (i) this License;
 - (ii) a later version of this License with the same License Elements as this License;
 - (iii) a Creative Commons jurisdiction license (either this or a later license version) that contains the same License Elements as this License (e.g., Attribution-ShareAlike 3.0 US);
 - (iv) a Creative Commons Compatible License. If you license the Adaptation under one of the licenses mentioned in (iv), you must comply with the terms of that license. If you license the Adaptation under the terms of any of the licenses mentioned in (i), (ii) or (iii) (the “Applicable License”), you must comply with the terms of the Applicable License generally and the following provisions: (I) You must include a copy of, or the URI for, the Applicable License with every copy of each Adaptation You Distribute or Publicly Perform; (II) You may not offer or impose any terms on the Adaptation that restrict the terms of the Applicable License or the ability of the recipient of the Adaptation to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the Applicable License; (III) You must keep intact all notices that refer to the Applicable License and to the disclaimer of warranties with every copy of the Work as included in the Adaptation You Distribute or Publicly Perform; (IV) when You Distribute or Publicly Perform the Adaptation, You may not impose any effective technological measures on the Adaptation that restrict the ability of a recipient of the Adaptation from You to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the Applicable License. This Section 4(b) applies to the Adaptation as incorporated in a Collection, but this does not require the Collection apart from the Adaptation itself to be made subject to the terms of the Applicable License.
- c. If You Distribute, or Publicly Perform the Work or any Adaptations or Collections, You must, unless a request has been made pursuant to Section 4(a), keep intact all copyright notices for the Work and provide, reasonable to the medium or means You are utilizing:
 - (i) the name of the Original Author (or pseudonym, if applicable) if supplied, and/or if the Original Author and/or Licensor designate another party or parties (e.g., a sponsor institute, publishing entity, journal) for attribution (“Attribution Parties”) in Licensor’s copyright notice, terms of service or by other reasonable means, the name of such party or parties;
 - (ii) the title of the Work if supplied;
 - (iii) to the extent reasonably practicable, the URI, if any, that Licensor specifies to be associated with the Work, unless such URI

does not refer to the copyright notice or licensing information for the Work; and (iv), consistent with Section 3(b), in the case of an Adaptation, a credit identifying the use of the Work in the Adaptation (e.g., “French translation of the Work by Original Author,” or “Screenplay based on original Work by Original Author”). The credit required by this Section 4(c) may be implemented in any reasonable manner; provided, however, that in the case of a Adaptation or Collection, at a minimum such credit will appear, if a credit for all contributing authors of the Adaptation or Collection appears, then as part of these credits and in a manner at least as prominent as the credits for the other contributing authors. For the avoidance of doubt, You may only use the credit required by this Section for the purpose of attribution in the manner set out above and, by exercising Your rights under this License, You may not implicitly or explicitly assert or imply any connection with, sponsorship or endorsement by the Original Author, Licensor and/or Attribution Parties, as appropriate, of You or Your use of the Work, without the separate, express prior written permission of the Original Author, Licensor and/or Attribution Parties.

- d. Except as otherwise agreed in writing by the Licensor or as may be otherwise permitted by applicable law, if You Reproduce, Distribute or Publicly Perform the Work either by itself or as part of any Adaptations or Collections, You must not distort, mutilate, modify or take other derogatory action in relation to the Work which would be prejudicial to the Original Author’s honor or reputation. Licensor agrees that in those jurisdictions (e.g. Japan), in which any exercise of the right granted in Section 3(b) of this License (the right to make Adaptations) would be deemed to be a distortion, mutilation, modification or other derogatory action prejudicial to the Original Author’s honor and reputation, the Licensor will waive or not assert, as appropriate, this Section, to the fullest extent permitted by the applicable national law, to enable You to reasonably exercise Your right under Section 3(b) of this License (right to make Adaptations) but not otherwise.

5. Representations, Warranties and Disclaimer

UNLESS OTHERWISE MUTUALLY AGREED TO BY THE PARTIES IN WRITING, LICENSOR OFFERS THE WORK AS-IS AND MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND CONCERNING THE WORK, EXPRESS, IMPLIED, STATUTORY OR OTHERWISE, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF TITLE, MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, NONINFRINGEMENT, OR THE ABSENCE OF LATENT OR OTHER DEFECTS, ACCURACY, OR THE PRESENCE OF ABSENCE OF ERRORS, WHETHER OR NOT DISCOVERABLE. SOME JURISDICTIONS DO NOT ALLOW THE EXCLUSION OF IMPLIED WARRANTIES, SO SUCH EXCLUSION MAY NOT APPLY TO YOU.

6. Limitation on Liability

EXCEPT TO THE EXTENT REQUIRED BY APPLICABLE LAW, IN NO EVENT WILL LICENSOR BE LIABLE TO YOU ON ANY LEGAL THEORY FOR ANY SPECIAL, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE OR EXEMPLARY DAMAGES ARISING OUT OF THIS LICENSE OR THE USE OF THE WORK, EVEN IF LICENSOR HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

7. Termination

- a. This License and the rights granted hereunder will terminate automatically upon any breach by You of the terms of this License. Individuals or entities who have received Adaptations or Collections from You under this License, however, will not have their licenses terminated provided such individuals or entities remain in full compliance with those licenses. Sections 1, 2, 5, 6, 7, and 8 will survive any termination of this License.
- b. Subject to the above terms and conditions, the license granted here is perpetual (for the duration of the applicable copyright in the Work). Notwithstanding the above, Licensor reserves the right to release the Work under different license terms or to stop distributing the Work at any time; provided, however that any such election will not serve to withdraw this License (or any other license that has been, or is required to be, granted under the terms of this License), and this License will continue in full force and effect unless terminated as stated above.

8. Miscellaneous

- a. Each time You Distribute or Publicly Perform the Work or a Collection, the Licensor offers to the recipient a license to the Work on the same terms and conditions as the license granted to You under this License.
- b. Each time You Distribute or Publicly Perform an Adaptation, Licensor offers to the recipient a license to the original Work on the same terms and conditions as the license granted to You under this License.
- c. If any provision of this License is invalid or unenforceable under applicable law, it shall not affect the validity or enforceability of the remainder of the terms of this License, and without further action by the parties to this agreement, such provision shall be reformed to the minimum extent necessary to make such provision valid and enforceable.
- d. No term or provision of this License shall be deemed waived and no breach consented to unless such waiver or consent shall be in writing and signed by the party to be charged with such waiver or consent.

- e. This License constitutes the entire agreement between the parties with respect to the Work licensed here. There are no understandings, agreements or representations with respect to the Work not specified here. Licensor shall not be bound by any additional provisions that may appear in any communication from You. This License may not be modified without the mutual written agreement of the Licensor and You.
- f. The rights granted under, and the subject matter referenced, in this License were drafted utilizing the terminology of the Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works (as amended on September 28, 1979), the Rome Convention of 1961, the WIPO Copyright Treaty of 1996, the WIPO Performances and Phonograms Treaty of 1996 and the Universal Copyright Convention (as revised on July 24, 1971). These rights and subject matter take effect in the relevant jurisdiction in which the License terms are sought to be enforced according to the corresponding provisions of the implementation of those treaty provisions in the applicable national law. If the standard suite of rights granted under applicable copyright law includes additional rights not granted under this License, such additional rights are deemed to be included in the License; this License is not intended to restrict the license of any rights under applicable law.