

Die „endlichen Rohstoffe“

Während meiner Kindheit in den 1970er Jahren war die erste ökoreligiöse Weltuntergangskatastrophe „Grenzen des Wachstums“, oder auch „Endliche Rohstoffe“ ähnlich populär wie aktuell der „Klimawandel“. Die Saga wurde von sehr renommierten Wissenschaftlern, die sich im „Club of Rome“ zusammengefunden hatten verbreitet. Kollegen meines Vaters waren von den „Grenzen des Wachstums“ begeistert, mein Vater sprach auch davon. Man sagte mir wenn ich erwachsen sei, gäbe es kein Erdöl, kein Erdgas, keine Goldvorkommen, Quecksilber, Kupfer, Silber und Zink mehr. Politik, Wirtschaft und Technik hatten sich daran orientiert. Die deutsche Politik betonte die Rolle der Ruhrkohle als längerfristig verfügbare Energiequelle.

Als Kind glaubte ich sehr begrenzt an diesen Ökoschwindel. Ich meinte in meiner Phantasie, dass man wenn ich erwachsen wäre eben Rohstoffe in der Tiefsee abbauen würde, oder den Weltraum erschließen würde. Ich dachte an dicke Glaskuppeln am Meeresgrund und eine Magnetkanone die auf dem Mount Everest Material für Raumschiffe in die Erdumlaufbahn schießen würde.

Als gut 20 Jähriger in den 1980er Jahren war die Weltuntergangssaga „Endlicher Rohstoffe“ in den Medien Archiven verschwunden und eine neue Weltuntergangssaga das „Waldsterben“ hatte dessen Platz eingenommen. Gem. der „Qualitätsmedien“ hieß es „Der Wald stirbt“ (Der Spiegel 47/1981), „Wenn der Wald stirbt, stirbt der Mensch“ (Der Spiegel 2/1984) Diese Saga ähnelte sehr dem „Klimawandel“. Seinerzeit war Schwefeldioxid SO₂ das Gas das die Welt untergehen ließ. Spekulativ haben die grünen NGO die sehr dürtige Hypothese vom „Klimawandel“ gewählt weil man willige Wissenschaftler fand und die Texte und Kampagnen des „Waldsterbens“ mit geringen Änderungen wieder verwenden konnte.

In 1980 two eminent professors, fierce critics of one another, made a bet regarding the real market price of five metal commodities over the next decade. Paul Ehrlich, a world-famous ecologist, bet that because the world was exceeding its carrying capacity, food and commodities would start to run out in the 1980s and prices in real terms would therefore rise. Julian Simon, an economist, said that resources were effectively so abundant, and becoming effectively more so, that prices would fall in real terms. He invited Ehrlich to nominate which commodities would be used to test the matter, and they settled on these (chrome, copper, nickel, tin and tungsten). In 1990 Ehrlich paid up - all the prices had fallen (6).

In den 1980er Jahren waren die Reserven der meisten Rohstoffe höher als in den 70er Jahren. Auch die Reichweite der Rohstoffe in Jahren hatte zugenommen. Ich verstand, den Unterschied zwischen Reserven und Ressourcen und Vorkommen. **Die gesicherten Rohstoffreserven, die zu heutigen Preisen wirtschaftlich förderbar sind, betragen in der Regel ein paar Jahrzehnte. Die entdeckten Ressourcen dieser Rohstoffe sind enorm, die Vorkommen der meisten Rohstoffe in der Erdkruste sind verglichen mit dem Verbrauch nahezu unendlich. Die für die Menschheit verfügbaren Rohstoffe hängen ausschließlich von der verfügbaren Technologie und Kapital ab.** Der Kern des Ökoschwindels der „Endlichen Rohstoffe“ liegt in einer Vermischung von gesicherten, mit heutiger Technik zu heutigen Preisen abbaubaren Reserven und dem Vorkommen in der

Erdkruste. Da viele einfache Geister den Ökoschwindel bis heute nicht durchschaut haben, bzw. noch heute an „Endliche Rohstoffe“ glauben, wird dieser an den Beispielen Erdöl und Uran erläutert.

Technische Entwicklung bei der Rohstoffgewinnung

Seit den 1970er Jahren hat sich die Bergbautechnik erheblich weiter entwickelt.

Technische Fortschritte im Erzbergbau seit 1972

Vor 50 Jahren hat man Rohstoffvorkommen anhand der Explorationsbohrergebnisse auf Papier skizziert. Der Computer hat zusammen mit Erkundungsbohrungen, mit Gravimetrie, Seismik, Magnetik (high-priority aerial electromagnetic (AEM) and aeromagnetic), mit elektrischen und Radarverfahren ermöglicht Rohstoffvorkommen wesentlich besser zu erfassen als dies vor 50 Jahren möglich war. Die LKW, Bagger, die im Tagebau eingesetzt wurden und werden wie die Straßenfahrzeuge grösser, zuverlässiger und energieeffizienter. Mit der Einführung von EV (Elektrische Fahrzeuge) dank der Li-Ionen Batterien ergeben sich vor allem im Untertagebau erhebliche Vorteile durch den geringeren Kühlungs- und Belüftungsbedarf. Aktuell kommen erste selbstfahrende LKW, Bulldozer(4) und Eisenbahnsysteme (3) in sehr großen Minen in Australien zum Einsatz. Es ist zu erwarten, dass sich fahrerlose Bagger, Bohrausrüstungen, LKW und Schienenfahrzeuge durchsetzen werden. Tunnel/Schachtbohrmaschinen des Untertagebaus sind grösser und leistungsfähiger geworden. In Australien wurde ein Scanner entwickelt der mittels künstlicher Intelligenz Erzgehalte im sichtbaren Gestein erkennen kann (11). Dies ließe sich mit automatischen Fahrzeugen verbinden und ein personalarmer Abbau realisieren. Das Leaching, das Laugen von Erzvorkommen mit Säuren, Laugen, oder mit Mikroorganismen versetztem wässrigen Lösungen die Erze anreichern ermöglicht es neue Vorkommen mit geringem Erzgehalt zu erschließen.

Gem. eigener Phantasie wird man die Abbaumaschinen in der Zukunft mit umfangreichen Sensoren und leistungsfähigen Rechnern ausstatten, so dass diese vernetzt, sehr gezielt erzeiche Stellen erkennen und gezielt abbauen können. Mit der Technik der Erdölförderung, gesteuertes Bohren gem. vorgegebener Muster, Fracking, einpressen von Säuren, Laugen, oder mit Mikroorganismen gesättigten wässrigen Lösungen in den erzeichen Boden und dem fördern der dann mit dem Erz gesättigten Flüssigkeiten könnte es erlauben auch gering konzentrierte Erze, ungünstig gelegene, oder sehr tiefliegende Erzvorkommen zu nutzen. Damit lässt sich die Menge nutzbarer Erze vervielfachen.

Technische Fortschritte in der Erdölgewinnung seit 1972

Erdölfelder sind keine mit Öl gefüllten Blasen unter der Erde. Es sind Speichergesteine die mit Öl unterschiedlichen Qualitäten durchtränkt sind. Die Speichergesteine sind mehr, oder minder offenporig, durchlässig. Die Speichergesteine sind häufig von undurchlässigen Schichten durchzogen und abgeschlossen. Diese sind wiederum durch Risse/Brüche etc. unterbrochen. In der Erdölprospektion ist die 3D Seismik ein wesentliches Element um Erdölvorkommen viel besser zu erfassen als dies vor 50 Jahren möglich war. Es werden Teilfelder besser erkannt und das Ölfeld besser erfasst. Erdölbohrungen können heutzutage präzise gesteuert und gelenkt werden. Es können Muster gefahren werden. Dadurch können Erdölvorkommen viel besser genutzt werden. Ein Musterbeispiel ist das sogenannte „Fracking“. Beim Fracking (Fracking selber kommt seit den 1940er Jahren zum Einsatz) werden geschlossen porige sogenanntes „Tight Oil“ Vorkommen mittels gezielter horizontaler

Bohrungen erschlossen, eine wässrige Lösung wird mit hohem Druck ins Gestein gedrückt wodurch Risse in geschlossenporige Gesteine gesprengt werden. Meist enthalten die wässrigen Lösungen Sand der die gefrackten Risse offen hält und Tenside die das Benetzungsverhalten des Öls verbessern.

Eine weitere Errungenschaft der vergangenen Jahrzehnte ist die Erschließung von Erdölvorkommen in immer größeren Wassertiefen. In der Offshoretechnik hat eine signifikante Kostendegression stattgefunden.

Aktuell lassen sich nur 25 – 45% der Ölvorkommen einer Lagerstätte nutzen. Gem. eigener Phantasie könnten Erdölbohranlagen mit Sensoren und Rechnern im Bohrkopf die unterscheiden können in welchem Gestein Sie sich aktuell befinden, Bohrköpfe die mit sich mit Tochterbohrköpfen verzweigen können, in der Zukunft die Erschließung von Erdölvorkommen weiter verbessern.

Uranvorkommen und Bergbau

Aktuell wird etwa 60.000to Uran jährlich abgebaut um die Kernkraftwerke mit etwa 64000to davon zu füttern. Der verbleibende Rest stammt aus der Wiederaufbereitung und Beständen. Die bekannten Uranreserven die zu Kosten < 130\$/Kg U gefördert werden, können mit gut 6 Mio. to. angegeben werden. Dies entspricht einer Reichweite des Bedarfs von etwa 100 Jahren.

Uranförderung und Ressourcen der Welt nach Ländern 2017

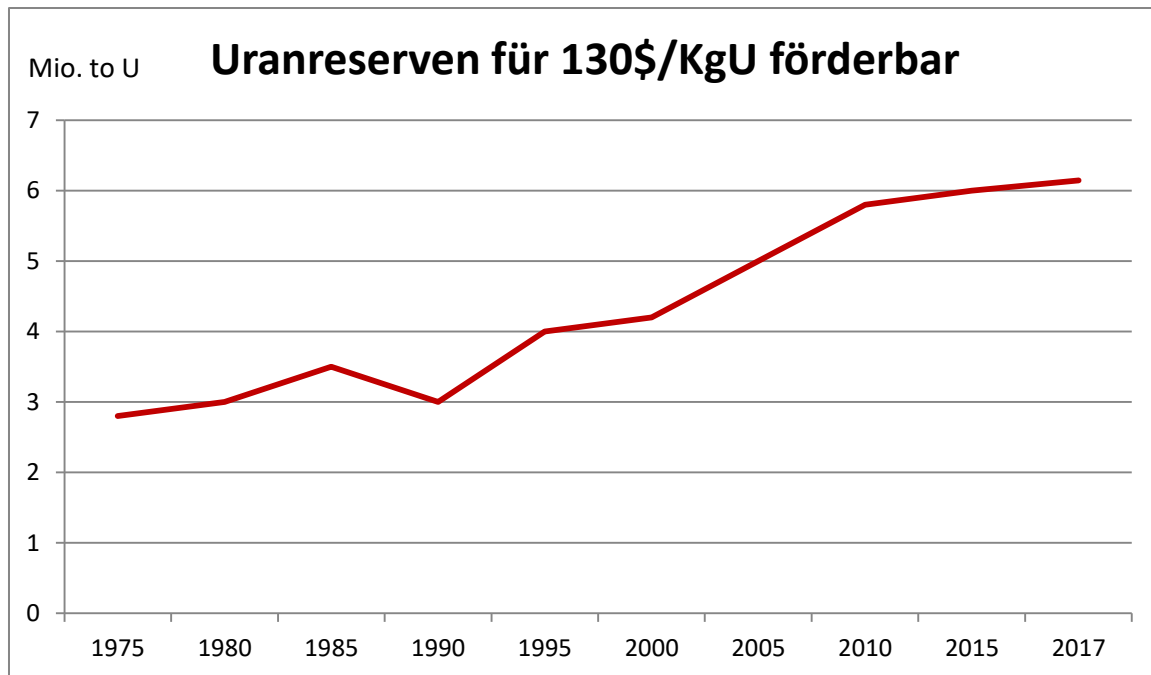
Land	Förderung to U	Reserven*	Reichweite
Kazakhstan	23,321	842,200	36 Jahre
Canada	13,116	514,400	
Australia	5882	1,818,300	
Namibia	4224	442,100	
Niger	3449	280,000	
Russia	2917	485,600	
Uzbekistan (est)	2404		
China (est)	1885		
USA	940		
Welt	59,462	6,142,600	103 Jahre*

(6,7)

*Reserven wirtschaftlich förderbar zu 130\$/KgU

**Aktuell deckt die Förderung 93% des Uranbedarfs, Rest Wiederaufbereitung u. Bestände

Wenn man die Historie des Uranbergbaus verfolgt, so kann man feststellen, dass die gewinnbaren Reserven zu einem Preis von 130\$/Kg in den vergangenen Jahrzehnten trotz des Bergbaus laufend gestiegen sind. D.h. eine verbesserte Exploration und Bergbautechnik hat Geldentwertung und Verbrauch überkompensiert. Zum Teil liegt das auch daran, dass Uran häufig zusammen mit Gold, Kupfer und Nickel abgebaut wird deren Abbau erheblich zugenommen hat.



nachgezeichnet aus WNA (6)

Unkonventionelle Uranvorkommen

Aufgrund der gegenüber konventionellen Energiequellen viel höheren Energiedichte der Kernenergie, 1 Kg Uran hat den Energiegehalt von 2700to Kohle, können auch Uranressourcen genutzt werden die heute vollkommen uninteressant erscheinen. Eine Vervielfachung des Uranpreises erhöht die Energieerzeugungskosten aus Uran aufgrund der hohen Baukosten für Kernkraftwerke und geringen Brennstoffkosten nur geringfügig.

Uran kommt als Beiprodukt in Phosphaten, Kupfer und Golderzen vor. Die Urankonzentration kann z.B. in Phosphaten 30g/to. betragen. In Phosphaten sind etwa 22 Mio. to Uran enthalten, deren Gewinnungskosten auf etwa 60–100 US\$/kg (3) geschätzt werden. Zeitweise wurde Uran als Nebenprodukt der Phosphatproduktion gewonnen. Dennoch wurde das im Phosphat befindliche Uran nicht in die Reserven die zu Kosten < 130\$/Kg förderbar sind einbezogen.

In einigen Kohlevorkommen findet sich eine Urankonzentration von über 20 ppm (6) in der Kohle, die durch die Verbrennung des Kohlenstoffs auf über 200 ppm angereichert wird – eine Konzentration, bei der andernorts, z.B. in der Rössing-Mine in Namibia, mit Erfolg Erz abgebaut wird. Mit der Aschehalde hinter dem Kohlekraftwerk entsteht eine Radiotoxizitätsfracht, die ein Umweltproblem darstellt, denn Uran und andere Schwermetalle können aus der Asche ausgewaschen werden, was dann wiederum nachteilig für das Grundwasser ist. Eine Urangewinnung aus solchen Aschen zur Brennstoffgewinnung für Kernkraftwerke hilft, die Radiotoxizität zu senken und kombiniert die Gewinnung eines energetischen Rohstoffs mit der Sanierung der Aschehalde. Die Halbwertszeit der in den Aschen enthaltenen Nuklide wird im Reaktor stark verringert und der Rest gelangt letztlich ins Endlager, wo er sicher von der Ökosphäre abgeschlossen ist. Projekte solcher Art befinden sich in der Entwicklungsphase. So will eine kanadische Bergbaufirma in China aus der ständig anfallenden Asche von drei Kohlekraftwerken in der Provinz Yunnan (Xiaolongtang,

Dalongtang und Kaiyuan) auf diese Weise jährlich etwa 120 t Natururan gewinnen. Erkundungen in anderen Gegenden sind im Gange. So finden sich beispielsweise in Tschechien und Ungarn Braunkohlen mit vergleichbarem Urangehalt (6).

Das Meerwasser enthält etwa $3,2\text{mg/m}^3$ Meerwasser (2) Uran. Dies entspricht etwa 4,5 Mrd. to. insgesamt. In Japan (hier Tamada 2006) werden Verfahren erprobt Uran aus dem Meerwasser zu gewinnen. Hierzu werden PE (Kunststoff) Fasern als Matte oder als Seil in das Meer gelegt an denen sich Uran anlagert s.u.. Vorstellbar ist es derartige Matten oder Seile in eine Meeresströmung, z.B. in die Enge von Gibraltar, das Marmarameer, oder den Golfstrom vor der Küste Floridas zu platzieren um Uran aus dem vorbeifließenden Wasser ohne zusätzlichen Energieaufwand zu gewinnen. Die Kosten des Verfahrens werden auf mehrere Hundert Euro/Kg Uran geschätzt. Gegenüber der aktuellen Minenproduktion betragen die Kosten ein Vielfaches. Damit ist die Uranextraktion aus dem Meerwasser auf absehbare Zeit nicht wettbewerbsfähig. Sollte sich das Kern-energiezeitalter über Jahrhunderte, oder Jahrtausende hinziehen, wird man möglicherweise Uran aus dem Meerwasser gewinnen. Eine Vervielfachung des Uranpreises würde die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie, insbesondere beim Einsatz von Brutreaktoren, nur geringfügig beeinflussen.

Ähnlich wie auf der Landoberfläche gibt es auch am Meeresboden Urananreicherungen. Beispielsweise wurden sehr reichhaltige Urananreicherungen auf dem ostpazifischen Rücken entdeckt (14).

Uran ist in der Erdkruste ein recht häufiges Element. Die durchschnittliche Konzentration in der Erdkruste liegt bei 2,7ppm, bzw. 2,7g/to (2). Daraus errechnet sich die Gesamtmenge des Urans in den oberen 3000m der Landoberfläche der Erde zu $3,2 \times 10^{12}$ (Billionen) to (d). Im Granit kann Uran in Konzentrationen von bis zu 10 oder 20g/to (2) vorkommen.

Eine Verhundertfachung des Uranpreises hätte bei einem Einsatz von schnellen Brütern keine nennenswerte Erhöhung der Gesamtkosten des erzeugten Stroms zur Folge. Man könnte Gestein mit dem durchschnittlichen Urangehalt der Erdkruste abbauen. Das Kernenergie Zeitalter wird in den kommenden Millionen Jahren nicht durch den Mangel an Uran enden. Eine Weiterentwicklung der Anreicherungstechnik für Uran kann die Ausnutzung des Urans und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie weiter verbessern.

Erdölvorkommen und Förderung

Unkonventionelle Vorkommen

Natürliche Bitumenvorkommen wurden in vielen Teilen der Erde, aber vor allem als gewaltige Teersandvorkommen in Kanada gefunden. Die Vorkommen in Kanada werden auf 28 Mrd. m^3 , weltweit auf 40 Mrd. m^3 Öl geschätzt(10).

Die Ölschieferressourcen

Die Ölschieferressourcen werden sehr unterschiedlich geschätzt abhängig davon ab welchem Ölgehalt dieser als solcher gezählt wird. Kerogen is solid, insoluble organic matter in sedimentary rocks. Consisting of an estimated 10^{16} tons of carbon, it is the most abundant source of organic compounds on earth, exceeding the total organic content of living matter by

10,000 fold. It is insoluble in normal organic solvents and it does not have a specific chemical formula.(8)

The size of the oil shale resources is highly dependent on which grade cut-off is used.[14] A 2008 estimate set the total world resources of oil shale at 689 gigatons—equivalent to yield of 4.8 trillion barrels (760 billion cubic metres) (9)

Natural bitumen deposits are reported in many countries, but in particular are found in extremely large quantities in Canada.[3][4] Other large reserves are located in Kazakhstan, Russia, and Venezuela. The estimated worldwide deposits of oil are more than 2 trillion barrels (320 billion cubic metres);[5] the estimates include deposits that have not been discovered. Proven reserves of bitumen contain approximately 100 billion barrels,[6] and total natural bitumen reserves are estimated at 249.67 Gbbl (39.694×10⁹ m³) worldwide, of which 176.8 Gbbl (28.11×10⁹ m³), or 70.8%, are in Alberta, Canada. (10)

Quellenverzeichnis:

1. Reichweite der Uran-Vorräte der Welt, Erstellt für Greenpeace Deutschland, Peter Diehl, Berlin

V.i.S.d.P.Thomas Breuer, Greenpeace e.V., Große Elbstr. 39, 22767 Hamburg
mail@greenpeace.de, www.greenpeace.de, Foto: Greenpeace/ivleva
Stand 04/2006

2. Die Grenzen des Wachstums, Dennis Meadows, Deutsche Verlagsanstalt GmbH Stuttgart ISBN 3421026335, 1972
3. <https://www.australianmining.com.au/news/rio-tinto-finalises-pilbara-autonomous-train-deployment/>
4. <https://www.australianmining.com.au/news/komatsu-moves-closer-to-fully-autonomous-dozer-dream/>
5. World Nuclear Association Supply of Uranium(Updated December 2018) <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>
6. WNA <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>
7. WNA <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/uranium-production-figures.aspx>
8. <https://en.wikipedia.org/wiki/Kerogen>
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_shale_reserves
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_sands
11. <https://www.australianmining.com.au/news/ai-based-scanner-to-identify-ore-grades/>
12. <https://www.australianmining.com.au/news/epiroc-taps-experts-for-underground-ev-insights/>