

Kohle, Gas, Öl, Kernenergie? – Teil 1

Am Anfang steht die Kohle

Kohle ist der billigste Energieträger, sofern man

- **billige Arbeitskräfte zur Verfügung hat.** Dies war in der Vergangenheit in Europa genauso der Fall, wie heute noch in Indien, China und Afrika. Mit steigendem Lohnniveau steigen auch die Produktionskosten der Kohle. Je höher der Entwicklungsstand einer Industriegesellschaft ist, je geringer ist der Anteil der Kohle an den verbrauchten Primärenergieträgern. Man könnte auch sagen, je einfacher es ist, einen Arbeitsplatz außerhalb eines Bergwerkes zu finden.
- **Günstige geologisch Verhältnisse und kostengünstige Transportwege hat.** Es lohnt sich sogar in Deutschland (minderwertige) Braunkohle in rationellen Tagebauen zu gewinnen oder Steinkohle über preiswerte Schiffstransporte aus anderen Kontinenten herbeizuschaffen.
- **Kohle umweltbelastend verbrennen kann.** Kohle verbrennt nicht rückstandslos, sondern bildet Asche, die Mineralien, Schwermetalle und radioaktive Stoffe enthält. Ferner entstehen z. B. schweflige Säure und Stickoxide. Alles Dinge, die man nicht so gern in der Atemluft oder dem Trinkwasser haben will.

Der letzte Punkt ist entscheidend und wird oft übersehen. In einem armen Land beginnt die wirtschaftliche Entwicklung immer mit Umweltbelastungen. Die Belastung wird gegenüber dem Wohlstandsgewinn nicht als negativ empfunden. Außerdem gilt auch hier wieder die Konzentration: Die wenigen Anlagen mit hohem Schadstoffausstoß können (noch) gut von Mensch und Natur ertragen werden. Ab einem gewissen Punkt schlägt diese Entwicklung ins Gegenteil um. Das war vor etwa 60 Jahren im Ruhrgebiet nicht anders als heute in Peking.

Ein schornsteinloses Kraftwerk nach deutschem Standard (Entstaubung, Entstickung und Rauchgaswäsche) kostet aber bereits heute in China oder Indien mehr als ein Kernkraftwerk. Es setzen Ausweichbewegungen auf breiter Front ein. Der relative Anteil an dem Primärenergieverbrauch sinkt. Wo – zumindest kurzfristig – keine Ersatzbrennstoffe in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, wird ein Teil der Kohle bereits an der Grube in Gas und flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Solche Anlagen sind aber sehr teuer und verlagern die Umweltbelastungen oft nur oder erzeugen neue Probleme. Solche Anlagen benötigen z. B. große Mengen Wasser. China plant z. B. gigantische Industrieanlagen zur Produktion von synthetischem Erdgas aus Kohle ausgerechnet in seinen Wüstengebieten, das dann mit Pipelines in die Verbrauchszentren nahe der Millionen-Städte transportiert werden soll. Man hofft, einen Teil der in solchen Anlagen zur Veredelung zusätzlich verbrauchten Energie über Kernreaktoren bereitstellen zu können. Auch kein ganz neuer Gedanke: In Deutschland startete man einst die Entwicklung der Hochtemperaturreaktoren unter dem Slogan Kohle *und* Kernenergie.

Erdgas als saubere Energiequelle

Vielfach wird die Lösung aller Probleme im Erdgas gesehen. Erdgas ist ein sauberer Brennstoff der keinen Schwefel (mehr) enthält, keine Asche hinterlässt und sich besonders einfach und umweltfreundlich (geringe Stickoxidbildung) verbrennen läßt. Erdgaskraftwerke sind außerdem die Kraftwerke mit den geringsten Investitionskosten und der kürzesten Bauzeit. Auch in der Industrie und der Gebäudeheizung ist Erdgas universell gut einsetzbar.

Erdgas hat nur einen Nachteil, es ist ein teurerer Brennstoff – zumindest in großen Teilen der Welt. Allerdings hat sich durch technologische Sprünge in den letzten Jahren bei der Nutzung von Schiefergas (shale gas), tight gas in schwer durchlässigen Sandsteinschichten und Kohlenflözgas aus unwirtschaftlichen Lagerstätten, eine völlig neue Situation ergeben. Unterstützt wird diese Entwicklung durch die Fortschritte bei der Verflüssigung von Erdgas. Durch sie wird es möglich, einerseits Erdgasvorkommen in entlegensten Regionen nutzbar zu machen und andererseits völlig neue Anwendungen auf der Verbrauchsseite zu erschließen (Antrieb von Schiffen und schweren LKW).

Um diese Entwicklung besser zu verstehen, scheint es nötig, etwas näher auf diese Technologie einzugehen. Genauer gesagt handelt es sich um die neuartige Kombination dreier bekannter Techniken: Die großräumige Erschließung dünner Schichten durch „waagerechte“ Bohrungen, die genaue räumliche Bestimmung solcher Schichten durch neue Meßverfahren und verbesserte Berechnungen und das „aufsprengen“ solcher Schichten durch Flüssigkeiten (hydraulic fracturing oder kurz „fracking“).

1. Um eine solche Lagerstätte anbohren zu können, muß man sehr genau die Schichtung kennen. Hierzu wird der Untergrund mit Schallwellen durchleuchtet. Neuartig ist die vierdimensionale Auswertung der Meßwerte. Aus den empfangenen Echos kann ein genaues räumliches Bild der Erdschichten erstellt werden. Diese Schichten können auch noch in ihrem zeitlichen Verlauf über die Nutzung simuliert werden. Allerdings sind hierfür unvorstellbar viele Rechenoperationen nötig. In den Rechenzentren dieser Firmen stehen die zur Zeit schnellsten Rechner. Sie werden lediglich (geringfügig) von der Leistung der Rechner in den Kernforschungszentren übertroffen.

2. Das Bohren bis in die Tiefe der Lagerstätten erfolgt völlig konventionell: Während des eigentlichen Bohrvorganges wird das Loch durch die Spülflüssigkeit (mud) stabilisiert. Sie muß nicht nur das Bohrklein nach oben transportieren, die Wand stützen, absperren gegen eindringende Flüssigkeiten, sondern soll auch kühlen und schmieren. Der „mud man“ ist auf jeder Bohrstelle einer der wichtigsten Spezialisten, der seine Spülflüssigkeit ständig den sich ändernden Verhältnissen anpassen muß. Bei den Herstellern seiner Zutaten handelt es sich um eine milliardenschwere Industrie, die nur Eingeweihten vertraut ist. Nach und nach wird das Bohrloch mit Stahlrohren ausgekleidet, die jeweils gegenüber dem Gestein durch Zementinjektionen verankert werden. Bis es überhaupt zum „fracking“ kommt, ist das Bohrloch mit mehreren solchen konzentrischen Schichten ausgekleidet. Nach jeder Schicht

wird durch eine Druckprobe deren Dichtigkeit festgestellt. Dieser Arbeitsschritt wird so ausführlich geschildert, um den Schauergeschichten von einer Gefahr für das Grundwasser entgegen zu treten. Bis hierhin handelt es sich um die gleichen Arbeitsschritte, wie bei jeder anderen konventionellen Bohrung auch. Das Risiko einer Verseuchung (von oberflächennahen Trinkwasserschichten) ist mithin genauso groß – oder besser – klein. Die Lagerstätten liegen zudem hunderte Meter unterhalb jeder nutzbaren Grundwasserschicht.

3. Ist die notwendige Tiefe erreicht, wird die Bohrung in die Horizontale umgelenkt. Hierzu ist es notwendig, auf einen durch einen Motor unmittelbar hinter der Krone angetriebenen Bohrer zu wechseln. Ein solcher Motor ist üblicherweise ein Schneckenantrieb, der einem Fleischwolf ähnelt. Die Spülflüssigkeit treibt die Schnecke vor ihrem Austritt aus der Bohrkrone an. Wegen der sich ständig ändernden geologischen Verhältnisse ist es schon nicht einfach, senkrecht nach unten zu bohren. Einer Schicht im Untergrund auf wenige Dezimeter genau zu folgen, ist eine Kunst. Man muß ständig messen, wo man sich genau in der zu folgenden Schicht (siehe Punkt 1.) befindet und dem Verlaufen des Bohrers ständig korrigierend entgegenwirken. Hierzu dienen hydraulisch ausfahrbare Leisten am Bohrgestänge. Durch eine individuelle Ansteuerung können sie sich an der Bohrwand abdrücken.

4. Ist die Bohrung in einer mehrere Kilometer langen Schicht fertig, beginnt erst das eigentliche „fracking“. Anfangs hat man in einem Schritt auf der ganzen Länge Risse erzeugt. Heute geht man in bis zu 30 einzelnen Abschnitten vor. Hierzu werden mit Sprengladungen kleine Anrisse in der Wand des Lochs erzeugt. Anschließend wird ein Flüssigkeits-Sand-Gemisch unter hohem Druck hinein gepreßt. Die Flüssigkeit bricht das Gestein auf und der Sand soll die entstandenen Risse dauerhaft offen halten. Wichtig zum Verständnis der Gefahren ist dabei, daß hier viele kurze Risse erzeugt werden. Man will ja gerade nicht die dünne gasführende Schicht durchdringen, sondern man will das enthaltene Gas schließlich gewinnen! Kein Mensch gibt für eine solche Bohrung zwischen einer bis zehn Millionen Dollar aus, um „sein Gas“ irgendwo im Untergrund verschwinden zu lassen.

5. Zum Schluß muß vor dem Beginn der Förderung alle Flüssigkeit wieder raus aus dem System. Es ist nicht vermeidbar, daß während der Arbeiten Salze etc. in der Flüssigkeit gelöst werden. Es ist also eine mehr oder weniger giftige Brühe die da hoch kommt. Anfangs hat man die einfach in den nächsten Fluß gegeben. Auch das war – bei den Anfangs noch kleinen Mengen – kein großes Problem. Heute hat man aber über eine Million Bohrungen durchgeführt. Im Schnitt werden in den USA 100 „fracks“ pro Tag ausgeführt. Deswegen werden die Abwässer heute in dafür vorgesehene unterirdische Schichten verpreßt oder das Wasser wird bei Frischwassermangel wieder (kostspielig) aufbereitet. In manchen Fällen ist es ohnehin sogar günstiger mit Propan-Butan-Gemischen („Feuerzeug-Gas“) zu arbeiten.

An dieser Stelle sei ein Einschub gestattet: Kann sich noch jemand an den Medienrummel um die Nutzung von Geothermie vor einigen Jahren erinnern? Der Grüne-Un-Verstand wollte damit die Grundlastversorgung in Deutschland sicherstellen. Die Arbeitsschritte 4 und 5 sind dafür genauso nötig. Nur die Risse müssen für Geothermie hunderte Meter lang sein und das Wasser löst

(nach erfolgter Abkühlung) beständig weiter „Schadstoffe“ aus dem Untergrund. Aber Geothermie ist halt politisch korrekt und „fracking“ böse. Zum Glück ist es nach den ausgelösten (und bei jeder Rissbildung unvermeidlichen) Mikrobeben still um die Geothermie in Deutschland geworden.

Die Dauerhaftigkeit der Fracking-Methode

Diskutiert wird die Nutzung solcher Vorkommen. Tatsache ist, daß die Fördermengen einer solchen Bohrung in den ersten Jahren um bis zu 80% abfallen. Das sind gänzlich andere Verhältnisse als bei einer konventionellen Lagerstätte. Allerdings liefert auch eine Fracking-Bohrung über Jahrzehnte Gas. Prinzipiell ist das kein Hindernis: Das Fördergebiet muß nur groß sein und man muß ständig weiter bohren. Solange man mehr für das geförderte Gas bekommt, als das Loch gekostet hat, lohnt sich die Sache. Das ist allerdings der Interessenkonflikt zwischen Verbraucher und Förderer. Sinken die Preise unter ein bestimmtes Niveau ab, wird die Bohrtätigkeit eingestellt. Eine resultierende Explosion der Erdgaspreise wäre die Folge. Deshalb versucht man durch mehrere Verflüssigungsanlagen und Export die Nachfrage zu vergleichmäßigen. Ziel ist eine kalkulierbare Preisstabilität. Sie soll den Anreiz für Investitionen in Großverbraucher (Kraftwerke, Chemieanlagen) schaffen. Besonders wichtig sind absehbar langfristig günstige Preise, für den weiteren Ausbau der Infrastruktur im Verkehrssektor.

Ein weiterer Aspekt ist, daß man derzeit nur etwa 5% der in einer Schicht enthaltenen Kohlenwasserstoffe fördern kann. Die noch vorhandenen 95% in einem voll erschlossenen Fördergebiet sind ein nicht zu unterschätzender Anreiz. Man arbeitet bereits an sekundären Fördermethoden. Würde es gelingen, nur weitere 5 Prozentpunkte zu gewinnen, würde das den vorhandenen Schatz verdoppeln – wohlgerne, bei dann bereits vorhandener Infrastruktur.

Zumindest in den USA dürfte die Gasförderung für Jahrzehnte auf dem heutigen Niveau weiterlaufen. Allen Unkenrufen der „Peak-Oil-Fraktion“ zum Trotz, besteht noch beträchtliches Entwicklungspotential bei bekannt hohen Kohlenwasserstoffgehalten in den Lagerstätten.

Allerdings sind die Erfahrungen nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar. Die gesamte „Shale-Revolution“ ist nicht von den großen Ölkonzernen, sondern von mittelständig geprägten Ölfirmen in den USA angetrieben worden. Solche Strukturen gibt es praktisch nicht außerhalb der USA. Deswegen sind die Fortschritte in Argentinien, Polen und China bisher enttäuschend verlaufen. Es wären grundlegende Wirtschaftsreformen in diesen Ländern nötig, um den Erfolg nachvollziehen zu können. Russland ist technologisch und finanziell kaum in der Lage, seine konventionelle Förderung ohne westliche Technik aufrecht zu erhalten. Bei seinem derzeitigen politischen Kurs, dürfte die Entwicklung der dort ebenfalls reichlich vorhandenen Vorkommen für Jahrzehnte auf Eis liegen. Am ehesten dürfte noch China zu Zugeständnissen an US-Firmen bereit sein, da es wegen seiner Luftverschmutzung unter einem enormem Druck steht.

Und nun auch noch Öl

Öl ist in letzter Zeit mehr und mehr aus dem Blickfeld der breiteren Öffentlichkeit geraten. Noch vor wenigen Jahren wurde das baldige Ende der Ölfelder (peak oil) vorausgesagt. Die Welt sollte in Kriege um die letzten Ölfelder untergehen oder der Kapitalismus wegen steigender Ölpreise in sich zusammenbrechen. All diese Katastrophen-Szenarien sind heute unwahrscheinlicher denn je. Leuchtendes Beispiel sind die USA mit ihrem nahen Aufstieg zum größten Ölproduzenten der Welt. Ihr Netto Ölimport fällt beständig und es wird immer lauter über Ölexporte nachgedacht. Außenpolitisch und weltwirtschaftlich werden die Konsequenzen in Deutschland noch gar nicht richtig wahrgenommen.

Unkonventionelle Ölvorkommen

In einer funktionierenden Marktwirtschaft wie den USA, haben die vor ein paar Jahren steil ansteigenden Ölpreise sofort einen neuen „Goldrausch“ ausgelöst. Jeder wollte sich ein Stück vom Kuchen abschneiden. Außerhalb von Politzirkeln und Konzernzentralen übernahmen die Tüftler die Initiative. Mit ungeheurer Beharrlichkeit und großen persönlichen Risiken wurde die „shale revolution“ geschaffen. Wie war das möglich?

Auf der Erde sind Kohlenwasserstoffe gar nicht so selten, wie uns die unverbesserlichen „Malthusianer“ gerne einreden möchten. Die Verfügbarkeit ist variabel und hängt von der technischen Entwicklung und dem Preisniveau (Nachfrage) ab. Die Technik – sofern man sie nicht politisch behindert – schreitet immer weiter voran. So hat die oben beschriebene „neue Technologie“ zur Gasförderung auch unmittelbar Eingang in die Ölproduktion gefunden. Parallel drang man in die Tiefsee vor. Die Robotertechnik erlaubt heute Ölförderung in tausenden Metern Wassertiefe. Durch diese technischen Entwicklungen sind die Landkarten praktisch neu gezeichnet worden. Gehört es noch heute zur Grundüberzeugung in Deutschland, daß die USA den Golfkrieg nur wegen des Öls geführt hätten, sind die USA inzwischen zum führenden Ölproduzenten aufgestiegen und fangen bereits mit den ersten Exporten an (Kondensate nach Asien, Bau von LNG-Terminals an der Golf- und Ostküste).

Ein Grund für die momentan eher sinkenden Ölpreise ist das gemeinsame Auftreten von Öl und Gas: Es gibt kaum reine Ölvorkommen (z. B. Ölsände in Kanada) oder reine Gasvorkommen. Vielmehr kommt bei der Ölförderung praktisch immer auch Erdgas und bei der Gasförderung immer auch Erdöl (Kondensate, wet gas) mit hoch. Bei der Ölförderung kann man sich (anfangs) mit einem Abfackeln an Ort und Stelle helfen. Die Kondensate der Gasförderung hingegen drücken unmittelbar auf die Ölmärkte. Die Mengen sind in den USA inzwischen so groß, daß die Preise ins Bodenlose gefallen sind. Dadurch wird immer weniger leichtes Erdöl (aus z. B. Nigeria) und zukünftig – nach erfolgtem Umbau der Raffinerien – schwerere und saurere Ölqualitäten (aus Venezuela und Saudi Arabien) verbraucht werden. Die Welthandelsströme für Rohöl werden sich innerhalb eines Jahrzehnts völlig umkrempeln. Die drei großen Produzenten USA, Saudi Arabien und Rußland werden sich neue Märkte suchen müssen. Da die USA wegfallen und Europa und Rußland eher stagnieren, wird wohl Asien lachender Dritter sein.

Ausblick auf die laufenden Entwicklungen

Bei den Förderkosten spielen die Kosten für den Bohrplatz und die Bohrung eine wesentliche Rolle. Für die Akzeptanz in der Bevölkerung insbesondere die Anzahl der Bohrplätze. Für jeden „Bohrturm“ muß ein Stück Wald oder landwirtschaftliche Nutzfläche zumindest zeitweise zerstört werden. Diese Bohrplätze müssen noch durch Straßen und Rohrleitungen untereinander verbunden werden. Vereinfachend kann man sagen, je weniger Bohrplätze, desto größer die Akzeptanz. Man versucht deshalb immer mehr Bohrungen von einem Bohrplatz aus abzuteufen („Polypentechnik“). Entwickelt wurde diese Technik für Bohrinseln. Diese Technik bietet auch noch enorme wirtschaftliche Anreize. Jeder Auf- und Abbau und Transport des Bohrgerätes kostet Zeit, in der die Bohrfirma kein Geld verdienen kann.

Egal ob konventionelle oder unkonventionelle Lagerstätten: Nach der Ausbeutung bleiben immer noch über 60% der Kohlenwasserstoffe unerreichbar in den Feldern. Seit Beginn der Ölförderung ist deshalb die mögliche Entölung ein Dauerproblem. Auch hier gilt: Je mehr Öl man fördern will, je anspruchsvoller die erforderliche Technik und damit überproportional steigende Kosten. Je besser man die Lagerstätten versteht und simulieren kann (s. o. Punkt 1.), desto gezielter kann man „chemische Cocktails“ zur Loslösung der Restöle entwickeln. Diese Forschung ist der Forschung in der Pharmaindustrie zur Entwicklung neuer Medikamente sehr verwandt. Momentaner Renner ist die Verwendung von CO₂ als Lösungsmittel. Die Ergebnisse sind so vielversprechend, daß sich CO₂ bald von einem „Abfallproblem“ in einen (großtechnisch erzeugten und gehandelten) Wertstoff wandeln dürfte. Erste Anlagen zur Gewinnung von CO₂ aus Kohlekraftwerken zur Ölförderung sind in den USA im Bau. Studien für „fortschrittliche Kohlekraftwerke“ in der Golfregion mit seinen zahlreichen alternden Feldern in Arbeit.

Insbesondere in China gewinnt die unterirdische Kohlevergasung zunehmendes Interesse. Auch in USA und Zentraleuropa gibt es schier unendliche Kohlevorräte in unwirtschaftlichen Tiefen oder in der Form zu dünner Flöze. Seit jeher gab es Pläne, diese Kohle durch Bohrungen und „In-situ-Vergasung“ zu erschließen. Bisher scheiterten diese Versuche an der geringen Durchlässigkeit der Stein-Kohle. Die Methoden des „shale gas“ eröffnen nun ganz neue Möglichkeiten.

In letzter Zeit ist es etwas still um die Methanhydrate geworden. Nichts desto trotz, ist man sich einig, daß ihre Vorräte größer als alle sonstigen Erdgasfelder und Kohlevorräte zusammengenommen sind. Allein dieser Umstand lockt. Es ist nur eine Frage der Zeit, wann die erste kommerzielle Förderung beginnen wird.

Eigenbedarf und Substitution

Alle Energieträger sind irgendwie untereinander verbunden. Die Relationen der Energiepreise sind relativ konstant. Bricht ein Energieträger aus, wie vor ein paar Jahren die Ölpreise, setzt sofort eine Verschiebung unter allen anderen Energieträgern ein.

Eine besonders bemerkenswerte Substitution findet gerade in Saudi Arabien statt. Es hat 9,6 Millionen Barrel Rohöl pro Tag in 2013 produziert. Inzwischen steht es aber mit seinem Primärenergieverbrauch an zwölfter Stelle (Deutschland Rang 7, Frankreich Rang 10, Großbritannien Rang 13) weltweit. Es deckt über 60% seines Eigenverbrauchs mit Erdöl ab. Die Produktion von knapp 300 TWh (Deutschland rund 600 TWh/a) elektrischer Energie jährlich geschieht ausschließlich in Öl- und Gaskraftwerken. Man will nun in den nächsten Jahren 0,5 Millionen Barrel Öl pro Tag „gewinnen“, indem man die Feuerung in einigen Ölkraftwerken auf Erdgas umstellt. Damit jedoch nicht genug. Da Stromverbrauch und der Energiebedarf für Meerwasserentsalzung auch in den nächsten Jahren stark ansteigen wird, ist der Bau von mindestens 14 Kernkraftwerken in den nächsten zwanzig Jahren geplant. Die Vereinigten Emirate haben bereits vier Reaktoren im Bau und Iran plant ebenfalls weitere Kernkraftwerke.

Ausblick

Teil 2 wird sich mit der Situation der Kernenergie unter diesen Randbedingungen befassen.

Übernommen von [NUKEKLAUS hier](#)