

„Atommüll“ im Bohrloch

Man kann heute nicht nur einige tausend Meter senkrecht in die Tiefe bohren, sondern auch noch bis zu 5 km waagerecht. Dabei ist entscheidend, daß man die waagerechten Bohrungen bis auf etwa einen Meter zielgenau innerhalb einer Schicht ausführen kann. Damit ergeben sich völlig neue Aspekte für den Bau eines Endlagers.

Bergwerk oder Bohrfeld

Der klassische Weg ist die Anlage eines Bergwerkes. Bis man mit der Einlagerung beginnen kann, muß man tatsächlich ein komplettes Bergwerk mit allen zugehörigen Einbauten errichten. Entscheidender Faktor ist hierbei der Mensch: Bergleute müssen von der ersten Stunde bis zum endgültigen Verschuß – ein Zeitraum von rund 100 Jahren – in diesem Bergwerk arbeiten. Das erfordert einen enormen Aufwand für die Sicherheit und begrenzt die Tiefe: Es muß nicht nur eine mehrere Kilometer lange Rampe für den Transport der Abfallbehälter aufgefahren werden, sondern zusätzlich noch Schachtanlagen für die Belüftung und den Personentransport. Für all die aufwendige Technik müssen im Berg komplette Werkstätten, Sozialräume etc. eingerichtet und betrieben werden. Ein enormer Kostenfaktor. Abschließend müssen alle Einbauten und Installationen (Kabel, Rohrleitungen usw.) wieder zurückgebaut werden und alle Hohlräume sorgfältig verfüllt und abgedichtet werden. Bei einem konventionellen Bergwerk holt man nur die wertvollen Dinge raus und läßt das Bergwerk absaufen und langsam in sich zusammenfallen. Genau das geht bei einem Endlager nicht. Hier muß der ursprüngliche Zustand des Gebirges möglichst gleichwertig wieder hergestellt werden – ist doch das Gestein die entscheidende Barriere eines Endlagers. Durch all diese bergmännischen Tätigkeiten wird die ursprüngliche Einlagerungsstätte erheblich verletzt. Dabei sind nicht nur die Hohlräume wieder zu verschließen, sondern auch die durch den Abbau gestörten Randzonen entsprechend abzudichten.

Legt man ein Bohrfeld an, muß zu keinem Zeitpunkt irgendein Mensch unter Tage arbeiten. Alle Bau-, Einlagerungs- und Verfüllarbeiten werden ausschließlich von der Oberfläche aus ausgeführt. Die Arbeiten gehen abschnittsweise vor sich. Sobald eine Bohrung fertiggestellt ist, kann sie befüllt werden und (wunschgemäß sofort) wieder fachgerecht verschlossen werden. Für jede Bohrung sind nur einige Monate erforderlich und anschließend ist sofort der Endlagerzustand erreicht. Dies bedeutet eine enorme Flexibilität. Man muß nicht mehr ein zentrales Endlager betreiben, in dem alle radioaktiven Abfälle eingelagert werden, sondern kann mehrere spezielle Lagerstätten einrichten. Dies könnte auch eine bessere Akzeptanz bei der Bevölkerung bedeuten. Es gibt nicht mehr eine Region, die sich als „Atomklo“ der Nation verstehen muß, sondern viele Endlager sind möglich. Der Nutzen von einem Kernkraftwerk kann besser mit den (vermeintlichen) Nachteilen eines Endlagers ausgeglichen werden. Insbesondere durch horizontale Bohrungen werden ganz neue Gebiete für die Endlagerung gewonnen. Für ein Bergwerk braucht man eine möglichst dicke Schicht (z. B. Salzstock). Für horizontale Bohrungen reichen sehr dünne Schichten (Abweichungen von weniger als einem Meter bei der Bohrung) aus. Ein

stark geschichteter Untergrund kann sogar von Vorteil sein, wie man von den Gaslagerstätten weiß. Einzelne Schichten im Untergrund sind oft so dicht, daß sie nicht einmal unter Druck stehendes Erdgas durchlassen. Ein gewaltiger Vorteil für ein Endlager.

Senkrecht oder horizontal?

Die Idee „Atommüll“ in tiefe Bohrungen zu versenken ist nicht neu. So hat man in den USA versuchsweise Bohrungen bis 5000 m Tiefe ausgeführt. In den unteren 1 bis 2 km sollten dann Kanister mit „Atommüll“ endgelagert werden. Hier galt das Prinzip: Je tiefer, je sicherer, denn Tiefe schützt vor durchgehenden Rissen und es verbleibt nur noch die (langsame) Diffusion zum Transport. Der „Atommüll“ sollte also mindestens drei Kilometer unter der Erdoberfläche gelagert sein. Bei dieser Bauart stehen die Kanister übereinander, was zu einer entsprechenden Belastung für den untersten Kanister führt. Gemildert kann dies werden, indem man mehrere Pfropfen in die Bohrung einbaut, auf denen jeweils ein separater Turm steht. Dies verkürzt aber die nutzbare Länge entsprechend und erhöht die Baukosten. Nachteilig ist auch bei einem Wassereintritt, daß die radioaktiven Stoffe – angetrieben durch den Auftrieb durch die Wärmeentwicklung – bevorzugt in der Bohrung und ihrer Störzone nach oben steigen wollen. Es ist also eine besonders sorgfältige Wiederverfüllung nötig, damit auch langfristig keine radioaktiven Stoffe in Grundwasser führende Schichten gelangen.

Bei einer horizontalen Lagerung ist der Auftrieb naturbedingt wesentlich kleiner, da die Wärmeentwicklung eher flächig auftritt. Technisch arbeitet man dem Auftrieb entgegen, indem man den horizontalen Teil leicht ansteigend ausführt. Flüssigkeiten und Gase haben dadurch die Tendenz sich entgegen der Hauptbohrung zu bewegen. Bei einer solchen Anlage spielt Wasser in der Einlagerungszone eine geringe Rolle. Anders als bei einem Bergwerk muß es gar nicht abgepumpt werden und es werden somit nicht die Strukturen gestört. Es muß lediglich gewährleistet sein, daß es oberhalb ausreichende Sperrschichten gibt, die einen Austausch mit oberflächennahen Grundwasserschichten verhindern. Wie lange dieses Wasser schon keinen Kontakt mehr mit der Oberfläche hatte, kann man leicht über eine Isotopenanalyse ermitteln. So stammen beispielsweise die Wässer in den Ölfeldern von Texas (permian) überwiegend aus dem gleichen Meer, in dem auch die öl- und gasbildenden Organismen gelebt haben – sie sind Millionen Jahre alt. Genau die Schichten, die auch das Öl und Gas gefangen gehalten haben, haben auch sie von der Oberfläche fern gehalten. Ein weiterer Vorteil dieser alten Wässer ist, daß sie längst mit Mineralien gesättigt sind und keinen Sauerstoff mehr enthalten – sie können deshalb nur sehr schlecht den „Atommüll“ auflösen bzw. die Behälter korrodieren.

Die Konstruktion eines horizontalen Lagers

Der Bau eines solchen Endlagers vollzieht sich in drei Schritten: Im ersten Schritt wird eine ganz konventionelle Bohrung bis in die gewünschte Tiefe (mindestens so tief wie die geplanten Bergwerke) niedergebracht. Ist sie fertig gebohrt, wird sie komplett mit einem Stahlrohr ausgekleidet, welches einzementiert wird. Der Spezialzement verbindet das Rohr fest mit dem

umgebenden Gestein und festigt die durch das Bohrgerät beschädigte Randzone (jeweils ungefähr einen halben Bohrungsdurchmesser um das Loch). Ab diesem Moment hat man also eine stabile senkrechte Rohrleitung nach unten. Im zweiten Schritt wird der Bogen als Übergang von der Senkrechten in die Horizontale gebohrt. Dies geschieht mit einem Winkel von etwa $0,25^\circ$ pro Meter (300 bis 600 Höhenmeter zwischen Senkrecht und Waagrecht). Wie stark die Krümmung sein darf, hängt wesentlich von der Länge der „Müllbehälter“ ab. Schließlich sollen diese Behälter später ohne Belastung – wie ein Sattelzug auf einer Straße – um die Ecke gefahren werden. Will man z. B. komplette Brennelemente (in Deutschland z. B. ist eine Wiederaufbereitung politisch ausgeschlossen) einlagern, hat ein solcher Kanister eine Länge von knapp 5 m und wiegt rund 500 kg. Ist auch dieser Teil fertig gebohrt, wird er ebenfalls durchgehend bis zur Erdoberfläche verrohrt. Im senkrechten Teil besteht die Konstruktion nun aus zwei zentrischen Rohren, deren Zwischenraum ebenfalls zementiert wird. Im dritten Schritt wird die horizontale Bohrung ausgeführt. Man realisiert heute im Ölgeschäft bis zu 5 km lange Strecken. Wie lang eine Bohrung sein kann hängt maßgeblich von der Beschaffenheit der Schicht ab, in die die Endlagerung erfolgen soll. Dieser Teil wird nun ebenfalls verrohrt, was zur Folge hat, daß im senkrechten Teil nun drei Rohre ineinander gesteckt sind.

Die „Abfallbehälter“ bestehen aus Rohren mit einer Wandstärke von etwa 1 cm aus „Alloy 625“ (einem rostfreien Edelstahl, aus dem z. B. auch Rohre in Kernkraftwerken gefertigt werden). Hohlräume in den Behältern werden ausgefüllt und diese anschließend gasdicht verschweißt. Solche „Stangen“ – typische Durchmesser 23 bis 33 cm – sind außerordentlich stabil. Bis diese Behälter „durchgerostet“ sind, vergehen mindestens 50 000 Jahre. Ein Zeitraum, in dem fast alle Spaltprodukte bereits zerfallen sind. Erst dann müßte das Gestein seine Aufgabe als weitere Barriere erfüllen. Die Rohre zur Auskleidung der Bohrlöcher haben eine Lebensdauer von mehreren hundert Jahren.

Aus der Ölindustrie kennt man zahlreiche Verfahren, wie man solche Bohrungen befahren kann. Das Ein- und Ausbringen von Messgeräten, Kameras, Werkzeugen usw. ist Routine. Es gibt sogar Spezialfirmen, die abgebrochene oder verklemmte Bohrgestänge wieder aus einem Bohrloch fischen können. Die „Abfallbehälter“ werden wahrscheinlich mit einem elektrisch angetriebenen Traktor, an einem Stahlseil hängend, in die Rohre gedrückt bzw. wieder herausgezogen. Die Lagerung ist also für (mindestens) Jahrzehnte rückholbar. Auch dies eine politische Forderung, die eigentlich im Widerspruch zu einem Endlager steht.

Alle Arbeiten werden also von der Erdoberfläche aus ausgeführt. Einzige Besonderheit ist eine Abschirmung gegen die Strahlung während der Versenkung des „Atomülls“. In der Ölförderung ist es üblich, von einer kleinen Baustelle aus, mehrere Löcher zu bohren. Teilweise sogar mehrere Schichten übereinander zu erschließen. So könnte man auch ein recht großes Lagerfeld für viele Tonnen Abfall anlegen. Auch der oberirdische Platzbedarf wäre somit sehr viel kleiner als für ein vergleichbares Bergwerk.

Was könnte man einlagern?

Wie oben schon erwähnt, könnte man ganze Brennelemente ohne weitere Bearbeitung einlagern. Dies dürfte – wegen der enormen Rohstoffverschwendung – die Ausnahme sein. Viel eher wird man die verglasten Spaltprodukte mit den minoren Aktinoiden nach einer Wiederaufbereitung (französischer Weg) in solche Behälter gießen. Es sind aber auch andere Wege darstellbar. So fällt man in den USA in den militärischen Aufbereitungsanlagen Strontium und Cäsium (Halbwertszeit etwa 30 Jahre) aus der Spaltproduktlösung aus. So erhält man eine relativ große Menge kurzlebigen Abfall und eine relativ geringe Menge langlebigere Spaltprodukte. Diese Cäsium- und Strontium-Kapseln werden getrennt gelagert. Man kann hierfür einen besonders geeigneten Lagerort finden. Dampferzeuger aus Kernkraftwerken werden heute schon in Spezialfabriken zerlegt und dekontaminiert. Übrig bleibt eine große Menge handelsüblicher Schrott zu Wiederverwendung und ein kleiner Block eingeschmolzenen radioaktiven Materials. Diesen Abfall könnte man auch in die „Abfallbehälter“ gießen und endlagern. Heute wird es immer mehr üblich, kontaminierte Stoffe (Schutzbekleidung etc.) vorher einzuäschern und nur noch das kleine Volumen der Asche zu lagern. Genauso könnte man belastete Filterharze in „Abfallbehälter“ umfüllen. Alles nur eine Frage der Kosten und des politischen Willens.

Der Beitrag erschien zuerst bei NUKEKLAUS [hier](#)