

Die Einlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen

Autor(en): **Jäckli, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **68 (1977)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914975>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Einlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen¹⁾

Von H. Jäckli

Die in Kernkraftwerken und in Wiederaufbereitungsanlagen anfallenden radioaktiven Abfälle können in verschiedene Aktivitätsgruppen gegliedert werden. Je nach der spezifischen Aktivität sind verschiedene Einlagerungsmethoden und Anforderungen an das Wirtgestein der Lagerstätte erforderlich. In der Schweiz werden seit rund acht Jahren systematisch geeignet erscheinende Gesteinsformationen untersucht, und zurzeit liegt ein Gesuch für geologische Sondierarbeiten an fünf Lokalitäten beim Bund.

1. Radioaktive Abfälle

In den Kernkraftwerken und in den Wiederaufbereitungsanlagen entstehen radioaktive Abfälle, die zweckmässig, das heisst für die Umwelt sicher und ungefährlich, zur Seite geschafft werden sollten.

Welcher Art sind nun diese Abfälle, wie gross ist ihre Menge, was hat man bisher mit ihnen gemacht, und was beabsichtigt man in Zukunft mit ihnen zu machen, speziell in der Schweiz?

1.1 Schwachaktive Abfälle

Da sind einmal die sogenannten schwachaktiven Abfälle mit einer geringen spezifischen Aktivität, die nach 10 Jahren kleiner als 3 Ci/m^3 ist. Es sind Überkleider, Handschuhe, Putzfäden, Reinigungsmaterial, Filtermaterial, schwachkontaminierte Werkzeuge und ähnliches.

Sie werden üblicherweise in Stahlfässern zu 200 l aufbewahrt. Die Wärmeleistung nach 10 Jahren beträgt etwa 0,01 bis $0,5 \text{ W/m}^3$, die Oberflächendosis etwa 0,05–0,2 R/h.

Solche Fasslager sind betretbar; eine kurzfristige Manipulation mit vollen Fässern ist ungefährlich.

1.2 Mittelaktive Abfälle

Als mittelaktive Abfälle werden solche bezeichnet, welche pro Fass, je nach Nuklidgruppe, eine Aktivität bis zu einigen hundert Curies, eine Wärmeleistung von etwa $0,5\text{--}5 \text{ W/m}^3$ produzieren, bei einer Oberflächendosis von 0,2–300 R/h. Sie dürfen deswegen nur mit einer Abschirmung manipuliert und transportiert werden. Ihre Lagerkammern dürfen nicht betreten werden. Es handelt sich dabei beispielsweise um Ionenaustauscherharze, Filterkerzen oder um kleine aktivierte Teile eines Reaktors, die ersetzt werden müssen, wie Bleche, Ventile, Rohre.

In einem Kernkraftwerk mit Leichtwasserreaktor zu 1000 MWe fallen je nach Behandlungsart 500–1000 Fässer zu 200 l schwach- und mittelaktiver Abfälle pro Jahr an, das entspricht rund 200 bis 300 m^3 Stapelraum/Jahr. In der Schweiz wurden diese Fässer bisher im EIR Würenlingen oder in Lagerhallen der Kernkraftwerke, das heisst an der Erdoberfläche, gestapelt, teilweise auch unter internationaler Aufsicht zur Versenkung in den Atlantik abgeschoben.

1.3 Hochaktive Abfälle

Hochaktive Abfälle entstehen in den Aufbereitungsanlagen, wo die abgebrannten Brennelemente behandelt resp. das dabei noch unverbrauchte Uran und das im Reaktor erzeugte Plutonium von den Spaltprodukten und den übrigen Transuranen chemisch getrennt werden. Diese hochaktiven Abfälle produzieren anfänglich eine grosse Wärme, weshalb sie vorerst während einiger Jahre in flüssiger Form in Kühltanks an der Ober-

Les déchets radioactifs issus des centrales nucléaires et des usines de retraitement peuvent être classés dans différentes catégories, selon leur degré d'activité. De celui-ci dépend le mode de stockage et les conditions requises pour les roches dans lesquelles est aménagé le lieu de stockage. On étudie systématiquement depuis huit ans déjà en Suisse des formations rocheuses paraissant appropriées. Actuellement, une demande de permis pour des travaux de reconnaissance géologique à cinq endroits est en main de la Confédération.

fläche gelagert werden und dann beispielsweise zu Glaszylindern von 30 cm \varnothing und 3 m Länge verfestigt werden, wobei pro 1000 MW etwa 10 solche Zylinder pro Jahr produziert werden.

Nach 10 Jahren liegt die spezifische Aktivität von verfestigtem hochaktivem Abfall immer noch etwa bei einigen Mio Ci/m^3 , die Wärmeleistung bei einigen tausend W/m^3 , die Oberflächendosis bei mehreren tausend R/h.

Da in der Schweiz Wiederaufbereitungsanlagen nicht vorhanden sind, bleiben diese hochaktiven Abfälle vorderhand im Ausland im Areal jener Aufbereitungsanlagen, wohin wir unsere abgebrannten Brennelemente senden. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass in Zukunft von dort die aus unseren abgebrannten Brennelementen stammenden hochaktiven Abfälle uns zur Endlagerung zurückgesandt werden.

Auf eine kurze Formel gebracht:

– für schwach- und mittelaktive Abfälle müssen wir Volumen in trockenem, wasserdichtem Gestein suchen, um Fässer versorgen zu können,

– für hochaktive Abfälle müssen wir in grosser Tiefe Gesteine hoher Wärmeleitfähigkeit suchen, um Wärme ohne Schaden abführen zu können.

In beiden Fällen darf die Biosphäre, das Leben der Umwelt, nicht durch Strahlung geschädigt werden.

2. Einlagerungsmethoden

Von den verschiedenen Arten oder Methoden einer Beseitigung dieser radioaktiven Abfälle werden auf internationaler Ebene zurzeit folgende diskutiert:

1. Die Einlagerung auf oder nahe unter der Terrainoberfläche.
2. Die Versenkung im Meer oder unter dem Meeresboden.
3. Die Versenkung im Eis der Antarktis.
4. Der Abschuss in den Weltraum.
5. Die Einlagerung in geologische Formationen.

Im folgenden wollen wir uns ausschliesslich mit dieser letztgenannten Variante beschäftigen, mit der Einlagerung in geologischen Formationen, da sie in allen Ländern zurzeit am intensivsten studiert wird und auch in der Schweiz absolut im Vordergrund steht.

Für die Einlagerung von *schwach- und mittelaktiven Abfällen* werden *Felskavernen oder Stollen* vorgesehen, in welchen die Fässer zu 200 l aufgestapelt werden.

Für *hochaktive Abfälle* werden zurzeit *Bohrlöcher* als die zweckmässigste Einlagerungsmethode betrachtet, deren Tiefe garantiert, dass sich die Wärmeleistung des Abfalls an der Geländeoberfläche nicht mehr bemerkbar macht.

¹⁾ Referat anlässlich der Vereinsversammlung des Schweiz. Nationalkomitees der Weltenergiekonferenz vom 22. September 1976.

3. Anforderungen an ein Wirtgestein

Welches sind die Anforderungen an die Gesteinseigenschaften des Wirtgesteins?

3.1 Wasserdichtigkeit

Erste und wichtigste Bedingung ist die Wasserdichtigkeit, damit die darin eingelagerten radioaktiven Abfälle nicht über zirkulierendes Grundwasser ihre Umgebung resp. die Aussenwelt kontaminieren können.

Kennen wir solche wasserdichten Gesteine?

a) Zu ihnen gehört das *Steinsalz*, das in Salzstöcken gemäss den Erfahrungen in zahlreichen Salzbergwerken bis weit unter das Meeresniveau reichen kann und trocken und wasserundurchlässig ist. In Deutschland und in den USA werden solche Salzkavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle bereits benützt, in Holland projektiert. Leider besitzt die Schweiz keine solchen Salzstöcke.

b) Ferner gehört zu den wasserdichten Gesteinen reiner, kompakter *Anhydrit*, der als wasserdicht gilt, weil er beim Kontakt mit Wasser sich in Gips umwandelt, dabei sein Volumen um 61% vergrössert und allfällige Wasseradern dank diesem natürlichen Quellungsprozess schliesst, gemäss der chemischen Formel:

Anhydrit und Wasser \rightarrow Gips



$$\gamma = 2,96 \qquad \qquad \qquad \gamma = 2,32$$

$$\text{Volumen} = 100\% \qquad \qquad \text{Volumen} = 161\%$$

c) *Kristalline* Gesteine, also Granite und Gneise, gelten in Kanada und in Skandinavien als weitgehend wasserundurchlässig, weshalb dort Lagerkavernen in solchen Gesteinen geplant sind. In der Schweiz wurden Stollen und Tunnels in Graniten und Gneisen stets als ausserordentlich wasserführend angetroffen und müssen bei uns deshalb als ungeeignet für trockene Kavernen betrachtet werden.

d) *Tongesteine*, also Tonschiefer oder tonige Mergel, gelten als wasserundurchlässig, sofern sie rein und nicht geklüftet sind. Italien und Belgien studieren systematisch die Einlagerung radioaktiver Abfälle in Tongesteinen. Leider finden wir bei uns in diesen Tongesteinen recht häufig sedimentäre Einschaltungen aus durchlässigeren Gesteinsbänken, also aus Sandsteinen oder Kalken, auf denen dann eine gewisse Wasserzirkulation möglich wäre. Zudem sind solche Gesteine im Stollenbau nicht sehr standfest und nicht verwitterungsbeständig.

3.2 Rückhaltevermögen für Nukleide

Es ist erwünscht, dass Radionukleide in wässriger Lösung durch Sorption möglichst weitgehend an das Gestein gebunden werden. Günstig diesbezüglich sind Tongesteine oder glimmerreiche und feldspatreiche kristalline Schiefer zu beurteilen, relativ schlecht Steinsalz. Kalk, Dolomit, Gips und Anhydrit nehmen mittlere Positionen ein.

3.3 Mechanische Gesteinsfestigkeit

Für Stollen und Kavernen ist eine hohe Standfestigkeit des Stollengebirges erwünscht. Wo diese Standfestigkeit fehlen würde, wären Betonverkleidungen notwendig, welche selbstverständlich den Stollenbau wesentlich verteuern.

3.4 Thermische Eigenschaften

Für schwach- bis mittelaktive Abfälle, welche keine nennenswerte Wärme produzieren, sind die thermischen Gesteins-

eigenschaften nicht von grosser Bedeutung. Anders ist es für die Einlagerung hochaktiven Abfalls, wofür das Wirtgestein wenn möglich eine hohe Wärmeleitfähigkeit und eine gute Stabilität bei hohen Temperaturen aufweisen sollte. Diesbezüglich gilt Anhydrit als vorzüglich geeignet, weil es eine sehr grosse Wärmeleitfähigkeit und einen hohen Schmelzpunkt aufweist.

4. Anforderungen an eine Lagerstätte

4.1 Hydrologische Aspekte

Lager radioaktiver Abfälle gehören nicht in Gebiete mit nutzbarem Grundwasser. Ebenso müssen aber auch alle Quellen, die der Wasserversorgung dienen, wie auch alle Thermal- und Mineralquellen vor jeglicher Kontamination gesichert werden. Gerade Thermalquellen stammen fast immer aus grösserer Erdtiefe, sonst wären sie nicht erwärmt, und es ist in jedem Falle sehr gründlich abzuklären, ob zwischen den allfällig vorgesehenen Lagerkavernen und solchen Thermalquellen ein hydrologischer Zusammenhang bestehen könnte.

Leider sind alpine Anhydritvorkommen an ihrem Rande oft von Rauhewacken und Dolomiten begleitet, in welchen erfahrungsgemäss eine rege Wasserzirkulation stattfindet und aus welchen Gipsquellen austreten, die durch radioaktive Abfälle nicht kontaminiert werden dürfen.

Für Kavernenprojekte bevorzugen wir hochgelegene Gebiete, die oberhalb des Grundwasserspiegels der Talsohlen gelegen sind, einerseits um dadurch die Gefahr von allfälligen Wassereintrüben zur Deponie, beispielsweise anlässlich von Erdbeben, zu verringern, andererseits um allfällige unterirdische Wasserwege von der Deponie weg geologisch besser überblicken und prognostizieren zu können.

4.2 Geologische Stabilität

Ferner werden an solche Anlagen gewisse Anforderungen an die sogenannte «geologische Stabilität» gestellt. Darunter verstehen wir folgendes: Ein solches Lager soll nicht durch Bergstürze, Sackungen oder Rutschungen, nicht durch Flusserosion oder durch Wildbäche gefährdet werden. Es soll auch nicht durch Gletschererosion entblösst werden, da wir wissen, dass in der letzten Eiszeit, also vor rund 15000 Jahren, die Alpengletscher bis über Zürich hinaus vorgestossen sind und dabei gerade im Mittelland nennenswerte Erosionsleistungen von einigen hundert Metern Tiefenerosion im Fels zustande gebracht haben.

Die Gletschererosion ist für Anlagen für hochaktive Abfälle, von denen eine sehr lange Lebensdauer verlangt wird, voll zu berücksichtigen. Für Kavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle, denen eine Lebensdauer von einigen hundert bis maximal tausend Jahren vorgeschrieben ist, ist die Erfüllung dieser Forderungen in schweizerischen Verhältnissen problemlos.

Mit grosser Vorsicht sind Erschütterungen und Krustenverstellungen bei Erdbeben zu berücksichtigen, da dabei möglicherweise neue Spalten im Erdinnern aufgerissen werden, längs denen eine unerwünschte Wasserzirkulation stattfinden kann. Das ist der Grund, weshalb man Gebiete mit erhöhter Erdbebenaktivität lieber meidet und Gebiete mit ruhiger Erdkruste bevorzugt.

4.3 Grösse des Vorkommens

Für Kavernenanlagen wird vom Gesteinsvorkommen eine vertikale Mächtigkeit von mindestens etwa 30–40 m verlangt, damit darin etwa 10–20 m hohe Kavernen plaziert werden können, für Bohrlöcher das Mehrfache.

5. Folgerungen

Unter Würdigung dieser verschiedenen geologischen Gesichtspunkte suchen wir seit etwa 8 Jahren in der Schweiz systematisch Gesteinsformationen, welche diese Bedingungen erfüllen und damit für die Einlagerung radioaktiver Abfälle geeignet erscheinen.

5.1 Für Kavernen und Stollen für schwach- und mittelaktive Abfälle scheinen in erster Linie möglichst reine massige Anhydritvorkommen von relativ grosser Mächtigkeit und Ausdehnung und von möglichst einheitlicher Zusammensetzung besonders geeignet. Gesucht sind Vorkommen, die oberhalb der Talsohle und abseits von genutzten Quellen und aus psychologischen Gründen abseits von Dörfern gelegen sind.

In zweiter Linie kämen auch Tongesteine in Frage, wie man sie im Jura etwa in den Opalinuston, im Mittelland in den Molassemergeln und in den Alpen etwa in den Valanginienmergeln des Helvetikums, im Aalénien der Préalpen oder in tonreichen Serien der Bündnerschiefer antrifft.

Verglichen mit massigem Anhydrit beurteilen wir die Eigenschaften von Tongesteinen in zwei Punkten vorderhand ungünstiger:

a) Wir befürchten, dass eine gewisse Wasserzirkulation in sedimentär zwischenlagernden Sandstein- oder Kalkbänken und längs tektonisch bedingten Scher- und Klüftflächen leichter stattfinden kann als im Anhydrit.

b) Wir sind überzeugt, dass ihre stollenbautechnische Standfestigkeit wesentlich bescheidener ist als jene von Anhydrit.

5.2 Für hochaktive Abfälle, die in Bohrlöchern versorgt werden sollten, kämen am ehesten in Frage Anhydrit mit steilen, in relativ grosse Tiefen reichenden Strukturen, Tongesteine von grosser Mächtigkeit, Steinsalz in grosser Tiefe in Gebieten, wo es nicht bereits für die Speisesalzgewinnung abgebaut wird, oder schliesslich Granite und Gneise des kristallinen Untergrundes in grosser Tiefe, wo die Grundwasserzirkulation nur noch minim ist.

6. Anhydrituntersuchungen

Am Beispiel des Anhydrits sei im folgenden kurz dargestellt, wie in der Schweiz zurzeit diese Studien vorangetrieben werden.

6.1 Erschwerende Faktoren

Das Studium auf Anhydrit wird durch die folgenden Eigenschaften dieses Gesteins charakterisiert:

a) Anhydrit kommt auf natürliche Weise nicht an der Oberfläche vor, sondern üblicherweise erst ab etwa 20–30 m unter der Oberfläche; oberhalb dieser Tiefe ist Anhydrit ersetzt durch Gips. Zur Abklärung von Anhydritvorkommen sind aus diesem Grunde Bohrungen und Sondierstollen unbedingt erforderlich.

b) Anhydrit galt bisher als kaum zu verwendender Rohstoff, als wirtschaftlich uninteressant und darum keiner ge-

nauerer geologischen Untersuchung wert. In der Literatur finden sich nur recht sporadisch Angaben über seine Eigenschaften und sein Vorkommen.

c) Ferner ist seit langem bekannt, dass unreiner Anhydrit unter Entlastung und Wasseraufnahme sich in Gips umwandelt und dabei quillt. Diese Erscheinung, die als *Hydratation* bekannt ist, verläuft mit einer Volumenzunahme von 61%. Deshalb traten bei allen Tunnelbauten im schweizerischen Jura-gebirge, sobald solche unreinen, mit Ton vermengten Anhydritschichten angefahren wurden, ausserordentlich schwere Quellungserscheinungen auf, zum letztenmal beim Bau des Belchen-tunnels.

d) In Deutschland gilt Anhydrit in Begleitung von Steinsalz als wasserführend; ein grosser Teil der deutschen Salzbergwerke ist während des Betriebes oder nachher durch Wassereinträge aus Anhydritschichten ersoffen.

e) Dank der relativ leichten Löslichkeit von Gips pflegt die Oberfläche der Gipsvorkommen, unterhalb denen in der Regel der Anhydrit folgt, von tiefen Dolinen bedeckt zu sein, von denen aus Oberflächenwasser in den Gips eindringen und oberflächennahe, im Gips gelegene Kavernen erreichen kann.

Würdigt man diese erschwerenden Eigenschaften des Anhydrits, so ist es unumgänglich, vorher in Versuchsstollen und Versuchskavernen systematisch zu prüfen, ob und in welchem Ausmass die uns bekannten schweizerischen Anhydritvorkommen tatsächlich wasserdicht sind und auch die übrigen an ein Wirtgestein gestellten Anforderungen erfüllen.

In keinem anderen Land wird zurzeit Anhydrit als Wirtgestein für radioaktive Abfälle studiert, denn überall sonst werden entweder Kristallin, wie in Kanada oder Schweden, Steinsalz, wie in Deutschland oder den USA oder Holland, oder Tongesteine, wie in Italien oder Belgien, als geeignet erscheinende geologische Formationen untersucht. Die Schweiz steht bezüglich der Studien im Anhydrit allein und kann sich nicht auf analoge Studien anderer Länder abstützen.

Wenn wir trotzdem Anhydrit weiterhin als geeignetes Wirtgestein betrachten, so aus zwei Gründen:

- Wo massiger, reiner Anhydrit in Stollen und Tunnels angefahren wurde, erwies er sich als trocken und standfest;
- Alle unsere bisherigen Laboruntersuchungen an Anhydrit haben durchwegs günstige Resultate gezeigt, die den Anforderungen an ein Wirtgestein entsprechen.

6.2 Probenuntersuchungen im Labormaßstab

Eine kurze Liste dieser Studien mag die Vielgestaltigkeit der untersuchten Gesichtspunkte illustrieren.

a) Mineralogisch-petrographische Studien an Dünnschliffen, am Röntgenspektrographen und als chemische Analysen, ausgeführt an den geologischen Instituten der ETH und der Universität Lausanne und an der EMPA in Dübendorf.

b) Physikalisch-mechanische Prüfungen auf Gewicht, Porosität und Druckfestigkeit an der EMPA und am felsmechanischen Laboratorium des geologischen Institutes der ETH.

c) Untersuchung auf Quellung mit Wasser, mit Portlandzementlauge, mit Kalilauge, mit Kaliumsulfat und mit Kochsalzlösung, also jener Erscheinung, die in den unreinen, tonreichen Anhydriten in Tunnels zu schweren Schäden führt, die aber bei reinem Anhydrit den sog. «Selbtheilungsprozess» garantieren soll. Untersucht werden Quellmass, Quelldruck und Quellgeschwindigkeit, an der EMPA, am geologischen

Institut der ETH und am Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH.

d) Die Wirkung einer reinen Gammabestrahlung auf Anhydrit, untersucht am EIR Würenlingen.

e) Die Sorptionseigenschaften von Gips und Anhydrit auf wässrige Lösungen von Cer, Ruthenium und Caesium, untersucht am EIR Würenlingen.

f) Korrosionswirkung von Gips und Anhydrit an Fässern und Zylinderhüllen, aus verschiedenem Material bestehend und mit verschiedenen Schutzanstrichen, studiert am EIR Würenlingen.

6.3 Felduntersuchungen

Neben diesen Laboruntersuchungen sollten aber unbedingt auch geologische Felduntersuchungen einhergehen, durch welche das betreffende Gesteinsvorkommen als geologischer Körper im Maßstab 1 : 1 erfasst werden sollte. Üblicherweise beginnt man mit *Kernbohrungen*, um Vorhandensein, Ausdehnung und Begrenzung des Anhydrites, dessen petrographische Zusammensetzung und Durchlässigkeit zu prüfen.

Bei positivem Befund sollten anschliessend an die Bohrungen *Sondierstollen* ausgeführt werden zur Abklärung der Trockenheit des Anhydrits und der allfälligen Wasserführung seiner Nachbargesteine im jahreszeitlichen Wechsel, zur genaueren Erfassung der dreidimensionalen Begrenzung des Anhydrits gegen die Nachbargesteine, zur Prüfung der Standfestigkeit als Stollengebirge und zur Kontrolle der Deformation des Anhydrits bei Entlastung im Stollen, sein sogenanntes «Konvergenzverhalten», und das alles im Maßstab 1 : 1. Uns schwebt so etwas wie ein «unterirdisches Anhydritlaboratorium» vor, wo in einer Felskaverne solche Untersuchungen durchgeführt werden und von der aus noch weitere Sondierbohrungen in allen Richtungen vorgetrieben werden könnten.

6.4 Sondierprogramm

Zurzeit liegen beim Bund Gesuche der NAGRA für geologische Sondierarbeiten an folgenden 5 Lokalitäten:

a) «Wabrig» im aargauischen Tafeljura

Gemeinden Wegenstetten, Hellikon, Zuzgen, Schupfart und Obermumpf.

Ruhige Hochfläche auf etwa 550 m ü. M., landwirtschaftlich genutzt; oben die harten Kalke des Hauptmuschelkalkes, darunter die weichen Schichten der sogenannten «Anhydritgruppe», etwa 50 m mächtig, darunter die Wellenmergel; in flacher Lagerung mit leichter Antiklinalstruktur, von Verwerfungen durchsetzt; mit Quellen am Kontakt des Trochitenkalkes über jüngsten Mergeln der Anhydritgruppe.

b) Le Montet bei Bex/VD

Isolierter Hügel in der Rhoneebene nördlich Bex, 250 m hoch, etwa 650 m ü. M., besteht an der Oberfläche aus Gips, im Kern aus Anhydrit.

Gehört zur ultrahelvetischen Trias der Bex-Laubhorn-Decke. 1974 wurden vom Konsortium Untertagespeicher 3 Vertikalbohrungen von 120, 120 und 250 m Tiefe ausgeführt, von denen keine die Untergrenze des Anhydrites erreichte.

Der Gips, der in einer Mächtigkeit von rund 30 m den Anhydrit bedeckt, wird auf dem Gipfel des Montet in einem grossen Tagbau von der Gips-Union abgebaut.

Keine Quellen. Die Niederschläge versickern im Gipskarst und erreichen unterirdisch die Alluvionen der Talsohle.

c) Stüblenen

Gemeinden Lenk und Lauenen/BE.

Flacher Gipfel 2109 m hoch auf der Wasserscheide zwischen Lenk und Lauenen.

Etwa 100–200 m mächtige Gipsplatte, wahrscheinlich mit Anhydritkern, schräg nach N einfallend, an der Oberfläche voller Dolinen.

In der Umgebung gibt es ungefasste Gipsquellen; die Mineralquellen von Lenk liegen möglicherweise in derselben Trias in rund 4,5 km Distanz.

Bisher wurden noch keine Sondierarbeiten ausgeführt.

d) Glauenbüelen

Gemeinde Giswil/OW

Wald- und weidebedecktes Gelände am Übergang zwischen Obwalden und dem hintersten Entlebuch, 1200–1500 m ü. M.

Gipsvorkommen von rund 4 km Länge und 100–300 m Dicke, zwischen Flyschiefer eingeschuppt, flach nach SE einfallend.

Bisher wurden noch keine Sondierarbeiten ausgeführt.

e) Val Canaria

Gemeinde Airolo/TI.

Im Val Canaria 2 km östlich Airolo liegt von 1200–1800 m ü. M. ein Gipsvorkommen, dessen Kern aus alpin metamorphem, grobkörnigem Anhydrit besteht. Es gehört zur Trias der sogenannten «Bedretto-Mulde».

Die Schichtung fällt mit 60–80° nach NNW ein; dank dieser steilen Struktur ist mit einem bedeutenden Tiefgang des Vorkommens zu rechnen.

Ein kleiner Sondierstollen von 70 m Länge wurde 1931 und eine Horizontalbohrung von 554 m Länge vom Konsortium Untertagespeicher 1975 im Anhydrit abgebrochen; die Mächtigkeit des Anhydrits übersteigt also lokal 500 m.

Leider ist es uns bisher von den lokalen und zum Teil kantonalen Behörden nicht gestattet worden, weitere Sondierbohrungen und Sondierstollen in Angriff zu nehmen.

Die psychologischen und politischen Schwierigkeiten, die sich zurzeit so lähmend auswirken, sind aber formationsunabhängig und wären selbstverständlich auch zu erwarten, wenn wir in anderen Gesteinen Sondierungen machen wollten.

Liegen einmal die Resultate von gleichwertigen geologischen Untersuchungen von einigen geeignet erscheinenden Anhydrit-Lokalitäten vor, so wird eine Evaluation dieser verschiedenen Lokalitäten durchgeführt werden müssen, wobei für die letzte Entscheidung der Landesbehörden selbstverständlich neben den geologischen Faktoren auch Fragen der bergrechtlichen Kollision mit bereits vorhandenen Konzessionären, Fragen der Verkehrserschliessung durch Geleise oder Strassen, die Distanz zu Siedlungen, Momente des Natur- und Landschaftschutzes und die politischen und psychologischen, also nicht technisch-naturwissenschaftlichen Gesichtspunkte mitberücksichtigt werden müssen.

7. Ausführung

Träger dieser Studien in der Schweiz ist zurzeit die NAGRA, die «Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle», der neben der Eidgenossenschaft 6 Unternehmen, die sich mit Planung, Bau und Betrieb von Kernkraftwerken befassen, angehören. Die NAGRA ihrerseits ist Mitglied des «Konsortium Untertagespeicher», der neben ihr die Erdölvereinigung, die Carbura, die Swissgas und die Vereinigten

Schweizerischen Rheinsalinen angehören. Während die NAGRA auf eigene Rechnung vorwiegend die Laboruntersuchungen durchführt, in der Meinung, dass daran weder die Öl- noch die Gas- noch die Salzindustrie interessiert seien, betreibt das «Konsortium Untertagespeicher» die Untersuchungen im Feld, also alle Sondierbohrungen und Sondierstollen, bis zum Zeitpunkt, wo eine Lagerstätte gefunden ist, in welcher eine Einlagerung radioaktiver Abfälle tatsächlich projektiert werden könnte.

Dieses aufwendige Untersuchungsprogramm, das vom Anfang bis zum Ende ganz auf Sicherheit gegen radioaktive Schäden ausgerichtet ist, stösst nun paradoxerweise schon in seiner ersten Phase, nämlich bei der Ausführung von Sondierbohrungen und Sondierstollen, auf grosse psychologische und politische Widerstände.

Lokale und kantonale Behörden verhindern Sondierbohrungen und Sondierstollen aus lokalpolitischen Überlegungen, den gesamtschweizerischen Charakter des Problems völlig verkennend. Bereits ist durch solche Untersuchungsverbote die geologische Abklärung wichtiger, interessanter Gesteinsvor-

kommen um Jahre verzögert worden. Und das, obschon jedermann weiss, dass in bestehenden Kernkraftwerken, in Spitälern und Forschungslaboratorien seit langem solche Abfälle produziert werden und die Planung der Endlagerung eine grosse, nachgerade beunruhigende *zeitliche Verspätung* aufweist. Der Rückstand gegenüber Deutschland kann ruhig mit etwa 15 Jahren angenommen werden.

Was die *Mehrheit* der Bevölkerung als zwingende Massnahme eines *modernen Umweltschutzes* betrachtet und zu Recht fordert, empfindet jene *Minderheit*, in deren Nähe der Abfall gelagert werden soll, selbstverständlich als eine *Belastung*.

Dieser Minderheit verständlich zu machen, dass eine solche Belastung *nicht unzumutbar* ist, dass sie nämlich nicht grösser ist als andere Belastungen, die wir alle täglich zu akzeptieren bereit sind, müsste doch wohl auch als eine vornehme, ja eine obligatorische, wenn auch *unpopuläre* Aufgabe der obersten Bundesbehörden betrachtet werden.

Adresse des Autors

Heinrich Jäckli, Dr. sc. nat., Professor für Geologie an der ETHZ, Limmattalstrasse 289, 8049 Zürich.

Die Lagerung von Kohlenwasserstoffen im Untergrund¹⁾

(Vergleichende Betrachtung und Erfahrungen im Ausland)

Von J. Reiss und G. Schaumberg

Mit steigendem Energieverbrauch müssen entsprechende Speicher für die Einlagerung von Gas, Öl und Atommüll bereitgestellt werden. Die Autoren erläutern die Möglichkeiten der Lagerung anhand von praktischen Beispielen. Fast überall ist der geologische Untergrund für irgendeine Speicherart geeignet.

1. Allgemeines

Die aus betrieblichen oder absatztechnischen Gründen notwendige Vorratshaltung von Rohöl, Ölprodukten und Gas wurde – bedingt durch die regionale Begrenzung der entsprechenden Versorgungsunternehmen – zunächst ausschliesslich in oberirdischen Behältern vorgenommen. Mit steigendem Energieverbrauch und zunehmender Ausweitung der Gasversorgungsunternehmen in überregionalen Verteilergesellschaften, die in der Regel durch Gasimporte darauf angewiesen sind, eine hohe Benutzungsstruktur einzuhalten (7000–8000 Bh/a)²⁾, mussten die Speicher in immer grösseren Dimensionen hergestellt werden. Dies zeigte dann auch sehr bald die Grenzen der obertägigen Lagerung auf, da solche Speicher sowohl von der Investition her wie auch von der Unterhaltung sehr teuer sind und überdies grosse Bebauungsflächen beanspruchen, wie dies aus den Fig. 1 und 2 sehr deutlich hervorgeht. Diese Figuren zeigen eine Anlage mit 8 Kavernen und einer Speicherkapazität von 2,8 Millionen m³ Rohöl, überdeckt von einem Tanklager, bestehend aus 18 Tanks zu je 100000 m³ Inhalt und einem Fassungsvermögen von 1,8 Millionen m³ Rohöl.

2. Die Speicherung von Öl im Untergrund

Seit Mitte der sechziger Jahre werden in Europa in grossem Umfang Mineralöl-Untergrundspeicher angelegt, ausgelöst durch eine weitgehend einheitliche Gesetzesregelung über die Bevorratung von Mineralölprodukten in der EG, aber auch durch das Sicherheitsdenken, insbesondere der Staaten, die

Vu la consommation croissante d'énergie, il faudra préparer des lieux de stockage pour l'entreposage du gaz, du pétrole et des déchets radioactifs. Les auteurs commentent les possibilités de stockage à l'aide d'exemples pratiques. Le sous-sol géologique se prête presque partout à l'un ou l'autre mode de stockage.

auf den Import ausschliesslich oder nahezu ausschliesslich angewiesen sind.

An unterirdischen Speichern bieten sich an:

1. Ausgeförderte Öl- oder Gaslagerstätten
2. Wassergefüllte Porenräume in klastischen Sedimenten, die eine lagerstättenähnliche Ausbildung sowie einen dichten Abschluss zum überlagernden Gebirge haben (sog. Aquifere)
3. Künstlich geschaffene Hohlräume im Felsgestein, wozu auch aufgelassene Bergwerke, Tunnel oder Stollen zählen können
4. Künstlich geschaffene Hohlräume in Salzformationen, die – soweit es sich nicht um aufgelassene Salz- oder Kalibergwerke handelt – in der Regel durch Ausspülen des Salzes von «übertage» durch Bohrungen hergestellt werden.

2.1 Die Speicherung von Öl in Steinsalz-kavernen

Als häufigste Methode der unterirdischen Speicherung von Öl und Ölprodukten hat sich bisher die Speicherung in ausgespülten Steinsalz-kavernen herausgebildet, da Steinsalz als absolut impermeabel angesehen werden darf, keine Verbindung mit dem Speicherprodukt eingeht und im allgemeinen so tief im Untergrund ansteht, dass Beschädigungen des Speichers von der Oberfläche her ausgeschlossen werden können. Ausserdem besitzt Steinsalz die für den Kavernenbau ausreichende Standfestigkeit und lässt sich gesteuert aussolen. Durch ent-

¹⁾ Referat anlässlich der Vereinsversammlung des Schweiz. Nationalkomitees der Weltenergiekonferenz vom 22. September 1976, gehalten von J. Reiss.

²⁾ Bh = Benutzungsstunden