

Mitteilungen für Baugeologie und Geomechanik	Band 3	Baugeologische Tage Payerbach 1991	Seite 49 - 63 Abb. 1 - 5	Wien 1995
--	--------	------------------------------------	-----------------------------	-----------

BAUGEOLOGISCHE TAGE

Payerbach 1991

GRUNDSATZKONZEPT FÜR DIE MÖGLICHKEIT DER ENDLAGERUNG VON RADIOAKTIVEM ABFALL AUS DER SICHT DES BAUGEOLOGEN

W. DEMMER



Payerbach
5. April 1991

Mitteilungen für Baugeologie und Geomechanik	Band 3	Baugeologische Tage Payerbach 1991	Seite 7 - 99	Wien 1994
Barbara-Gespräche	Band 1	"Grenzen der Geotechnik" Payerbach 1993	Seite 101 - 216	Wien 1994

INHALT

1.	Einleitung	51
2.	Die Lagerprodukte	51
3.	Unterirdische Lager, Anforderungen und Typen	52
4.	Das neue Konzept des Stollenendlagers	53
4.1	Die generelle Idee	53
4.2	Die geologischen Rahmenbedingungen	54
4.3	Die technische Ausführung	54
4.4	Die geologische Vorerkundung	57
4.5	Kontrolle	57
5.	Standortbeispiel für ein Stollenendlager	57
5.1	Zur Geologie des Tauerntunnels	57
5.2	Unabhängige Lagervariante (Abb.4)	59
5.3	Kombinierte Lagervariante (Abb.5)	61
6.	Zusammenfassung	62
	Quellennachweis (Auswahl)	63

Anschrift des Verfassers:

*Dr.phil.W. DEMMER
Konsulent f. Baugeologie
Rosengasse 12
A - 2102 Bisamberg*

GRUNDSATZKONZEPT FÜR DIE MÖGLICHKEIT DER ENDLAGERUNG VON RADIOAKTIVEM ABFALL AUS DER SICHT DES BAUGEOLOGEN

W. DEMMER

1. Einleitung

In Österreich fällt jährlich etwa 200 m³ schwach bis mittelradioaktiver Sonderabfall aus Medizin, Industrie und Forschung an. Dieser wird im Forschungszentrum Seibersdorf durch Teilverbrennung und Pressung weiter konditioniert. Die Endprodukte sind mit Radionuklide angereicherte, feste Stoffe, die einer Betonmatrix beigemischt und in Stahlfässern á 200 l eingegossen werden. 300 bis 500 solcher endlagerfähiger Fässer fallen jährlich an. Obwohl im Verlaufe vieler Jahre die Gesamtzahl der Fässer 5400 überschritten hat, müssen sie mangels eines Endlagers noch immer in Seibersdorf zwischengelagert werden. Dies geschieht teilweise in Betonbunkern, aber auch unter Flugdächern, ein Zustand, den jeder verantwortungsbewußte Bürger unseres Landes genau so ablehnen müßte wie etwa das Versenken im Meer oder den Export in Entwicklungsländer. Das Problem kann auch nicht mit der zwar gut gemeinten, jedoch völlig unrealistischen Forderung nach einer totalen Vermeidung solcher radioaktiven Abfälle gelöst werden, wiewohl sich der Autor dieser Studie für ihre größtmögliche Reduktion einsetzt. Die Entscheidung hinsichtlich der Endlagerung von Abfallprodukten, deren ursächlicher Anfall ausnahmslos jedem Bürger bewußt oder unbewußt unverzichtbare Vorteile bringt, auf die nächste Generation zu überwälzen, läßt sich mit den Prinzipien von Ethik und Moral nicht vereinbaren.

Im Forschungszentrum Seibersdorf bemüht man sich deshalb schon seit mehr als 10 Jahren, einen geeigneten Endlagerstandort für schwach- bis mittelradioaktive Abfallstoffe zu finden. Die folgende Studie soll als Beitrag

dazu verstanden werden. Sie ist ohne konkreten Auftrag und nur aus Verantwortungsbeußtsein und einer tiefen Überzeugung hinsichtlich eines zielführenden Lösungsansatzes schon im Jahre 1989 erstellt und an zahlreiche Entscheidungsträger versandt worden.

Viele Diskussionen und wertvolle Kritiken haben in der Zwischenzeit die grundsätzlichen Gedankengänge eher bestätigt als in Frage gestellt. Beispielsweise sind in dem umfangreichen Seibersdorfer Endlagerbericht vom Dezember 1990 schon die wesentlichsten Elemente der zitierten Grundsatzstudie aus dem Jahre 1989 eingebaut. Es hat sich inzwischen lediglich die Gewichtung bei dem als Modell angeführten Beispiel des Tauern-Autobahntunnels von der ursprünglich bevorzugten Variante des "Kombinationsmodelles" zur heute als vorteilhafter betrachteten "unabhängigen Variante" verschoben.

Im ersten Fall sollte hauptsächlich aus Kostengründen ein Endlager zusammen mit der zweiten, noch zu bauenden Tunnelröhre geplant und errichtet werden.

Im zweiten Fall werden zwar die Kenntnisse über die geologischen Bedingungen vom bereits bestehenden Tauerntunnel genutzt, der Bau des Endlagers könnte aber völlig unabhängig erfolgen.

2. Die Lagerprodukte

Der Jahresanfall von etwa 200 m³ schwach bis mittelaktiven Sonderabfall stammt nach der Medienmappe des Forschungszentrums Seibersdorf aus folgenden Quellen:

Medizin	50,2 %
Forschung	22,4 %
Industrie	21,0 %
Andere	<u>6,4 %</u>
	100,0 %

Davon sind:

- 95-98 % niedrigaktiv
- 2-5 % mittelaktiv.

Die 300 bis 500 endlagerfähigen Fässer (Durchmesser 60 cm, Höhe 90 cm, Volumen ca. 0,2 m³), die jährlich im Zuge der Aufbereitung dieses Sondermülls in Seibersdorf hergestellt werden, zeigen eine so geringe Strahlung, daß sie weder Wärme entwickeln noch einer besonderen Abschirmung bedürfen. Zuzufolge der starken Verdünnung der Radionuklide wird die Dosisleistung oder Stärke der Strahlung pro Faß auf die Werte von 2 mSv (Millisievert) pro Stunde an der Oberfläche und 0,1 mSv/h in 1 m Entfernung reduziert.

Bei 90 % der Fässer liegt die Dosisleistung an der Oberfläche sogar nur zwischen 0,01 und 0,1 mSv/h. Diese endlagerfähigen Fässer beinhalten auch keine flüssigen Produkte und schließen somit kein größeres Gefährdungspotential ein als so mancher Sondermüll. Lediglich die langen Zerfallzeiten von 300 Jahren bei den niedrigaktiven Stoffen und von etwa 1000 Jahren bei den mittelaktiven Produkten erfordern für diese Zeitspanne eine sichere Verwahrung und Abkapselung von der Biosphäre. Dies kann am besten in einem unterirdischen Lager erfolgen, das nicht nur ausreichenden Schutz gegen äußere Eingriffe, wie Sabotageakte, Flugzeugabstürze etc. bieten soll, sondern auch genügend natürliche Barrieren. Der Einschluß der Radionuklide in einer Betonmatrix bewirkt bereits eine Reaktionsträgheit sowie Schwerlöslichkeit und stellt somit schon die erste künstliche Barriere für ihr Auswandern dar. Hinsichtlich der Langzeitbetrachtungen muß aber wirksamen natürlichen Barrieren die wesentlich größere Bedeutung beigemessen werden.

3. Unterirdische Lager, Anforderungen und Typen

Das Endlager soll 40 Jahre betrieben werden. In dieser Zeit werden schätzungsweise 50.000 Fässer eingelagert, das entspricht einer konditionierten Kubatur von schwach- bis mittelaktivem Abfall von ca. 10.000 m³.

Man darf davon ausgehen, daß Radionuklide unterirdisch über weitere Strecken nur durch Flüssigkeiten, es kommt im wesentlichen Wasser in Frage, transportiert werden können. Deshalb muß das Wirtsgestein von Natur aus möglichst wasserdicht sein. Ist das nicht der Fall, muß der Nachweis erbracht werden, daß das Grund- oder Bergwasser entweder stagniert oder nur so geringe Bewegungen mitmacht, daß im Verlaufe der notwendigen Lagerungszeit ein Kontakt mit der Biosphäre ausgeschlossen werden kann.

Als wesentliche natürliche Barriere wird die Sorptionsfähigkeit des Wirtsgesteins betrachtet. Es gibt einige Gesteinstypen, welche die günstige Eigenschaft besitzen, Radionuklide am Durchtritt zu hindern und sie förmlich abzufiltern. Demgegenüber sind andere Anforderungen, wie die Sicherheit gegen Starkbeben, Vulkanausbrüche, Krustenverstellungen etc. in Österreich eher als zweitrangig zu betrachten. Auch wird man von vornherein ein Endlager nicht in einem Bergbauhoffnungsgebiet planen. Als vorteilhaft wird hingegen eine sichere Erreichbarkeit mit der Bahn oder einer Hochleistungsstraße angesehen, obwohl das Transportrisiko vergleichsweise sehr gering ist.

Als *Lagertypen* für schwach- bis mittelaktive Abfälle werden nicht nur in Österreich sondern auch international im wesentlichen *Schacht- oder Kavernenlösungen* untersucht. Hingegen kommen die international ebenfalls diskutierten *Bohrlochlager* wegen ihrer geringen Kapazität nur für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Betracht, wofür in Österreich kein Bedarf gegeben ist.

Unter den bisher in Österreich bevorzugten Schacht- und Kavernenlagervarianten erscheinen die Schachtlösungen von vornherein mit etwas größeren Unsicherheitsfaktoren belastet

zu sein. Diese ergeben sich vor allem aus dem Umstand, daß man kaum ohne künstliche Wasserhaltung den Bau und Betrieb aufrecht erhalten wird können. Das bedeutet Abhängigkeit von Pumpen, Energieträgern und Wartungspersonal. Bei einer Kaverne kann hingegen das Bergwasser über einen geeigneten Zufahrtsstollen gravitativ zu einer freien Vorflut abgeleitet werden.

Eine weitere Einschränkung ist in der begrenzten Gebirgsüberdeckung zu sehen. Wenn man sich von Aufzügen, die ebenfalls mit Energie versorgt und auch laufend gewartet werden müssen, lossagt und Abfahrtswendeln plant, wird man kaum ein Endlager in 1000 m Tiefe vorsehen. Bei Kavernenlösungen ist demgegenüber im alpinen Relief durchaus eine Gebirgsüberlagerung von 1000 bis 2000 m bei ebener Zufahrt möglich, wodurch die Abschirmung von der Biosphäre deutlich verbessert wird.

Den bisher ins Auge gefaßten Endlagertypen soll nunmehr auch noch eine *Stollenlösung* hinzugefügt werden, die eine weitere Erhöhung der Sicherheit verspricht.

4. Das neue Konzept des Stollenendlagers

Seit etwa 10 Jahren werden in Österreich geeignete Standorte für die unterirdische Endlagerung von schwach- bis mittelradioaktiven Abfallprodukten gesucht. Die geologischen und technischen Vorgaben sind weitgehend von gleichartigen ausländischen Untersuchungsprogrammen übernommen worden und haben die spezifisch österreichischen Möglichkeiten und Tunnelbauerfahrungen nur in einem sehr geringen Maße berücksichtigt.

Der Stollenlagertyp setzt diese jedoch voraus. Somit ist das in der Folge beschriebene Konzept auf österreichische Verhältnisse zugeschnitten. Es kann daher nicht als universell und in allen Ländern anwendbar bezeichnet werden.

4.1 Die generelle Idee

Das grundsätzliche Konzept für das Stollenendlager wurde im Verlaufe einer jahrelangen Befassung mit der Fragestellung nach einer sicheren und dauerhaften Deponierung radioaktiver Abfallprodukte aus Forschung und Medizin entwickelt. Es fand ihren Ausgangspunkt bei der schwierigen Beherrschung der Grundwasserprobleme. Alle bisherigen Modelle hatten nämlich den Schwachpunkt, daß stets das Restrisiko offen blieb, daß im Verlaufe längerer Zeitperioden über das Grund- oder Bergwasser radioaktive Substanzen aus der Endlagerstätte in den Biokreislauf gelangen könnten. Dieser Gefahr wollte man mit technisch ausgefeilten Maßnahmen bei der Gestaltung und Absicherung einer solchen Endlagerstätte begegnen, doch konnte diesbezüglich nie eine völlig überzeugende Garantie hinsichtlich der dauerhaften Wirksamkeit abgegeben werden.

Das gegenständliche Konzept gibt in einem hohen Maße die Gewähr, daß der Biokreislauf selbst bei einer totalen Zerstörung der Endlagerstätte im Verlaufe geologischer Zeiträume nicht nachteilig beeinflusst wird.

Dieses Ziel erscheint theoretisch dann gesichert, wenn es gelingt, einen schon von Natur aus "trockenen Raum", also eine so allseitig dichte Umgebung zu finden, wo weder Wasser zu- noch abfließen kann. Rein physikalisch ist dies innerhalb plastischer Medien gewährleistet, die keine offenen Bruchspalten zulassen.

Die Natur kennt allerdings kein absolut trockenes Gebirge. Wenn schon die Voraussetzungen für fließendes Kluft- oder Bergwasser fehlen, so muß stets mit einem unterschiedlichen Prozentsatz an Porenwasser gerechnet werden. In technisch als dicht zu bezeichnenden Gesteinsschichten wird dieses Porenwasser praktisch stagnieren. Die Erfahrungen von tiefliegenden Stollen- und Tunnelbauten zeigen auch, daß dieses Porenwasser in der Lage ist, einen sehr hohen Druck aufzubauen. Wenn die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sind, kann daher in die Bergwasserdruckglocke von außen kein Wasser eindringen. Man muß folglich nach Wegen suchen, um

diese idealen Rahmenbedingungen für ein Endlager zu nutzen.

Dazu gehört, daß man auf Dauer keine nahe- liegende Drainagemöglichkeit zuläßt, die unter Umständen zu einem unerwünscht großen Potentialgefälle im Bergwasserhaushalt beiträgt. Dadurch könnte stagnierendes Wasser in Bewegung geraten. Diese Gefahr ist grundsätzlich mit jedem Stollen- oder Kavernenbau verbunden.

Es genügt jedoch völlig, das eingangs erwähnte plastische Medium aufzusuchen, nochmals an Ort und Stelle die Dichtigkeit zu prüfen und in seinem Kern die Abfallprodukte zu lagern. Diese würden im Verlaufe der Zeit von den nachdrängenden umgebenden Gebirgsmassen und dem Porenwasser satt eingehüllt, so daß weder Wasser zudringen noch abfließen kann. Den Zugangsstollen müßte man bis zu einer gewissen Entfernung vom Lagerraum wasserdicht auskleiden, wobei man die jahrzehntelangen Erfahrungen vom Druckstollenbau für Wasserkraftanlagen nützen kann. Die gesamte Deponie würde schließlich dicht eingebettet in ihrem Wirtsgestein "schwimmen" und bei noch so großen äußeren Einwirkungen, wie durch tektonische Kräfte oder Erdbeben, völlig unbeschädigt überleben.

4.2 Die geologischen Rahmenbedingungen

In Österreich sind zur technischen Nutzung im Sinne der vorzitierten Grundsatzidee im alpinen Raum mehrfach günstige geologische Voraussetzungen gegeben. Man muß lediglich Gebirgsformationen aufsuchen, bei denen die Eigenfestigkeit der sie aufbauenden Gesteine dem Druck der überlagernden Bergmassen weder bruch- noch verformungsfrei standhalten können.

Das Ungleichgewicht zwischen Eigenfestigkeit und Überlagerungsdruck sollte allerdings nicht so groß werden, daß daraus zu schwierige Baubedingungen für Stollen resultieren. Mit mittleren, allerdings für österreichische Tunnelbauer völlig beherrschbaren Bauschwierigkeiten zufolge druckhaften Gebirges, müßte jedoch gerechnet werden, denn dies wäre ja der direkte Nachweis, daß man auch tatsäch-

lich die erwünschten Rahmenbedingungen gewährleistet hat.

Für das angestrebte Ziel geologisch bestens geeignete Einheiten im alpinen Bauplan sind mächtige Glimmerschieferzüge möglichst ohne nennenswerte Karbonatgesteinsanteile. Letztere könnten nämlich aufgrund der potentiellen Gefahr der Wasserlöslichkeit, wie sie bei Kalcken nie völlig auszuschließen ist, eine das Projekt belastende Unsicherheit einschließen. Ähnliches gilt für salz-, gips- oder anhydritführende Glimmerschiefer, obwohl diese Gesteinstypen, so lange sie vor Fließwasser geschützt sind, aufgrund ihrer hohen Plastizität zu den dichtesten zählen. Bei entsprechender Vorerkundung wäre es sogar denkbar, daß sich gerade solche Gesteinsschichten als für ein Endlager am besten geeignet erweisen. In der Bundesrepublik Deutschland sind beispielsweise nicht zufällig Salzstöcke als Endlager in Betracht gezogen worden.

Phyllitische Gesteine, also dünnblättrige, glimmerreiche Schiefer, deren Glimmerminerale zusammenhängende Überzüge oder millimeterdünne, wasserdichte Lagen bilden, die sich in millionenfacher Aufeinanderfolge zu einer natürlichen, wasserundurchdringlichen Barriere aufbauen und deren Sorptionsvermögen als günstig eingeschätzt werden kann, scheinen gute geologische Voraussetzungen für die Anlage einer unterirdischen Sondermüllagerstätte zu bieten. Dies besonders dann, wenn der Gebirgsbauplan weder Faltungen noch große Bruchstörungen erkennen läßt, sondern eine dachschindelartige Lagerung aufweist, die eine optimale Wasserabweisung garantiert (Abb.1).

4.3 Die technische Ausführung

Der erwünschte hohe Gebirgsdruck in Kombination mit Gesteinen, die diesem Druck nicht bruchlos beziehungsweise ohne größere Verformungen standhalten können, stehen im Widerspruch zu den lange Zeit erhobenen Forderungen, daß für einen Endlagerschacht oder eine Kaverne stabile Gebirgszonen auszuwählen sind. Tatsächlich würden beide

GEOLOGISCHER LÄNGENSCHNITT DURCH DEN TAUERNTUNNEL

NACH DR. W. DEMMER - 1976, ERGÄNZT 1990

UNTEROSTALPIN ← → PENNIN

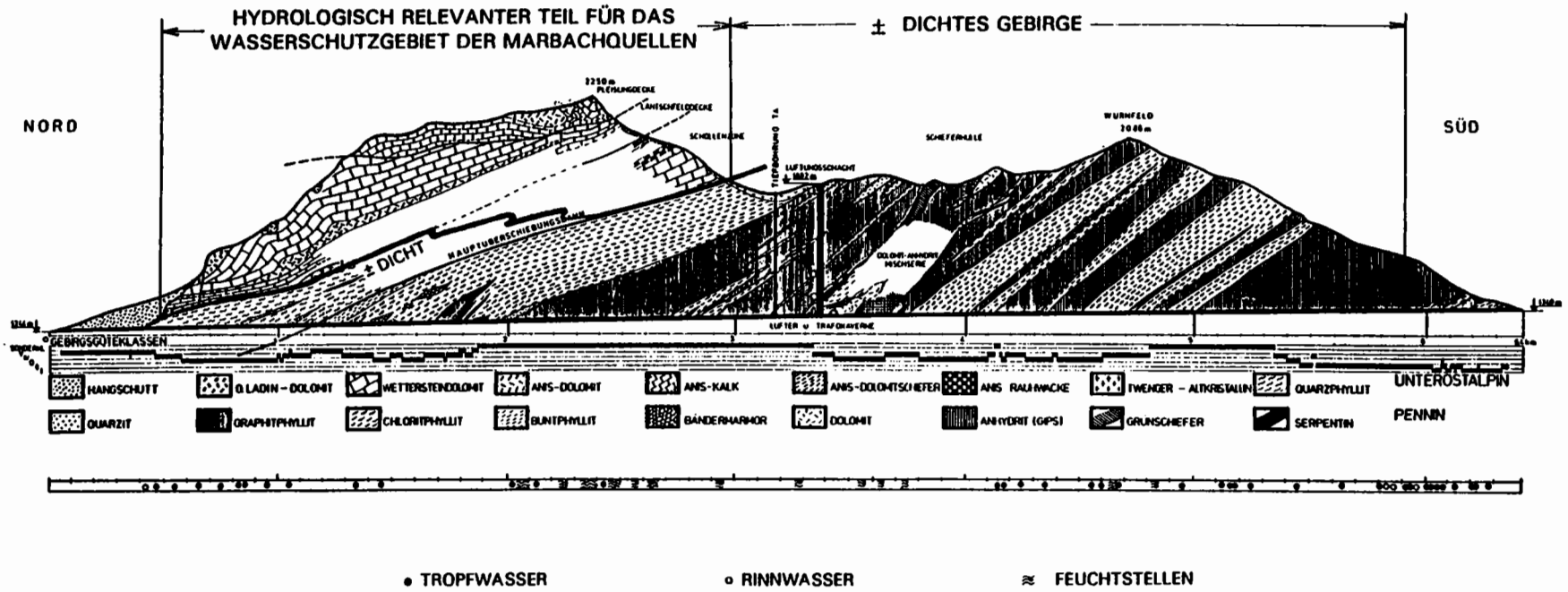


Abb. 1: Geologischer Längenschnitt durch den Tauertunnel

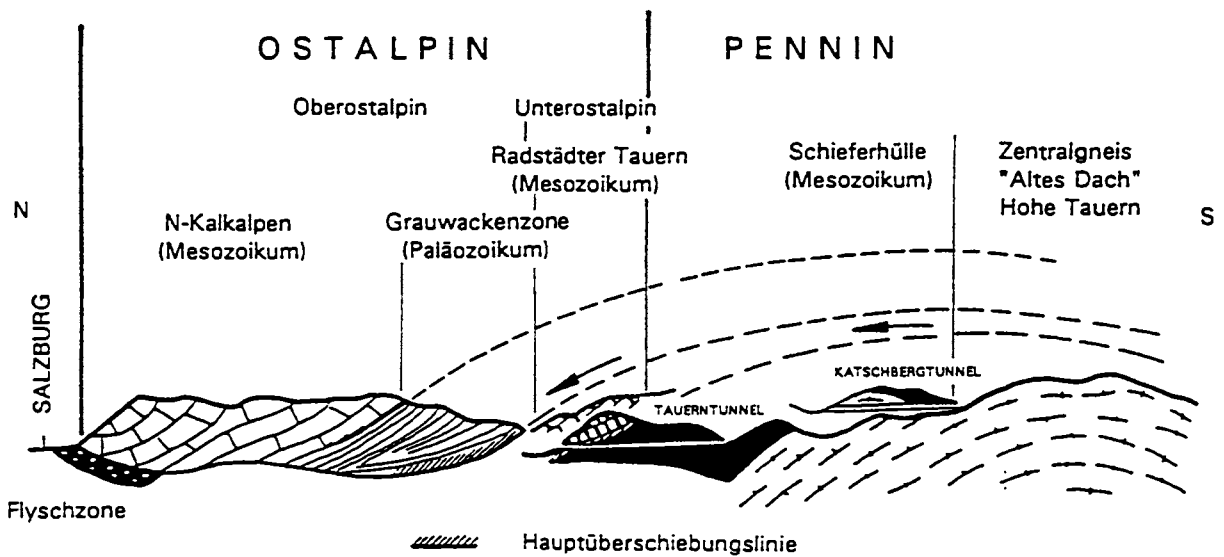


Abb. 2: Die geologische Position des Tauerntunnels im alpinen Bauplan

"Schieferhülle", glümmerreiche, phyllitische Schiefer, die schon bei Überlagerungshöhen ab 300 m plastisch reagieren und somit keine offenen Fugen zulassen. Daher ist auch keine Wasserwegigkeit möglich.

Das gegen Norden einfallende Schieferungsgefüge begünstigt den regionalen Dichtungseffekt

Hohlraumtypen in stark druckhaftem Gebirge, wenn überhaupt, dann nur unter Aufbietung eines enormen technischen Aufwandes ausgebrochen und stabilisiert werden können. Der Ausbruch müßte mit Sprengtechnik oder bestenfalls mit einer Teilschnittmaschine erfolgen.

Völlig anders ist im gleichen Gebirge die Hohlraumeröffnung mit kleinen Kreisdurchmessern von etwa 4 m zu bewerten. Dieses Profil kann heute nahezu erschütterungsfrei mit einer Tunnelbohrmaschine aus dem Gebirge herausgeschnitten werden. Der Gefügeverband wird im Gegensatz zu einem Sprengausbruch kaum gestört, was sich zusammen mit dem tunnelbaustatisch idealen Kreisprofil günstig auf die Stabilität auswirkt. Somit ist es möglich, mit einer Vollschnittmaschine und einem nicht allzugroßen Ausbruchsdurchmesser noch in Gebirgsarten einzudringen, die einem größeren Hohlraumbau bereits beachtliche Stabilisierungsprobleme bereiten oder diesem gänzlich unzugänglich sind.

Mit den kleinen Ausbruchsdurchmessern muß auch ein Umdenken für den Lagerbetrieb erfolgen. Die Fässer mit dem radioaktiven Abfall können nicht mehr direkt mit dem Lastkraftwagen vor Ort gebracht werden, sondern der kompaktierte Abfall muß auf einen Stollenzug umgeladen und auf Schiene zu seinem Endlagerplatz transportiert werden.

Das Endlager ist ein Stollen und keine Großkaverne, wie sie beispielsweise erst in jüngster Zeit in Schweden (FORSMARK) zur Endlagerung von schwach- bis mittelaktivem Abfall in Betrieb genommen wurde.

Die gegenüber einer Kaverne beschränkte Lagerkapazität eines Stollens muß durch längere Strecken ausgeglichen werden. Für die definitive Festlegung der Lagerstollen in geologisch optimalen Gebirgszonen sind die große Flexibilität des Stollenbaues und die vergleichsweise niedrigen Baukosten ein großer Vorteil. Ist der geeignetste Bereich gefunden, kann man vom Zugangsstollen aus entweder fächer- oder fischgrätenförmig die eigentlichen Lagerstollen bohren.

Nach der Füllung des Lagerstollens mit den endlagerfähigen Behältern, beispielsweise auf einer Strecke von 40 m, sollte man den Stollen abschotten und die Hohlräume zwischen den Fässern über vorher eingelegte Injektionsleitungen mit Zement- oder Bentonitsuspensionen verpressen. Die Injektionsdrücke müssen so gewählt werden, daß sie möglichst größer als der natürliche hydrostatische Druck des Porenwassers sind.

Unter dieser Voraussetzung kann auch in Zukunft keine Wassermigration stattfinden. Möglicherweise ist dafür ein zweiter Injektionsdurchgang notwendig.

Zur Unterbindung einer Drainagewirkung des Zugangsstollens oder vorsorglich gebauter, jedoch noch länger offen stehender Lagerstollen, sollten diese Hohlräume auf eine gewisse, im Detail noch näher zu bestimmende Strecke, wasserdicht ausgekleidet werden. Dies kann in Abhängigkeit des Gebirges entweder nur mit Injektionen hinter der Betonauskleidung geschehen oder mit verschweißten Folien, die man zwischen die Betonauskleidung einlegt.

4.4 Die geologische Vorerkundung

Die angestrebte größere Gebirgsüberdeckung des Endlagers erschwert und verteuert von vornherein die nötigen geologischen Erkundungsarbeiten. Es wurde deshalb schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt vorgeschlagen, zunächst die reichen Erkenntnisse und Erfahrungen von Tunnel- und Stollenbauten in den Alpen auszuwerten.

In den vergangenen 150 Jahren sind in Österreich weit über 1000 km Eisenbahn- und Straßentunnel sowie Kraftwerksstollen ausgebrochen worden. Diese Untertagebauten konzentrieren sich fast ausschließlich auf den alpinen Raum, der weltweit zu den geologisch besterforschten Gebieten zählt.

Diese glückliche Kombination von reichen praktischen Erfahrungen und großem theoretischen Wissen, das noch durch Bohrerkundungen im Zuge der Erdölexploration ergänzt wird, erlaubt bereits eine gut begründbare Eingrenzung von Arealen, die sich für unterirdische Endlager eignen könnten. Gegen-

wärtig verteilen sich noch die diesbezüglichen Hoffungsgebiete auf alle geologischen Großeinheiten Österreichs, nämlich auf das Kristallin der Böhmisches Masse, auf die tertiären Beckenfüllungen (Molassezone) sowie auf den alpinen Raum.

Das in dem gegenständlichen Bericht vorgestellte Endlagermodell ist bei konsequenter Einhaltung der dafür als entscheidend betrachteten Rahmenbedingungen nur im Alpenbereich zu realisieren. Der Nachteil der sehr kostspieligen geologischen Vorerkundung, die einzig über Erkundungsstollen zielführend erscheint, soll durch die Auswertung bestehender Stollen kompensiert werden. Genaue geologische Geländekartierungen sowie hydrogeologische Studien sind darüberhinaus unentbehrlich.

4.5 Kontrolle

Die Kontrolle eines Stollenendlagers muß indirekt erfolgen und kann sich auf das Bergwasser beschränken. Dafür erscheint ein Kontrollstollen in einem größeren Abstand vom Lager und in der Richtung der Vorflut am geeignetsten.

Für das gegenständliche Lagerkonzept würde hingegen jeder offene Hohlraum in der Nähe des Endlagers und sei es nur ein Bohrloch, eine Störung des natürlichen Gleichgewichtes bedeuten.

In der beschriebenen Form sollte das Lager allen Sicherheitsbedürfnissen, selbst für 1000 Jahre, gerecht werden. Es könnte nach der prognostizierten Schließung in etwa 40 Jahren nach vorheriger genauer Vermessung gänzlich der Natur übergeben werden, sofern sich bis dahin keine Mängel zeigen.

Man darf allerdings davon ausgehen, daß auch nach der endgültigen Schließung die Kontrollen noch fortgesetzt werden.

5. Standortbeispiel für ein Stollenendlager

5.1 Zur Geologie des Tauerntunnels

Für die Realisierung der gegenständlich diskutierten Projektidee kommen beispielsweise die

mächtigen phyllitischen Schiefergesteinszüge in Frage, die man beim Bau des 6,4 km langen Tauern-Autobahntunnels angetroffen hat und die sich auch noch gegen Süden fortsetzen (Abb.1).

Von dieser Schichtenabfolge hat man in allen wesentlichen Fragen durch den Tunnelbau und die genaue geologische Dokumentation optimale Kenntnisse, die woanders weder durch Geländekartierungen noch durch Bohrungen in einem solchen Detail und in derart weit zusammenhängenden Strecken zu ermitteln sind.

Dazu kommen die eingehenden Bauverfahren, die in den Folgejahren noch durch weitere Tunnelbauten in schwierigen Gebirgsarten bereichert wurden.

In diesem Tunnel hat sich erwiesen, daß in sehr langen Streckenabschnitten keine Wasserzutritte vorkommen. Das Gebirge kann daher weitgehend als von Natur aus dicht angesehen werden. Die geringen beobachteten Wasserzutritte sind dokumentiert und waren stets auch geologisch begründbar.

Die große natürliche Wasserdichtigkeit des Gebirges bestätigt sich am besten in der Tatsache, daß in dem gesamten Tunnel mit einer Länge von 6,4 km nur ca. 3 bis 3,5 l/s Bergwasser anfällt. Etwa ein Drittel davon stammt aus der Kontaktzone zwischen Überlagerung und Fels, 400 m nach dem Nordportal. Dieses Stollenwasser ist eher den Oberflächenwässern zuzuordnen. Ein weiteres Drittel wird durch den Lüftungsschacht in den Tunnel eingeleitet. Dieses Wasser stammt ebenfalls zum überwiegenden Teil aus der Kontaktzone Überlagerung/Fels, denn zwei weitere Wassereintritte im unteren Schachtdrittel, die an etwas sprödrüchigen Gesteinslinsen gebunden waren, sind noch während der Ausbruchsarbeiten ausgeronnen. Es handelte sich offenbar um weitgehend isolierte Linsenkörper ohne nennenswerten Wassernachschub. Schließlich stammt das letzte Drittel der an sich geringen Gesamtwassermenge des Tauern-Tunnels aus dem Bereich des Südportals mit geringen Überlagerungshöhen. Nur dieses Wasser kann als Bergwasser im engeren Sinne bezeichnet werden. Wie die Abb. 1 zeigt, gibt

es im gesamten, mehr als 5 km langen Kernabschnitt des Tauern-Tunnels keine Rinnwasserzutritte. Auf sehr langen Streckenabschnitten fehlt sogar Tropfwasser.

Die Begründung für diese erstaunliche natürliche Dichtigkeit wird in dem Glimmerreichtum der dünnblättrigen, phyllitischen Gesteine gesehen, der die Druckfestigkeiten derart herabsetzt, daß sich bei den mittleren Überlagerungshöhen von über 500 m keine offenen Klüfte erhalten können. Diese Neigung des Gebirges, unter hoher Überlagerung plastisch zu reagieren, hat beim Bau des Autobahntunnels zu großen tunnelbautechnischen Schwierigkeiten geführt.

Ein weiterer maßgebender Grund für die geringen Wasserzutritte in den Tauern-Tunnel ist die perfekte gegenseitige Abschirmung der mittelsteil gegen Norden einfallenden Schichten.

Die Gebirgseigenschaften und die Lagerungsverhältnisse waren auch die Voraussetzung dafür, daß wiederholte Gips- und Anhydriteinschaltungen in Zentimeter- bis mehrere Dezimeterdicke völlig frisch auftraten und keinerlei Spuren von Auslaugungen zeigten. Dennoch wurden besonders im Bereich der Lüfterkaverne teilweise sehr hohe Sulfatkonzentrationen in Berg-Tropfwässern festgestellt. Sie sind ein typisches Zeichen für eine sehr lange Verweildauer solcher Wässer und somit indirekt eine Bestätigung einer relativ großen Dichtigkeit.

Da bei dem beschriebenen Stollenendlagerkonzept allfällige Sulfatangriffe des Betons nur eine untergeordnete Bedeutung haben und darüber hinaus sulfatbeständige Betone erzeugt werden können, ist aus der unbestrittenen Tatsache, daß im Tauern-Tunnel auch gips- und anhydritführende Gesteine auftreten können, für ein Endlagerprojekt kein Nachteil abzuleiten.

Die große Dichtigkeit der Gesteinsformationen im Niveau des Tauern-Autobahntunnels bestätigt in überzeugender Weise das Ergebnis einschlägiger Studien (z.B. Gutachten H.HÄUSLER vom 22.8.1977), wonach sich das Einzugsgebiet der vom Wasserverband

Obere Enns genutzten Marbach-Quellen nur auf die verkarstungsfähigen Karbonatgesteine der unterostalpinen Deckeneinheiten beschränkt (Abb.1). Eine Beeinträchtigung dieser und anderer Quellen gleichen Ursprungs kann daher ausgeschlossen werden.

Innerhalb der gesamten Tunnelstrecke gibt es keine einzige bedeutende Bruchstruktur entlang der differentielle Verstellungen möglich wären. Lediglich die bedeutende Überschiebungsbahn der unterostalpinen Deckeneinheit über die penninische Schieferhülle durchschneidet noch das Tunnelniveau (Abb.2). Eine rezente Bewegungstendenz oder erhöhte Spannungen als Vorbote für tektonische Verschiebungen sind nach mehr als 15-jährigem Bestand des Tunnels bis jetzt nicht festgestellt worden.

Das Gebiet des Tauerntunnels liegt in einer seismisch inaktiven Scholle. Nur von ferner liegenden Bebenepizentren kann diese Region noch mit Erschütterungsintensitäten von 6° - 7° MSK erfaßt werden, eine Größenordnung, die für einen tiefliegenden Untertagebau vernachlässigbar ist.

Die ca. 15 km nördlich durchstreichende Tauernnordrandstörung, eine der bedeutendsten Großstrukturen im Bauplan der Ostalpen, wird von J.DRIMMEL 1981 in einer einschlägigen Analyse als seismisch inaktiv klassifiziert (Abb.3)

5.2 Unabhängige Lagervariante (Abb.4)

Eine vom Bau der zweiten Autobahnröhre völlig unabhängige Endlagervariante könnte die große Informationsdichte vom Bau der bereits fertiggestellten Tunnelröhre voll nutzen

und somit viele Millionen Aufschließungs- und Erkundungskosten sowie vor allem auch Zeit sparen. Eine Detailplanung wäre ohne nennenswerte geologische Zusatzstudien sofort möglich.

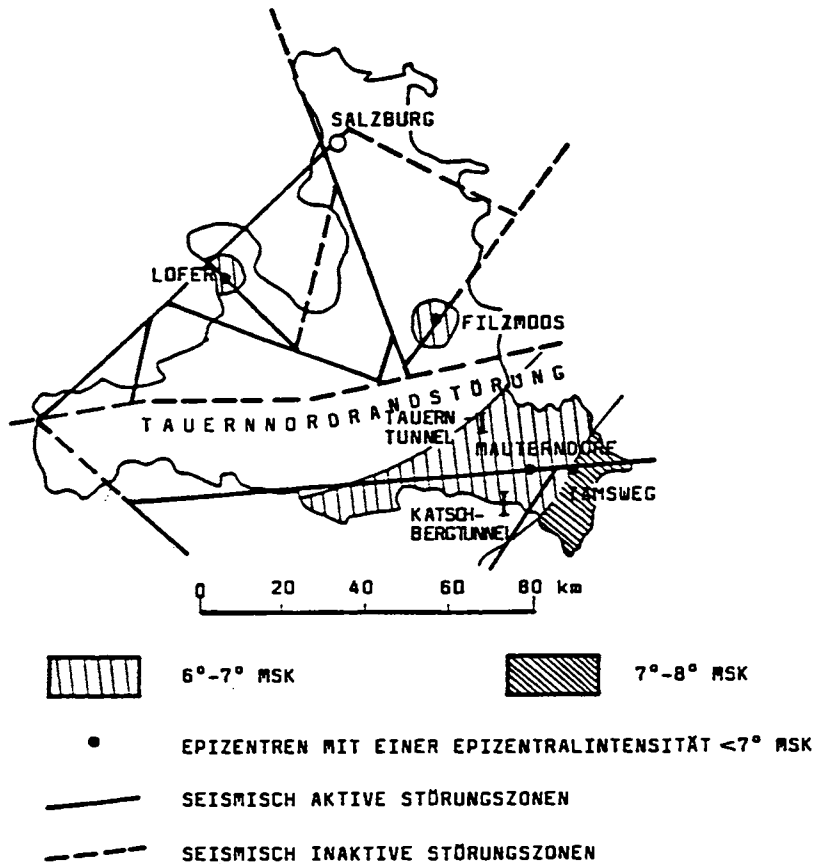


Abb. 3: Maximale Erdbebenintensitäten in Salzburg
zusammengestellt nach J.DRIMMEL, 1981 und 1985

Die unabhängig von der zweiten Autobahn- röhre zu projektierende Variante sollte aus topographischen Gründen östlich des Autobahntunnels liegen. Hier könnte man etwa im Bereich des alten Erkundungsstollens der Reichsautobahn ohne nennenswerte Überlagerungsstrecke sofort auf Talniveau mit einem Stollen den Fels auffahren. In der Autobahntunnelachse würden hingegen rd. 400 m Schuttmassen zu durchhörtern sein. Als weiterer Vorteil dieser Variante wird die Möglichkeit angesehen, in einem Niveau unterhalb

PRINZIPISSKIZZE FÜR DAS UNABHÄNGIGE ENDLAGERMODELL

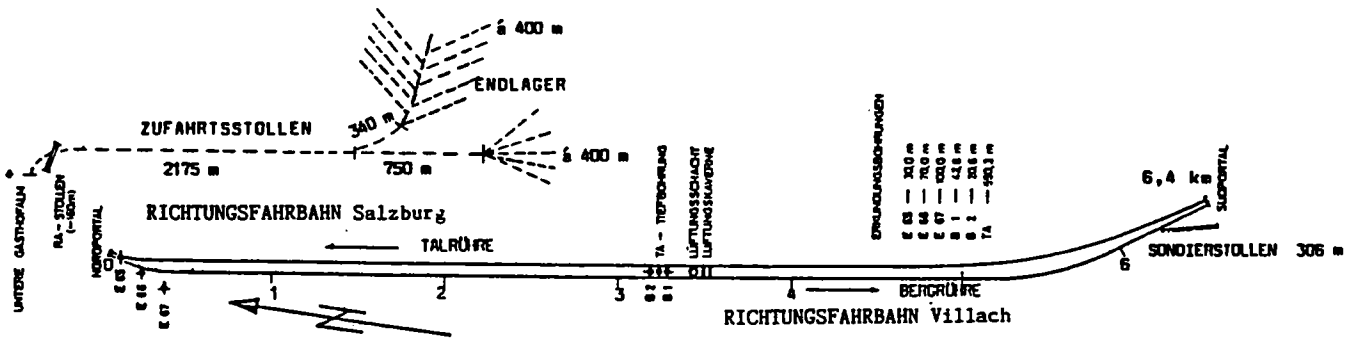


Abb. 4: Prinzipskizze für das unabhängige Lagermodell

Grundsätzliche Lagermöglichkeiten

Diese Variante ist unabhängig von der Planung und dem Bau der Autobahntunnelröhre für die Richtungsfahrbahn Salzburg. Der Anschlagpunkt für einen eigenen Zufahrtsstollen zu dem Bereich des Endlagers könnte in der Nähe der Unteren Gasthofalm ohne wesentliche Überlagerung sofort im Fels festgelegt werden. Diese Stelle ist muren- und lawinensicher, so daß hier für die Errichtung einer ober-tägigen kleinen Umladestation keine Schwierigkeiten zu erwarten sind. Über einen gefrästen Stollen mit etwa 4 m Durchmesser sollte der Raum für das Endlager erreicht werden. Am Ende dieses Zufahrts-stollens wäre fächer- oder fischgrätenförmig mit gleichem Ausbruchsdurchmesser und gleicher Vor-triebsmethode das Endlager anzulegen. Die Stützung des nur temporär offenzuhaltenden Endlagers könnte mit Spritzbeton erfolgen, jene des Zufahrtsstollens mit Spritz- oder Ortbeton.

der Tauerntunneltrasse den Zufahrts- und Lagerstollen zu situieren, womit die Gefahr einer nachteiligen Drainagewirkung des bestehenden und des noch zu bauenden Autobahntunnels deutlich entschärft wird.

Von einer Umladestation im Freien im Bereich der Gasthofalm wird der Bau eines Frässtollens angenähert parallel zur Talröhre des Autobahntunnels oder sich spitzwinkelig von diesem immer weiter gegen Osten entfernend, empfohlen. Durch diesen sollen die Abfallbehälter über Gleisbetrieb mit E-Loks zur definitiven Endlagerstätte transportiert werden (Abb.4).

Der Frässtollen, Durchmesser ca. 3,6 bis 4 m, würde einen optimalen geologischen Voraufschluß bieten und die definitive Wahl des Bereiches für das Endlager in vielerlei Hinsicht gut absichern helfen.

Wie bereits mehrfach erwähnt, werden gefräste Stollen anstelle von Großkavernen vorgeschlagen. Sie könnten am jeweiligen Endpunkt der Zufahrtsgleise fächer- oder fischgrätenförmig so angeordnet werden, daß beliebig viele Erweiterungsmöglichkeiten offen bleiben.

Nach der Verbringung der Lagerprodukte, deren Behälter man auf die Erfordernisse des Transportes und der Lagerung allenfalls noch besser abstimmen könnte, wären die aufgefüllten Teilstrecken der Lagerstollen mit Betonplomben zu verschließen und die Hohlräume zwischen den Stahlfässern über vorher eingelegte Injektionsleitungen mit Zementmörtel, Bentonitmischungen oder anderen geeigneten Injektionsmittel mit möglichst hohem Druck aufzufüllen. Somit wird ein satter Verbund mit dem umschließenden Gebirge erreicht, das

sich aufgrund seiner plastischen Reaktionen im Verlaufe von Jahrzehnten immer enger um die Lagerstätte anschmiegen und sie schließlich voll in die natürliche Gebirgs- und Bergwasserspannungen einbeziehen wird.

Die verhältnismäßig kleinen Hohlraumabmessungen und das gebirgsschonende Ausbrechen der Hohlräume mit Tunnelfräsen haben gegenüber Großkavernen sowohl stabilisierungsmäßig als auch hinsichtlich der Baukosten große Vorteile.

Die Kontrolle ist über einen eigenen Kontrollstollen möglich. Der Autobahntunnel kann in das Kontrollsystem eingebunden werden.

Für 50.000 Fässer, die in den nächsten 40 Jahren entsorgt werden müssen, würden etwa 1700 lfm Lagerstollen mit 4 m Durchmesser benötigt werden.

5.3 Kombinierte Lagervariante (Abb.5)

Unter der kombinierten Lagervariante wird die Möglichkeit verstanden, das Endlager zusammen mit der noch zu bauenden Tunnelröhre

der Richtungsfahrbahn Salzburg des Tauern-tunnels zu planen und zu errichten.

Bei dieser Variante könnte im Zuge der Ausbruchsarbeiten für den Autobahntunnel nochmals das gesamte geologische Erwartungsmodell überprüft werden. Damit wäre es möglich, jedermann an Ort und Stelle den Nachweis zu erbringen, daß in der Natur tatsächlich alle von den Geologen in Aussicht gestellten Rahmenbedingungen für ein sicheres Endlager vorhanden sind. Sollten diese aber wider Erwarten nicht gegeben sein, wären trotzdem keine verlorenen Vorinvestitionen zu tätigen gewesen. Somit schließt das **Kombinationsmodell** einen risikoarmen, ökonomisch aber im Vergleich mit anderen Varianten unüberbietbaren Vorteil ein.

Als Endlagertyp kommt aufgrund der zu erwartenden druckhaften Gebirgsverhältnisse nur ein Stollenmodell in Frage. Die Ausführungs- und Betriebsdetails sind gleich wie bei der unabhängigen Lagervariante.

PRINZIPSKIZZE FÜR DAS KOMBINATIONSMODELL

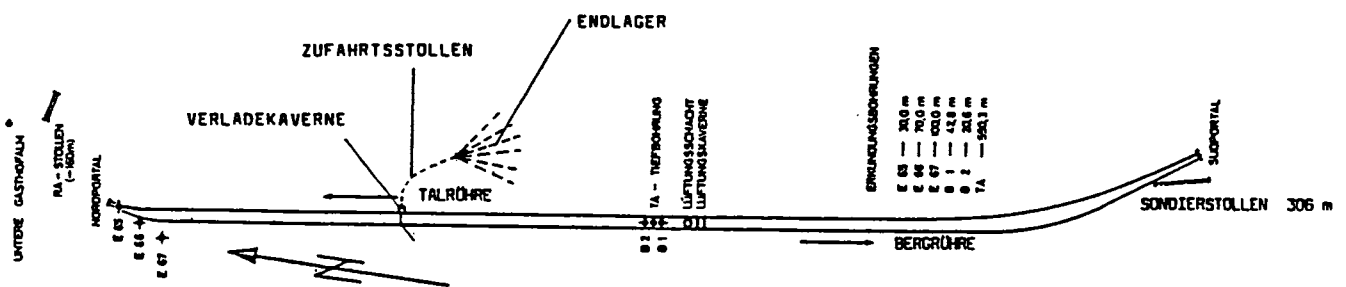


Abb. 5: Prinzipskizze für das Kombinationsmodell

Grundsätzliche Lagermöglichkeiten

Dieser Lagertyp könnte zusammen mit der noch auszubrechenden Autobahntunnelröhre der Richtungsfahrbahn Salzburg geplant und ausgeführt werden. An geeigneter Stelle wäre eine kleine Kaverne für das Umladen der Behälter vom LKW- auf Gleisbetrieb vorzusehen. Von dieser Kaverne sollte ein Frässtollen zum endgültigen Lagerbereich vorgetrieben werden. Am Endpunkt könnten fächer- oder fischgrätförmig Lagerstollen mit der gleichen Fräse, wie sie für den Zugangsstollen verwendet wird, ausgebrochen werden. Während der Zugangsstollen eine dauerhafte Stützung erhalten sollte, wären für die Lagerstollen nur temporäre Stützen - auch unter Inkaufnahme von Konvergenzen - möglich.

Die Nachteile dieser Variante sind in der Abhängigkeit vom Bau der zweiten Tunnelröhre zu sehen und der in Österreich sicherlich nur schwer lösbaren Koordinierung von zwei verschiedenen Interessensgruppen.

Hydrologisch könnte sich ebenfalls ein Nachteil gegenüber einer unabhängigen Lagervariante ergeben, zumal Endlager und Autobahntunnel zweckmäßigerweise auf angenähert gleichem Niveau ausgebrochen werden müßten. Dabei bestünde eine geringfügig größere Gefahr, daß der hydraulische Gradient versteilt und bis dahin stagnierendes Bergwasser in Bewegung geraten könnte. Dem könnte man jedoch mit zuverlässigen technischen Maßnahmen wirksam entgegenzutreten.

Schließlich sind spätere Lagererweiterungen durch den Autobahnbetrieb stark behindert.

6. Zusammenfassung

In der vorgelegten Grundsatzstudie wird eine neue, auf österreichische Verhältnisse abgestimmte Möglichkeit für die Endlagerung von schwach- bis mittelaktivem Abfall aus Medizin, Industrie und Forschung vorgestellt. Geologisch werden dabei die Erfahrungen von mehr als 1000 km Tunnel und Stollen im österreichischen Alpengebiet genutzt, bei denen sich gezeigt hat, daß es klare geotechnische Beziehungen zwischen der Art der Gesteine, insbesondere ihrer Festigkeitseigenschaften sowie ihres Verformungsverhaltens, und der Überlagerungshöhe gibt.

Theoretisch gibt es für jedes Gestein einen Belastungszustand, bei dem eine so große Verdichtung eintritt, daß sämtliche Klüfte und Hohlräume geschlossen werden. Dies wird bei weichen Tonschiefen schon bei geringer Auflast der Fall sein, während bei Graniten auch noch bei 2000 m Gebirgsüberlagerung offene Klüfte beobachtet wurden.

Es gibt aber in Österreich auch ausgedehnte Gesteinszüge, die in der Mitte beider Extreme liegen. Dazu gehören beispielsweise Phyllite und Glimmerschiefer. In Abhängigkeit des Glimmergehaltes können solche Gesteine schon ab 400 m Gebirgsüberdeckung so dicht

sein, daß keine Möglichkeiten mehr bestehen, daß solche Medien von Kluft- oder Bergwässern durchströmt werden. Da Radionuklide praktisch nur über den Wasserkreislauf in die Biosphäre gelangen können, ist in einem von Natur aus trockenen Wirtsgestein die größtmögliche Sicherheit gegeben.

Für Endlagerstandorte sollten daher geologische Zonen aufgesucht werden, wo die Gebirgsspannungen zum Plastifizieren der vorhandenen Gesteine führen.

Unter den beschriebenen Bedingungen sind jedoch große Hohlräume wie Schächte oder Kavernen nur unter großen Schwierigkeiten zu bauen. Deshalb wird technisch ein mit einer Tunnelbohrmaschine ausgebrochenes *Stollenendlager* vorgeschlagen, zu dem auch der Zugang über einen gefrästen Stollen erfolgt.

Als Beispiel werden zwei Lagervarianten im Gebiet des Tauernautobahntunnels vorgestellt. Hier könnte ein aus der Sicht des Baugeologen realistisches, mit erheblichen Sicherheitsreserven ausgestattetes und dennoch äußerst wirtschaftliches Projekt für die Endlagerung von schwach- bis mittelaktiven Abfällen ausgearbeitet werden. Dabei sind folgende Vorteile gegeben:

- Optimale Kenntnis selbst von Details des Gebirges, in dem die Lagerstätte errichtet werden soll.
- Folglich Einsparung von zeit- und kostenaufwendigen Vorerkundungen in zig-Millionenhöhe.
- Äußerst günstige und beruhigende Aspekte hinsichtlich der Kurzzeit- und auch der Langzeitsicherheit.
- Gesicherte technische Ausführbarkeit ohne besondere Risiken im Hinblick auf die Baukosten.
- Hohes Sicherheitsniveau einer Hochleistungsstraße, die als Autobahn jetzt schon bis zur Lagerstätte führt und nicht erst gebaut werden muß und die auch eine wintersichere Zufahrt bietet.

Als Nachteil für das Projekt ist das Wasserschutzgebiet der Marbach-Quellen zu bewer-

ten. Obwohl sicherzustellen ist, daß das Quelleneinzugsgebiet keinerlei Verbindung mit dem potentiellen Lagerstandort hat, setzt dennoch eine Akzeptanz durch die Anrainer und öffentlichen Entscheidungsträger ein großes Vertrauen in die Geowissenschaften voraus. Es wäre lohnend, dafür mit Verständnis, Geduld und Seriosität zu werben.

Quellennachweis (Auswahl)

- DEMMER, W.: "Die geologische Bearbeitung des Tauern隧nells" in J.VILANEK, Tauernautobahn Scheitelstrecke, 2.Bd., Tauernautobahn AG, Salzburg 1976
- DEMMER, W.: "Grundsatzkonzept für die Möglichkeit der Endlagerung von radioaktivem Müll aus der Sicht des Baueologen", unveröff.Studie, Korneuburg 1989
- DRIMMEL, J.: "Rezente Seismizität und Seismotektonik des Ostalpenraumes - Der Geologische Aufbau Österreichs", Geol.B.-A., Wien 1980
- DRIMMEL, J.: "On the Map of Seismo-Active Deep Faults and Important Epicentres in Austria" Proc.2.Int.Symp.on the Analysis of Seismicity and on Seismic Hazard, Liblice, CSFR 1981
- DRIMMEL, J.: "Seismische Intensitätsskala 1985" Zentralanstalt f.Meteorologie und Geodynamik, H.62, S.15-85, Publ.Nr. 299, Wien 1985
- ELA-News: Aktuelles zur Endlagerung österreichischer niedrig- und mittelaktiver Abfälle. Info-Schriften des Österr. Forschungszentrums Seibersdorf GmbH, Jg. 1989/90
- ELA-Studie: Mit besonderem Hinweis auf Bd. 41, 47, 49 und 61. Österr. Forschungszentrum Seibersdorf GmbH, Dez.1990
- Nagra aktuell: Periodisch erscheinende Informationsschrift der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Baden-Schweiz, Nr. 1, März 1990
- Nagra informiert: Periodisch erscheinende Informationsschrift der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Baden-Schweiz, Jg. 10, 1990