

Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode bei Heringen/Werra

Alfred Finkenwirth und Gunnar Johnsson

*Hessisches Landesamt für Bodenforschung Leberberg 9 D-6200 Wiesbaden
und Kali und Sal. AG Hauptverwaltung Postfach 10 20 29 D-3500 Kassel*

ZUSAMMENFASSUNG

Die Kenntnis der geologischen Situation im Werra-Gebiet läßt die eindeutige Aussage zu, daß Stoffe, die in den standfesten Abbauhohlräumen der Kalilager abgelagert werden, auch für "geologische" Zeiträume mit Sicherheit dem Biozyklus entzogen sind, so daß sie in keinem Fall ohne menschliches Zutun wieder in die Biosphäre gelangen können. Die in 700 bis 800 m Tiefe unter der Erdoberfläche in einem rd. 250 m mächtigen Steinsalzlager abgelagerten Stoffe sind aus dem hydrologischen Kreislauf entfernt. Auch gegenüber gebirgsmechanischen und hydrologischen Störfällen ist die Langzeitsicherheit gewährleistet.

Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode ergänzt die vorhandenen Beseitigungsmöglichkeiten für Abfälle, bei denen andere Beseitigungsverfahren problematisch sind und für die es derzeit keine Verfahren zur wirtschaftlichen Wiedergewinnung der in ihnen enthaltenen Stoffe gibt.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Untertagebetriebes ist die Kenntnis der Eigenschaften der Abfälle eine unerläßliche Voraussetzung. Es waren daher transparente Verfahren für die Annahme, Ablagerung und Kontrolle zu entwickeln. Der Erzeuger problematischer Abfälle muß sich schon bei der Gestaltung seines Produktionsprozesses auf die besonderen Bedingungen der Untertage-Deponie einstellen, wenn die Ablagerung untertage die abfallwirtschaftspolitisch richtige Lösung der Beseitigung seiner Abfälle ist. In vielen Fällen geschieht dies schon im Planungsstadium bestimmter Produktionsprozesse.

Die Kapazität der Untertage-Deponie Herfa-Neurode gewährleistet die notwendige langfristige Disposition für den Abfallerzeuger.

EINLEITUNG

Der sicheren und unschädlichen Beseitigung umweltgefährdender unvermeidbarer Abfälle kommt im Rahmen der sich ständig weiterentwickelnden Maßnahmen zum Schutze und Erhaltung der Qualität unserer Umwelt eine große Bedeutung zu. Für die Verwirklichung der Ziele des Abfallwirtschaftsprogramms der Bundesregierung hat in diesem Rahmen die Untertage-Deponie Herfa-Neurode inzwischen eine erhebliche Bedeutung erlangt.

Bei Abfällen aus Industrie und Gewerbe, die auch bei einer geordneten Ablagerung in übertägigen Sondermüll-Deponien aus unterschiedlichen Gründen eine potentielle Gefahr für Wasser und Luft darstellen, ist in vielen Fällen eine umweltunschädliche Beseitigung durch die Ablagerung in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode möglich. Das gilt

vor allem dann, wenn ein biologischer oder thermischer Abbau technisch und im Hinblick auf den Umweltschutz problematisch und/oder aus abfallwirtschaftspolitischer Sicht sehr aufwendig ist.

Auch beim Einsatz sich ständig weiter entwickelnder Technologien bei der Produktion und den Verfahren der Wiederverwendung und Aufarbeitung von Rückständen werden Abfälle anfallen, bei denen die Ablagerung untertage die sicherste und wirtschaftlichste Beseitigung darstellt. Bei der sich in letzter Zeit durchsetzenden Tendenz, die "gefährlichen" Komponenten in diesen Abfällen nicht zu verdünnen und abzuleiten oder sie mit anderen Stoffen zu vermischen und abzulagern, sondern die Schadstoffe in möglichst konzentrierter Form und daher kleinen Mengen getrennt zu behandeln und aus dem Biozyklus zu entfernen, stellt die Ablagerung in der Untertage-Deponie

eine wesentliche Ergänzung der vorhandenen Beseitigungsmöglichkeiten dar.

Seit Inbetriebnahme der Untertage-Deponie Herfa-Neurode sind von 1972 bis Mai 1978 mehr als 150 000 t Abfälle von mehr als 300 Beseitigungspflichtigen abgelagert worden. Fast 30% stammen aus dem benachbarten Ausland, insbesondere aus der Schweiz und aus Holland. Neben den Sondermüllgesellschaften der einzelnen Bundesländer wird auch mit den Sondermüllbeseitigungsgesellschaften in Dänemark (Kommunekemi-Nyborg), Schweden (SAKAB-Stockholm), Frankreich (PLAFORA-Saint Vulbas, PEC-Hombourg, SARP Industries-Limay) und Holland (AVR-Rotterdam) eng zusammengearbeitet. Eine Reihe von Abfällen, die diese Gesellschaften nicht beseitigen können, werden trotz der hohen Transportkosten in Herfa-Neurode abgelagert.

Der Einrichtung eines solchen Betriebes mußte natürlich der hinreichende und zweifelsfreie Nachweis der gegebenen Voraussetzungen für die unerläßliche Langzeitsicherheit vorausgehen. Es mußte sichergestellt sein, daß auch in geologischen Zeiträumen von vielen Millionen Jahren Stoffe, die dort abgelagert werden, ohne menschliches Zutun nicht wieder in die Biosphäre gelangen können. Daher waren alle denkbaren tektonischen, gebirgsmechanischen und hydrologischen "Störfälle" und ihr möglicher Einfluß gegenüber der Umwelt zu untersuchen. Für die Sicherheit der in diesem Betrieb Beschäftigten und die des Betriebes selbst waren hinsichtlich der Eigenschaften der abzulagernden Abfälle und der Gestaltung des Betriebsablaufes

Regeln und Vorschriften zu entwickeln und festzulegen, die die Betriebssicherheit und eine transparente Kontrolle gewährleisten.

Insbesondere in den USA, aber auch in anderen Ländern, sind zu diesen Problemen ebenfalls sehr eingehende Studien erarbeitet worden, die, wenn auch in einigen Fällen erst später, die gewonnenen Erfahrungen bestätigt haben. Auch aus den sehr eingehenden Untersuchungen zu dem Problem der Ablagerung radioaktiver Abfälle in Salzstöcken konnten wesentliche Erkenntnisse verwertet werden (Kühn, 1976).

GEOLOGIE UND LANGZEITSICHERHEIT

Die geologische Situation. Die Untertage-Deponie wurde im westlichen Abbaurevier des 1970 stillgelegten Abbaufeldes der Grube Herfa-Neurode des Kaliwerks Wintershall der Kali und Salz AG in Heringen/Werra eingerichtet. Hier im nördlichen Teil des Werra-Fulda-Steinsalzbeckens hat die Salinar-Folge des Zechstein 1 (Werra-Serie) eine Mächtigkeit von rund 250 m. Die beiden Kalilager der Werra-Serie (das obere "Flöz Hessen" und das untere "Flöz Thüringen") von jeweils 2–3 m Mächtigkeit sind durch das Mittlere Werra-Steinsalz von etwa 50 m Mächtigkeit getrennt. Unter dem Unteren Lager stehen bis zum liegenden Anhydritknotenschiefer etwa 100 m kompaktes Steinsalz (Unteres Werra-Steinsalz) an. Über dem Oberen Lager liegt ebenfalls ein über 100 m mächtiges Steinsalzpaket (Oberes Werra-Steinsalz).

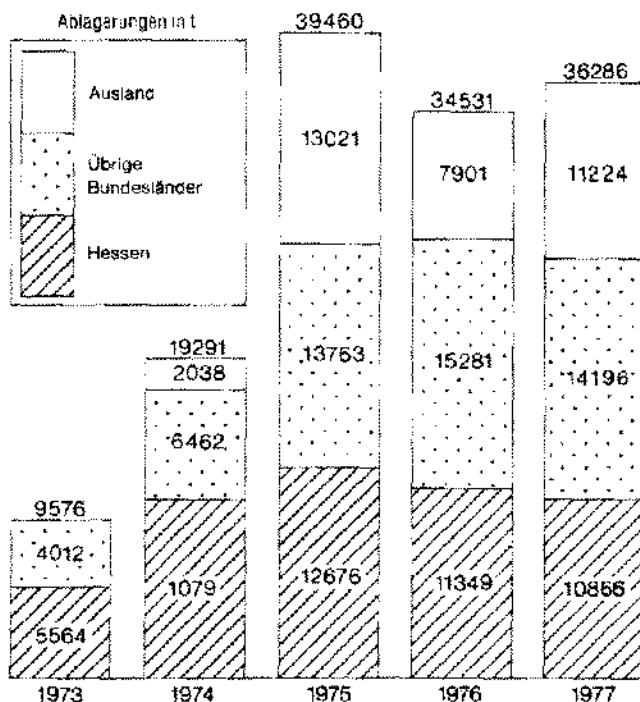
Die Deponie ist in Abbauhohlräumen des Flözes Thüringen (Unteres Lager) angelegt. Das Flöz Thüringen ist generell flach gelagert, die Schichten streichen NW–SE und fallen mit 2–3° nach SW ein. Das Flöz Hessen ist im Deponiebereich nicht abgebaut worden.

Die Abfolge über dem Werra-Salinar geht am besten aus dem Profil des Schachtes Neurode (gedeutet nach Dietz, 1928) hervor (Tabelle 1).

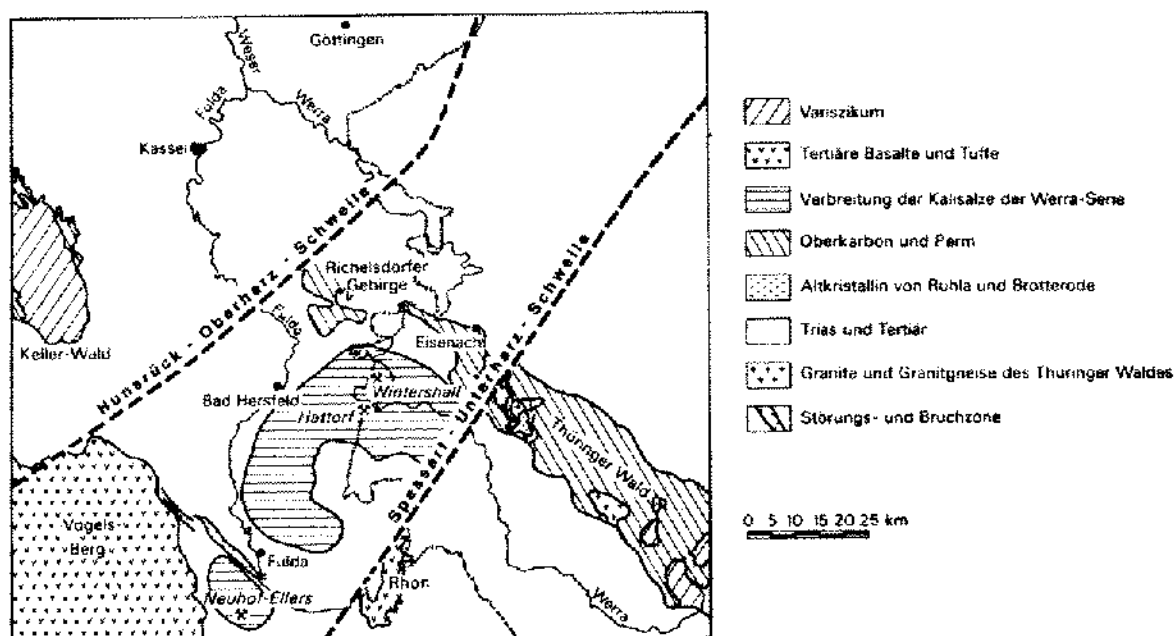
Danach liegen über dem Salinar verschiedene wassersperrend wirkende Schichtglieder, und zwar Braunroter Salzton, Zwischensalinar, Untere Letten, Obere Letten und Bröckelschiefer. Diese Horizonte wirkten als Abdeckung gegen von oben angreifende Wässer, so daß in den nachfolgenden geologischen Zeitabschnitten und auch in der Gegenwart das Salinar nicht wieder aufgelöst werden konnte.

Der aufgeschlossene Lagerstättenteil weist einige wenige Störungsgebiete auf, so der im westlichen Teil aufgeschlossene Basaltgang, der in eine Schnittzone übergeht. Diese Hauptschnittzone streicht NNW–SSE und entspricht den üblichen basaltgefüllten Störungszonen im Werra-Kalirevier.

Die tektonischen Bewegungen im Tertiär ließen Klüfte im Salinar entstehen. Diese Schnitte oder Schlechten sind bis zu 1 cm breite Diskontinuitätsflächen, die die Salzabfolge von unten nach oben durchsetzen und auf denen im



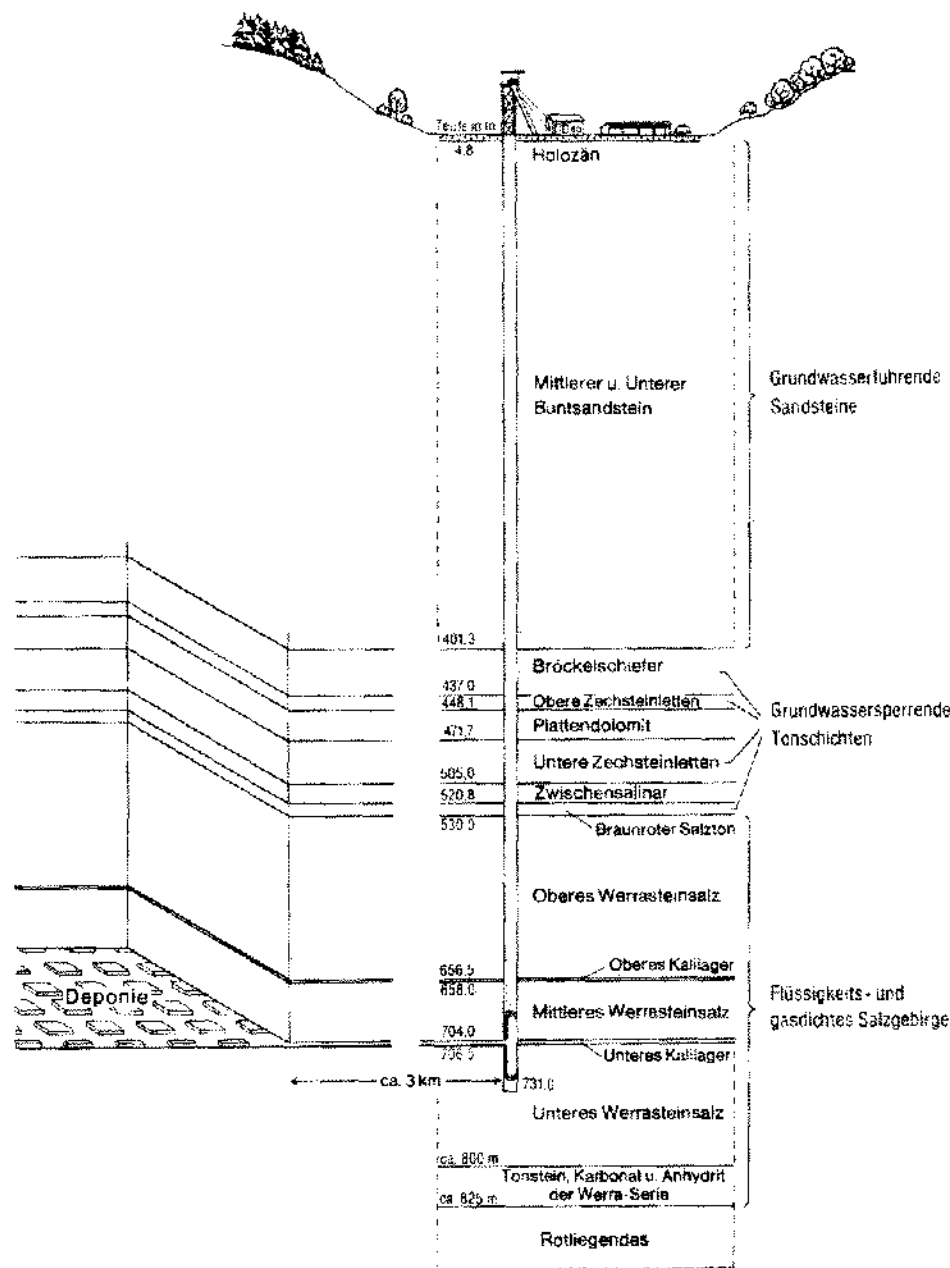
Figur 1. Ablagerungsmengen in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode (1973–1977).



Figur 2. Übersichtskarte Werra-Kalium-Gebiet.

TABELLE I
Stratigraphie

0–	4,8 m	Auffüllung, Kies und Geröll		Quartär
–401,3 m		Sandstein mit Tonsteinlagen		Mittlerer und Unterer Buntsandstein
–437,0 m		Tonstein mit Gipsschnüren und Anhydritknollen	Brückelschiefer	Unterer Buntsandstein
–438,2 m		Anhydrit	Grenzanhydrit A4r	Zechstein
–448,1 m		Tonstein	Obere Letten T4	
–471,0 m		Kalkstein und Dolomitstein	Plattendolomit Ca3	
–505,0 m		Tonstein mit Gips	Untere Letten T3	
–520,8 m		Anhydrit und Steinsalz	Zwischensalinär T2A und T2Na	
–530,0 m		Tonstein	Braunroter Salzton T2	
–656,5 m		Steinsalz	Oberes Werra-Steinsalz NaI	
–658,0 m		Kalialz	Flöz Hessen (Oberes Lager) K1H	
–704,0 m		Steinsalz	Mittleres Werra-Steinsalz NaI	
–706,5 m		Kalialz	Flöz Thüringen (Unteres Lager) K1 Th	
–731,0 m		Steinsalz	Unteres Werra-Steinsalz NaI (nicht durchtrefft!)	



Figur 3. Geologisches Profil Schacht Neurode.

Zusammenhang mit dem tertiärzeitlichen Basaltvulkanismus juvenile Wässer und Gase aufgestiegen sind. Sie sind meist später durch sekundär auskristallisierte Salzminerale wieder verheilt worden. Auf den Schnitten treten beim Auffahren der Strecken Kohlensäurebläser aus.

Etwa 220 Millionen Jahre nach der Bildung des Zechstein-Salinars, also vor etwa 15 Millionen Jahren, wurde die Lagerstätte im Obermiozän an vielen Stellen von Basaltgängen und -schloten durchschlagen. In dieser Zeit entstanden auch die Rhönbasalte.

Trotz der gewaltigen thermischen und tektonischen

Beanspruchungen blieb die Lagerstätte bis auf Ummineralisationen in den Kalilagern praktisch unverändert. Für den intakten Abschluß gegen die unterlagernden und überlagernden Schichten hat die Natur selbst den besten Beweis geliefert. Mit den Basaltintrusionen des Obermiozäns drang "Kohlensäure" (CO_2) unter hohen Druck in das Salz ein. Dort ist dieses Gas in flüssiger Form noch heute interkristallin bzw. intrakristallin gebunden.

Während der 70 Jahre, in denen in diesem Gebiet Kalisalz abgebaut wird, sind nur unbedeutende Laugenzuflüsse beobachtet worden. Es handelte sich immer um gesä-

tigte Restlaugen, die keinerlei Verbindung mit Tageswässern oder Tiefengrundwässern hatten, was sich anhand ihres Chemismus eindeutig feststellen ließ.

LANGZEITSICHERHEIT

Gebirgsmechanischer Störfall. Bei allen Überlegungen hinsichtlich der Standfestigkeit der als Deponie benutzten Grubenbaue und des Deckgebirges spielt das mechanische Verhalten der Salzgesteine eine wichtige Rolle. Auf gebirgsmechanischem Gebiet sind von der Betreiberin der Deponie seit Jahrzehnten unter ständiger Kontrolle seitens der Bergbehörde umfangreiche Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften der Salzgesteine anhand von Laboruntersuchungen und Verformungsmessungen untertage durchgeführt worden.

Die Gebirgsmechanik ist aufgrund dieser Messungen in der Lage, Richtwerte für eine betriebssichere Dimensionierung der Grubenbaue anzugeben. Die bisherigen Erfahrungen im Abbau, bei dem es zu Änderungen der Belastungsgeschwindigkeiten kommt, haben gezeigt, daß die Dimensionierung der Abbauhohlräume und Pfeiler auch für solche abbaudynamischen Veränderungen ausreichend ist.

Die seit den 50er Jahren durchgeführten umfangreichen Untersuchungen und Messungen mit einer großen Zahl untertägiger Meßstationen und übertägiger Beobachtungspunkte in Verbindung mit sehr zahlreichen Laborversuchen haben auch eine Beurteilung der früher geschaffenen Hohlräume im Grubengebäude Herfa-Neurode ermöglicht. Danach bietet die vorhandene Unterstützungsfläche mehrfache Sicherheit gegen die auftretenden statischen Belastungen.

Bei den nach dem 2. Weltkrieg erfolgten Gebirgsschlägen im Werra-Kalirevier hat sich nachweisen lassen, daß eine Nichtbeherrschung gebirgsmechanischer Vorgänge oder Außerachtlassung gebirgsmechanischer Erkenntnisse bei dem bergmännischen Abbau vorgelegen hat. Durch diese Gebirgsschläge in anderen Feldesteilen des Werra-Kalireviers ist der Beweis erbracht worden, daß auch bei erdbebenartigen Erschütterungen mit Magnituden über 5 die Standsicherheit der Deponiehohlräume und die Unversehrtheit der Deckschichten gewährleistet ist. Mit Katastrophenbeben ist nach den bisher vorliegenden Untersuchungen über die Verbreitung von Schadenserdbeben in der Bundesrepublik nicht zu rechnen. Nach Auffassung der Seismologen ist anzunehmen, daß die tektonischen Schollenbewegungen in den hessischen Gräben in der Gegenwart entweder zum Stillstand gekommen sind oder aseismisch verlaufen (Ahorne u.a., 1970).

Im Werragebiet ist durch Senkungsmessungen übertage nachgewiesen worden, daß das Deckgebirge die Hangendabsenkung untertage in den Abbauhohlräumen sehr schnell nachvollzieht. Maximal 70% der Hangendabsenkung untertage erreichen die Tagesoberfläche, und zwar rund die

Hälfte davon in den ersten Monaten nach Durchgang der Abbaufont (Uhlenbecker, 1978). Dadurch, daß das Hangende die untertägigen Verformungsbewegungen verhältnismäßig schnell nachvollzieht, kommt es nicht zu unerwünscht hohen Spannungsanhäufungen im Deckgebirge und zu einer schlagartigen Auslösung derselben.

Die Ergebnisse aus den Senkungs- und Konvergenzmessungen haben vielmehr gezeigt, daß sich das Gebirge wie in und über anderen alten Abbaugruben des Werra-Kalireviers, in denen die abbaubedingten Spannungen weitgehend abgeklungen sind, so auch im Betriebsteil der Deponie Herfa-Neurode, in dem die Messungen auch jetzt noch fortgeführt werden, stabilisiert hat und die Gefahr eines Gebirgsschlages aus derartigen Ursachen heraus auszuschließen ist.

Selbst für den nicht abzusehenden Fall, daß durch bisher unbekannte Einwirkungsmöglichkeiten die Gebirgspfeiler nachgeben und sich die hangenden Salzschichten der Deponiegrubenbaue auf die Sohle auflegen sollten, wäre bei der ohnehin geringen Höhe der Abbaue keineswegs ein Herausdrücken der abgelagerten festen Abfälle zu befürchten, sondern diese würden lediglich fest zusammengepreßt und unter hohem Druck in ihrer Lage fixiert werden. Bei den gegebenen Kriechraten im Werrasalinar von 1–2 mm in 100 Tagen, die sich jedoch mit der Zeit asymptotisch weiter verringern, kann es durch Konvergenz in einzelnen Bereichen im Laufe der Zeit ohnehin zu einer unbedenklichen kraftschlüssigen Berührung der eingelagerten Fässer mit dem Gebirge kommen.

Hydrologischer Störfall. Das flach gelagerte Salzvorkommen des Kaliwerkes Wintershall ist in seiner Gesamtheit durch eine überwiegend tonige Schichtenfolge von ca. 60 m Mächtigkeit gegen das Deckgebirge abgesperrt. Aufgrund ihrer Wasserundurchlässigkeit und ihrer plastischen Eigenschaften bilden diese tonigen Schichten (Braunroter Salzton, Zwischensalinar, Untere Letten) eine Sperre gegen einen Wasserzutritt aus dem Plattendolomit, deren Dichtigkeit bei allen Gebirgsschlägen der Vergangenheit unter Beweis gestellt worden ist. Gegen einen Wasserzutritt aus dem darüberliegenden Buntsandstein schützen weitere tonige Schichtglieder (Obere Letten und Bröckelschiefer) von etwa 50 m Mächtigkeit. Auch bei dem Zusammenbruch eines Feldesteiles auf der 1. Sohle (Flöz Hessen) des Werkes Wintershall im Jahre 1953 ist die Dichtheit und der Zusammenhang des überlagernden plastischen Salzgebirges und der darüberliegenden wassersperrenden Schichten nicht beeinträchtigt worden. Spalten und Risse im Oberen Werra-Steinsalz sind in dem betreffenden Feldesteil des Kaliwerkes Wintershall nicht entstanden, obwohl übertage 1 bis 2 m breite Risse und Geländesenkungen von über 1 m auftraten.

Erfahrungen aus anderen Kalirevieren der Welt zeigen, daß auch bei Abbauverfahren mit starker Pfeilerschwächung und Absenkung des Hangenden durch das plastische Verhalten des Salzgebirges nicht unbedingt Risse

entstehen müssen, die eine hydraulische Verbindung zum wassererfüllten Deckgebirge schaffen.

Der ungünstigste Störfall wäre ein Wassereinbruch in die Grube. Hierüber liegen zahlreiche Erfahrungen aus dem Kalibergbau vor. Danach entstehen gesättigte Laugen, die stagnieren und eine weitergehende Zirkulation der eindringenden Wässer und damit einen Transport von eingelagertem Gut ausschließen. Hierzu sind im Falle des Salzbergwerkes Asse II zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Nach dem Jahresbericht 1969 der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München mit dem angeschlossenen Institut für Tieflagerung Clausthal-Zellerfeld haben Berechnungen und Versuche ergeben, daß der Lösungsinhalt einer Normalkammer bei einer Gebirgstemperatur von 30°C in einem Zeitraum von 6 Tagen auf 90% aufgesättigt wird und damit seine Aggressivität und Beweglichkeit verliert.

Im Falle einer Stilllegung der Betriebsabteilung Herfa-Neurode werden die Schachtröhren mit festen Massen verfüllt. An geeigneter Stelle, in der Regel im Bereich der Salinaroberkante, wird dabei ein Tonpfropfen eingebracht. Damit ist die Lagerstätte gegen das Eindringen von Tageswässern geschützt und jede Kommunikation mit den über dem Salinar liegenden Grundwasserstockwerken mit Sicherheit ausgeschlossen. Anzeichen für eine Auslaugung vom Hangenden her liegen nicht vor, das Obere Werra-Steinsalz ist in allen hier niedergebrachten Bohrungen in voller Mächtigkeit erhalten. Die im Deponiebereich vorhandenen Tiefbohrungen sind mit einem Sicherheitspfeiler von 50 m Radius versehen.

Die Deponiegrubenbaue liegen mehr als 4 km vom Salzhang entfernt. Wegen der begrenzten Angriffsfläche für Süßwasser am Salzhang und der geringen Transportkapazität der Tiefengrundwässer ist nur mit geringen Absolutgeschwindigkeiten zu rechnen.

Kohlensäureausbrüche. Die im Salz (interkristallin und intrakristallin) gebundene Kohlensäure wird nur bei starker Erschütterung, z.B. beim Schießen, freigesetzt und erzeugt dann explosionsartige Auswürfe von Gas und Salz, sogenannte Kohlensäureausbrüche. Der größte bekannte Kohlensäureausbruch im Werra-Gebiet ereignete sich auf der Schachanlage Menzengraben, südlich Dorndorf im Bereich des Kaliwerkes "Ernst Thälmann" (DDR) im Jahre 1953 und erbrachte 700 000 m³ Kohlensäure oder umgerechnet 1 400 t Kohlensäure. Ein weiterer großer Ausbruch ereignete sich (Gimm u.a. 1976) am 9. 2. 1975 im Flöz Thüringen auf der Grube "Marx-Engels" in Unterbreizbach (DDR). Hierbei wurden 8 000 t Salz ausgeworfen.

Kohlensäureausbrüche dieser Dimensionen sind in den Betriebsabteilungen Wintershall und Herfa-Neurode nicht beobachtet worden. Außerdem wird die Kohlensäure nur während des Auffahrens, und zwar beim Schießen, oder wie im Fall der Grube "Marx-Engels", beim Großlochbohren freigesetzt. In einem lange offenstehenden Feldesteil, wie

in dem für die Deponie vorgesehenen Gebiet, können derartige Vorgänge nicht auftreten.

Analoge Untersuchungsergebnisse und Projekte. Die Fa. Fenix und Scisson Inc., Tulsa, hat für die U.S. Environmental Protection Agency eine Studie über die Möglichkeiten der Einlagerung von gefährlichen Abfällen in bergmännischen Hohlräumen angefertigt und hat dabei nach einer Kriterienliste eine Einstufung der verschiedenen Gesteine hinsichtlich ihrer Eignung für die Einlagerung von Abfällen vorgenommen. In dieser Liste erhalten geschichtete Salzgesteine den höchsten Index in der Bewertung.

Auch Boffey (1975) weist darauf hin, daß geschichtete Salzgesteine von den Untersuchungsausschüssen der U.S. National Academy of Sciences als die vorteilhafteste geologische Formation für die Ablagerung von Abfällen angesehen werden. Zu demselben Resultat kommt eine NATO-CCMS-Studie aus dem Jahre 1977.

Nach Simpson (1978) werden in Kanada Hohlräume in Evaporiten für die Einlagerung von chlorierten schweren Kohlenwasserstoffen und Quecksilberverbindungen genutzt.

In den Niederlanden sollen nach Hamstra und Velzeboer (1978) radioaktive Abfälle in bergmännisch hergestellten Kavernen in einem Salzstock mittlerer Größe eingelagert werden.

In den USA konzentriert sich die Bemühungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle auf geschichtete Salzvorkommen im Gebiet von Carlsbad, New Mexico, (Boffey, 1975) und auf die Salzstöcke der Golfküstenregion (Martinez u.a., 1978).

Die DDR will das ehemalige Salzbergwerk Bartensleben etwa 7 km östlich Helmstedt zum Endlager für radioaktive Abfälle ausbauen (Richter und Körner, 1976).

DER BERGMÄNNISCHE ABBAU DER KALILAGER IM WERRA-GEBIET

In den Jahren 1900–1913 sind die 4 Schächte abgeteuft worden, die das Grubenfeld des Werkes Wintershall unter Einschluß des Abbaufeldes Herfa-Neurode aufschließen (Messer, 1978). Seit 70 Jahren wird dort also Kalisalz gewonnen. Seit Beginn der 60iger Jahre wird nach Einführung der Mechanisierung mit gleislosen Maschinen im "room and pillar"-System abgebaut. Das unmittelbare Hangende der Grubenräume muß bei den Spannweiten von 14 m (= Abbaubreite) durch Gebirgsanker gesichert werden. Dies gilt besonders für das Deponierevier, wo noch Jahrzehnte nach dem Abbau abgelagert wird. Vor Beginn der Ablagerung werden die Hangendflächen erneut gesichert und Firstanker gesetzt, wenn die Abbauräume für die Ablagerung hergerichtet werden. Jahrelange eingehende Untersuchungen aller möglichen Abbaufverfahren und Techniken haben ergeben, daß an der Werra ein "Total Mining", ein Abbau, bei dem auch die Pfeiler hereingewonnen werden, (wie z.B. im Elsaß, New Mexico

u.a.O.) aus einer Reihe von gebirgsmechanischen, bergtechnischen, sicherheitlichen und wirtschaftlichen Gründen nicht durchführbar ist. Das heißt, die verbleibenden, standfesten Abbauräume sind eine unvermeidliche Folge des Abbaues der Kalilager an der Werra (Messer, 1978).

Z.Zt. fördert das Werk Wintershall mehr als 25 000 t Rohsalz/Tag, d.h. im Jahr mehr als 6 Millionen Tonnen. Damit werden jährlich mehr als 2 Millionen Kubikmeter "nutzbare" Hohlräume geschaffen, die zu irgendeinem Zeitpunkt bei Bedarf für die Ablagerung von Abfällen zur Verfügung gestellt werden können, wenn dies im Rahmen der Abfallwirtschaft notwendig ist. Bei einem Anfall von 50 000 t Abfällen/Jahr ist also Raum für Jahrhunderte vorhanden.

Das erste Deponierevier liegt etwa 4000 m westlich der Schächte Herfa und Neurode an der derzeitigen Abbaugrenze. Der Abbau im Grubenfeld Herfa-Neurode wurde hier eingestellt, weil das Flöz Thüringen hier einen zu niedrigen Reinkali-Gehalt hatte, so daß ein wirtschaftlicher Abbau unmöglich war.

Für jede Tätigkeit untertage ist die ausreichende Versorgung mit Luft die Grundbedingung. Das Grubenfeld Wintershall ist durch 4 Schächte so ausreichend versorgt, daß bis zu 2 500 m³/min Frischwetter für das peripher gelegene Deponierevier abgezweigt werden konnten. Die Abwetter des Deponiebetriebes berühren keine belegten Abbaue und gehen direkt zum ausziehenden Schacht. Für den Deponiebetrieb steht im übrigen die Infrastruktur eines der modernsten Bergwerke der Bundesrepublik zur Verfügung (Grubenwehr, Werkstätten, Fahrzeuge, Aufsichtspersonal usw.). Ohne diese Tatsache wären die derzeitigen Kosten für die Ablagerung von Abfall nicht zu erreichen.

Die Kali und Salz AG hat zusammen mit dem Land Baden-Württemberg bei der Stilllegung der Schachanlage Buggingen am Oberrhein Untersuchungen über den möglichen Einsatz dieser Anlage als Untertage-Deponie angestellt. Es hat sich gezeigt, daß die Ablagerung von Abfällen dort wegen andersartiger geologischer und gebirgsmechanischer Voraussetzungen wirtschaftlich nicht durchführbar war.

BEDINGUNGEN UND AUFLAGEN FÜR DIE ABLAGERUNG VON ABFÄLLEN IN DER UNTERTAGE-DEPONIE

Ende 1972 wurden zusammen mit dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) und den technischen und juristischen Experten der nach dem Gesetz Beseitigungspflichtigen die "Allgemeinen Geschäftsbedingungen" und das "Formblatt A", das zur Identifikation und als Prüfungsunterlage für jeden einzelnen Abfall gilt, entwickelt. Das nach diesen Unterlagen festgelegte Verfahren der Prüfung, Annahme und Ablagerung hat sich bewährt, so daß auch nach Erlass der Verordnungen vom 29. 07. 74 zu den §§ 11,

12 und 13 des Abfallbeseitigungsgesetzes keine Veränderungen vorgenommen zu werden brauchten.

Um die Sicherheit des Betriebes der Untertage-Deponie zu gewährleisten, ist die direkte Zusammenarbeit zwischen Abfallerzeuger und Beseitiger unerlässlich. Nur der Erzeuger der Abfälle kann für die notwendigen und hinreichenden Angaben über die Eigenschaften der Abfälle, soweit sie für die Untertage-Deponie relevant sind, verantwortlich sein. Beseitiger und Abfallerzeuger müssen die jeweiligen Betriebsbedingungen ihres Partners in dem Ausmaß kennen, daß sie in der Lage sind, zu beurteilen, ob die Ablagerung untertage sicher erfolgen kann. Jeder Abfall hat seine eigene Identität, und bei den etwa 1000 verschiedenen Abfällen, die derzeit abgelagert werden, war praktisch in jedem Fall eine genaue Prüfung notwendig.

Die Methoden der Prüfung sind je nach Abfall sehr verschieden. Differential-Thermoanalysen, Gaschromatogramme, Partialdruckbestimmungen, Zündfähigkeitsbestimmungen usw., um nur einige zu nennen, ergänzen ggf. die üblichen analytischen Angaben.

Grundsätzliche Beschränkungen. Die Abfälle dürfen in den praktisch geschlossenen Räumen untertage keine zündfähigen, explosiven oder toxischen Gas-Luft-Gemische bilden können.

Selbstverständlich sind Stoffe, die zur Selbstentzündung neigen können, von der Ablagerung untertage auszuschließen.

Flüssige Abfälle werden nicht abgelagert. Diese müssen ggf. mit geeigneten Mitteln in stichfeste Form überführt werden, so daß keine freien Flüssigkeiten austreten können.

Bei Abfällen, die zunächst infolge dieser Beschränkungen nicht angenommen werden können und deren anderweitige umweltunschädliche Beseitigung technisch und wirtschaftlich nicht gegeben ist, lassen sich in einzelnen Fällen durch gemeinsam festzulegende Verfahren (chemische Behandlung, Konditionierung, besondere Verpackung, Abmauerung untertage usw.) die Voraussetzungen für die sichere Ablagerung in der Untertage-Deponie schaffen.

Genehmigungsverfahren. Als Teil eines Bergwerksbetriebes untersteht die Untertagedeponie der Aufsicht der Bergbehörde, also dem für das Werragebiet zuständigen Bergamt Bad Hersfeld. Alle betrieblichen Maßnahmen müssen vom Bergamt genehmigt werden. Für jeden einzelnen Abfall wird das "Formblatt A" dem Bergamt vorgelegt, nachdem von der Kali und Salz mit dem Beseitigungspflichtigen alle Angaben über den betreffenden Abfall überprüft wurden. Der Beseitigungspflichtige erhält von der Untertage-Deponie Herfa-Neurode nach Prüfung des betreffenden Abfalls und der Genehmigung durch das Bergamt Bad Hersfeld die schriftliche Annahmestätigung, der eine Kopie des mit dem Genehmigungsvermerk des Bergamts versehenen "Formblatts A" beigelegt ist. Annahmestätigung und bergbehördliche Genehmigung gelten für die einmalige oder wiederholte Anlieferung

des gleichen Abfalls. In der Annahmebestätigung und auf dem "Formblatt A" ist eine Code-Bezeichnung angegeben, mit der die Behälter, in denen der betreffende Abfall angeliefert wird, deutlich lesbar und dauerhaft zu beschriften sind.

Mit diesen Unterlagen kann der Beseitigungspflichtige dann gemäß den Gesetzen und den Verordnungen der Bundesregierung zu den §§ 11, 12 und 13 des Abfallbeseitigungsgesetzes bei seiner zuständigen Behörde die Transportgenehmigung beantragen. Nach Erhalt der Transportgenehmigung vereinbart der Beseitigungspflichtige mit dem Betrieb der Untertage-Deponie Hertfa-Neurode die verbindlichen Anlieferungsstermine. Auf den Begleitscheinen nach der Abfallnachweisverordnung müssen zusätzlich Code-Bezeichnung und Zahl der angelieferten Behälter angegeben werden.

Auf einem Grubenriß der Untertage-Deponie werden Ort, Zeit, Art und Menge der abgelagerten Abfälle eingetragen. Der Grubenriß wird ergänzt durch ein besonderes "Bestandsbuch" (nach der Verordnung zu § 11 des Abfallbeseitigungsgesetzes). Dadurch wird sichergestellt, daß jederzeit nachgewiesen werden kann, wo, wann und was abgelagert worden ist. Es ist durchaus denkbar, daß in späteren Zeiten bestimmte Stoffe wieder zurückgewonnen werden können, wenn das Interesse daran besteht und der Aufwand gerechtfertigt werden kann.

Die weiteren Erfahrungen werden zeigen, ob schon bei der Planung der Ablagerungsreviere auf eine mögliche Wiedergewinnung Rücksicht genommen werden kann und muß.

Sicherheitsmaßnahmen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Sicherheit des Betriebes ist, daß die Abfälle, bei denen auch nur die Möglichkeit besteht, daß sie miteinander reagieren können, in räumlich hinreichend voneinander getrennten Abbauen des Deponie-Reviers abgelagert werden. Bestimmte Abfälle werden entsprechend den jeweiligen besonderen Auflagen der Bergbehörde nach gewissen Zeitabständen oder nach Erreichen einer bestimmten Menge in nur für diese Abfälle vorgesehenen Abbauen abgemauert. Damit wird sichergestellt, daß die ausziehenden Wetter nicht unnötig durch Emissionen (z.B. durch geruchsintensive Stoffe) belastet werden.

Der Überwachung der Wetterführung wird, wie in jedem Grubenbetrieb, besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Zur Routineüberwachung werden die Wetter in den verschiedenen Ablagerungsarten mit Gas-Prüfröhrchen kontrolliert. Zur genauen Überprüfung auf mögliche Verunreinigungen der Luft werden in den verschiedenen Abbauen Proben mit dem "Personal-air-sampler" genommen, die dann in einem dafür eingerichteten Laboratorium gaschromatographisch analysiert werden.

In größeren Zeitabständen werden die Abwetter des Deponie-Reviers unter Einsatz besonderer Meßgeräte untersucht. Für diesen Zeitraum, normalerweise zwei



Figur 4. Kontrolle der Grubenwetter in einem Ablagerungsraum mit dem Dräger-Gerät.

Schichten, wird der Betrieb eingestellt, damit nicht die Abgase der dort eingesetzten Dieselmotoren das Meßergebnis beeinflussen können. Mit einem Flammenionisationsdetektor wird der Gehalt an organischem Kohlenstoff bestimmt. Parallel dazu werden Proben genommen, bei denen der Luftstrom auf -60°C gekühlt wird, um auch die leicht flüchtigen Stoffe in der Probe zu erfassen. Diese Proben werden dann gaschromatographisch untersucht, um mögliche Schadstoffkomponenten zu identifizieren. Bei der Gesamtbilanz muß der Gehalt an organischem Kohlenstoff der einziehenden Frischwetter berücksichtigt werden, der bei etwa 1 ppm liegt.

Bei diesen Abwetteranalysen sind bisher nur Spuren von Luftverunreinigungen festgestellt worden, deren Konzentration nur Bruchteile der MAK-Werte für die gefundenen Komponenten betrug. Es wurde schon erwähnt, daß die Abwetter des Deponiebetriebes direkt zum ausziehenden Schacht gehen.

Anlieferung. Die Anlieferung zur Anlage kann nur mit LKW erfolgen. Die Behälter, in der Regel 200-Liter-Stahlblechfässer mit Spannringschluß, müssen mechanisch einwandfrei und dicht verschlossen sein. Sie dürfen äußerlich nicht verunreinigt sein. Andere Verpackungen und Abmessungen sind je nach Abfall möglich und können von Fall zu Fall vereinbart werden.

Die Behälter sind auf Einweg-Paletten (Abmaße bis zu 1200×1200 mm) anzuliefern und durch ein horizontales Stahlband so zu umschlingen, daß ein Verrutschen beim Transport und beim Be- und Entladen sicher verhindert wird. Auf einer Palette dürfen nur Abfälle mit der gleichen Code-Bezeichnung und Behälter gleicher Größe angeliefert werden.

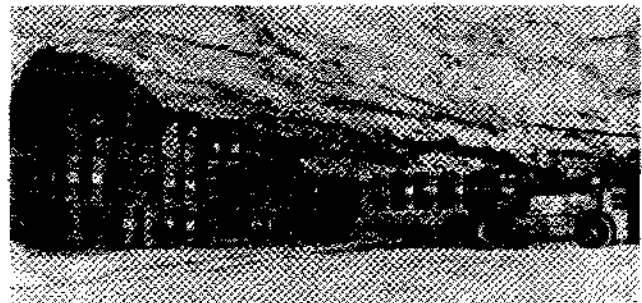
Die Annahmekontrolle findet während der Entladung und Zwischenlagerung in der Annahmehalle übertage statt. Die Unterschrift auf dem Abfallbegleitschein, der für den Beseitigungspflichtigen, den Transporteur und die zuständige Behörde bestimmt ist, wird von der Aufsichtsperson erst dann geleistet, wenn Verpackung, Beschriftung und Inhalt den auf dem "Formblatt A" und in der schriftlichen Annahmefestätigung vereinbarten Bedingungen entsprechen.

Bei fehlerhafter oder beschädigter Verpackung, Palettierung oder Beschriftung wird der geleistete Aufwand für die erforderliche Korrektur dem betreffenden Beseitigungspflichtigen in Rechnung gestellt. Ergeben sich Unklarheiten bei einem Abfall, wird von der zuständigen Aufsichtsperson, in diesem Falle ist dies der Betriebsleiter oder dessen Vertreter, entschieden, ob der betreffende Abfall im Kontrollraum untertage gelagert wird, bis die Klärung der Unstimmigkeiten erfolgt ist, oder aber, ob der Abfall sofort an den Beseitigungspflichtigen zurückgeliefert wird. In jedem Fall wird der Beseitigungspflichtige sofort verständigt. Für die Dokumentation solcher Fälle wird ein besonderes Buch geführt und der beanstandete Zustand ggf. mit einer Polaroid-Kamera festgehalten.

Abgelagerte Stoffe. Als größte einzelne Gruppe werden etwa 8000 t/Jahr Härtesalzrückstände in der Untertage-

Deponie abgelagert, die wegen ihrer Cyanid-, Barium-, Nitrit- und Nitratgehalte in wasserlöslicher Form in übertägigen Anlagen nicht problemlos beseitigt werden können. Durch 10-Jahresverträge mit den deutschen Härtesalzherstellern über die Rückführung dieser Salze ist für jeden Besitzer solcher Stoffe die Möglichkeit der sicheren Beseitigung gegeben. Verschiedene – auch von der Bundesregierung geförderte – Projekte zur Wiederaufarbeitung der Härtesalzzrückstände sind daran gescheitert, daß die Gewinnung von Wertstoffen aus diesen Abfällen bei allen untersuchten Recycling-Verfahren ein negatives Ergebnis hatte: Der Aufwand war größer als der mögliche wirtschaftliche Nutzen.

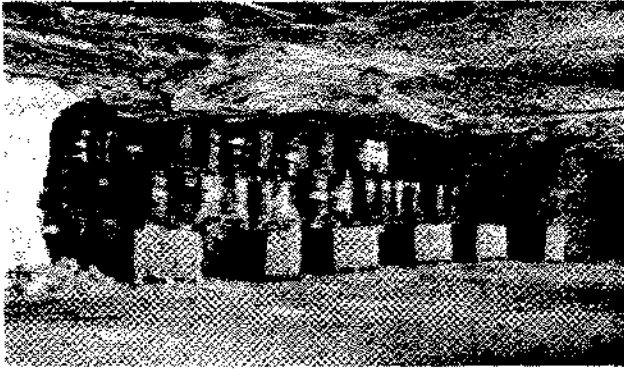
Eine weitere Gruppe sind die hochchlorierten festen Destillationsrückstände aus der Chlorierung von Kohlenwasserstoffen. Auch bei diesen Abfällen ist der Einsatz an Energie bei der möglichen Wiederverwertung der Chlor- und Kohlenwasserstoffgehalte so hoch, daß selbst, wenn man von dem verfahrenstechnischen Aufwand absieht, die



Figur 5. Ablagerung von hexachlorierten Kohlenwasserstoffen.



Figur 6. Ablagerungsräume für hexachlorierte Kohlenwasserstoffe.



Figur 7. Abfälle aus der pharmazeutischen Industrie. Vor der Abmauerung.

bisherigen Recycling-Verfahren mit einer wirtschaftlich negativen Bilanz abschließen.

Eine große Zahl von Destillationsrückständen der organischen Chemie, insbesondere aus der Farbstoffherstellung, der Pflanzenschutzmittelherstellung und der pharmazeutischen Industrie sowie Abfälle, die Blei, Chrom, Cadmium, Arsen, Selen und andere Metalle enthalten, Quecksilber und organische Quecksilberverbindungen enthaltende Stoffe werden in der Untertage-Deponie sicher abgelagert. Für viele von diesen gibt es zur Zeit keine gleichwertigen alternativen Möglichkeiten der umwelt-unschädlichen Beseitigung.

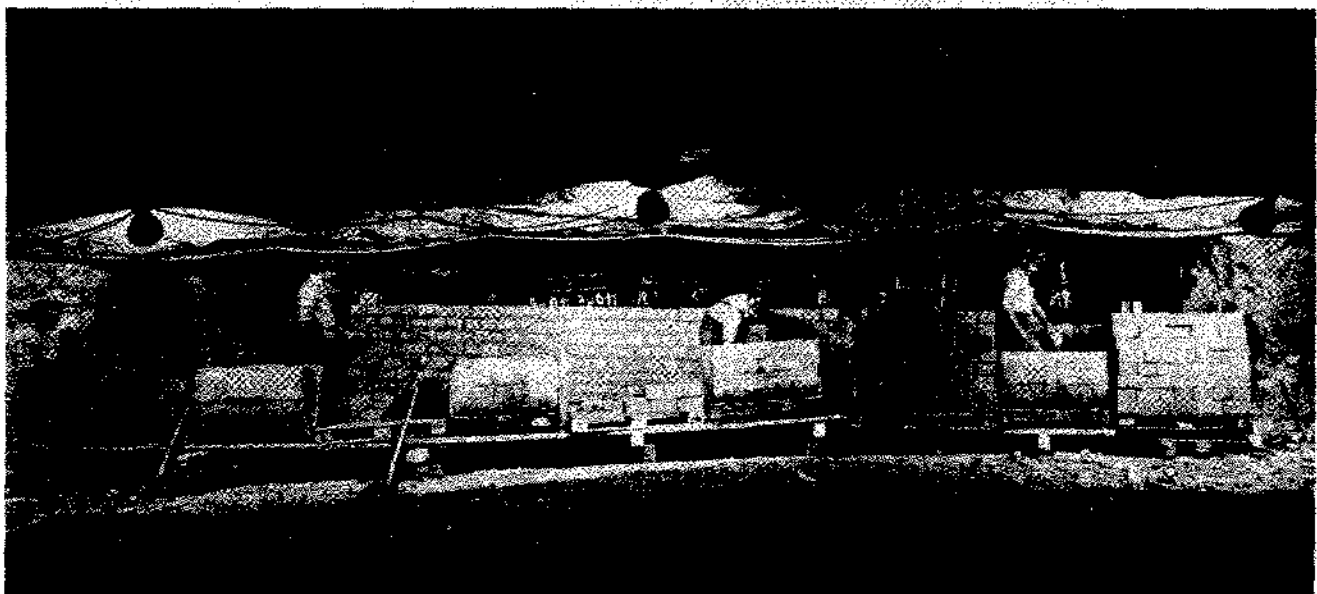
Das gilt auch für eine Gruppe von Galvanik-Rückständen, verbrauchten Oberflächenbehandlungsbädern und Filterschlammern, Labor-Rückstände, insbesondere aus Forschungslaboratorien, und Arzneimittel-Rückstände, bei denen besondere Verpackungsvorschriften vereinbart werden, sind in den letzten Jahren immer häufiger angeliefert

worden. Eine weitere, wenn auch mengenmäßig nicht große Gruppe, sind verbrauchte Katalysatoren aus einer Reihe von Prozessen der chemischen und petrochemischen Industrie. Erwähnenswert sind auch außer Betrieb genommene Kondensatoren und Transformatoren, bei denen PCB (z.B. Clophen, Ascarel) als Isolationsmaterial verwandt wurde, und die Rückstände bei der Wiederaufarbeitung von PCB's.

Diese Aufzählung kann notwendigerweise nicht vollständig sein.

LITERATUR

- Ahorne, L., Murawski, H. und Schneider, G. 1970. Die Verbreitung von schadenverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. *Zeitschr. Geophysik.* 36:313-343, Würzburg.
- Boffey, P.M. 1975. Radioactive Waste Site Search Gets into Deep Water. *Science.* 190:361, New York.
- Dietz, C. 1928. Die Salzlagerstätte des Werra-Kaligebietes. *Arch. Lagerstättenforsch.* 40, Berlin.
- Fenix & Scisson, Inc. 1974. Evaluation of Hazardous Wastes Emplacement in Mined Openings. Report prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.
- Hamstra, J. and Velzeboer, P.T. 1978. Design Study of a Radioactive Waste Repository to be Mined in a Medium Size Salt Dome. V. Internationales Salz-Symposium, Hamburg, 1978.
- Jahresbericht 1969 (Kurzfassung) der Gesellschaft für Strahlenforschung m.b.H., München.
- Johnsson, G. 1977. Die Untertage-Deponie Herla-Neurode. Müll- und Abfallbeseitigung (Müll-Handbuch)-8193, Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- Kühn, K. 1976. Zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. *Atomwirtsch. Atomtechn.* 21:357-362, Düsseldorf.



Figur 8. Abmauerung eines Ablagerungsraumes.

- Gimm, W., Häfner, H. P. und Markgraf, P. 1976. Gegenwärtiger Stand der Beherrschung der CO₂-Gasgefahren im Werra-Kalibergbau der DDR. IX. Weltbergbau-Kongress, II-22 (Verlag Glückauf).
- Martínez, J. D., Thoms, R. L., Kolb, C. R. und Smith, Jr., C. G. 1978. The Assessment Model for Salt Dome Stability—Tectonic and Hydrologic. V. Internationales Salz-Symposium, Hamburg 1978.
- Messer, E. 1978. Die nordhessischen Kaligruben. Kali und Steinsalz, 7:206–318, Essen.
- Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (NATO). Comité sur les Défis de la Société Moderne (CCMS) (1977): Le Dépôt Souterrain. 41 S.
- Richter, D. und Körner, W. 1976. Disposal of Radioactive Wastes Produced in Nuclear Installations in the GDR. IAEA/NEA—Symposium on Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle, IAEA-SM-207/44, Wien.
- Simpson, F. 1978. Solution-Controlled Collapse Structures in Carbonate-Evaporite Sequences: Their Significance in Planning of Underground Storage Strategy. V. Internationales Salz-Symposium, Hamburg 1978.
- Uhlenbecker, F. W. 1978. Neuere Forschungsergebnisse in der Gebirgsmechanik im Hinblick auf den Abbau von carnallitischen Kaliflözen. V. Internationales Salz-Symposium, Hamburg, 1978.