

Professor Dr. Klaus Kühn

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Forschungsbergwerk Asse

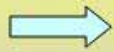
Sehr geehrte Damen und Herren,



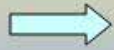
ich möchte Ihnen einen ganz kurz und knapp gefassten Überblick über die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geben, die wir im Laufe der Zeit im Forschungsbergwerk Asse durchgeführt haben, Arbeiten, die diesem Bergwerk seinen Namen gaben.



Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland



Eignungsuntersuchung des Salzstocks Gorleben als Standort eines zukünftigen Endlagers



Pilotversuche im Salzbergwerk Asse

Versuchseinlagerung von 125.000 Behältern mit schwachradioaktiven Abfällen (1967 – 1978)

Versuchseinlagerung von 1.300 200-l-Fässern mit mittelradioaktiven Abfällen (1971 – 1978)

In-situ-Versuche zur Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen

Ziel war es, für ein geplantes Endlager im Salzstock Gorleben die entsprechenden Techniken und die wissenschaftlich-technischen Daten zu ermitteln und bereit zu stellen. Der Salzstock Gorleben war in der Eignungsuntersuchung. Wir von der GSF sollten im Forschungsbergwerk Asse die entsprechenden Technologien und wissenschaftlichen Untersuchungen durchführen.

Die Pilotversuche im Salzbergwerk Asse erstreckten sich einmal auf die Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, diese Techniken hat Herr Meyer eben vorgestellt.



Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland

In-situ-Versuche zur Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen

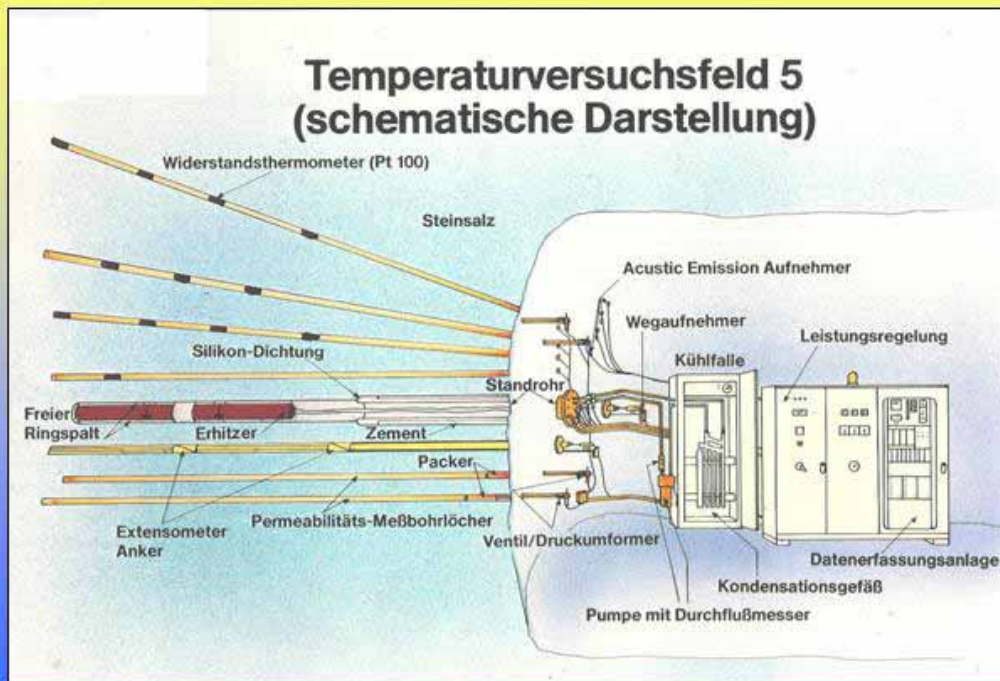
Temperaturversuche 1 bis 6 (1967 – 1985)

**Deutsch-amerikanischer HAW-Simulationsversuch
mit Kobalt-60-Quellen (1983 – 1985)**

**Demonstrationseinlagerung hochradioaktiver Abfälle
im Salzbergwerk Asse (1989 – 1994)**

Und wir haben zahlreiche In-situ-Versuche zur Einlagerung von hochradioaktiven Abfällen durchgeführt, seien es verfestigte hochradioaktive Abfälle, wie sie bei der Wiederaufarbeitung von bestrahlten Brennstoffen entstehen oder seien es die bestrahlten Brennstoffe selbst.

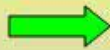
Insbesondere zielte die Entwicklungsarbeit darauf, die Temperatur- und Strahlenwirkungen von hochradioaktiven Abfällen in Wechselwirkung mit dem Salzgestein zu untersuchen. Dazu haben wir so genannte Temperaturversuche durchgeführt, und zwar sechs an der Zahl im Zeitraum zwischen 1967 und 1985. Es wurde ein nächster Schritt – die Kombination von Wärme und Strahlung – in Form des so genannten Kobalt-60-Versuches durchgeführt, ein deutsch-amerikanischer Gemeinschaftsversuch in den Jahren 1983 bis 1985. Anschließend war geplant, von 1989 bis 1994 die echte Demonstrationseinlagerung mit verglasten hochradioaktiven Abfällen in der Asse durchzuführen. Dazu ist es dann aber nicht mehr gekommen. Ich werde das gleich noch kurz erläutern.



Hier sehen Sie einen schematischen Querschnitt durch das Temperaturversuchsfeld 5. Kernpunkt ist ein elektrischer Erhitzer, mit dem die Wärmeproduktion der hochradioaktiven Abfälle simuliert wurde, mit einer ganzen Reihe von Bohrungen, die mit Messeinrichtungen bestückt waren, um die entsprechenden Daten In-situ, d. h. vor Ort, zu erfassen.



Temperaturversuch 5



**Untersuchung der thermischen Zersetzung von Polyhalit
($2\text{CaSO}_4 \times \text{K}_2\text{SO}_4 \times \text{MgSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$)**



Ergebnis: Signifikante Zersetzung über 230°C



**Untersuchung der Permeabilität m von Steinsalz in der
Umgebung von Einlagerungsbohrlöchern**



Ergebnis: $m = 10^{-23} - 10^{-21} \text{ m}^2 = 10^{-16} - 10^{-14} \text{ m/s}$



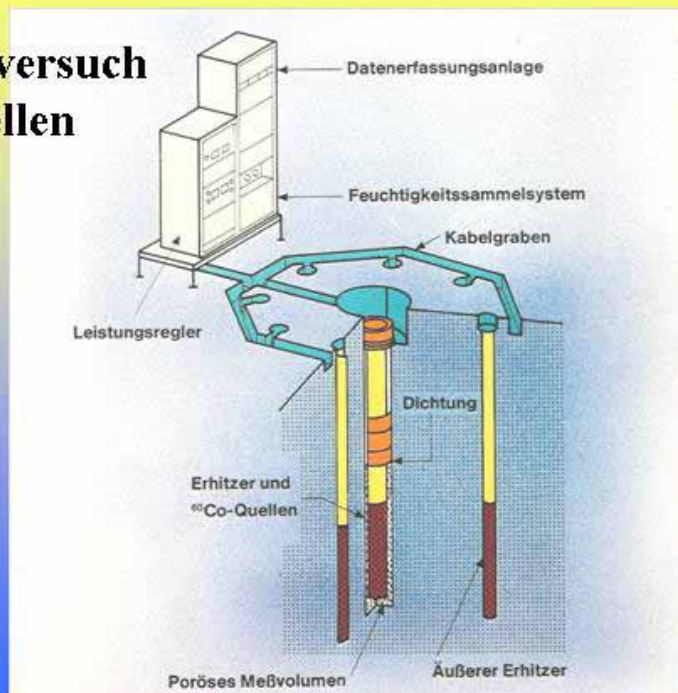
Folgerung: maximal zulässige Salztemperatur 200°C

Eines der hauptsächlichsten Ergebnisse dieses Temperaturversuches war, dass das Salzmineral Polyhalit, dessen chemische Formel hier angegeben ist, sich bei einer Erwärmung über eine Temperatur von 230° C zersetzt.

Es ist auch die Permeabilität, d. h., die Durchlässigkeit des Steinsalzes für Flüssigkeiten und Gase in diesen Versuchsreihen untersucht worden, und hier ist das Ergebnis: Das Salz hat eine außerordentlich geringe Durchlässigkeit für Flüssigkeiten und Gase, und das zeichnet es aus gegenüber anderen Wirtsgesteinen, die ja auch international für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen untersucht werden. Salz ist also dicht gegenüber Flüssigkeiten und Gasen. Das bewirkt, dass im Normalfall keinerlei Zutritte von Außen erfolgen. Aus den gesamten Temperaturversuchen haben wir dann die Schlussfolgerung gezogen, dass die im Endlager im Salz maximal zulässige Temperatur nicht höher als 200° C sein sollte.



HAW-Simulationsversuch mit Kobalt-60-Quellen



23. September 2001

Bitte auf dem Weg von rickmann Seibert weg

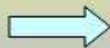
10

Ein Schnitt durch den Kobalt-60-Versuch ist hier auf dieser Abbildung zu sehen. In dem Zentralbohrloch waren ein elektrischer Erhitzer und eine Kobalt-60-Quelle eingebracht und ringförmig – acht an der Zahl – zusätzliche elektrische Erhitzer, um die in der Versuchsbeschreibung festgelegte Spezifikation zu erreichen. Wir haben damit den maximalen Belastungszustand des Endlagers, nämlich eine Wärme von 230° C erreicht und einen bestimmten Temperaturgradienten vorgegeben. Zusätzlich konnten wir eben durch die Kobalt-60-Quellen den Einfluss der ionisierenden Strahlung auf das Salz untersuchen.



HAW-Simulationsversuch mit Kobalt-60-Quellen

Folgerungen



Die Freisetzung flüchtiger Komponenten erfolgt weitgehend nach der KNUDSON-Diffusionsgleichung



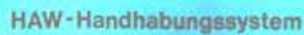
Die Migration von Flüssigkeitseinschlüssen ist vernachlässigbar



Die thermomechanischen Meßergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen von Modellrechnungen überein

Die wesentlichsten Ergebnisse der Untersuchungen im Kobalt-60-Versuch sind hier zusammengefasst. Die Freisetzung und Bewegung der flüchtigen Komponenten, also Gase und Flüssigkeiten, erfolgten nach einer Knudson-Diffusionsgleichung. Ziel war ja auch, Berechnungsmethoden für die einzelnen Vorgänge festzulegen und zu ermitteln, damit dann auf diesen Grundlagen die Planung für ein Endlager durchgeführt werden konnte. Die Migration von Flüssigkeitseinschlüssen, die es in geringen Mengen im Salz gibt, ist vernachlässigbar. Das war auch ein wichtiger Punkt, der heftig in der wissenschaftlichen Welt diskutiert worden war. Und ganz wesentlich, die thermomechanischen Messergebnisse stimmen sehr gut mit den Modellrechnungen überein.

Dies bedeutet, es steht mittlerweile ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dem die thermische Belastung des Endlagers ermittelt werden kann. Ich erwähnte, dass dann der so genannte HAW-Versuch, die Versuchseinlagerung von hochradioaktiven Abfällen, geplant war. Herr Pfeifer erwähnte, dass er 15 Jahre bei der GSF auf der Schachtanlage Asse gearbeitet hat. Das war praktisch sein Projekt, an dem er ganz wesentlich mitbeteiligt war.



Es war vorgesehen, 15 verglaste hochradioaktive Abfallbehälter zur Asse anzutransportieren, sie dann auf dem Gelände in einen Asse-Einzeltransportbehälter umzuladen, diesen durch den Schacht nach unter Tage auf die 800-m-Sohle zu bringen und die Abfälle dort in einer verrohrten Bohrung einzulagern.



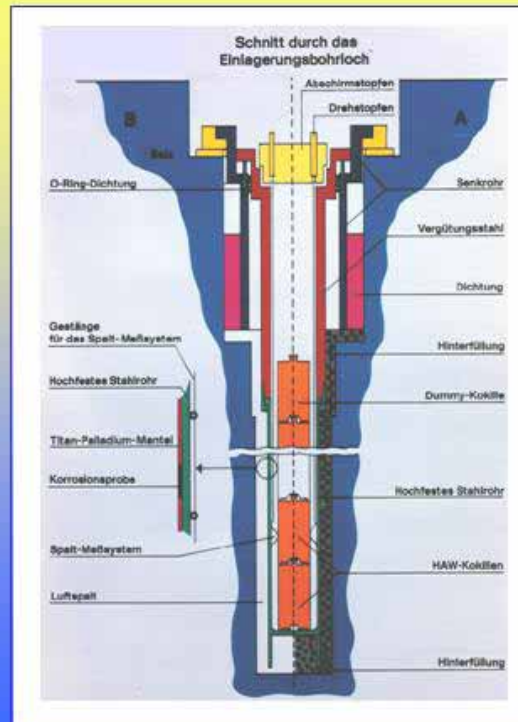
HAW-Versuch: Ziele der Versuchseinlagerung

- ➡ **Untersuchung der Freisetzung (Raten und Mengen) von Wasser- und Gaskomponenten als Folge der Wärmefreisetzung und der Gammastrahlung**
- ➡ **Entwicklung und Erprobung eines Handhabungs-, Transport- und Einlagerungssystems für hochradioaktive Abfälle**
- ➡ **Untersuchung der infolge der Wärmefreisetzung induzierten Spannungs- und Verformungsfelder im Versuchsfeldbereich und nachfolgende Überprüfung der aus Modellrechnungen gewonnenen Ergebnisse**
- ➡ **Entwicklung und Erprobung geeigneter Meßmethoden zur Sicherheitsüberwachung eines Endlagers während der Bau- und Betriebsphase**

Ziel war - wie auch schon bei den Versuchen vorher - Untersuchung der Freisetzung von Wasser- und Gaskomponenten in Folge von Wärmefreisetzung und Gammastrahlung. Weitere wichtige Ziele waren die Entwicklung und Erprobung eines Handhabungs-, Transport- und Einlagerungssystems, die Wärmefreisetzung und schließlich auch geeignete Methoden zur Sicherheitsüberwachung eines Endlagers zu definieren.



HAW-Versuch



Da die Asse keine Genehmigung besaß, die hochradioaktiven Abfälle zur Endlagerung zu bringen, mussten wir Vorkehrungen treffen, die dort einzubringenden Abfälle nach Versuchsende wieder auszubauen und wieder abzutransportieren. Deshalb wurde eine Verrohrung in die Einlagerungsbohrlöcher eingebracht.



HAW-Versuch: Einlagerung der Versuchsbehälter



23. September 2001

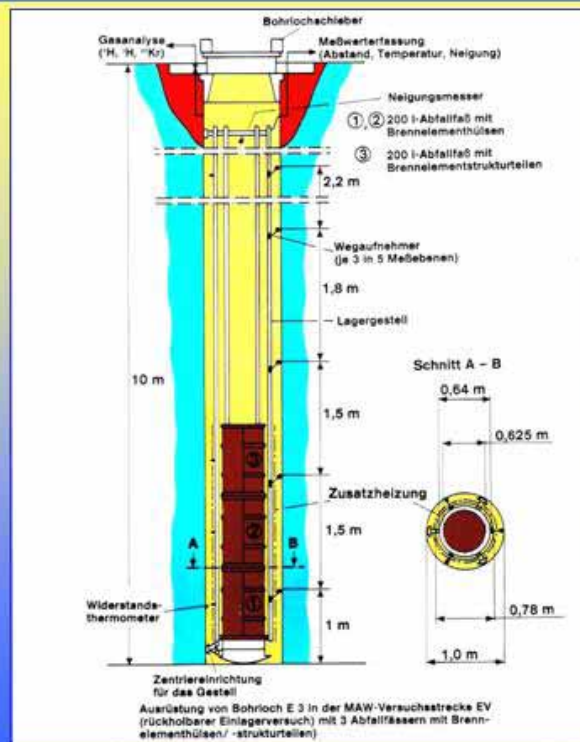
Kühne Auf dem Weg zum nächsten Schichtzug

11

Alle Versuchseinrichtungen waren unter Tage vorhanden und sind von der zuständigen Behörde und vom Technischen Überwachungsverein abgenommen worden. Aus übergeordneten Gründen, die seinerzeit in Bonn zu suchen waren, ist es aber nicht zur Vollendung dieses Versuches gekommen. Wir haben zwar die Erprobungsphasen ohne Radioaktivität erfolgreich abgeschlossen, aber zum eigentlichen Versuchsziel, nämlich der geplanten Einlagerung von verglasten hochradioaktiven Abfällen, ist es nicht gekommen.



MAW- und HTR-BE Versuchseinlagerung In Bohrlöchern



Das gleiche trifft für die Versuchseinlagerung von mittelradioaktiven Abfällen und HTR-Brennelementen zu, die auch hier vorgesehen war. Hier ist eine schematische Zeichnung des Unter-Tage-Versuches, wie er geplant und eingerichtet worden ist.



MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern

Zielsetzung des F&E-Vorhabens:

Bereitstellung einer Technik für die Endlagerung von Feedklärschlämmen, Brennelementhülsen und verbrauchten HTR-Brennelementen in unverrohrten Bohrlöchern im Salz und deren Erprobung

Teilvorhaben I: Einlagerungs-/Bohrlochverschlußtechnik

- **Komponentenentwicklung für Endlager**
- **Sicherheitstechnische Nachweise**
- **Kalterprobung mit prototypischen Komponenten im Salzbergwerk Asse**

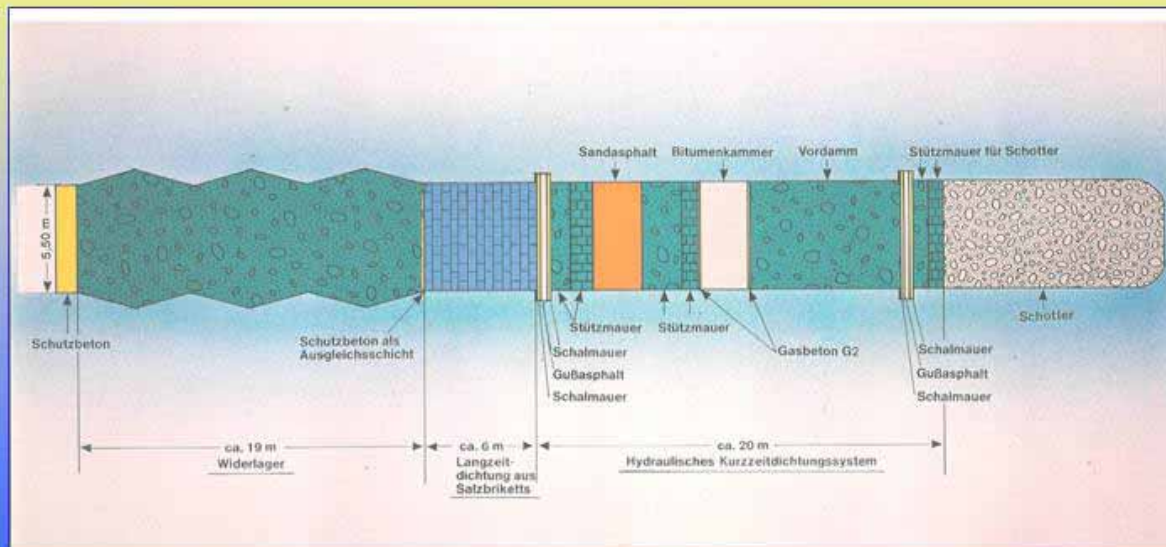
Teilvorhaben II: Rückholbarer Einlagerungsversuch

- **Gasfreisetzung aus Abfallgebinden**
- **Wechselwirkungen zwischen Salzgestein und Abfallgebinden**
- **Rückholbare Versuchseinlagerung mit echten Abfallgebinden**

Die Versuchsziele sind hier aufgeführt. Die Bereitstellung der Technik für die entsprechenden radioaktiven Abfälle, der Teil I – Einlagerungs- und Bohrloch-Verschlußtechnik – ist durchgeführt worden. Zum Teilvorhaben II, nämlich dem echten rückholbaren Einlagerungsversuch von mittelfradioaktiven Abfällen, ist es aus den gleichen Gründen nicht gekommen, wie eben schon für den HAW-Versuch erwähnt.



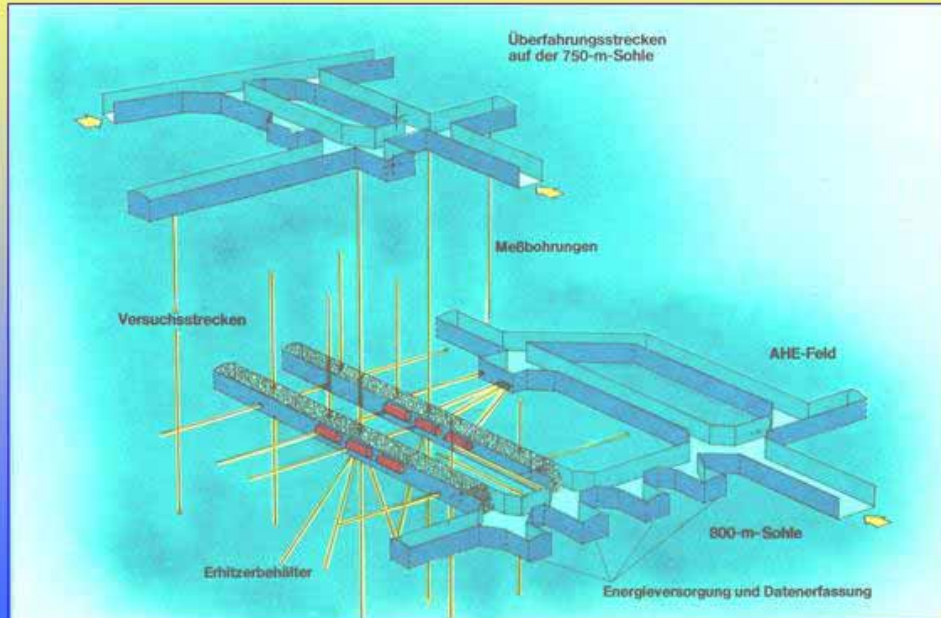
Dammbau im Salzgebirge Aufbau des Versuchsdamms



Gleiches Schicksal hat ein drittes großes Projekt erlitten, das eigentlich nach wie vor aktuell ist. Es musste ein Dammbau erprobt werden. Hier ist der Aufbau eines solchen Versuchsdamms skizziert, den wir seinerzeit in Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen vorgelegt hatten. Die Konzeption stand, es sind auch entsprechende untertägige Vorkehrungen getroffen worden, allerdings ist auch dieses Vorhaben aus politischen bzw. finanziellen Gründen nicht realisiert worden.



Thermische Simulation der Streckenlagerung Aufbau des Versuchsfelds



25. September 2001

Führe Auf dem Weg von rechts nach links

13

Das Experiment, welches von Anfang bis Ende durchgeführt worden ist, ist auf diesem Schema zu sehen: Die Thermische Simulation der Streckenlagerung, d. h. die Untersuchung der Einbringung eines Behälters mit bestrahlten Brennelementen, der natürlich in diesem Fall nicht bestrahlte Brennelemente enthielt, sondern elektrische Erhitzer zur Simulation. In zwei Strecken auf der 800-m-Sohle sind sechs dieser Behälter eingebracht worden. Dann ist der Streckenhohlraum um diese Behälter verfüllt worden, und die Erhitzer wurden eingeschaltet.



Thermische Simulation der Streckenlagerung

**Ein Beitrag zum Nachweis der Durchführbarkeit
der direkten Endlagerung**

**Untersuchung der thermomechanischen Reaktionen
von Versatz und Gebirge auf die Aufheizung**

Überprüfung thermomechanischer Rechenmodelle

**Erprobung von Meßmethoden für die Überwachung und
Beweissicherung im Endlager**

Auswahl und Demonstration des Versatzverfahrens

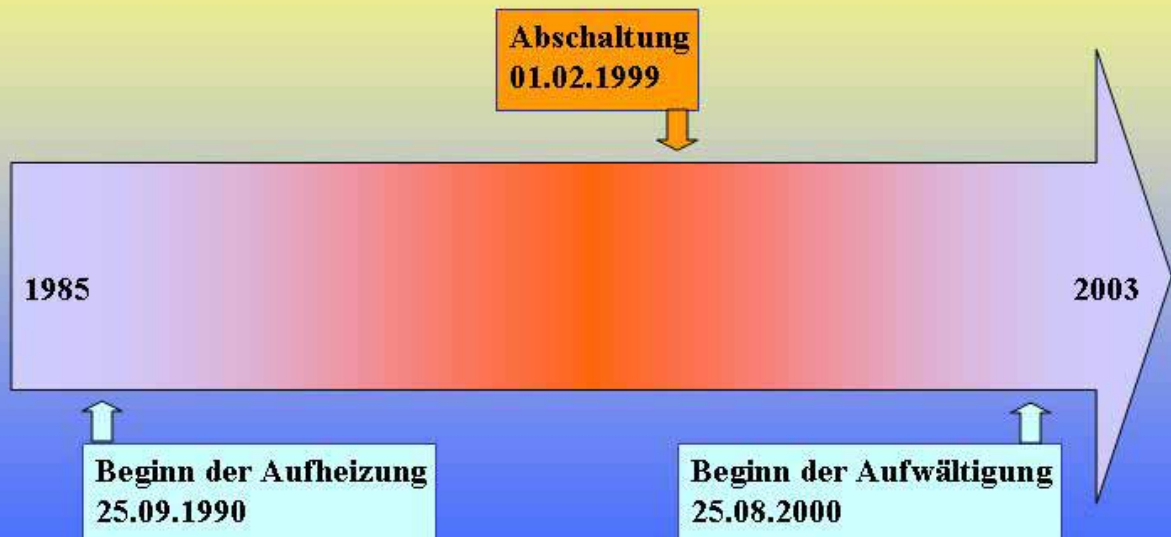
Laboruntersuchungen zur Charakterisierung des Versatzes

Untersuchung der Korrosion von Behälterwerkstoffen

Hier sind die wichtigsten Ziele und Ergebnisse zusammengefasst, ich brauche sie im Einzelnen nicht vorzulesen. Ziel war es hauptsächlich, die Wechselwirkung des eingebrachten Wärmeeintrages mit dem Versatz zu untersuchen. Dieser Versuch ist erfolgreich durchgeführt worden.



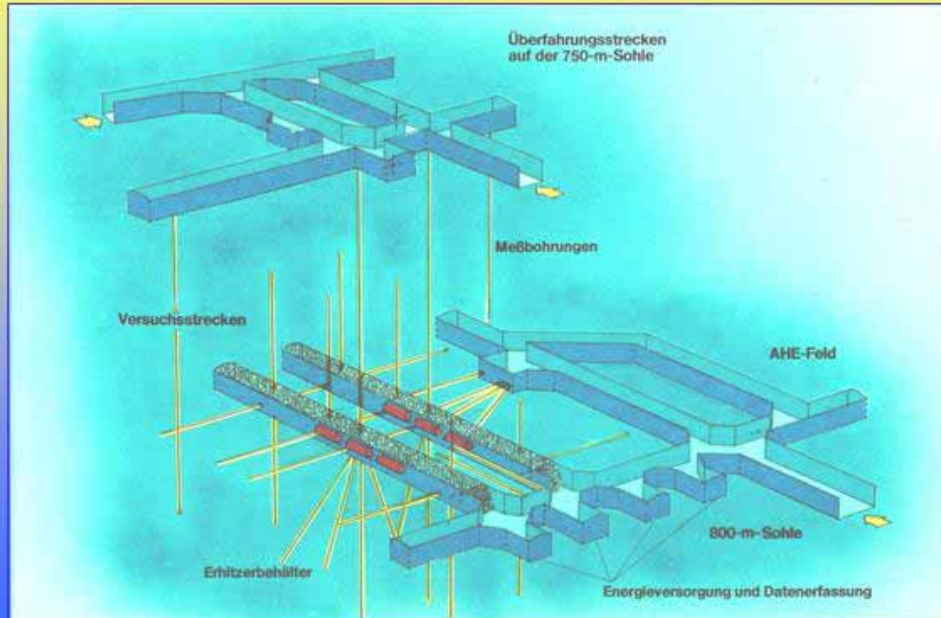
Thermische Simulation der Streckenlagerung



Wie auf dieser Grafik zu sehen ist, von 1990 bis zum Jahre 1999, also über einen Zeitraum von neun Jahren, sind die elektrischen Erhitzer dieses Versuches in Betrieb gewesen. Nach der Abschaltung haben wir die Behälter freigelegt, um insbesondere die Untersuchungen durchführen zu können, wie sich das Versatzmaterial durch die Aufwärmung verhalten hat. Aber auch, um Korrosionsproben zu bergen, die sich auf den Oberflächen dieser Behälter befunden haben.



Thermische Simulation der Streckenlagerung Aufbau des Versuchsfelds



25. September 2001

Führe Auf dem Weg von rickhamen Schicht weg

18

Dieser Versuch ist, wie gesagt, zu Ende geführt worden, hat erfolgreiche Ergebnisse erzielt und wir hoffen, dass die deutsche Endlagerproblematik einmal so weit kommt, dass sie auch erfolgreiche Nutzung von diesen Ergebnissen zieht.

Herzlichen Dank.



Schachtanlage Asse

Die Zeit der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten



23. September 2001

Fotografie auf dem Weg von richardson Schicht weg

19