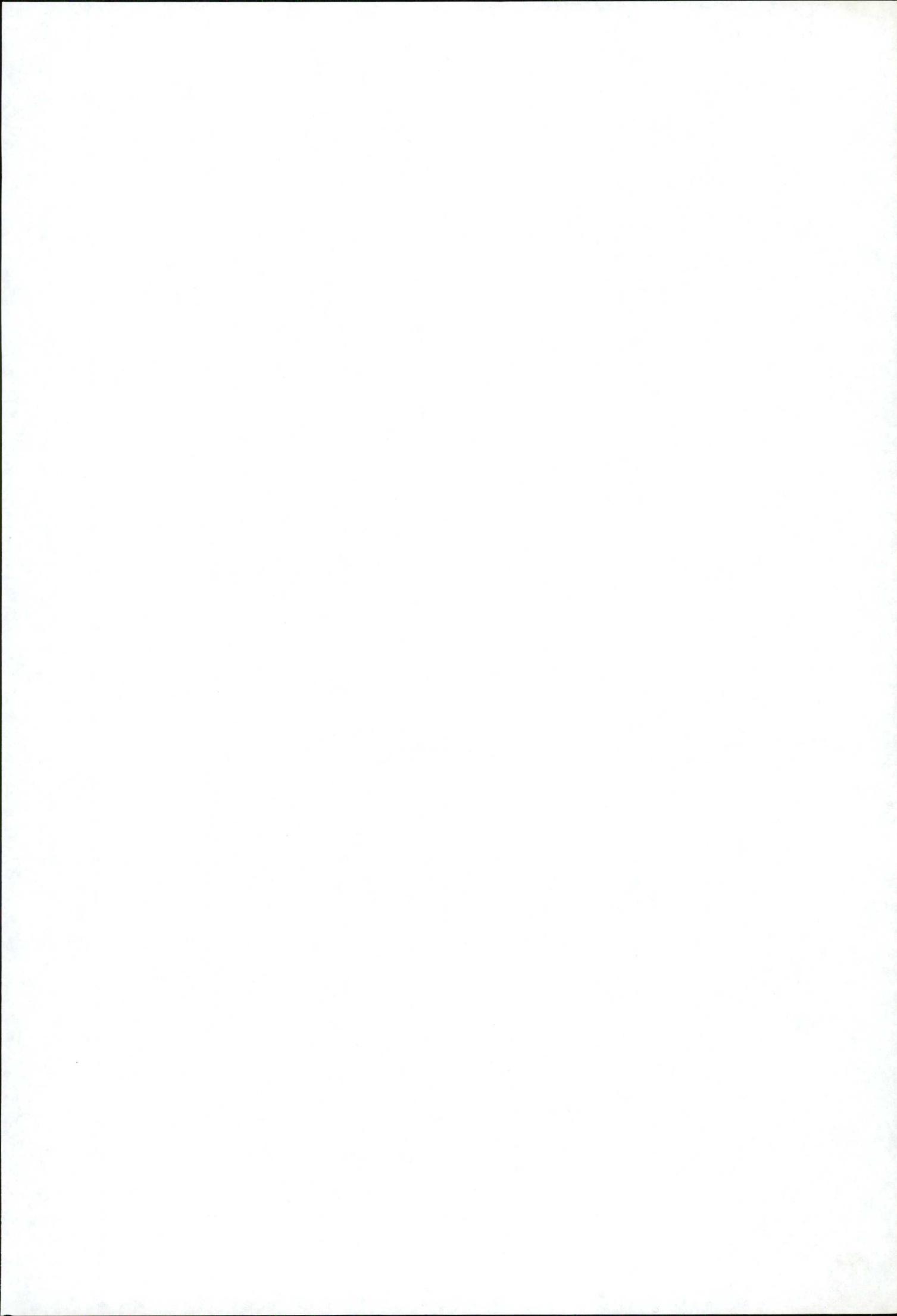


PRÜFUNG UND BEWERTUNG
DER VON DER
PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT BRAUNSCHWEIG (PTB)
BEIM
NIEDERSÄCHSISCHEN UMWELTMINISTERIUM (PLANFESTSTELLUNGSBEHÖRDE)
VORGELEGTE ANTRAGSUNTERLAGEN
AUF ERRICHTUNG UND BETRIEB DER
SCHACHTANLAGE KONRAD
ALS
ENDLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE

Dr. Pieles + Dr. Gronemeier
CONSULTING GMBH

Beratende Geologen und Ingenieure





Dieser Bericht enthält VI und 72 Seiten, 1 Tabelle, 5 Abbildungen

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	I
2	Einleitung	V
3	Beschreibung des Endlagers und Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens. Geologische, hydrogeologische Verhältnisse und Modelle	1
3.1	Standort	1
3.2	Geologischer Rahmen	3
3.2.1	Stratigraphie	3
3.2.2	Sedimentpetrographie (mit Berücksichtigung der Geochemie)	10
3.2.3	Strukturgeologie	14
3.3	Lagerstätte	16
3.4	Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse und Modelle	19
3.4.1	Hydrologie und Wasserwirtschaft	19
3.4.2	Hydrogeologie und Hydrochemie	20
3.4.3	Isotopenuntersuchungen	24
3.4.4	Mineralquellen	25
3.4.5	Gasanalysen	27
3.4.6	Betrachtungen zu den Modellrechnungen	28
3.4.6.1	Zu den geologischen Begrenzungen des modellierten Gebietes	30
3.4.6.2	Hydrogeologische Kennwerte	34
3.4.6.3	Randbedingungen	37
3.4.6.4	Validierung des Modells	39
3.4.6.5	Beurteilung der Modellierung und Konsequenzen	43
4	Gebirgsmechanische Bewertung	45
4.1	Geodätische Messungen	45
4.2	Verformungsmessungen in Strecken und Kammern	46
4.3	Schachtteufenmessungen	48
4.4	Verformungsmessungen in geneigten Meßbohrungen	49
4.5	Spannungsmessungen	49
4.6	Bergmännische Erfahrungen	50
4.7	Gebirgsmechanische Bewertung	50
4.8	Detailmodell (Kammer/Festen-Modell)	52
4.9	Schwachstellen und Konsequenzen	53

5	Geologische Langzeitprognose	56
6	Störfallanalysen für Störfälle unter Tage	57
7	Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins	60
8	Erdbeben- und Langzeitsicherheit	61
8.1	Erdbebensicherheit	61
8.2	Langzeitsicherheit	62
8.2.1	Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude	62
8.2.2	Sorption	63
8.2.3	Dispersion	64
9	Abschluß des Betriebes	65
10	Literaturverzeichnis	69

1 Zusammenfassung

Aus der Prüfung und Bewertung der von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (PTB) beim Niedersächsischen Umweltministerium (Planfeststellungsbehörde) vorgelegten Antragsunterlagen für die Errichtung und den Betrieb der Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle sind die folgenden wesentlichen Ergebnisse und Vorschläge abgeleitet.

Die **standortlichen Basisdaten** zur Beschreibung des Endlagers sowie zur Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens sind nach Art und Umfang nicht immer angemessen und ausreichend erhoben, interpretiert und/oder an internationalen Kriterien orientiert worden.

Die **geologische Situation** des Standortes wird nicht immer in geeigneter nachvollziehbarer Weise dargestellt. Bei der Prüfung der Daten ist es schwer bis oftmals nicht möglich, geprüfte Daten von Annahmen zu unterscheiden. Gravierende Mängel bestehen darin, daß die Diskussion der Berandungsgeologie (Umgebung der Salzstöcke) nur auf Schlüssen aus geophysikalischen Messungen basieren und nicht durch geologische Beobachtungen belegt werden. Ebenso beruhen die Kenntnisse des Liegenden der Grube Konrad ausschließlich auf Analogieschlüssen und sind nicht durch Bohrungen belegt. Ferner ist eine Lücke in der Dokumentation des unmittelbar Liegenden der Grube Konrad vorhanden.

Insgesamt ziehen sich Unstimmigkeiten und Detaillücken durch diese Gruppe der Basisdaten.

Die **hydrogeologischen Verhältnisse** scheinen nicht durch einen klar gegliederten Stockwerksbau sowie fehlende hydraulische Vernetzungen gekennzeichnet zu sein. Oberflächennahe hydraulische, hydrochemische und thermische Anomalien und Unregelmäßigkeiten lassen eher gegenteilige Schlußfolgerungen zu, zumal zu deren Interpretation nicht relevante anthropogene Einflußfaktoren im Plan aufgeführt werden.

Bei detaillierter und umfassender Berücksichtigung der hydraulischen Vorkommnisse in den Schächten und Tiefenauf-

schlüssen sowie der speziellen Chemismen der Tiefengrundwässer wären die Vorstellungen der Verfasser hinsichtlich des sicherheitsanalytischen Ausschlusses eines Wassereintritts in das Grubengebäude während der Betriebsphase zu revidieren. Auch die Vorstellungen hinsichtlich der **Geohydraulik** im gesamten Untersuchungsgebiet sind kritikwürdig, weil zur Synopse der Geohydrologie so wichtige Untersuchungen wie Isotopenstudien, Gasanalysen, Druckmessungen und Mineralwasservorkommen unberücksichtigt geblieben sind.

Die bemängelten Standortdaten, welche z.T. ungenügend erhoben, belegt und nicht zutreffend interpretiert werden, sind in die Modellierungen des Grundwasserfließsystems und der Radionuklidausbreitung, also in die **Langzeitsicherheitsanalyse**, eingeflossen.

Der Gutachter kommt zu dem Schluß, daß die im Plan beschriebene **Modellierung** nicht dem internationalen Standard entspricht.

Die Qualität der Input-Parameter erlaubt zudem keine Validierung des Modells, zumal die Randbedingungen nur ungenügend bekannt bzw. dargestellt sind.

Als Folge aus den hierzu unzureichenden Antragsunterlagen können sich räumliche und zeitliche Änderungen hinsichtlich der im Plan vorgestellten Migrationswege und -zeiten ergeben, sodaß die dort gegebenen Schlußfolgerungen zur Langzeitsicherheit in der Nachbetriebsphase anzuzweifeln sind.

Bei der Auslegung des Endlagers Konrad wurden Störfälle auf der Basis von **Störfallanalysen** berücksichtigt. Die für die Festlegung der Störfälle verwendete Logik, wonach verschiedene Typen von Unfällen, die möglicherweise zum Austritt von Radioaktivität aus den Gebinden führen können, analysiert werden, entspricht dem heutigen Stand der Technik.

Die Kritik an den vorgelegten Plan-Unterlagen bezieht sich hierzu insbesondere auf mangelnde Detailberichte wie Störfalltest- und Rückhalteexperimente, nicht transparente Rechenmethoden, ungenügende Querreferenzen und mangelnden Bezug auf internationale Arbeiten. Bei deren Vorliegen würde die

Plausibilität der Ergebnisse wesentlich erhöht.

Die Berechnungen zur **thermischen Beeinflussung** des Wirtsgesteins werden akzeptiert unter der Voraussetzung der vorgeschlagenen Begrenzungsfaktoren und Qualitätskontrollen.

Der **Abschluß des Betriebes** wird untertägig durch Restverfüllen sowie Verschließen des Grubengebäudes und der Schächte vorgenommen. Während für die Vorgaben und das vorgelegte Konzept für die Schachtverfüllung und den Aufbau des Schachtverschlusses die Sicherheitsanforderungen erfüllt werden, sind generelle Schwachstellen in materialtechnischer und hydraulischer Hinsicht bei den bestehenden Schachtausmauerungen und ihren Verbindungen zum Gebirge zu sehen. Ohne entsprechende Untersuchungen kann im Zusammenhang mit dem Einwirken hochsalinärer Tiefenwässer auf das Restverfüllmaterial in dem Grubengebäude, auf die Schachtmaterialien sowie auf die Gebinde kein Nachweis einer dauerhaften und wartungsfreien Unterbindung von Ausbreitungen der Radionuklide bis in die Biosphäre postuliert werden.

Es wird zusammengefaßt:

Die Antragsunterlagen sind generell unzulänglich; nur in groben Zügen wird dargestellt, welche Überlegungen zugrunde liegen.

Bei den Detailaspekten ist es oftmals unmöglich zu entscheiden, ob Annahmen getroffen wurden (und wie gut solche fundiert waren) oder ob geprüfte Daten vorhanden waren.

Daß zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden sind, ist ersichtlich; es fehlt aber häufig der Bezug auf technische Berichte oder auf die einschlägige internationale Literatur. Dieser Weg wurde vielleicht gewählt, um den Bericht für Laien lesbar zu gestalten, für den wissenschaftlichen Leser wirkt er aber eher verwirrend und unseriös.

Die Fragen:

1. Sind die Unterlagen prüfbar?
2. Sind die Unterlagen vollständig?
3. Sind die Sicherheitsberechnungen nachvollziehbar?

müssen mit **"teilweise"** oder **"nein"** beantwortet werden. Eine Prüfung des allgemeinen Vorgehens ist zwar möglich, wegen mangelnder Referenzmaterialien und der manchmal vagen Formulierungen können die Plan-Unterlagen jedoch nicht als vollständig angesehen werden. Vor allem aber ist kaum ein quantitativer Bescheid bzw. kaum ein Resultat nachvollziehbar.

2 Einleitung

Die Schachtanlage Konrad im Stadtgebiet von Salzgitter wird auf Weisung des Bundes von den Stahlwerken Peine-Salzgitter AG (P+S) offengehalten, um sie auf eine Nutzung hinsichtlich der Endlagerung von radioaktiven Abfällen zu untersuchen und bei entsprechender Eignung als Endlager einzurichten.

"Im Einvernehmen mit der Bundesregierung hat die PTB auf der Basis des Abschlußberichtes der GSF am 31. August 1982 bei der zuständigen Obersten Landesbehörde - seit dem 15.07.1986 der Niedersächsische Umweltminister (NMU) - als atomrechtliche Planfeststellungsbehörde den Antrag auf Einleitung des Planfeststellungsverfahrens gemäß § 9b AtG gestellt. Mit diesem Antrag ist ein weiterer Schritt des Bundes zur zeitgerechten Realisierung des Gesetzesauftrages nach § 9a Abs.3 AtG getan worden" (1).

In den Jahren 1975-1982 führte die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) im Auftrage des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) eine Eignungsuntersuchung an der Schachtanlage Konrad durch im Hinblick auf eine mögliche Einrichtung als Endlager für radioaktive Abfälle. Der Abschlußbericht der GSF wurde im Oktober 1983 im Auftrage der Stadt Salzgitter durch das Institut für Ökologische Forschung und Bildung - Gruppe Ökologie, Hannover, begutachtet. Die Gutachtergruppe kommt zu folgender Wertung der vorgelegten GSF-Studie:

"...daß die Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen und Stilllegungsabfällen durch die Untersuchungen der GSF nicht belegt und die kerntechnische Sicherheit des Betriebes nicht nachgewiesen werden. Dies gilt verstärkt auch für andere Arten radioaktiver Abfälle. Bei den Untersuchungen der GSF wurden unangemessene Methoden verwendet, Daten einseitig interpretiert und wichtige Bereiche nicht untersucht. Nach konservativen Sicherheitsbetrachtungen auf der Grundlage der Modellrechnungen der GSF sind unzulässige Radionuklidfreisetzungen aus dem Endlager nicht auszuschließen" (2).

Mit Stand 9/86 wurde von der PTB der "Plan", der die Grundlage für das atomrechtliche Planfeststellungsverfahren darstellt, in zwei Textbänden und einem Anlagenband vorgestellt.

Die Stadt Salzgitter, vertreten durch den Oberstadtdirektor, beauftragte das Büro Dr. Pieleles + Dr. Gronemeier CONSULTING GmbH - Beratende Geologen und Ingenieure - Kiel, mit Schreiben vom 27.03.1987, eine gutachterliche Beratung als sachverständige Dritte zur Prüfung und Bewertung der Antragsunterlagen mit detailliert vorgegebener Aufgabenstellung vorzunehmen.

Mit der Bearbeitung z.T. anderer Schwerpunkte wurden die bereits genannte Gruppe Ökologie, Hannover, sowie das Battelle-Institut, Frankfurt, beauftragt.

Der vorliegende Plan der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt wurde eingehend geprüft und bewertet.

Das Ergebnis der Prüfung und Bewertung wird in dem vorliegenden Gutachten dargestellt.

Kiel, im Juli 1987

Die Verfasser

3 Beschreibung des Endlagers und Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens. Geologische, hydrogeologische Verhältnisse und Modelle

Bezug zu den Kapiteln 3.1 - 3.1.10.6.

3.1 Standortdaten

Im folgenden Abschnitt wird auf die Kapitel 3.1 - 3.1.6 der Plan-Unterlagen Bezug genommen.

Die in dem Plan vorgelegten Daten zur **geographischen Lage** (Kap.3.1.2) sind nachvollziehbar.

Grundsätzlich nicht ausreichend scheint der gewählte 5-km-Umkreis um die Schachtanlagen Konrad I und II zu sein, der anscheinend zwanglos gewählt wurde und keine nähere Erläuterung erfährt. Erhebungen und Annahmen hieraus müssen, um nicht dem Vorwurf der Willkür ausgesetzt zu sein, durch Literaturangaben als allgemein anerkannt belegt werden.

Ein gewählter 10-km-Umkreis würde bereits ganz oder auch nur teilweise die Städte und Gemeinden SZ-Lebenstedt, SZ-Gebhardshagen, Wolfenbüttel, Lengede, Vechelde und Teile der Samtgemeinde Oderwald erfassen, mit der Folge wesentlich intensiverer Untersuchungen in Bezug auf Bevölkerungsverteilung, Boden- und Wassernutzung, Gewerbe- und Industriebetriebe sowie Verkehrswesen.

Für die Bevölkerungsentwicklung kann gesagt werden, daß die beschriebenen Prämissen nicht genügend untermauert bzw. begründet sind, insbesondere die Bevölkerungsentwicklung der ausländischen Arbeitnehmer und ihrer Angehörigen. Der prognostizierte Zeitraum bis 1995 wird als zu kurz erachtet, da der geplante Betrieb des Endlagers zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen sein wird.

Es erscheint allein aus sicherheitsanalytischen Überlegungen heraus sinnvoll, die Bevölkerungsverteilung auch in den Bereichen anzugeben, die von einem möglichen Radionuklidaustrag erfaßt werden. Die von dem Endlagerbereich am weitesten entfernte mögliche Austrittsstelle der Radionuklide liegt nach den Modellberechnungen in ca. 30 km Entfernung südlich der Stadt Gifhorn.

Die **Bodennutzung** (Kap. 3.1.4) ist für den 5-km-Umkreis umfassend beschrieben. Es werden jedoch keine möglichen Nutzungseinschränkungen des Bodens für die Landwirtschaft nach Inbetriebnahme des Endlagers in Erwägung gezogen.

Für die **Wassernutzung** (Kap. 3.1.4) werden zwar in Anlage 3.1.4/2 Lage und Art der Brunnen dargestellt und im Text mit entsprechenden Fördermengen beschrieben. Es fehlen hierzu aber weitere Angaben, die ggfs. an anderer Stelle (z.B. Kap. 3.1.9) Eingang und Berücksichtigung finden sollten (s. Abschnitt 3.4.1). Darüberhinaus fehlen zu den genannten "weiteren Wasserentnahmen" (3.1.4-6) detaillierte Angaben.

Die in dem Plan enthaltenen Ausführungen zum **Verkehrswesen** (Kap. 3.1.6) sind im Umkreis des Schachtes Konrad nachvollziehbar und auch durch geeignete Unterlagen belegt. Es sollte jedoch nochmals eine aktuelle Verkehrsuntersuchung (-zählung) für kritische Bereiche wie z.B. Ortsdurchfahrten im Hinblick auf die Transportsicherheit erfolgen.

Die Schwachstellen sind im Text aufgeführt.

3.2 Geologischer Rahmen

3.2.1 Stratigraphie

Im folgenden Abschnitt wird auf das Kapitel 3.1.9.1 der Plan-Unterlagen Bezug genommen.

Die Beurteilung der Antragsunterlagen bzw. der Nachvollzug und die Bewertung der durchgeführten Untersuchungen zur geologischen Situation am Standort werden durch das Fehlen einer allgemein üblichen, umfassenden geologischen Übersichtsdarstellung (Karte) mit Kennzeichnung aller zur Deutung und Rekonstruktion der geologischen Gegebenheiten herangezogenen Aufschlüsse (Ausbisse, Schächte und Bohrungen) sehr erschwert.

Gemäß der Bedeutung, die der geologischen und hydrogeologischen Situation bei der Errichtung eines Endlagers zukommt, sollte eine umfassende, lückenlose und damit belastbare Darstellung der Geologie des Standortgebietes sowie aller relevanter Daten und Untersuchungsergebnisse, die der Erstellung des geologischen Modelles dienen, gefordert werden.

Hierzu gehören die Schichtenverzeichnisse der angeführten Bohrungen ebenso wie die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen, darüberhinaus auch eine transparente Verknüpfung der seismischen Profile mit Daten aus Bohrungen (3).

So fehlen z.B. die Schichtenverzeichnisse sämtlicher zur Interpretation herangezogener Bohrungen, auch der in den quartären Wasserleitern. Selbst das detaillierte Profil der Untersuchungsbohrung Konrad 101, der aufgrund ihrer Teufe und Nähe zu Schacht Konrad II (einziger näherer Aufschluß des unmittelbar Liegenden des geplanten Endlagers) besondere Bedeutung zukommt, fehlt.

Nur die Angabe der Stufen in den Tiefenlinienplänen (nur die Stufen Bathonium bis Callovium und Oxford sowie die Abteilung Unterkreide sind dargestellt) reicht für eine Beurteilung der geologischen Gesamtsituation nicht aus. Auch ist der Nachvollzug der Geologie anhand dieser unübersichtlich gestalteten und für die Vermittlung eines vollständigen Überblickes nicht geeigneten Darstellungen schwierig.

Zudem treten dabei offenbar Lücken auf. So wird z.B. in Abb.

3.1.9.2/1 (Bathonium bis Callovium) für den Schacht Konrad II bei Teufe 908 m Oberbathonium angegeben. In Abb. 3.1.9.1/1 ist Oberbathonium mit einer Mächtigkeit von 29 m verzeichnet. Bei einer Gesamtteufe von ca. 999 m (Sprengbohrlöcher bis 1002 m) fehlen also Angaben über mehr als 60 m des Endteufenbereichs.

Von den in den Teufendifferenz- bzw. Tiefenlinienplänen vermutlich ausgewiesenen 9 Profilen (Signaturen in den Legenden fehlen) werden nur die Profile 1, 2, 3 und 5 (Profil 6 nur in der Plan-Kurzfassung des Plans) dargestellt, obwohl die fehlenden Profile sicherlich auch wesentlich zur Veranschaulichung der Gegebenheiten beitragen könnten.

Die Darstellungen der Geologie des Standortes und seiner Umgebung stützen sich im hohen Maße auf geophysikalische Untersuchungen. Dies gilt insbesondere für nahezu das gesamte Liegende. Trotzdem werden keine genaueren Angaben über Meßdichte und eingesetzte Verfahren gemacht. Zum Beispiel ist unklar, ob nur übertägige Reflexionsseismik eingesetzt wurde oder ob auch unter Tage seismische Untersuchungen durchgeführt wurden, bei denen steilstehende Grenzflächen klarer erfaßt werden können und auch der dämpfende Einfluß der oberflächennahen Schichten, die meist auch höhere Frequenzen absorbieren, wegfällt.

Zum Einsatz geophysikalischer Methoden ist prinzipiell festzustellen, daß durch geophysikalische Messungen lediglich physikalische Grenzflächen (z.B. Grenzflächen der Dichte, elektrische Leitfähigkeit usw., also physikalische Eigenschaften der Gesteine) nachgewiesen werden können.

Eine allein aussagekräftige Kartierungsmethode stellen geophysikalische Methoden im allgemeinen nicht dar, ausgenommen die Magnetik und Gravimetrie in manchen Bereichen der Erzprospektion.

Um geophysikalische Anomalien zu interpretieren, bedarf es zusätzlicher Untersuchungen (z.B. gesteinsphysikalischer Laboruntersuchungen und/oder Einsatz verschiedener Methoden) oder anderer Informationen. Letztendliche Sicherheit über die vorliegenden Gesteine und die erfaßten Formationen, ihre Grenzen und Ausbreitungen, geben jedoch nur Bohrungen und/oder eine Kombination aus direkten und indirekten Aufschlußmethoden.

Unter diesem Aspekt ist nahezu die gesamte Darstellung bzw. Deutung des Liegenden im Endlagerbereich zu relativieren, da die tiefsten Bohrungen im weiteren Bereich des Untersuchungsgebietes mit Erreichen des Lias eingestellt wurden (3.1.9.1-5) und somit die Darstellungen des stratigraphisch Liegenden bestenfalls auf Analogieschlüssen beruhen können. Es ist in der Geologie allgemein üblich und korrekt, Rekonstruktionen des Untergrundes auf der Basis von Randaufschlüssen und in Verbindung mit geophysikalischen Messungen vorzunehmen. In Anbetracht der intensiven halokinetischen und epirogen-tektonischen Beanspruchung (Bruchtektonik) des Gebietes und im Hinblick auf den Untersuchungszweck/die Aufgabenstellung ist dies jedoch kritisch zu beleuchten, zumal hier auch das Liegende des Lagerstättengebietes in hydrogeologische Modellüberlegungen einzubeziehen ist (vgl. Kap. 3.1.9.6.2).

Dementsprechend war es auch Aufgabe der Eignungsuntersuchungen (1.10.1-16/17), den geologischen Bau der Lagerstätte mit ihren Liegend- und Hangendschichten sowie den großräumigen geologischen Bau und die hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge, im Grubenbereich und im Liegenden zu untersuchen.

Auch die Untersuchungsbohrung Konrad 101 sollte dem Nachweis der Barriereigenschaften des Deckgebirges und der Untersuchung möglicher wasserführender Schichten im Hangenden und im Liegenden des Erzlagers dienen.

Die Darstellungen der Schichtenfolgen **Zechstein** bis **Obertoarcium** im Liegenden des Erzlagers müssen also wegen fehlender oder unberücksichtigt gebliebener Bohrungen als ungesichert angesehen werden. Dies gilt umso mehr, als daß das gesamte Gebiet der Lagerstätte besonders stark tektonisch beansprucht ist (vgl. Abb. 3.1.9.2/4; 3.1.9.6/4; 3.1.9.2/2; 3.9.5/1).

So wird die **Zechsteinabfolge** für den Standort Konrad lediglich "unterstellt". Die Verbreitung der Schichten des **Unteren** bis **Mittleren Buntsandsteines** wird ebenfalls unbewiesen als flächenhaft - wenn auch nur für die "Umgebung" der Schachtanlage - dargestellt. Auf den GK 3928 Salzgitter und 3828 Barum treten Unterer bis Mittlerer Buntsandstein aber nur im Kern des Salzgitterhöhenzuges (ca. 10 km südwestlich Konrad)

watzen — 5 — Derhage

in sehr steiler Lagerung und am Salzstock Thiede (6 km östlich) auf.

Die angeführten (wohl einzigen) Bohraufschlüsse liegen an der Nordflanke des Salzstockes Broistedt, wobei unklar ist, ob sie überhaupt auf der Bleckenstedt zugewandten Seite liegen. Hier ist eine genaue Lokalitätsangabe erforderlich.

Ähnliches gilt für den **Oberen Buntsandstein** und **Muschelkalk**. Auch hier wird von einer vollständigen Verbreitung ausgegangen - abgesehen von den Salzstöcken - wobei die Lokalitäten der entsprechenden Bohraufschlüsse ebenfalls nicht genau genug angegeben sind. Anstehendes findet sich nach den Blättern Salzgitter und Barum am Salzgitterhöhenzug in sehr steiler Lagerung und im Kern des Thieder Sattels östlich der Verwerfungen (vgl. auch Profil auf GK 3728 Vechelde).

Für den **Mittleren Muschelkalk** wird mit einem fast 100 m mächtigen Steinsalzlager "gerechnet", dessen Vorhandensein und Mächtigkeit jedoch für den Standort unbewiesen bleibt.

Für den **Keuper** wird eine fast vollständige Verbreitung angenommen, obwohl der einzige unmittelbare Nachweis für das Gebiet zwischen den Salzstrukturen Broistedt, Vechelde und Thiede der Schacht Thiede III sein dürfte.

Auch die angegebenen Mächtigkeiten bzw. Mächtigkeitsverteilungen ("... starke Differenzierungen ...") bedürfen eines Nachweises, zumal das Profil 2 (Abb. 3.1.9.1/3) zeigt, daß über die östlichen Flankenstrukturen der benachbarten westlichen Salzstöcke offenbar keinerlei Informationen vorliegen.

Für den **Lias** wird eine ähnlich vollständige Verbreitung wie für den Oberen Buntsandstein und Muschelkalk angenommen, obwohl stellenweise eine vollständige Kappung (Lokalitätsnachweis) unter der auflagernden Unterkreide angesprochen wird.

Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, daß "insgesamt wenig Informationen vorliegen, da Bohrungen mit dem Erreichen des Lias meist eingestellt wurden" (3.1.9.1-5).

Spätestens hier erhebt sich die Frage, warum die Untersuchungsbohrung Konrad 101 nicht tiefer abgeteuft wurde.

Obwohl die Verbreitung der Schichten des **Obertoarcium** bis **Bajocium** insgesamt als wesentlich kleiner als die der älteren Schichten angenommen wird, sie an den Flanken der Strukturen Thiede, Vechelde, Broistedt und im Salzgitterhöhenzug weitgehend fehlen und zudem durch spätere Kappungen die Mächtigkeiten lokal bis zum Ausbeißern zurückgehen können und einige Bohraufschlüsse jeweils nur Abschnitte der Schichtenfolge umfassen, wird mit einer flächenhaften Verbreitung der Schichten unter dem geplanten Endlager gerechnet.

Hierfür müssen Nachweise über Lokalitäten, Schichtenfolgen, Gesteine und Mächtigkeiten gefordert werden, da dieser Bereich wegen der Sandsteinführungen ebenso unmittelbar für die Sicherheit des Endlagers von Bedeutung sein könnte wie die im Text angesprochene Sandsteinführung des Unterbathonium, denn Erdölbohrungen zwischen Wolfenbüttel und Braunschweig ergaben einen verwässerten Dogger- β -Sandstein des **Aalenium** mit guten Speichereigenschaften (also hohe Porosität und Permeabilität).

Auch ca. 2 km östlich der Schachanlage Konrad wurde in der Bohrung Bleckenstedt 3 ein Dogger- β -Sandstein aufgeschlossen, der "geringere" Porositäten aufwies.

Diese Bohrungen sind in der Umgebung von Schacht Konrad die tiefsten und deren Bohrprofile sind zur Sicherung der Aussagen nötig, da sie das unmittelbar Liegende der Bohrung Konrad 101 durchteufen und dabei auch die "tonig-schluffigen bis feinstsandigen" Sedimente (siehe hierzu S. 10ff - Sedimentpetrographie) des **Unterbajocium**, bilden könnten, aufgeschlossen haben müßten.

Da über die Verbreitung, Vollständigkeit der Schichtenfolge und Mächtigkeiten des Obertoarcium bis Bajocium Unklarheit herrscht (250 - 0 m), kann lokal durchaus auch unmittelbar unter Schacht Konrad II ein wasserführender Dogger- β -Sandstein anstehen, was nach 1-6 - Zutritt von 30 l/min Salzwasser mit Spuren von Gas aus den Sprengbohrlöchern - plausibel erscheint.

Die Stratigraphie der letzten 60 m des Schachtes Konrad II scheint zu fehlen (vgl. 1-7).

Mittelbajocium wurde in Bleckenstedt 3 und Konrad 101 in "mehr toniger" Fazies aufgeschlossen.

Für das **Oberbajocium** wird eine Schüttung von Deltasanden aus Nordosten angesprochen, aber keine Aussage darüber gemacht, ob diese Sande in der Bohrung Konrad 101 aufgeschlossen wurden und wenn ja, mit welcher Mächtigkeit, Porosität, Permeabilität und Wasserführung.

Das Fehlen der Schichtenverzeichnisse der Bohrungen - besonders der Bohrung Konrad 101 - läßt auch hier keine Beurteilung zu, obwohl gerade dieser unmittelbare Bereich des Liegenden für die Sicherheit als wichtig angesehen wird (vgl. Seite 3.1.9.1-6).

Für das anschließende **Unterbathonium** wird aus der Bohrung Konrad 101 ein 9 m mächtiger Sandstein ("Cornbrash") beschrieben. Dieser Unterbathonium-Sandstein wird auch in den Bohrungen Bleckenstedt 1 und Vechelde 2a und 4 nachgewiesen.

Die Mächtigkeit dieses Sandsteins nimmt nach Süden hin ab. Obwohl die Bohrung Bleckenstedt 1 fast genau im Zentrum des geplanten Endlagers liegt (zwischen den Schächten Konrad I und II), erfolgt keine Angabe der dort vorliegenden Mächtigkeiten. Auch das Schichtenverzeichnis von Bleckenstedt 1 muß daher unbedingt gefordert werden.

Die Verbreitungsgebiete von Bathonium bis Callovium scheinen weitgehend unklar zu sein - insbesondere im Westen an den Flanken der Salzstöcke Vechelde und Broistedt.

Die westliche Transgression des Oberbathonium auf ältere Schichten kann auch bedeuten (vgl. Abb. 3.1.9.1/3), daß z. B. an der Ostflanke der Vechelde-Struktur unmittelbar unter dem Oberbathonium ein wasserführender Dogger- β -Sandstein des Aalenium ansteht.

Die zunehmende Verringerung der Verbreitung der hangenden Schichten **Callovium** und **Malm** (mit der Endlagerungsformation) und die durch Schleppungen an den Salzstockflanken zu erwartenden erheblichen Störungen ließen dann direkte hydraulische Verbindungen zwischen Dogger- β -Sandstein und Korallenoolith (und möglicherweise bis in die Kreide) vermuten, die in hydrogeologische Modellvorstellungen eingebracht werden müßten.

Die Erkundung der Geologie an den östlichen Salzstockflanken (Broistedt und Vechelde) erscheint unter diesen Aspekten ebenfalls unzureichend.

Auch die Darstellungen der Verbreitungen (Abb. 3.1.9.6/1, -/2 und -/3) sollten durch Angabe der entsprechenden Aufschlüsse, Bohrungen, seismischen Profile etc. nachvollziehbar belegt werden.

Dies ist umso bedeutender, als über die Mächtigkeiten des **Unteren Korallenoolith**, der die unmittelbare Basis des Endlagers darstellt, wenig Informationen vorliegen (vgl. 3.1.9.6-11 "... stärkere Mächtigkeitsschwankungen ...").

Bei Annahme einer tatsächlich flächenhaften Verbreitung der Basisschichten - ohne Störungen - würden die Mächtigkeiten nach den vorliegenden Angaben bis zu dem wasserführenden Horizont des Dogger- β -Sandsteines im Zentralgebiet maximal ca. 250 m betragen, die sich bei der herrschenden Unsicherheit über die Mächtigkeiten durchaus noch auf ca. 120 m reduzieren könnten.

Unter Einbeziehung von Störungen, Schichtlücken, Ausdünnungen etc. könnte sich dieser Betrag lokal allerdings noch erheblich vermindern.

Auch die Aussage, daß im Zentralgebiet die Mächtigkeiten des **Oxford** >50 m sind (Seite 3.1.9.1-11), ist nicht nachvollziehbar.

Aus den Profilen Konrad I und II (Abb. 3.1.9.1/1) ergeben sich Mächtigkeiten von 122,5 m (Konrad I) bzw. 141,7 m (Konrad II) und aus den Teufendifferenzplänen nur für Konrad I mehr als 150 m (Konrad II kleiner 150 m und Konrad 101 größer 100 m).

Da die Mächtigkeiten des Unteren Korallenoolith unsicher sind, können auch nach Tabelle 3.1.9.4/3 (Verteilung der Erzgehalte über ein Nord-Süd-Profil) keinesfalls generelle Mächtigkeiten von über 150 m als gegeben angenommen werden.

Es müßte in diesem Zusammenhang in den Planunterlagen auch eine Aussage über die Mächtigkeit der Einlagerungsformation um die Einlagerungskammern gemacht werden, die sicherlich nicht genau in der geometrischen Mitte der Formation (Auskeilen des Erzlagers!) liegen dürften.

Auch die Verbreitung und Mächtigkeiten der hangenden Schichten sind teilweise unpräzise dargelegt, obwohl aus dem Hangenden genügend Informationen vorliegen sollten (3).

Die verschiedenen Darstellungen, z.B. die Profile, vermitteln einen flächendeckenden Aufbau, der der Beschreibung keineswegs gerecht wird (Kappungen, Schichtlücken, geringere und lückenhafte Verbreitungen, steilstehende Lagerungen, Störungen etc.).

Zumindest für das Zentralgebiet sollte eine detaillierte Darstellung der geologischen Gegebenheiten gefordert werden, welche auch die tatsächliche Struktur, Ausbreitung und Stratigraphie der Überlagerung des Erzlagers nachvollziehbar macht.

3.2.2 Sedimentpetrographie (mit Berücksichtigung der Geochemie)

kon + geoll n kor

Im folgenden Abschnitt wird auf das Kapitel 3.1.9.1 der Planunterlagen Bezug genommen.

Die sedimentpetrographischen und petrographisch-mineralogischen Bearbeitungen und Beschreibungen sind allgemein nicht detailliert genug dargestellt. Ferner geht aus den Antragsunterlagen nicht hervor, welche Befunde auf Bohrkernuntersuchungen und welche auf technischen Schichtenverzeichnissen (Spülproben) beruhen.

Nur für die Tonsteine und Tonmergelsteine der Unterkreide ist eine detailliertere Gesteinsbeschreibung als Literaturzitat angeführt (3.1.9.1-25).

Angaben wie "tonig-schluffig", "mehr tonig", "feinstsandig" etc. beschreiben nur einen Korngrößenaufbau, der jedoch wenig über die Barriere, Sorptions- und geochemischen Stabilitätseigenschaften der Gesteine aussagt.

Auch die anderen petrographischen Beschreibungen im Text und Abb. 3.1.9.1/1 sind, da keine ausreichenden mineralogischen Untersuchungen präsentiert werden (z.B. Tonmineralogie, Haupt- und Nebengemengteile, Matrix etc.), aus geochemischer Sicht nur bedingt aussagekräftig.

Im Hinblick auf die Abschätzung der **Bedeutung geochemischer Reaktionsmechanismen** für die Sicherheit des Endlagers, die in den Planunterlagen praktisch **völlig unberücksichtigt** bleiben (z. B. Korrosions- und Lösungsmechanismen in Gesteinen, Klüften, Versatzmaterial) und auf die lediglich in Kap. 3.7.2 im Zusammenhang mit einer Gebindekorrosion eingegangen wird, müssen detaillierte mineralogisch-petrographische Untersuchungen (Mineralbestand und -verteilung, Gefügeuntersuchungen etc.) gefordert werden.

Auswirkungen möglicher geochemischer Reaktionsmechanismen auf die mittel- und langfristige Sicherheit des Endlagers dürfen nicht außer acht gelassen werden, zumal nach Kap. 1.2 und 3.9.3 und den strukturgeologischen Befunden (Störungssystemen) mit Zutritt von Formationswässern in das Endlager gerechnet werden muß.

fehlt!
Betrachte bitte
CO₂

So können durch exotherme geochemische Reaktionen (z.B. die meisten Lösungsreaktionen) die tatsächlich zu erwartenden Wärmetönungen in den Einlagerungskammern bzw. Wirtsgesteinen über den prognostizierten Temperaturerhöhungen liegen, wie aus thermodynamischen Überlegungen und Berechnungen aus dem Bereich geothermischer Energiegewinnung (z.B. Hot-Dry-Rock-Verfahren) bekannt ist (4) (5).

Geochemische Lösungs- und Umwandlungsreaktionen (wie z.B. Phasenbildungen mit Volumenvergrößerungen - also mit Wirkungen hinsichtlich Gefügauflockerungen oder -zerstörungen) können einen erheblichen Einfluß auf die Bildung und/oder Erweiterung von "Wasserpfeifen" und die Zerstörung von Abfallgebänden (Zement- bzw. Betonkorrosion) ausüben.

In dynamischen, offenen Systemen (vgl. Kap. 3.9.2), in denen kaum eine Gleichgewichtseinstellung erfolgen kann, müssen sehr hohe Lösungsraten (pH-Wert und temperaturabhängige, lineare Lösungskurven) angesetzt werden, wie aus geothermischen Systemen bekannt ist.

Beispiel es Los Alamos: Quarzlösung von Tonen / etc

Dies kann für die Gebinde und die Gesteine der Einlagerungskammern bedeuten, daß noch während der Betriebsphase mit Erhöhung der Wasserwegsamkeit (Wassereinbrüche) und/oder Zerstörung der Abfallgebände gerechnet werden muß.

Entsprechende experimentelle/theoretische Untersuchungen müssen gefordert werden, zumal die Lagerstättenwässer - hochsa-

→ noch während der Betriebsphase Lösungsreaktionen
Vorstellbar
Gefährliche von Erdölphase bei BWR: Korrosion durch
Salzwasser

linare Wässer - stark korrosiv wirken können.

Im Hinblick auf die Bedeutung der Formationswässer als korrosive und geochemisch reaktionsaktive Medien müssen auch entsprechende Analysen gefordert werden (Ionengehalte und -konzentrationen, pH-Werte etc.). Die in Kap. 3.1.9.6.4 gemachten Angaben reichen dafür nicht aus.

Da auch eine Eintragung von oberflächennahen Grundwässern in die Schachtanlage nicht ausgeschlossen werden kann, müssen in geochemische Überlegungen auch diese Wässer (chlorid- und sulfathaltig) mit einbezogen werden (z.B. im Hinblick auf Korrosion der Schachtausmauerungen).

Weitere geochemische Aspekte, die ebenfalls nicht behandelt werden, aber nicht unberücksichtigt bleiben sollten, sind bakteriell- und gasinduzierte Korrosionen, deren kurzfristige Wirkungen sowohl aus Erz- und Kohlelagerstätten (z. B. Stempelkorrosionen) wie auch aus Erdöl- und Erdgaslagerstätten (Verrohrungen, Ringraumzementierungen) bekannt sind.

Nach Kap. 1.2 und 3.1.9.6.4 ist mit Gasauslösungen (z.T. bakteriell gebildet; Gasanalysen fehlen, s.a. Abschnitt 3.4.5) zu rechnen. Dazu kommt noch, daß das Oberbathonium (unmittelbar Liegendes von Schacht Konrad II) in pyritreicher Fazies ausgebildet ist und auch im Hangenden, zum Beispiel in der Unterkreide, pyritreiche Horizonte auftreten, die bei Zutritt von Formationswässern als potentielle H_2S -Lieferanten angesehen werden müssen (das als besonders korrosiv bekannte H_2S kann sich z.B. auch durch sulfatreduzierende Bakterien bilden).

Für die Abschätzung geochemischer Reaktionsmechanismen und -umsätze sind, wie auch für hydrogeologische Modellierungen (Viskositäten, hydraulische "Motoren"), geothermische Temperaturprofile notwendig (s. Abschnitt 3.4.2).

Nachfolgend werden zusammenfassend die wesentlichen Untersuchungen und Schwachstellen aus Kapitel 3.1.9.1 des Plans aufgeführt, für die nähere Beweisführungen und Bearbeitungen vom Antragsteller gefordert werden müssen.

- Erstellung einer geologischen Übersichtsdarstellung (Karte) mit Kennzeichnung aller relevanter Aufschlüsse, Profile etc.

*chlorid anomalie + mineralisierung ?
mit derzeit 12 Koprojekt*

- Darstellung sämtlicher Schichtenverzeichnisse
- Darstellung aller geophysikalischer Untersuchungsergebnisse
- Einbindung bekannter Bohrungen in das geophysikalischen Meßprogramm
- Detaillierte Darstellung der Geologie des Zentralgebietes mit Kennzeichnung des Grubengebäudes
- Ausführliche sedimentpetrographische, petrographisch-mineralogische und gefügekundliche Bearbeitung der Gesteine
- Erläuterungen der Befundermittlungen (Bohrkernuntersuchungen!)
- Geochemische Untersuchungen.

Die Kenntnisse des Liegenden der Grube Konrad beruhen überwiegend auf geophysikalischen Untersuchungen und sind erst ab Lias durch Bohrungen belegt.

Das unmittelbar Liegende der Erzgrube - insbesondere von Schacht Konrad II und Bohrung Konrad 101 - ist nicht nachvollziehbar und scheint ungesichert (Lücke).

Die Darstellung der geologischen Gegebenheiten ist insgesamt als zu unpräzise zu bezeichnen (z.B. im Hinblick auf die Verbreitung der geologischen Formationen), um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Die sedimentpetrographische Darstellung muß insgesamt als unzureichend bezeichnet werden. Petrographisch-mineralogische Bearbeitungen liegen nur von Gesteinen der Unterkreide vor.

Geochemische Reaktionsmechanismen werden praktisch völlig vernachlässigt, obwohl sie für mittel- und langfristige Sicherheitsbetrachtungen von ausschlaggebender Bedeutung sein können.

Die Untersuchungen möglicher geochemischer Reaktionsmechanismen und ihrer Auswirkungen bilden die Grundlage für die verschiedenen theoretischen Modellierungen (insbesondere für die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins) und die technischen Konzepte (Verfüllen und Verschließen).

3.2.3 Strukturgeologie

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Kapitel 3.1.9.2 der Plan-Unterlagen.

Auf die prinzipielle Interpretierbarkeit geophysikalischer Untersuchungen wird schon bei der Beurteilung der Stratigraphie (siehe hier Seite 4 und 5) hingewiesen.

Entsprechend den Interpretations- und Auswertemöglichkeiten seismischer Anomalien werden in den Ausführungen die Tiefen der erkannten Grenzflächen richtig mit großen Variationsbreiten näherungsweise angegeben, die erst in den jüngeren Schichtenfolgen, in denen auch Bohr- und Lagerstättenaufschlüsse zur Interpretation herangezogen werden konnten (etwa ab Oxford), geringer werden.

Vermutete Strukturen, wie das fast 100 m mächtige Steinsalzlager des Mittleren Muschelkalk, konnten nicht erfaßt werden.

Auch im Hinblick auf die Interpretierbarkeit der seismischen Untersuchungen wäre ein tieferes Abteufen der Bohrung Konrad 101 sicherlich wünschenswert und notwendig gewesen.

Vier große Hauptstörungen (Immendorfer Störung und drei Hauptstörungen des Konrad Grabens) sowie "weitere" Störungen (3.1.9.2-9) konnten seismisch erkannt und zum Teil durch Grubenaufschlüsse belegt werden, wenn ihr Verlauf auch nicht überall gesichert ist (zum Beispiel Immendorfer Störung). Für das unmittelbar Liegende des Erzlagers (Bathonium bis Callovium) wurden zwei weitere Störungen identifiziert, deren Verlauf aber nicht nachgewiesen ist.

Im Oxford sind aus Grubenaufschlüssen "zahlreiche" weitere Störungen bekannt, ohne jedoch näher beschrieben zu werden.

Das zeitliche Ende der Hauptstörungen des Konrad-Grabens konnte nicht genau erfaßt werden. Es wird die Vermutung ausgesprochen (3.1.9.2-8), daß diese Störungen vom Unteren Buntsandstein (Sauinger Sprung, 3.1.9.2-2) bis ins tiefste Alb - also in den Bereich des salzwasserführenden Hilssandsteins - reichen können!

Das zeitliche Ende der Bewegungsvorgänge an den Salzstöcken Vechelde und Broistedt wird für die Oberkreide angenommen (3.1.9.2-10) - also ist mit Störungen bis in diese Schichten zu rechnen, und für den Salzstock Thiede werden Salzaufstiege bis heute vermutet. Das kann heißen, daß jederzeit mit der Entstehung neuer Störungen gerechnet werden muß, zumal über Spannungszustände und/oder mögliche unterirdische Ablaugungen kaum etwas bekannt ist (vgl. Kap. 3.1.9.3).

Entsprechend der halokinetischen und epirogen-tektonischen Beanspruchungen des Einlagerungsgebietes, die hier eine intensive Bruchtektonik zur Folge hatten, werden in den Abb. 3.1.9.2/2, /3, -/4 eine Vielzahl von größeren und kleineren Störungen abgebildet, deren Verlauf (meist nicht gesichert) auch bis in die Unterkreide und weiter reichen kann.

Ob die in der Literatur auch für das nördliche Harzvorland beschriebenen starken tektonischen Bewegungen in der höheren Kreide (saxonische Bruchfaltung) und die Bewegungen im Tertiär und Pleistozän (6) für das Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden können, wird nicht erwähnt.

Einen Hinweis auf junge tektonische Störungssysteme (möglicherweise in Verbindung mit älteren Störungen), könnten die Chlorid-Anomalien (vgl. hier Seite 21) darstellen.



Wie stark der gesamte Einlagerungsbereich tektonisch beansprucht und gestört ist, zeigt auch Abb. 3.1.9.2/1, die ansonsten nicht informativ ist. Hier muß eine andere Darstellung - zum Beispiel in Form von Klüftrosen oder Lagenkugeln-Projektionen - und eine statistische Auswertung (bevorzugte Klüftsysteme, Gefügeanalysen für räumliche Standsicherheitsbetrachtungen) gefordert werden, wie dies z.B. GEITNER (7) vorschlägt (Korrelation zu den "beträchtlichen Verbrüchen" im LHD-Feld, vgl. 3.1.9.7-20, Absatz 3).

Angaben über Klüftigkeiten, Durchtrennungsgrad und Auflockerungsgrad der Einlagerungsformation bzw. der Hangend- und Liegendschichten müssen ebenfalls gefordert werden, da diese Informationen sowohl für hydrogeologische Überlegungen (effektive Durchlässigkeiten, Wasserpfade) als auch für Standsicherheitsbetrachtungen notwendig sind.

Insgesamt zeichnen die vorgestellten strukturgeologischen

Untersuchungen das Bild eines tektonisch stark beanspruchten, bis mindestens in die Oberkreide (Ilseeder Subphase) intensiv gestörten Gebietes, in dem durchgehende hydraulische Systeme nach den vorliegenden Befunden wohl nicht mit der nötigen Sicherheit ausgeschlossen werden können, zumal nach den Ausführungen zu erwarten ist, daß eine Vielzahl von Nebenstörungen zu den Hauptstörungen und kleinere Störungen noch nicht erfaßt sind. Von vielen Störungen, die zwar erkannt wurden, konnte weder der Verlauf noch das zeitliche Ende genau eruiert werden.

Es konnte nach den vorliegenden Angaben weder bis in junge und jüngste Schichten durchgehende Störungen und/oder hydraulische Verbindungen noch das Auftreten neuer Störungen (Salzstock Thiede) mit größerer Sicherheit ausgeschlossen werden.

Folgende Schwachstellen existieren:

- fehlende detaillierte Darstellung der Struktur der Einlagerungsformation (mit Kennzeichnung der Einbaue), sowie der Hangend- und Liegendschichten
- ungenügende Darstellung der Klüftigkeit der Einlagerungsformation in aussagekräftiger Form (Kluftrosen, Lagenkugelprojektionen)
- keine gefügekundliche Untersuchung und statistische Auswertungen
- keine Aussage über Durchtrennungs- und Auflockerungsgrad der Einlagerungsformation.

3.3 Lagerstätte

In diesem Abschnitt wird auf das Kapitel 3.1.9.4 der Planunterlagen Bezug genommen.

Auch für eine Beurteilung des unmittelbaren Endlagerungsbereiches - die Lagerstätte - wäre eine zusammenfassende und übersichtliche Darstellung der stratigraphischen, petrographischen und gefügekundlichen Gegebenheiten unter Einbeziehung des unmittelbar Hangenden und Liegenden sowie der Einlagerungskammern wünschenswert, da die wechselnden Mächtigkeiten, die petrographischen Veränderungen der Gangarten und die unmittelbaren tektonischen Verhältnisse aus den vorliegenden

Unterlagen in ihrer Gesamtheit nur schwer nachvollziehbar sind.

Eine ausführliche Darstellung der Petrographie dieses Bereiches wäre auch im Hinblick auf die Abschätzung der Auswirkungen möglicher geochemischer Reaktionsmechanismen notwendig.

Mineralogisch-geochemische und gefügekundliche Untersuchungen, z.B. von Kluftmineralisationen, können ebenfalls Hinweise auf mögliche hydraulische Verbindungen zu anderen Schichten liefern und/oder die Vorhersage von Mineralreaktionen bei Zutritt von salinaren Wässern ermöglichen.

Außerdem können durch solche Untersuchungen die verschiedenen zeitlich aufeinanderfolgenden tektonischen Beanspruchungen nachgewiesen werden (vgl. 3.1.9.2-7, Absatz 1).

Derartige Untersuchungen fehlen.

Die Darstellung der Genese der Lagerstätte und die Einschätzung der Bauwürdigkeit entspricht dem heutigen Stand der Kenntnisse.

Schwachstellen:

Die Darstellung der petrographischen und erzmineralogischen Veränderungen in Bezug auf die Lagerungsverhältnisse (Auskeilen, Gangarten) ist unpräzise, und es lassen sich für die geplanten Grubengebäude keine detaillierteren petrographischen Gegebenheiten des Anstehenden ableiten. Dies betrifft vor allem die

- detaillierte Darstellung der Lage der Grubengebäude und der geplanten Einlagerungskammern in Bezug auf die strukturellen Gegebenheiten der Einlagerungsformation
- ausführliche Darstellung der Petrographie
- mineralogisch-geochemischen Untersuchungen von Kluftmineralisationen sowie die
- Geochemie der Lagerstättenwässer.

Aus der Beurteilung der Antragsunterlagen (Kapitel 3.1 - 3.3) ergeben sich folgende Konsequenzen:

Aufgrund der in einiger Hinsicht lückenhaften, mitunter auch ungenauen und ungeeigneten Darstellungen bilden die im Plan vorgestellten und im Gutachten diskutierten Basisdaten zu Standort, Geologie und Lagerstätte ein nicht ausreichendes Gerüst zur Arbeit mit diesen Daten und zur Ableitung modellhafter Berechnungen, Langzeitprognosen und Sicherheitsbetrachtungen.

Insbesondere decken sich Schwachstellen auf, wenn die Datenblöcke der einzelnen Themenbereiche zu einer Synopsis zusammengeführt werden. Die detaillierten Schwachstellendiskussionen sind hierzu als Beleg den einzelnen Themenbereichen zugeordnet.

3.4. Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse und Modelle

Bezug zu den Kapiteln 3.1.9.5 - 3.1.10.4 der Plan-Unterlagen

3.4.1 Hydrologie und Wasserwirtschaft

In den Kapiteln 3.1.4 und 3.1.9.5 der Plan-Unterlagen werden bei der Beschreibung der Grundwassernutzung zahlreiche Grundwasserentnahmestellen beschrieben, die insgesamt hohe Förderquoten aufweisen (46 Mio. m³/a). Allein die in 500 m Entfernung von Schacht Konrad II auf dem Gelände der P + S - Stahlwerke bei SZ-Bleckenstedt in Betrieb befindlichen Wasserwerke besitzen seit 1938 eine Fördererlaubnis für 3,7 Mio. m³/a (3.1.9.5-9/10).

Von besonderem Interesse sind daher Informationen über die Tiefenlage aller Brunnen und ihren Ausbau (Filterstellung) sowie eine Beschreibung der Grundwasserleiter, aus denen die Wassermengen entnommen werden. Wünschenswert ist in diesem Zusammenhang auch eine Darstellung der jeweiligen Profile nach DIN 4023.

Hinsichtlich der Bilanzierung der Wassermengen, die im "obersten Grundwasserstockwerk" (Quartär und Plänerkalke) zirkulieren, sind Tiefen- und Parameterangaben der Entnahmebereiche ebenfalls unentbehrlich. Aus einer Bilanzierung kann man ersehen, ob mit hydraulischen Beziehungen zwischen Ober- und Unterkreide-Schichten gerechnet werden muß.

Zur Ermittlung der hydraulischen Kennziffern der quartären und oberkretazischen Grundwasserleiter sind Kurzzeitpumpversuche in 13 Grundwassermeßstellen und ein Dauerpumpversuch im Wasserwerk Bleckenstedt sowie radiohydrometrische Einbohrlochmessungen durchgeführt worden (3.1.9.6-6). Es werden jedoch keine Angaben über die Brunnenparameter, die Lage (Koordinaten), die Pegeltiefe, die Art des Ausbaus der Pegel sowie über die dazugehörigen Profile gemacht. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen können daher nicht nachvollzogen und beurteilt werden. Darüberhinaus entzieht sich die räumliche Variabilität der Daten einer Überprüfung. Hier würde eine wesentlich detailliertere Darstellung der Untersuchungen und

Ergebnisse viele der Unklarheiten vermeiden.

Ebenso enthalten die Plan-Unterlagen keine Informationen über Grundwasserspiegelmessungen. Es sei in diesem Zusammenhang noch darauf hingewiesen, daß Gebiete mit absteigender Grundwasserbewegung (Recharge-Gebiete) und solche mit aufsteigendem Grundwasser (Discharge-Gebiete) durch Druckmessungen in Bohrlöchern oft deutlich voneinander unterschieden werden können (8;9). Im ersten Falle werden im Bohrloch negative Druckabweichungen gegenüber dem hydrostatischen Druck, im zweiten Falle positive Druckabweichungen beobachtet (10).

Es muß festgestellt werden, daß die hydrologischen Untersuchungen unvollständig und z.T. kaum nachvollziehbar dargestellt und ausgeführt sind.

Als wichtigste **Konsequenz** ergibt sich aus den vorstehenden Ausführungen, daß in dem gesamten Untersuchungsgebiet, ggfs. vom Harznordrand bis mindestens zur Allerniederung, ein Pegelnetz in geeigneter Weise erweitert und genutzt werden sollte, sodaß ein angemessener Beobachtungsraster für hier noch durchzuführende Untersuchungsprogramme hinsichtlich Grundwasserinfiltrations- und -exfiltrationsgebiete zur Verfügung steht. Nur auf diese Weise lassen sich belastbare Aussagen zu der angeführten Isoliertheit des oberflächennahen Grundwassersystems oder zu anderen Aussagen herleiten.

3.4.2 Hydrogeologie und Hydrochemie

Für die geologische Beurteilung der Sicherheit eines Endlagers steht der Problembereich der Zusammensetzung von Tiefen Grundwasser im Vordergrund (11). Dieser Tatsache wird in den Plan-Unterlagen nicht Rechnung getragen; so wird z.B. keine Wasseranalyse vorgelegt. Auch wird über Art und Umfang der durchgeführten Untersuchungen nicht berichtet. Gelegentlich eingestreute Angaben zu Anionenkonzentrationen erlauben nur eine erste und grobe Zuordnung zu bestimmten Wassertypen; sie lassen jedoch keinesfalls sicherheitsanalytisch relevante Aussagen über Tiefenwassersysteme oder hydraulische Kontakte zwischen den einzelnen Grundwasserstockwerken zu.

In der hydraulischen Abfolge wird zunächst die in 3.1.9.6-12, Absatz 2 getroffene Feststellung, daß der Grund für die beobachteten hohen Chloridgehalte oberflächennaher Grundwässer häufig in der Mineraldüngung landwirtschaftlich genutzter Flächen liegt, kritisiert, da sie nicht plausibel erscheint. Für ein Gebiet, das von Salzstöcken umgeben und tektonisch stark gestört ist und in dem außerdem saline Tiefenwässer nachgewiesen sind, kann es ebenso wahrscheinlich sein, daß lokal Verbindungen zu tieferliegenden Formationen bestehen, denen die oberflächennahen Nachweise von Chlorid zuzuordnen sind.

Ein Vergleich der Abb. 3.1.9.6/7 (Chlorid- und Sulfatgehalte des oberflächennahen Grundwassers) mit den Teufendifferenzplänen und den Profilen 5 und 6 (Kurzfassung), zeigt z.B., daß die Zonen mit erhöhten und hohen Chlorid- und Sulfatgehalten mit der Lage der Störungen Sauinger-Sprung, Bleckenstedter-Sprung sowie den davon südlich liegenden Verwerfungen (Profil 6) und der Immendorfer Störung korrelieren (das fehlende Profil 8 könnte hier nähere Aufschlüsse geben).

Die Chlorid-Gehalt-Anomalien südlich Immendorf bei Leinde können zwar durchaus auch auf die angeführte Schlackenhalde zurückzuführen sein, hier müßte jedoch die Art der Ablagerung angegeben werden.

Derartige Beobachtungen müssen zumindest durch flächendeckende Detail-Kartierungen im Hinblick auf mögliche Korrelationen zu tektonischen Störungssystemen untersucht und hydraulisch/hydrochemisch eingestuft werden. Sie könnten z.B. die in 3.1.9.6-20/21 getroffenen Feststellungen über die hydraulischen Verbindungen zwischen den Wasserleitern und die fehlenden Verbindungen zur Biosphäre im "Nahbereich" der Grube erhärten.

Ein zeitgemäßes Gutachten kann ohne eine detaillierte und transparente Darstellung und Auswertung der hydrochemischen Untersuchungen nicht auskommen, wenn es sich zudem an den Anforderungen des §9b Abs. 3 AtG in Verbindung mit §7 Abs. 2 AtG orientiert.

Anhand einiger Punkte wird die Bedeutung der Hydrochemie kurz skizziert (11):

- Die einzelnen Parameter der Wasserbeschaffenheit und ihre Wechselbeziehungen geben Beweise oder Hinweise auf die Herkunft, die Entwicklung (Evolution, Genese) und die Verweilzeit des Tiefengrundwassers. Aus der Beschaffenheit der Tiefengrundwasser können Schlüsse auf hydraulische Verbindungen zwischen verschiedenen Aquifern oder auf das Fehlen solcher Verbindungen gezogen werden. Sodann lassen sich räumliche und zeitliche Daten der Grundwasserzirkulation ableiten, welche wichtige Bausteine der regionalen hydrogeologischen Synthese sind und zusammen mit anderen Daten eine Validierung hydrodynamischer Modelle gestatten.
- Chemische und physikalische Daten der Tiefengrundwasser sind auch für das Studium der Korrosion der in einem Endlager vorkommenden Versatz- und Behältermaterialien erforderlich.
- Die Sicherheitsanalyse benötigt eine Definition der für das Wirtsgestein des Endlagers maßgebenden Wasserbeschaffenheit, um für die Radionuklide die Löslichkeitslimits und die Sorptionsprozesse beurteilen zu können.

Beispielsweise zeigt ein Vergleich zwischen Korallenoolith- und Hils-Wasser aus Schacht Konrad II (12), daß beide Wässer einen ähnlichen chemischen Charakter haben (Abb. 1). Hier erscheint das Vorhandensein von hydraulischen Kontakten zwischen beiden Aquifern nicht ausgeschlossen. Das Korallenoolith-Wasser ist jedoch wegen seiner größeren Tiefenlage höher salinar als das Hils-Wasser und hat deutlich höhere Gehalte an den Spurenelementen Lithium und Brom.

Betrachtet man die mit dem WATEQF-Computerprogramm durchgeführten thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen (12;13), fällt eine Übersättigung bezüglich Quarz in den Korallenoolith- und Hilssandstein-Wässern auf (Abb. 2).

Ein erhöhter SiO_2 -Gehalt in tiefen Grundwässern geht in erster Linie auf erhöhte Wassertemperaturen zurück. Ansteigendes und sich dabei abkühlendes tiefes Grundwasser kann wegen verzögerter Gleichgewichtseinstellung an gelöstem Quarz übersättigt sein (9). Dies könnte einen Hinweis auf ein bedeutendes Tiefenwasserzirkulationssystem geben.

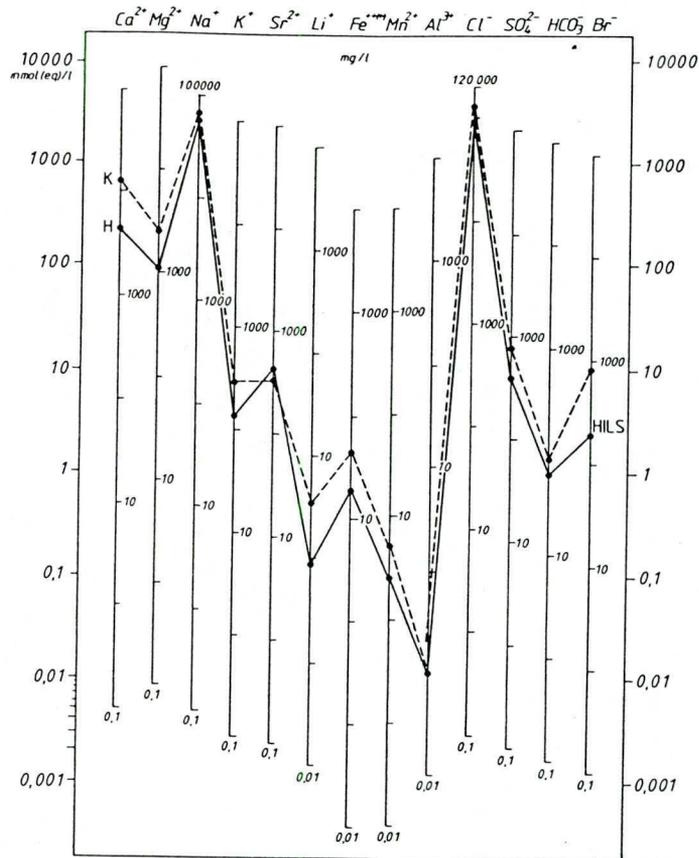


Abb.1: Chemische Analysen der Korallenoolith- und Hilssandsteinwässer (SCHÖLLER-Diagramm). Aus (13).

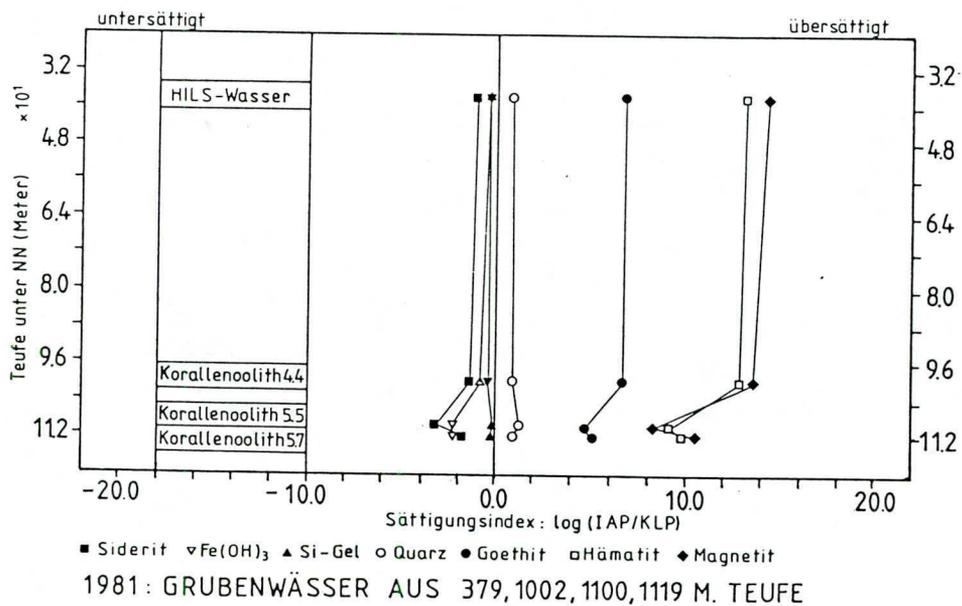


Abb. 2: Mineralsättigung der Tiefenwässer aus der Grube Konrad. Aus (13). IAP: Ioneraktivitätsprodukt, KLP: Gleichgewichtslöslichkeitsprodukt.

An durchkreuzten Längsstörungen in der Schachtanlage Konrad tritt nach KOLBE (14) Celestin, ein Strontium-Karbonat, auf. HARDER (15) hält dies für Absätze NaCl-reicher Lösungen, die Strontium aus Zechsteinsalzen ausgelaugt haben. Dies deutet auf hydraulische Kontakte zwischen dem Korallenoolith und einem Salzstock hin.

KOLBE et al. (14) weisen aufgrund von Erkenntnissen aus Bohrung Alvesse I auf eine diagenetische Beeinflussung der Erzlagerstätte durch Solen durchgebrochener naher Salzstöcke hin. Belegt wird dies durch Umwandlungen von Calcit in Ankerit und von Goethit in Hämatit.

Eine zentrale Rolle für das tiefe Grundwasserfließgeschehen nehmen die Wässer aus dem Hilssandstein ein, die sicher nicht nur in hangende Schichten migrieren können, sondern wie bereits dargestellt, wahrscheinlich auch Kontakt mit Wässern in den liegenden Schichten haben. Nur die Anwendung geeigneter hydrochemischer Methoden (Natürliche Tracer, Isotope etc.) kann zu sicherheitsanalytisch relevanten Erkenntnissen über die Herkunft und den Verbleib dieser außerordentlich großen Wassermengen führen.

Für die Beurteilung der **hydrochemischen Entwicklung** der tiefen Grundwässer liefern Untersuchungen des Kontaktgesteins (verwittertes - unverwittertes Gestein) wertvolle Hinweise; für quantitative Betrachtungen sind diese auf jeden Fall unverzichtbar.

3.4.3 Isotopenuntersuchungen

Bei Isotopenbestimmungen zur altersmäßigen Klassifizierung der Grundwässer wurden Tritium-Konzentrationen zwischen 0,7 TU und 82 TU (tritium units) ermittelt (3.1.9.6-13). Insgesamt wurden 28 Grundwassermeßstellen auf Tritium untersucht und 7 Grundwasserproben auf Kohlenstoff-Isotope. Wo die beprobten Pegel jedoch liegen, geht aus dem Plan nicht hervor (Anlage 3.1.9.6/6).

An drei Pegeln wurden Tritium-Gehalte unter 5 TU gemessen. Wo diese Meßstellen liegen, wird ebenfalls nicht dargestellt, so daß eine Beurteilung dieser Messungen auch im Hinblick auf mögliche Korrelationen mit anderen (z.B. grundwasserchemi-

schen) Daten unmöglich ist.

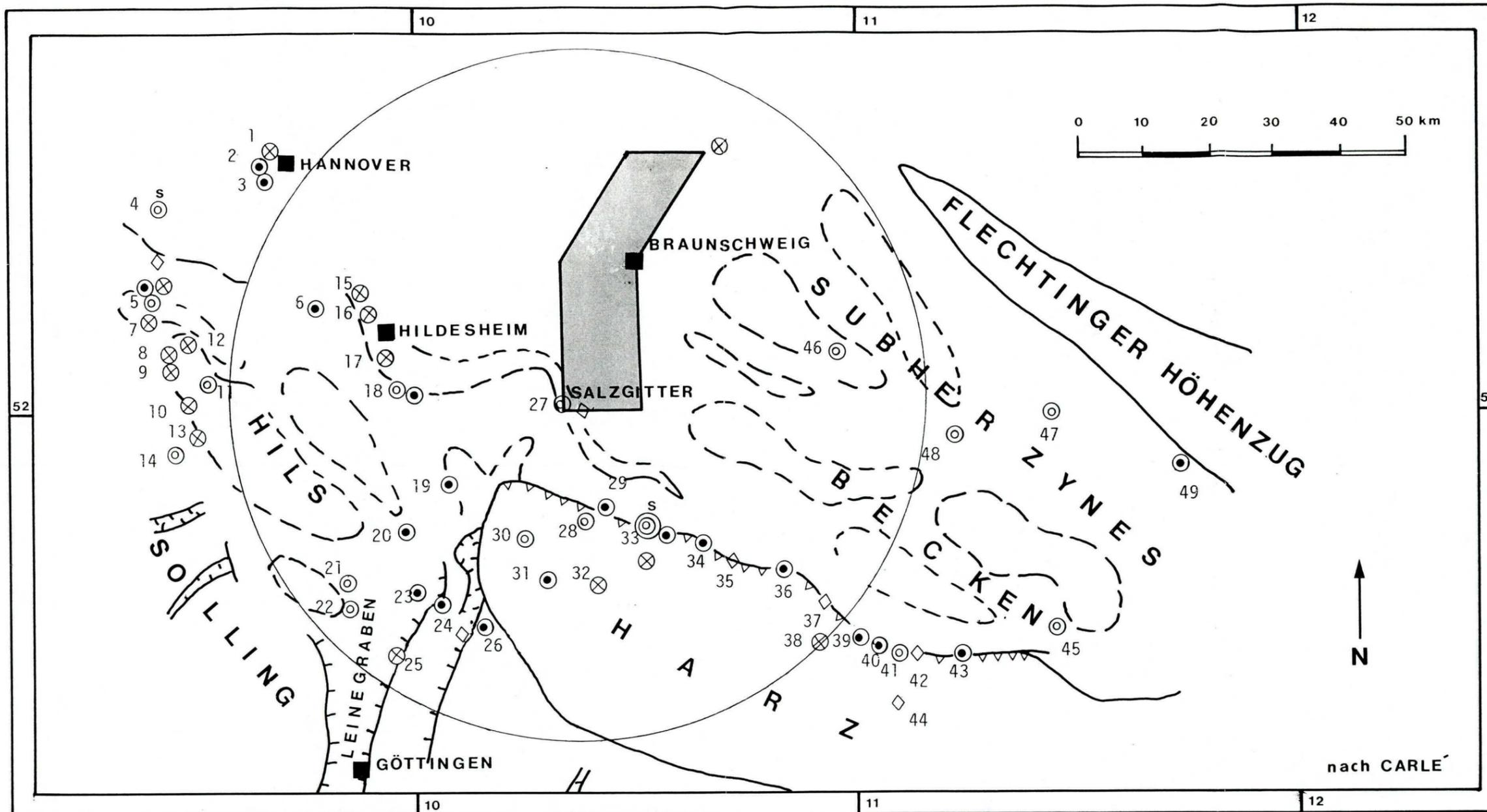
Das Auftreten von Tritium-Gehalten unter 5 TU könnte auf lokale hydraulische Verbindungen zwischen den Oberkreide-Kalken mit tieferen Schichten deuten. Somit müssen unbedingt Angaben über Lage und Tiefe der Beobachtungsstellen erfolgen.

Die Beteiligung fossiler Salzlagerstätten an der Bildung hoch mineralisierter Tiefenwässer kann z.T. auch mit Hilfe stabiler Isotopen erkannt werden. In diesem Fall tritt, im Gegensatz zur Herkunft aus marinen Formationswässern, z.B. häufig eine Abreicherung an Deuterium und schwerem Sauerstoff gegenüber dem rezenten Meerwasser ein (9). Die $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Relation trägt zur Klärung der Frage bei, ob Salzwasser im Untergrund aus Meerwasser, Erdöl-Lagerstättenwasser, Formationswasser mariner Sedimente oder anthropogen aufgesalzenem Wasser stammt. Entsprechende Untersuchungen sind somit unbedingt durchzuführen. Mit derartigen Isotopenmethoden konnten bereits in der Praxis nach MOSER & RAUERT im Rahmen großräumiger Untersuchungen hydraulische Verbindungen von Grundwasserleitern nachgewiesen werden (16).

3.4.4 Mineralquellen

Bei der Betrachtung der hydrogeologischen Verhältnisse in der Umgebung des geplanten Endlagers werden die **Mineralwässer** des Harznordrandes, des Subherzynen Beckens sowie des Flechtinger Höhenzuges völlig außer acht gelassen, obwohl gerade aus Tiefenlage, Temperatur und Chemismus der Quellen z.B. äußerst wichtige Erkenntnisse über das regionale Fließgeschehen zu erwarten sind. Sämtliche Mineralquellen müssen einer detaillierten Betrachtung unterzogen werden, deren Ergebnis dann dazu beitragen wird, ein der Problematik angemessenes (regionales) Grundwassermodell zu validieren. So geben Mineralwasseraustritte und -bohrungen u.a. Aufschlüsse über

- Kontakte tiefer Grundwasserleiter mit der Biosphäre
- Hydraulische Kontakte zwischen verschiedenen Grundwasserleitern (Tiefenzirkulationssysteme)
- Grundwassereinzugs- und -Neubildungssysteme
- Exfiltrationen von Grundwasser
- Entstehungstiefen
- Abgrenzungen zu anderen Grundwasserfließsystemen



LEGENDE :

- CHLORID - WASSER
- ⊙ SOLE
- ⊗ SCHWEFEL - WASSER
- ⊙ THERMAL - SOLE
- ◇ SULFAT - WASSER
- MODELLGEBIET

- BRUCHSTÖRUNGEN :
- ▬▬▬ ABSCHIEBUNG
 - ▬▬▬ AUFSCIEBUNG
 - CHARAKTER UNBEKANNT

- 1 Limmer
- 2 Badenstedt
- 3 Eichwede
- 4 Barsinghausen
- 5 Münder
- 6 Heyersum
- 7 Hasperde
- 8 Besingen
- 9 Bisperode
- 10 Harderode
- 11 Salzhemmendorf
- 12 Köppenbrügge

- 13 Halle
- 14 Bodenwerder
- 15 Hasede
- 16 Steuerwald
- 17 Itzum
- 18 Salzdetfurt
- 19 Rhüden
- 20 Gandersheim
- 21 Salzderheiden
- 22 Echte
- 23 Sülbeck
- 24 Westerhof

- 25 Northeim
- 26 Förste
- 27 Salzgitter
- 28 Oker
- 29 Goslar
- 30 Lautenthal
- 31 Claustal-Zellerfeld
- 32 Altenau
- 33 Harzburg
- 34 Ilsenburg
- 35 Darlingerode
- 36 Benzingerode

- 37 Blankenburg
- 38 Altendak
- 39 Thale
- 40 Suderode
- 41 Stecklenburg
- 42 Gernrode
- 43 Opperode
- 44 Alexisbad
- 45 Aschersleben
- 46 Schöningen
- 47 Wanzleben
- 48 Oschersleben
- 49 Salzelmen

Abb. 3: Mineral- und Thermalwasservorkommen im 50 km-Radius um die Schachtanlage Konrad (aus 17)

In Abb. 3 sind sämtlichen Mineralwasservorkommen im Umkreis von 50 km um das geplante Endlager dargestellt. Zwei Beispiele belegen den Wert von Erhebungen zu Mineralwasservorkommen. Im Gebiet des Flechtinger Höhenzuges belegen nach CARLE durch Schächte erschlossene Salzwässer inmitten des variszischen Gebirges hydraulische Kontakte zu einem mindestens 70 km entfernten Zechstein- oder Muschelkalk-Salzlager (17). Unmittelbar westlich der Ortschaft Fallersleben tritt aus dem "etwas geklüfteten Posidonienschiefer des oberen Lias" an einer Störung, die Teil eines "mit Salzstöcken besetzten, verwickelt gebauten, Nordnordost-streichenden Zerrgrabens" ist, artesisch ein Schwefelwasser (2 l/s) aus (17).

3.4.5 Gasanalysen

Die in den Plan-Unterlagen erwähnten Gase in den angeschlagenen Grubenwässern "müssen ... aus größerer Tiefe kommen" (3.1.9.6-20). Hier wird ein Hinweis auf hydraulisch wirksame Verbindungen mit liegenden Aquifern gegeben, denn die Methan- und Äthan-Gehalte können aus Kohlenwasserstofflagerstätten resultieren (18); dies macht großräumige und komplexe Strömungsverhältnisse wahrscheinlich. Weitere Indizien hierfür sind nach (18) das Br/Cl-Verhältnis (0,005) sowie Bor-Gehalte >10 mg/l (11,72 mg/l) in den Wässern des Korallenooliths (13). Das Vorhandensein freien Gases, verursacht durch die Gasabscheidung infolge der Druckabnahme beim Aufstieg, bewirkt eine langsamere Zunahme des hydrostatischen Druckes mit der Tiefe (19); hierin liegt ein weiterer Antriebsmechanismus für weitreichende Grundwasserzirkulationen in und zwischen tiefen Aquifersystemen. Im Nahfeldbereich des geplanten Endlagers müssen weitere Erkenntnisse hierzu gefordert werden, mit dem Ziel, die Herkunft und Genese dieser Wässer zu klären.

Über Edelgasmessungen wird in dem Plan nichts berichtet. In Fällen, in denen das Grundwasser auf seinem unterirdischen Fließweg infolge undurchlässiger Deckschichten keine Verbindung mit der Atmosphäre besitzt, sodaß Grundwasserkörper verschiedenen Bildungsalters nebeneinander auftreten, können die Edelgas-Gehalte im Grundwasser als Maß für die Druck- und Temperaturbedingungen zum Zeitpunkt der Grundwasserneubildung

verwendet werden (18), daneben auch zur Ermittlung von Mischungsverhältnissen, Zirkulationswegen und zur Klärung der Grundwassergenese (10). Darüberhinaus lassen sich mit Hilfe der Daten aus Edelgasgehaltsmessungen die anhand der ^{18}O -, ^{13}C - und ^{14}C -Gehaltsmessungen gewonnenen Erkenntnisse im Hinblick auf das Alter und die Neubildungsbedingungen überprüfen (10)

Edelgasmessungen im regionalen Rahmen sind ein wichtiger Bestandteil einer umfassenden hydrochemischen Untersuchung, auf die im Zusammenhang mit einer großräumigen Erkundung der Grundwasserfließverhältnisse nicht verzichtet werden kann, auch wenn ein hoher Aufwand damit verbunden ist. Dies nachzuholen, ist im begutachteten Fall zu fordern.

3.4.6 Betrachtungen zu den Modellrechnungen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Kapitel 3.1.10 - 3.1.10.4 der Plan-Unterlagen.

Ein Beweis, daß mögliche Strahlendosen aufgrund eines Endlagers zu keiner Zeit eine bestimmte Grenze übersteigen werden, ist nur mittels Modellbetrachtungen möglich. Wegen der langen Zeiträume ist eine experimentelle Überprüfung der berechneten Ergebnisse ausgeschlossen. Alle wichtigen Sicherheitsstudien für die nukleare Endlagerung müssen sich auf **Modelle** der physikalischen, chemischen und geologischen Prozesse stützen (20). Eine transparente und übersichtliche Darstellung, wie diese Prozesse modellmäßig in den vorliegenden Plan-Unterlagen Berücksichtigung gefunden haben, ist nicht erkennbar.

Praktisch und übersichtlich wäre eine Aufteilung in Modelle von Teilsystemen. Chemische und physikalische Vorgänge, welche aus Experimenten und Messungen bekannt sind, und Beobachtungen der geologischen und hydrologischen Prozesse können in den Modellen der einzelnen Teilsysteme beschrieben und zeitlich extrapoliert werden (20).

Eine finale integrale Modellierung des Gesamtlagersystems wäre zu fordern, damit die Wechselwirkung einzelner Teilsysteme sowie deren Einfluß auf die Gesamtsicherheit berück-

sichtigt werden können (20) (Abb. 4).

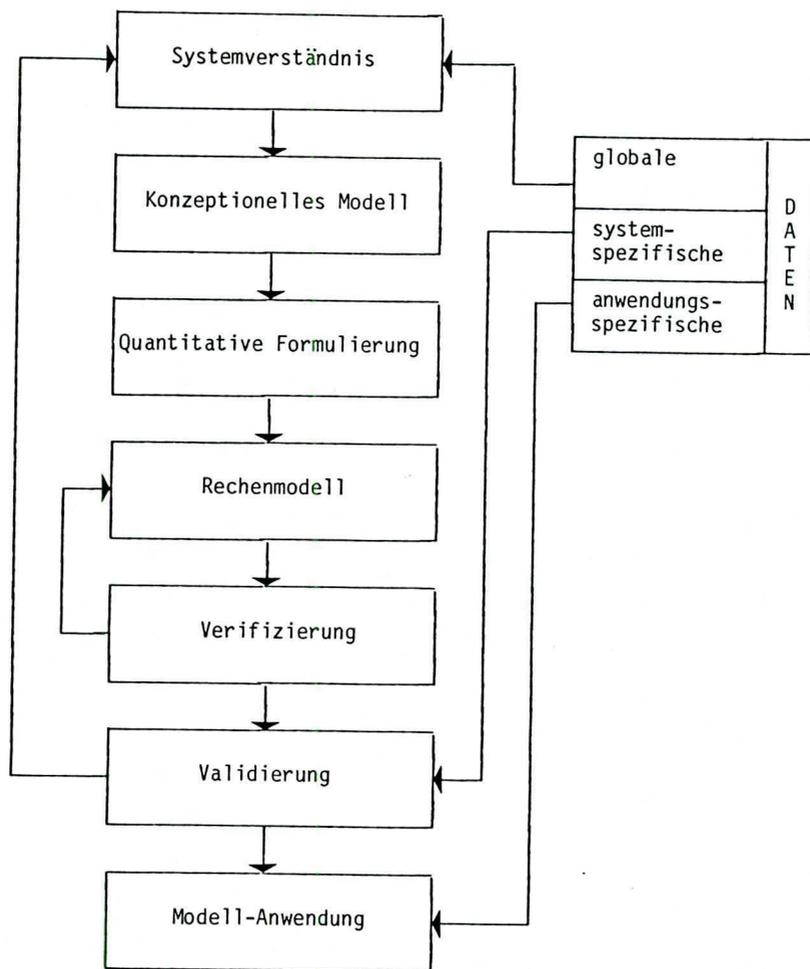


Abb. 4: Schritte der Modellierung. Aus (20).

Eine derartiges oder ähnliches Vorgehen ist aus den Unterlagen nicht ableitbar. Die vorliegenden Modellrechnungen besitzen mangels einer transparenten Darstellung der einzelnen Modellierungsschritte lediglich den Charakter von isolierten numerischen Rechenbeispielen.

Eine wichtige Aufgabe der Sicherheitsanalyse ist die Prüfung der Gültigkeit der (konzeptionellen) Modelle (Validierung). Dabei müssen ihr Anwendungsbereich und mögliche Ungenauigkeiten, die einerseits durch Approximationen bei der Modellierung und andererseits durch Unsicherheiten in den benutzten Eingabedaten bedingt sein können, aufgezeigt und klar beschrieben werden (20). Dies ist in dem vorliegenden Gutachten

nicht geschehen und somit entziehen sich die Modellrechnungen der Überprüfbarkeit. Für das eindimensionale Transportmodell ist z.B. der K_d -Wert ein wichtiger Eingabeparameter. Auf die Bedeutung und Richtigkeit der K_d -Werte wird in dem Gutachten jedoch nicht eingegangen. Dies wäre notwendig, denn Ergebnisse aus verschiedenen Methoden der K_d -Wert-Bestimmung sind international sehr umstritten.

Die Aussagekraft über das mit dem Modellprogramm SWIFT ermittelte Fließgeschehen wird wie bei allen Modellen von der Vertrauenswürdigkeit aller in das Modell eingegebenen Daten bestimmt. Diese lassen sich folgenden Gruppen zuordnen:

1. Der geometrische Aufbau und die Ränder des Modellgebietes
2. Die hydrogeologischen Kennwerte (Systemeigenschaften, Aquiferparameter, geohydraulische Parameter) der modellierten Schichteinheiten
3. Die Randbedingungen des Modells

3.4.6.1 Zu den geologischen Begrenzungen des modellierten Gebietes

Bei den vorliegenden Modellberechnungen werden die vertikalen Modellränder und die Modellbasis als "undurchlässig" angenommen (3.1.10). Dies sind die Nord-Süd streichenden Salzstrukturen im Osten und Westen des Untersuchungsgebietes, sowie als "undurchlässige" Basis die Schichten des Mittleren Muschelkalks. Die südliche Begrenzung bildet der Salzgitter Höhenzug, der eine (oberirdische) Wasserscheide darstellt; im Norden bildet die als regionales Vorflutniveau angesehene Allerniederung die Modellgrenze. Diesen Modellrändern werden eindeutige Strömungsbedingungen (Festpotentiale) zugeordnet, d.h. es wird angenommen, daß über die Modellränder hinweg kein Wasseraustausch stattfindet. Angesichts der Tatsache, daß besonders in tieferen Aquifern die Verhältnisse außerordentlich komplex sein können (10), erscheinen die von der PTB hinsichtlich der Modellgrenzen angestellten Überlegungen im Hinblick auf die Undurchlässigkeit der betrachteten Gesteinsschichten und auf mögliche andere Exfiltrator-Systeme, d.h. auch Dimensionierung des Modells, als unzureichend, zumal die Modellrechnungen Aussagen über die Langzeitsicherheit liefern

sollen.

So wird für die Schichten des Unteren Muschelkalks als "Modellbasis" eine 100 m mächtige Salinarserie vorausgesetzt; diese Prämisse beruht ausschließlich auf "paläogeographischen Erkenntnissen aus Nachbargebieten" (3.1.9.1-4). Eine durchaus nicht unwahrscheinliche Salzwanderung, Subrosion oder gar Verkarstung im Muschelkalksalinar, verursacht durch gespannte Wässer in liegenden Grundwasserleitern (19), könnte durch eine Bohrung, gekoppelt mit refraktionsseismischen Untersuchungen (21) erkannt werden. Die Annahme einer \pm gleichbleibenden Mächtigkeit des Muschelkalksalinars, dessen Dichtigkeit gegenüber (i.a.) aggressiven Tiefenwässern sowie dessen flächenhafte Verbreitung resultiert aus Indizien, die durch Bohrungen an geeigneten Stellen zu erhärten wären. Selbst wenn diese vorstehend angeführten Annahmen sich als begründet herausstellen sollten, ist daraus keine hydrologische Barrierefunktion ableitbar. HERRMANN (22) berichtet, daß es in flach gelagerten Salzschiefern offensichtlich häufiger zu Bruchverformungen kommen kann als in den heute steil stehenden Salzhorizonten. Die Annahme von ausschließlich plastischen Verformungen in Evaporiten, wie sie z.B. RICHTER-BERNBURG (23) postuliert, wird durch Beobachtungen in den gut erschlossenen deutschen Salzlagerstätten widerlegt. Offene und zur Zeit geschlossene Klüfte, Risse etc. sind potentielle Schwächezonen, die erneut mobilisiert werden können. Derartige Strukturen sind besonders in den von größeren Störungen (Sauinger Sprung, Bleckenstetter Sprung, Immendorfer Störung) (24) durchzogenen Salinaren des Röts und des Mittleren Muschelkalks zu erwarten.

Für die randlichen Modellgrenzen ist ebenfalls ein Wasserübertritt in/aus benachbarte(n) (Teil-) Systeme(n) denkbar. Da die Verformung der Salzgesteine in unmittelbarem Zusammenhang mit Mineralumbildungen und Stofftransporten steht (19), müssen zwangsläufig Wegsamkeiten für Reaktionslösungen im Salz selbst, und, bedingt durch Auflockerungszonen an den Rändern des Salzstocks, sehr wahrscheinlich auch zwischen Neben- und Salzgestein vorhanden sein (HERRMANN (25;26;27;28)). Erfahrungen aus der Grube Ronnenberg (29) belegen die Bedeutung von Restlaugen, die nicht nur in Anhydrit-Gesteinen des Zechsteins enorme Wegsamkeiten vorfinden,

sondern in diesem Fall auch aus - in den Plan-Unterlagen als undurchlässig angesehenen - Steinsalz ausgetreten sind und letztlich zum Absaufen des Salzbergwerkes geführt haben. Dies steht in keinem Widerspruch zu der bevorzugt plastischen Verformung von Salzgesteinen.

KUPFER (30;31) berichtet von "boundary shear zones" in Salzstöcken. Es handelt sich hierbei um Scherzonen, welche zwischen schnell aufsteigenden Teilen eines Salzdoms entstanden sind und sedimentäres Fremdmaterial eingeschlossen haben. Die Größenordnung dieser Scherzonen liegen zwischen einigen dm und 200 m. Sie können über die Auslaugungszone im Top des Salzstocks mit Wässern des Nebengesteins (z.B. Plänerkalke) in Verbindung stehen und Möglichkeiten der Versickerung in tiefere Bereiche darstellen, sodaß das Vorhandensein derartiger Wegsamkeiten ausgeschlossen werden muß.

Inwiefern der Salzgitterhöhenzug, der im Süden das Modellgebiet begrenzt, eine sinnvolle, d.h. Grund- und Tiefenwasserzirkulationssysteme trennende Grenze für das Modell darstellt, ist ebenfalls in dem vorliegenden Gutachten nicht belegt; daß die in diesem Gebiet steilgestellten triassischen Grundwasserleiter dem modellmäßig betrachteten Gebiet das Druckgefälle aufprägen, ist zwar plausibel, aufgrund der vorliegenden Untersuchungen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß die Druckverhältnisse nicht auch vom Harz sowie vom Flechtinger Höhenzug entscheidend mitbeeinflusst werden. Dies ließe sich durch geeignete hydraulische, hydrochemische und isotopengeologische Untersuchungen klären.

Ob der in Kapitel 3.1.10.4 beschriebene örtlich begrenzte "Grundwasseraustausch über das Quartär und die Plänerkalke mit einem Nachbargebiet" tatsächlich die Ausnahme darstellt, beruht lediglich auf Annahmen, die durch keinerlei geeignete Untersuchungen erhärtet sind. Darüberhinaus wird unterstellt, daß unterhalb der Oberkreidebasis kein Wasseraustausch stattfindet (Kapitel 3.1.10.4; s. Abschnitt 3.4.2) Durch Druckspiegelunterschiede hervorgerufene Wasserübertritte (leakage) werden nicht berücksichtigt, ohne daß dies überhaupt Erwähnung findet.

Aus Anlage 3.1.9.6/6 und 3.1.10.3/1 geht hervor, daß im

Südwesten des modellierten Gebietes (westlich und südlich der Ortschaft SZ-Gebhardshagen) die Morphologie der Grundwasserhöhenlinien und damit die Druckverhältnisse - ein wichtiger Eingabeparameter für das Modell - unbekannt sind, sodaß über den Grundwasserabstrom (Betrag und Richtung) nichts bekannt ist. Generell fallen beim Studium des Grundwasserhöhengleichensplans (Anlage 3.1.9.6/6) große Bereiche auf, in denen der Verlauf der Isolinien aufgrund fehlender Grundwassermeßstellen nicht nachvollzogen werden kann. So sind im gesamten südlichen, westlichen, nordwestlichen, östlichen, südöstlichen und südwestlichen Bereich keine Grundwassermeßstellen vorhanden, zudem sind die angegebenen Fehlerbereiche (± 3 m bzw. ± 5 m) sehr groß. Für diese Bereiche erscheint es aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht sinnvoll, überhaupt Isolinien anzugeben.

Für den nördlichen Abschnitt des Modellgebietes sind in dem Gutachten überhaupt keine Grundwasserisolinienpläne angegeben.

Die Annahme, die Allerniederung sei der alleinige Exfiltrator und daraus resultierend eine sinnvolle nördliche Begrenzung des Modellgebietes, stützt sich darauf, daß in diesem Bereich "hydraulisch wichtige, tiefwasserführende Gesteinsschichten in die Nähe der Erdoberfläche gelangen" (3.1.9.6-5). Ohne umfangreiche hydraulische und hydrochemische Untersuchungen, die bislang nicht vorliegen, sind derartige Aussagen als Hypothesen zu bewerten, die durch geeignete Untersuchungsprogramme, die die Exfiltration von Tiefenwässern beweisen, verifiziert werden müssen.

Zusammenfassend muß hinsichtlich der dem Grundwassermodell zugrunde liegenden Erkenntnisse über die räumliche Begrenzung des geohydraulischen Fließsystems festgestellt werden, daß ausreichende regionale Untersuchungen fehlen oder nicht dargestellt sind.

3.4.6.2 Hydrogeologische Kennwerte

Für eine Beurteilung der in dem Plan angegebenen Kennwerte ist die Kenntnis der Untersuchungsmethoden nötig. Hinsichtlich der Langzeitsicherheit erlangt die in situ-Bestimmung hydraulischer Parameter große Bedeutung. Das Fehlen einer Beschreibung der angewandten Verfahren ("hydraulische in situ-Tests"; 3.1.9.6-22) macht eine Beurteilung dieser Modell-Input-Daten unmöglich. Die Angaben zur hydraulischen Leitfähigkeit sind daher stets mit Vorsicht anzuwenden. Sind sie, wie häufig üblich, aus Pumpversuchen gewonnen, stellen sie nur eine Art von Mittelwert über eine höhere, meist inhomogene Gesteinssäule dar (9).

Es fehlen zudem Angaben darüber, ob die räumliche Variabilität der hydraulischen Eigenschaften über das ganze Gebiet statistisch eingeschränkt wurde und wie zuverlässig die Schichtgeometrien und -Eigenschaften in den Abbildungen dargestellt sind.

Die horizontale und vertikale Durchlässigkeitsverteilung der einzelnen Elemente stellen Eingabeparameter dar, die mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Die Auswirkung dieser Unsicherheit kann man daran abschätzen, wie empfindlich das Grundwasserfließsystem (definiert durch die berechnete Fließrichtung und -geschwindigkeit) auf eingegebene Durchlässigkeitsänderungen reagiert (32) (s. 3.1.10.4-11). Zwar sind in dem Plan im Hinblick auf einen konservativen Ansatz diejenigen hydraulischen Parameter in die Modellberechnungen eingegangen, die zu den kürzesten Transportzeiten führen (3.1.10.3-3), mögliche räumliche Änderungen der Parameter und Fehler in der Annahme der Randbedingungen oder nicht erfaßte Tiefenwasserkonvektionen (s. Abschnitte 3.4.2/3) können jedoch beträchtliche Abweichungen der Druckverhältnisse in der Tiefe und damit andere, u.U. kürzere Laufzeiten und -wege der Radionuklide bis zur Biosphäre zur Folge haben.

Ein räumliches Grundwassermodell von der Größe, wie es im Plan vorgestellt wird, verlangt für seinen Aufbau Daten aus dem gesamten Modellgebiet: über Materialeigenschaften und deren Variabilitäten, über wassertragende Klüftungen sowie über die Wasserchemie en detail (s. Abschnitt 3.4.2).

Im Zusammenhang mit den im Modell diskutierten Migrationswegen durch die Unterkreidetone sollten eine bessere Argumentation und eine Studie über die Auswirkungen aller möglichen Materialschwankungen, Diskontinuitäten und Fehlschätzungen in Datenannahmen oder Interpretationen vorgelegt werden.

Ist angesichts der Komplexität der Verhältnisse die Datenbasis "gering" (3.1.10.3-2) oder sind die Randbedingungen wie in dem vorliegenden Plan nicht oder nur unvollkommen bekannt (Abschnitt 3.4.6.3), erhält man durch Variation der Parameter einen Eindruck vom möglichen Systemverhalten (33). Durch Variation der Daten und durch Vorgabe extremer Bedingungen lassen sich die ungünstigsten Fälle und Bandbreiten der Ergebnisse abschätzen; dieses Vorgehen wird in dem Plan für Porositäts- und k_f -Wert-Variationen transparent beschrieben und erscheint vernünftig. Es kann jedoch nicht belegt werden, daß die Modellergebnisse nicht wesentlich von den tatsächlichen Verhältnissen abweichen.

Es ist zu beachten, daß das Datenspektrum, die Datendichte und die Qualität der Datenerhebung die Aussagekraft diktieren. Erwartungen, die an die Modellierung gestellt werden, müssen dies berücksichtigen. Modellergebnisse mit unzulänglichen Daten haben zwangsläufig nur einen prinzipiellen oder relativierenden Aussagewert (33).

Wird die Datengrundlage nicht erheblich erweitert, besitzen die Ausbreitungsberechnungen lediglich den Stellenwert einer Schätzung; sie können jedoch in keinem Fall Grundlage für eine belastbare Sicherheitsanalyse sein, da die Daten für eine Kalibrierung des Modells, d.h. Anpassung der Modellreaktionen an die Natursystemreaktion mittels Kontrolldaten (z.B. Isotopen, natürliche Tracer, Druckmessungen) bei weitem nicht ausreichen.

Bei der Beurteilung der Aquiferparameter ist die Temperaturabhängigkeit wichtiger physikalischer und chemischer Eigenschaften des Wassers (Dichte, Viskosität, Lösungsinhalt) zu berücksichtigen. Dies bedeutet, daß bei gleicher Potentialdifferenz und gleicher Permeabilität die Mobilität eines 50' C warmen tiefen Grundwassers 2,4 mal größer ist als die eines 10' C warmen oberflächennahen Grundwassers. Hoch konzentrierte Wässer vermögen durch schräg gestellte Schichten von verschiedener Permeabilität besser zu wandern als niedrig

konzentrierte Süßwässer. Tonige Gesteine sind zwar von elektrolytarmen Wässern kaum zu durchdringen, wohl aber von stärker salzhaltigen. Stark konzentrierte Lösungen erreichen beinahe die für Luft geltenden Permeabilitätswerte (17).

Bei den Simulationsrechnungen wird im begutachteten Plan von Süßwasserverhältnissen ausgegangen, obwohl die Existenz von Wässern unterschiedlicher Salinität im Untersuchungsgebiet bekannt ist (3.1.10.3-10). Entgegen der in den Plan-Unterlagen geäußerten Ansicht, daß entsprechend dem derzeitigen internationalen Stand der Technik für Grundwassermodelle eine Berücksichtigung von Wässern mit variabler Dichte noch nicht möglich ist (3.1.10.3-10), liegt nach BRÜHL et al. (34) gerade ein Vorteil des SWIFT-Programms in der Möglichkeit, auch Dichteinflüsse auf die Grundwasserbewegung zu berücksichtigen.

Die Dichte des Wassers ist bei einer Temperatur von 50°C um den Faktor 0,988 kleiner als bei 10°C. Diese temperaturbedingten Dichteunterschiede können bei ausreichender Vertikal-Permeabilität und den in der Tiefe vorherrschenden langsamen Fließgeschwindigkeiten bedeutende Konvektionsströmungen verursachen. Zusammen mit der temperaturbedingten Änderung der Viskosität können auf diese Art und Weise tiefgreifende Zirkulationssysteme entstehen (9), die durch die Modellrechnungen nicht erfaßt werden.

Solche Zirkulationssysteme verursachen durch den in ihnen stattfindenden Wärmetransport u.U. Wärmeanomalien (9). Die Bestimmung der **Temperatur** tiefer Grundwässer ist somit für den Nachweis tiefer Grundwasserströmungssysteme wichtig. Positive Wärmeanomalien können schon durch geringe Mengen an aufsteigendem warmen Wasser hervorgerufen werden. Dies zeigen Untersuchungen in allen aktiven geothermischen Systemen.

Nach Kap. 1.2 wurden beim Abteufen des Schachtes Konrad I Temperaturbeobachtungslöcher gebohrt, "um die Gebirgstemperatur und etwaige Temperatursprünge zu erfassen". Weitere Aussagen werden nicht gemacht, obwohl diese Maßnahmen sicherlich nicht ohne Grund getroffen wurden. Auch hier müssen Begründungen und Untersuchungsergebnisse sowie eine Beschreibung der Meßmethoden gefordert werden. In diesem Zusammenhang wäre

zu fordern, im Labor die Wärmeleitfähigkeiten der lithologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet zu ermitteln. Weitere Voraussetzung sind entsprechende Temperaturbeobachtungen im regionalen Rahmen.

Bei den im Plan vorgelegten Temperaturmessungen in Grundwasserbeobachtungsbrunnen, die an einigen Meßstellen stark erhöhte Werte ergaben (3.1.9.6-13), müssen die hierfür als Ursache genannten anthropogenen Ursachen genau spezifiziert werden um einen konvektiven Wärmetransport ausschließen zu können. Da für diese Messungen keine methodische Beschreibung vorliegt, kann auch hier keine zuverlässige Beurteilung der Daten vorgenommen werden.

Gerade im Bereich von Salzstöcken treten im allgemeinen erhebliche Änderungen der Temperaturgradienten sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung auf. Aus diesen unterschiedlichen Temperaturverteilungen lassen sich Beiträge zur Abschätzung der Grundwasserbewegung ableiten (9), mit deren Hilfe die Zuverlässigkeit des mit SWIFT errechneten Fließgeschehens abgeschätzt werden kann.

3.4.6.3 Randbedingungen

Bei der Beschreibung der Modellrechnungen in den Plan-Unterlagen werden die angenommenen Randbedingungen nur unzureichend und nur teilweise nachvollziehbar dargestellt. Transparent erscheinen die Randbedingungen nur für die Modelloberfläche ("Ausgehend vom Grundwasserhöhengleichenplan...") und für die Ränder des Modells, die als undurchlässig angenommen werden. Letzteres ist jedoch nur dann zulässig, wenn der hydraulische Druckgradient senkrecht zur Begrenzung null ist (35). Dies ist jedoch nicht bewiesen, sondern aufgrund der Nähe zu großen Salzvorkommen sogar eher unwahrscheinlich (s.o.). Eine realistischere Randbedingung liefert die Annahme eines \pm räumlich und zeitlich konstanten Wasserein- bzw. -ausstroms.

Verschiedene Erfahrungen mit Grundwassermodellen deuten allerdings auch auf eine Abnahme des Einflusses der lateralen Randbedingungen auf die Modellgenauigkeit, wenn das Verhält-

nis Modellbreite/-Mächtigkeit > 3 wird (35). Inwiefern das auch für dieses Modell gilt, wird nicht beschrieben.

Die richtige Wahl der Randbedingungen ist jedoch die wichtigste Entscheidung im Modellierprozess Alternativen müssen sorgfältig betrachtet und in Sensitivitätsanalysen getestet werden, um die Reaktion des Grundwasserfließsystems auf größenordnungsmäßig noch nicht genügend bekannte Parameter und Rahmenbedingungen zu erfassen. Obwohl dies stets in der Literatur betont wird, exemplarisch seien hier BEAR (36), FRANKE et al. (35) sowie MATTHESS & UBELL (19) erwähnt, sind die Modellgrenzen in dem begutachteten Plan - trotz fehlender Kenntnisse über möglicherweise existierende, über die Ränder hinausgehende, Tiefenwasserzirkulationssysteme - definiert worden, ohne daß für denkbare andere Grenzen oder Druckverhältnisse an den Modellgrenzen Sensitivitätsanalysen durchgeführt worden sind. Die Annahme, daß kein lateraler Durchfluß an den seitlichen Begrenzungen herrscht, müßte z.B. probe-weise aufgehoben werden, um ihre Relevanz zu testen.

Da auch für die übrigen Randgebiete eine gewisse Unsicherheit über die einzusetzenden Werte für die Potentiale und Versickerungsraten besteht, müssen diese Randbedingungen ebenfalls einer Sensitivitätsanalyse unterworfen werden. Dies durchzuführen und hierüber auch zu berichten, wie dies z.B. die NAGRA getan hat (11), muß unbedingt gefordert werden.

Selbst bei korrekter Bestimmung der Transmissivitäten führen unrichtigerweise angenommene Randbedingungen zu bedeutungslosen Aussagen (35).

Sensitivitätsanalysen müssen darüberhinaus hinsichtlich der Diskretisierung des Untersuchungsgebietes durchgeführt werden. Inwieweit die "wesentlichen Zusammenhänge des Grundwasserleitersystems" bei dem vorliegenden Gutachten nachgebildet werden (3.1.10.4-3), ist in dem vorliegenden Gutachten nicht belegt, zumal diagonal zum Raster verlaufende Strukturen "nicht so gut" wiedergegeben werden können (34).

KIRALY (37) weist darauf hin, daß zu groß gewählte Elemente zu unrealistischen Potentialverteilungen führen. Das Problem der Limitierung der Anzahl der Elemente aufgrund der Rechner-

kapazität, mit welchem der "grobe Raster" gerechtfertigt wird, ließe sich durch ein Vorgehen, wie es KIMMEIER et al. (32) in dem NAGRA-Report NTB 84-50 vorstellen, egalisieren.

Ein regionales Modell umfaßt die gesamten In- und Exfiltrationsgebiete und liefert zugleich die Randbedingungen für ein lokales Modell, welches dann eine feinere Diskreditierung erlaubt. Da sich dieses Vorgehen in hohem Maße bewährt hat, sollte es auch hier als Grundlage der Sicherheitsanalyse angewandt werden.

3.4.6.4 Validierung des Modells

Bei der Formulierung eines konzeptionellen Modells, welche der mathematischen Modellierung stets vorausgeht, ist die **Validierung**, d.h. die Prüfung der Güte der Näherung, wichtig (20).

Folgende Datengruppen können dazu benutzt werden, das Modell zu validieren (32):

1. beobachtete Druckhöhen in zusammenhängenden Aquifern,
2. Abflußraten,
3. Infiltrationsraten oder beobachtete Grundwasser-Spiegelhöhen in den Oberflächenaquifern,
4. Hydrochemische und isotopenhydrologische Referenzdaten (z.B. Gesamtmineralisation, Zusammensetzung, Verweilzeiten und Herkunft des Wassers).

Die Ergebnisse der aus den mit SWIFT durchgeführten Modellrechnungen sind in dem zu begutachtenden Plan lediglich anhand größenordnungsmäßig gemessener bzw. angenommener Ein- und Ausstromraten über die Modelloberfläche überprüft worden (3.1.10.4-7). Durch dieses Vorgehen wird jedoch lediglich das "Funktionieren" der in dem Modell enthaltenen Mathematik bewiesen, d.h., es tritt kein Widerspruch zu dem in den Gleichungssystemen vorausgesetzten Prinzip der Erhaltung der Massen auf. Es muß somit festgestellt werden, daß sich das

von der PTB entwickelte Modellkonzept mit der gegenwärtigen Datenbasis nicht validieren läßt. Bezüglich der den Modellrechnungen zugrunde liegenden Daten bleibt die Frage, wie repräsentativ die Beobachtungen bzw. über welche Fläche die Messungen extrapolierbar sind. Zum Beispiel könnte jede Druckmessung von einer engräumigen Durchlässigkeitsabweichung beeinflußt sein. Es ist allein aufgrund mangelnder Erkenntnisse, insbesondere aus den nicht durch Bohrungen erfaßten Schichten, unrealistisch, die in dem Gutachten beschriebenen Varianten I und II als maßgebende Basisfälle anzunehmen. Dies gilt auch dann, wenn einige Simulationen sich den letztlich immer \pm punktförmigen Beobachtungen besser nähern als andere.

Da das Modellkonzept eine wesentliche Grundlage für die Sicherheitsanalyse darstellt, muß für eine Validierung die Datenbasis erheblich erweitert werden. Dies gilt besonders für den hydrochemischen, Isotopen-, thermalen sowie hydrogeologischen Bereich.

Der gesamte hydrochemische Themenkomplex muß im Mittelpunkt einer Strategie zur Erstellung eines Grundwassermodells stehen, da sich eine Validierung und Verifizierung des Grundwassermodells nur über diese Daten vornehmen läßt (Abb. 5, Tab. 1).

Tab. 1: Validierung des Modells. Aus (20).

Untersuchungs- rahmen	Zu untersuchende natürliche Vorgänge	Beispiele von Versuchen, Messungen, Beobachtungen
LABORVERSUCHE	Auslaugung/Korrosion	- Auslaugversuche - Abtragsmessungen, elektrochemische Messungen
	Nahfeld Radionuklid- transport	- Diffusions- und Sorptionenversuche - Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Elemente der Barrieren- systeme - geotechnische Untersuchungen bzw. Versuche, wie z. B. Quellungsversuche, Oedometer- oder Triaxversuche
	Grundwasserfluss (inkl. Herkunft und Alter des Wassers bzw. der Gase)	- Permeabilitätsmessungen für Wasser und Gase - chemische Analysen (Wasser und Gas) - Isotopenuntersuchungen
FELSLABOR UND FELDVERSUCHE	Fernfeld Radionuklid- transport	- mineralogisch-petrographische Untersuchungen, wie z. B. Mikroskopuntersuchungen, Röntgenanalysen, Tonmineralanalysen - Porosimetrie, Porositätsmessungen - Sorptionsversuche - Durchpressversuche mit gespaltenen Bohrkernen
	Wärmeausbreitung Chemische Löslich- keit Nahfeld Radionuklid- transport Grundwasserfluss	- Heizelemente - chemische Speziation, Wasserchemie - Auflockerungsversuche - geologische Untersuchungen, wie z. B. geol. Kartierung, geophysik. Bohrungen - Messungen der hydraulischen Drucke - Durchlässigkeitsmessungen, Ventilationstests - Tracertests - Gasmessungen
	Fernfeld Radionuklid- transport Grundwasserfluss Korrosion Nuklidtransport	- Migrationstests - Bohrlochkranzversuche - Isotopenmessungen - historische Gegenstände - natürliche und künstliche Radioaktivität der Umwelt
NATUERLICHE ANALOGA		

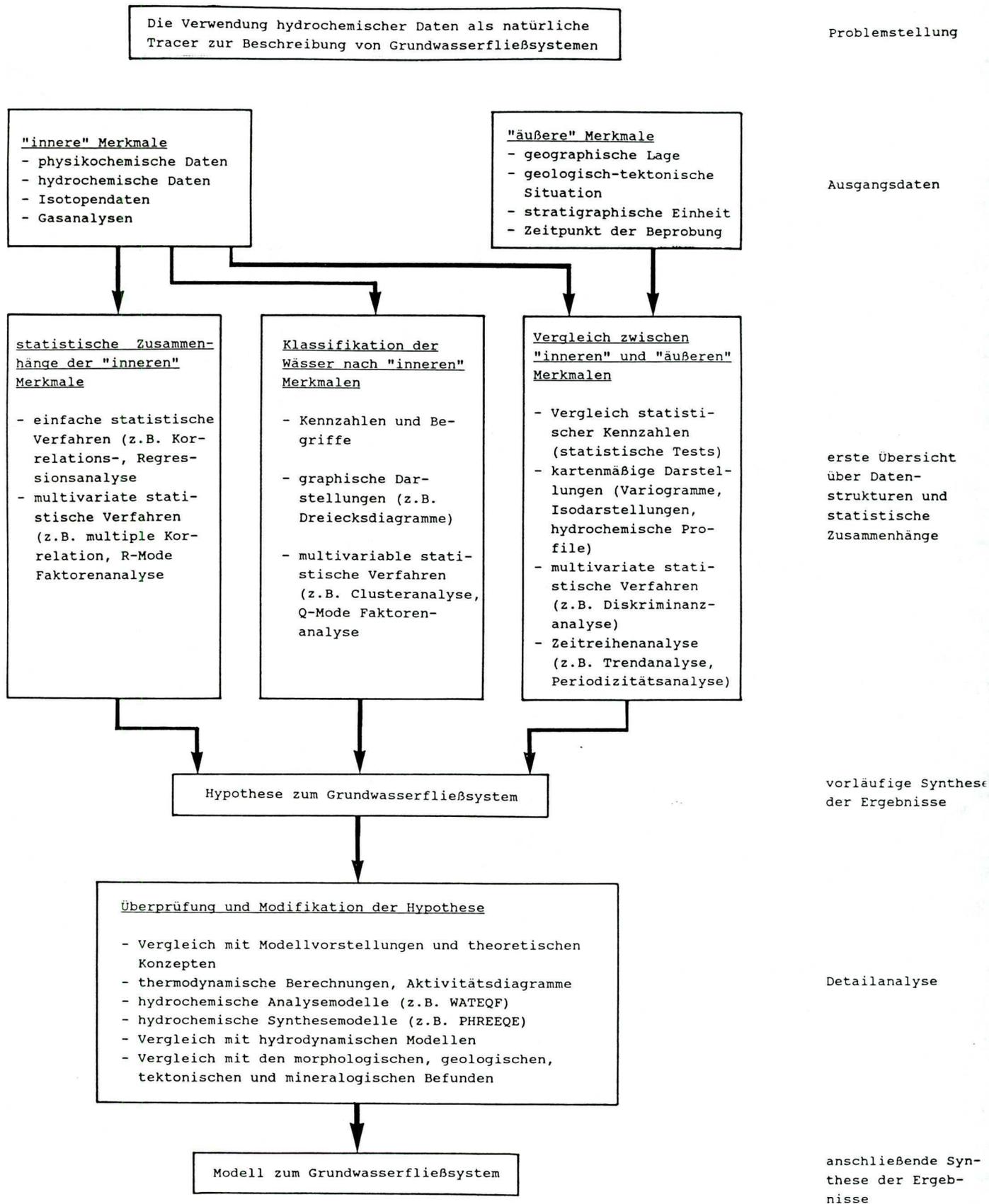


Abb. 5: Übersicht über Verfahren zur Auswertung hydrochemischer Daten. Aus (38)

3.4.6.5 Beurteilung der Modellierung und Konsequenzen

Aus den in den vorliegenden Antragsunterlagen dargestellten Modellrechnungen zum Grundwasserfließgeschehen sowie zum Radionuklidtransport läßt sich eine hinreichend fundierte Aussage im Hinblick auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers nicht treffen (s. a. Abschnitt 8.2). **Die Langzeitsicherheit wird durch die Modellrechnungen nicht belegt.**

Die verwendete Version des SWIFT-Programms, welche die Dichte der Wasser nicht berücksichtigt, entspricht nicht dem heutigen Stand bei der Modellierung von Fließsystemen.

Auch im Vergleich mit anderen Endlager-Projekten für radioaktive Abfälle in Schweden und Frankreich, wo ähnliche Modelle Anwendung finden, wird deutlich, daß die in den Plan-Unterlagen vorgelegten Modellrechnungen zudem kaum den hohen Anforderungen für eine Sicherheitsanalyse gerecht werden. Die wesentlichen Kritikpunkte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Mangelnde Transparenz** hinsichtlich der einzelnen Modellierungsschritte
- Die **Randbedingungen** sind nur ungenügend und z.T. gar nicht bekannt bzw. dargestellt
- Ungenügende Beschreibung der **Datenerhebung**
- Keine Angaben über die regionale Variabilität der hydraulischen Parameter
- Keine Berücksichtigung der Dichte der Wasser
- Keine Erwähnung von **Sensitivitätsanalysen** hinsichtlich der Randbedingungen und der Diskretisierung
- Eine **Validierung** des Modells ist aufgrund der zu geringen Datenbasis nicht möglich

Die lokalen und regionalen Daten für die Modelle der Grundwasserausbreitung und den Radionuklidtransport reichen nicht aus. Neben geochemischen und Isotopen-Daten fehlen insbesondere belastbare Daten hinsichtlich der basalen und lateralen Begrenzungen des Modells.

Die Auffassung der PTB-Gutachter, "die räumliche Begrenzung des geohydraulischen Fließsystems" sei "durch die ausführliche geologische Bearbeitung gut bekannt", kann aufgrund

- nicht ausreichender Darstellung aller Bohrungen,
- fehlender Darstellung des Grundwasserchemismus,
- unzureichender oder fehlender Isotopenuntersuchungen,
- fehlender (Edel-) Gasanalysen,
- fehlender Untersuchung der Mineralwasservorkommen im Bereich des Endlagers,
- ungenügender Aussagen zur lokalen und regionalen Temperaturverteilung

nicht nachvollzogen werden, bzw. es muß ihr sogar widersprochen werden.

Das dreidimensionale Grundwassermodell, das ein wesentlicher Bestandteil der Sicherheitsanalyse ist, weil es die Migrationswege für die mit dem eindimensionalen Transportmodell berechnete Radionuklidausbreitung liefert, ist zwar "in sich konsistent", zahlreiche sehr wesentliche Aspekte sind jedoch nicht dargestellt, und es kann nicht nachvollzogen werden, ob und wie diese in das Modell Eingang gefunden haben.

Aus der Prüfung und Beurteilung der Kapitel 3.1.9.6, 3.1.10.1 - 3.1.10.4 ergeben sich zu den **Konsequenzen**, daß für die Modellierung ein anderer Ansatz als der im Plan vorgestellte zu wählen ist:

- Es ist ein **regionales Modell** aufzustellen, welches die Randbedingungen für ein **lokales Modell** liefert.
- Modellrechnungen müssen mit **Programmversionen** durchgeführt werden, die dem **internationalen Standard** entsprechen.
- **Modellierungen** müssen **geochemische Informationen** berücksichtigen.
- **Druckmessungen** in **Aquifersystemen** tragen zur Validierung des Modells bei.

4. Gebirgsmechanische Bewertung

Bezug zu den Kapiteln 3.1.9.7 und 3.1.10.5

4.1 Geodätische Messungen

In den Planunterlagen beschreibt die PTB die Einrichtung des Meßstellennetzes sowie ihre damit verbundene Zielsetzung. Diese wurden nach der Stellung des Antrages zur Einleitung des Planfeststellungsverfahrens für die Nutzung der Grube als Endlager geändert. Während das Meßprogramm in den Vorjahren allein für die Feststellung abbaubedingter Bodensenkungen konzipiert war, sollten nun durch das erweiterte Meßprogramm zusätzliche Kenntnisse über das Verformungsverhalten der Geländeoberfläche zwecks Überwachung, Dokumentation (Beweissicherung), Verifizierung gebirgsmechanischer Rechenmodelle und bergschadenkundlicher Bewertungen der Senkungen gewonnen werden. Es wird beschrieben, daß das Festpunktnetz von 13 km² auf 40 km² erweitert wurde und derzeit 390 Meßpunkte umfaßt.

Die Lage der Meßpunkte ist jedoch mit Ausnahme der Punkte 35 und 106 in keinem Plan dargestellt. Eine Überprüfung, ob eine sinnvolle Anordnung der alten und neuen Meßpunkte erfolgte, ist damit nicht möglich.

Die Auswertung der Messungen liefert Hinweise über die bislang maximal aufgetretenen Senkungsmaße, Trogvolumen und Grenzwinkel des Senkungstrog. Die Definition des Grenzwinkels bzw. eine Darstellung, wo und wie der Grenzwinkel gemessen wurde, fehlen.

Eine Beurteilungsmöglichkeit der in Abb. 3.1.9.7/5 dargestellten Linien gleicher Setzungen ist nicht gegeben.

Es wird der Bezug zwischen den Senkungsmaßen, Senkungsraten, der Zeit und den Hohlraumauffahrungen hergestellt. Diese sind beispielhaft an den Meßpunkten 35, 106 und 34 erläutert.

Die Lage des Punktes 34 ist jedoch aus keinem der beiliegenden Pläne ersichtlich.

Zusammenfassend scheint der Aufwand an Messungen und Meßpunkten angemessen und ausreichend zu sein. Die Nachvollziehbarkeit der Auswertung der Messungen wird jedoch durch fehlende grundlegende Darstellungen der Lage der Meßpunkte und Erläuterungen der Lagekriterien verhindert. Ob das gewonnene Da-

tenmaterial tatsächlich ausreicht und auch die zu erwartenden Senkungen in den Randbereichen durch die neu eingerichteten Meßpunkte voll erfaßt werden, kann somit nicht festgestellt werden.

4.2. Verformungsmessungen in Strecken und Kammern

Von der Markscheiderei durchgeführte umfangreiche Messungen, die z.T. durch ein F+E-Programm gefördert wurden, sollten mittels Firstsenkungs- und Konvergenzmessungen zum besseren Verständnis der im Bereich des streichenden Kammerbaus ohne Versatz ablaufenden gebirgsmechanischen Vorgänge beitragen.

Ab 1977 wurden im Rahmen der Eignungsprüfung weitere Verformungsmessungen (Streckenkonvergenz- und Neigungsmessungen) in der Grube durchgeführt. Grundsätzlich liefern die angewendeten Messungen (wie Firstsenkungsmessungen, Polygonmessungen, Schachtteufenmessungen und Konvergenzmessungen) gute Basisdaten für die Beurteilung der Standfestigkeit des Gebirges, örtlich kritische Streckenbereiche, Aussagen über Auflockerungszonen und für die Entwicklung von Grundlagen zur Vorausberechnung von Streckenkonvergenzen.

Augrund der langjährigen Beobachtungen und Messungen sowie aufgrund von Erfahrungswerten kann erwartet werden, daß die Rechenansätze fundiert sind und sich für entsprechende Vorausberechnungen der zu erwartenden Verformungen infolge der Auffahrung neuer Einlagerungsfelder eignen.

Ein Meßprogramm zur Kontrolle der Prognosewerte während der Bau- und Betriebsphase darf jedoch nicht fehlen.

Im Zusammenhang mit markscheiderischen Erfahrungen wurden aus den Verformungsmessungen in den Abbaustrecken empirische Formeln für die Vorausberechnungen der maximalen Verformungen sowie den zeitlichen Verlauf der Verformungen ermittelt.

Es ist jedoch nicht aus den Planunterlagen erkenntlich, ob es sich um allgemeingültige empirische Formeln handelt und ob in diesem Zusammenhang die verschiedenartigen Ausgangsverhältnisse der Endlagergrubenbereiche (Querschnitt, Geologie, Ausbruchart, Verwerfungen, Abstände der Nachbarstollen) berücksichtigt werden können. Ein Nachweis der Übertragbarkeit auf neu aufzufahrende Grubenbereiche fehlt. Die Tabelle 3.1.9.7/1, die den Nachweis für die Realitätsnähe der Voraus-

berechnungen geben soll, muß, um nachvollziehbar zu sein, durch weitere Angaben, wie angewendete Formeln und Eingangsdaten, ergänzt werden.

Folgende weitere Aussagen können (z.B.) nicht nachvollzogen und infolgedessen nicht beurteilt werden:

- 3.1.9.7.-7 "Durch Ausbauverstärkungen konnten die Senkungsraten reduziert werden. Eine entscheidende Erniedrigung machte sich jedoch erst mit Einstellung der Erzgewinnung im Spülversatzfeld bemerkbar."

Die Abb.3.1.9.7/6, die vermutlich als erläuternde Darstellung hierzu verstanden werden soll, bietet keine Informationen, wann Ausbauverstärkungen eingebracht wurden oder wann die Erzgewinnung eingestellt wurde.

- 3.1.9.7-8 "Von wenigen Ausnahmen abgesehen konnten die Abbaueinwirkungen auf Abbau- und Sohlenstrecken durch Anwendung entsprechender Ausbauprozesse beherrscht werden." Eine genauere Analyse dieser Aussage, die uns wichtig erscheint, da sie zur Beurteilung der Standfestigkeit in kritischen Abschnitten beiträgt, ist nicht möglich. So fehlen zu "den wenigen Ausnahmen" Darstellungen der Lage und Umstände, sowie die Interpretation der Ursachen und die daraus zu ziehenden Folgerungen und Konsequenzen.
- 3.1.9.7-8 Für die Konvergenzermittlung unterschiedlicher Streckenabschnitte wurden Extensometer- und Kurzankerstationen eingerichtet. Die genaue Lage der einzelnen Stationen ist in den Tab. 3.1.9.7/2+3 aufgelistet. Die Lage wird durch Koordinaten und Streckennummern beschrieben, die in keinem der beigelegten Pläne dargestellt sind. Darüberhinaus bleiben die Auswahlkriterien für Lage und Anzahl der Meßpunkte unbekannt.
- 3.1.9.7-9 "Der zeitliche Verlauf der Konvergenz kann durch eine logarithmische Funktion beschrieben werden." Die Funktionen sind nicht dargestellt und die Eingangsparameter nicht erläutert. Es ist auch nicht festzustellen, ob mehrere Funktionen für die verschiedenen Streckenabschnitte und Grubenbereiche existieren oder nur eine allgemeingültige. Hinweise auf eventuell in diesem Zusammenhang vorher veröffentlichte Untersuchungs- und Ergebnisberichte fehlen.

4.3 Schachtteufenmessung

Seit 1970 werden im Schacht Konrad II in bestimmten Intervallen Teufenmessungen durchgeführt (1970, 1983, 1984). Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 3.1.9.7/10 dargestellt. Obwohl im Textteil steht, daß dort Ergebnisse der Messungen von 1970 bis 1984 dargestellt sein sollen, sind in der Abbildung nur die Messungen von 1970 bis 1981 aufgeführt (Schreibfehler?).

Es ist weiterhin nicht festzustellen, ob die Stationen (=Meßstellen) in gleichmäßigen Abständen eingerichtet wurden und in welchen Höhen diese angeordnet waren. Da unterschiedliche Senkungsbeträge gemessen wurden und somit Zerrungen und Pressungen der Schachtröhre festzustellen sind, wäre es wünschenswert, durch parallele Darstellung des geologischen Profils eine nachvollziehbare Interpretation der Ursachen zu ermöglichen.

Der direkte Schluß, daß die gemessenen Senkungswerte keinerlei Hinweis auf eine Gefährdung der Standsicherheit des Schachtbauwerkes ergeben haben, ist nicht nachvollziehbar. Es wird im folgenden Kapitel (3.1.10.5-14) beschrieben, daß durch weitere Grubenauffahrungen nur geringe und nicht stabilitätsgefährdende Einwirkungen erwartet werden. Die Darstellungen 3.1.10.5/15/16 zeigen die Prognosewerte für die Senkungen (großräumig) und die Scher- und Stauchmaße beispielhaft für das Jahr 1988. Zu diesem Zeitpunkt läuft jedoch noch der Einlagerungsbetrieb. Die Schließung der Schachtbauwerke ist noch nicht erfolgt, sodaß die zu diesem Zeitpunkt dargestellten Zustände nicht den Maximalwerten entsprechen. Es werden keine Angaben gemacht, wie die Stabilitätsgrenzwerte definiert sind und welche Grenzwerte erwartet werden. So kann die Korrektheit der Aussage über die Standsicherheit nicht überprüft werden.

Daß keine Kenntnisse über den Zustand des den Schacht umgebenden Gebirges existieren, muß als Mangel bewertet werden. Weniger für die Standsicherheit als für die Planung und für eine Aussage über die Wirksamkeit der späteren Schachtverschließung (Sicherheitsbetrachtung), wären weitere Erkenntnisse über Auflockerungszonen, Verdichtungszonen, Spannungszustände, Ablösungen, Wegsamkeiten im Übergang von Gebirge und Schachtbauwerk wünschenswert.

Offensichtlich sind bis heute noch keine Teufenmessungen am Schacht I durchgeführt werden. Dies muß ebenfalls bemängelt werden, da nicht nachgewiesen ist, daß sich dort nicht unter Umständen ganz andere Meßergebnisse und Folgerungen ergeben können. Abb. 3.1.10.5/16 zeigt auch für Schacht I prognostizierte Werte für Stauchung und Scherungen. Es gibt keine Hinweise über die Art der Ermittlung dieser Prognosedaten.

4.4 Verformungsmessungen in geneigten Meßbohrungen

Ergebnisse dieser für die Untersuchungen möglicher Gebirgsverformungen derzeit noch ablaufender Spannungsumlagerungen und Untersuchungen möglicher rezenter Bewegungen an strukturell bedeutsamen Störungen eingerichteten geneigten Meßbohrungen liegen noch nicht vor. Über die genaue Lage, Abmessungen und Ausbau der erstellten und geplanten Bohrungen sind in den Planunterlagen keine Angaben gemacht.

4.5 Spannungsmessungen

Die im Zuge gebirgsmechanischer in-situ-Untersuchungen auf der Schachanlage Konrad zur Ermittlung des primären Gebirgszustandes durchgeführten Überbohrversuche sowie der begleitend durchgeführte Bohrlochaufweitungsversuch sind allesamt offenbar in der ehemaligen Revierkammer der 1200 m-Sohle durchgeführt worden.

Eine Begründung für die Wahl gerade dieses Ortes wird nicht gegeben. Die Streich- und Fallrichtung wurde nach Aussage im Plan berücksichtigt.

Wesentliche Angaben über den Zustand des Gebirges (Klüftigkeit, Auflockerungszone u.a.Randbedingungen) in dem Bereich der Messungen fehlen für eine Beurteilung und Bewertung der Meßergebnisse.

Daß diese gemessenen Werte repräsentativ, vergleichbar und auf andere Grubenbereiche übertragbar sind, ist nicht bewiesen.

4.7 Bergmännische Erfahrungen

Bergmännische Erfahrungen sind im Hinblick auf die Standsicherheit von Auffahrungen von Bedeutung. Die Beobachtungen über die Wechselwirkung zwischen tektonischen Störungszonen und dem Öffnen von Abbaukammern und sonstigen Grubenbauen führten zu der Feststellung, daß größere Verbrüche und Zerstörungen in den weiter südlich vom Bleckenstedter Sprung entfernt gelegenen Abbaubereichen auftraten als in der direkten Nähe der Verwerfung.

Ob diese oder andere Feststellungen in der Sicherheits- bzw. Standsicherheitsbetrachtung Berücksichtigung gefunden haben, kann nicht nachvollzogen werden.

Stellen, die ein besonderes Konvergenzverhalten zeigen, wie die im Plan genannten Orte 512 und 562 in der 5. Sohle sowie Abschnitte mit besonders starken Sohlhebungen, wie in der Abbaustecke 1, bedürfen besonderer Beachtung und spezieller gebirgsmechanischer Überprüfungen, um die Ursachen der verringerten Festigkeiten zu ergründen. Wie und ob dieses erfolgte, ist nicht beschrieben. Ein Lageplan der beschriebenen Punkte existiert nicht.

4.7 Gebirgsmechanische Bewertung

Neben den Verfahren aus der Bergschadenskunde bilden **Rechenmodelle**, die von kontinuumsmechanischen Modellvorstellungen und Rechenansätzen der Elastizitäts- und Plastizitätstheorie ausgehen, ein probates Mittel, untertägige Bewegungsvorgänge im voraus abzuschätzen und die Einflüsse verschiedener möglicher Randbedingungen zu erkunden.

Ähnlich wie bei den hydrogeologischen Modellen ist auch hier eine wesentliche Vorbedingung die Erfassung möglichst naturgetreuer Randdaten. Da eine lückenlose Erfassung der gebirgsmechanischen Daten mit ihren Unstetigkeiten nicht möglich und nicht angemessen ist, sind vielfach konservative und idealisierte Annahmen zu treffen.

Die Aussagekraft der Ergebnisse der Modellberechnungen steht und fällt somit mit der Vollständigkeit und Wirklichkeitsnähe der Eingangsparameter.

Zur Ermittlung der **Eingangsparameter** für die **gebirgsmechanischen Berechnungen** wurden

- in-situ-Messungen
- Laborversuche an Gesteinskernen
- Laborversuche an Felsblöcken
- sowie begleitende Laborversuche zur Interpretation der in-situ-Versuche

mit unterschiedlichen Versuchsmethoden und unter verschiedenen Versuchsbedingungen von unterschiedlichen Institutionen durchgeführt.

Die Lage der Probenentnahmestellen ist in Abb 3.1.10.5/1 dargestellt, und die an diesen Proben oder Versuchsstellen vollzogenen Experimente sowie die durchführenden Institutionen werden in Tabelle 3.1.10.5./1 übersichtlich aufgelistet. Es wird jedoch leider auch hier keine Erläuterung über die Auswahlkriterien für die Lage der Probenentnahmestellen gegeben.

Die nach petrographischen Gesichtspunkten und nach Versuchsorten unterschiedenen und getrennt aufgelisteten, durch Versuche ermittelten Bodenkennwerte sind Tabelle 3.1.10.5/2 zu entnehmen. Hier sind jedoch die Restfestigkeitswerte ohne Bezug zu den Versuchsrandbedingungen und der Versuchsart dargestellt.

Warum keine Ergebnisse der Versuchsstellennummern 1, 2, 5, 10, 11, 12, 13 aufgelistet sind, wird nicht erläutert. Damit fehlen wesentliche Daten aus den geplanten Auffahrungsfeldern.

Weitere Versuche müssen während der Auffahrung neuer Grubenabschnitte zur Kontrolle und Bestätigung der bislang in die Standsicherheitsuntersuchungen und in die Modellberechnungen eingeflossenen - und als konservativ bewerteten - Eingangsparameter durchgeführt werden.

Ein Nachvollziehen der einzelnen Versuche, der Versuchsbedingungen und der Auswahlkriterien ist nicht möglich.

Eine Korrelierung der Ergebnisparameter mit petrographischen Beobachtungen oder mit der Höhenlage der Probenentnahmestellen im Gebirge oder gar eine Zuordnung zur Geologie ist nicht möglich.

Mit Hilfe des Rechenmodells sollen auf der Basis der finiten Elementmethode

- Aussagen über den mechanischen Beanspruchungszustand des anstehenden Gebirges in dem Bereich des derzeitig aufgefahrenen Grubengebäudes bis zur Geländeoberfläche geliefert werden,
- Abschätzungen des Einflusses geplanter Einlagerungsfelder auf den Bereich der wichtigsten geologischen Barrieren ermöglicht werden (3.1.10.5-5,6).

Als Eingangsdaten werden die für einen konservativen Ansatz erforderlichen und in den Versuchen ermittelten Restreibungswinkel und Restkohäsionswerte sowie der Restverformungsmodul eingesetzt.

Es bleibt jedoch nachzuweisen, daß die Modell-Eingangsdaten, auch jene aus dem Bereich der über dem Grubengebäude liegenden Gesteinsschichten, durch repräsentative Versuche und Proben belegt sind.

Die Wahl der gelegten Modellschnitte und die Art der Simulierung von Störungen und Versprüngen sowie der Kammern und Stollen kann akzeptiert werden.

Offensichtlich werden in den Schnitten Bereiche mit höherer Konvergenz oder Nachbruchneigung nicht berücksichtigt. Ob Bereiche mit besonders hoher Neigung zu Sohlhebungen infolge liegender Tonsteinfelder durch spezielle konservative Eingangsdaten Berücksichtigung gefunden haben, konnte nicht festgestellt werden.

Im Plan wird beispielhaft nur der Nord-Süd-Schnitt dargestellt und die Ergebnisse dazu erläutert. Die Ergebnisse der Ost-West-Schnitte fehlen.

4.8 Detailmodell (Kammer/Festen-Modell)

Das Kammer-Festen-Verhältnis wurde mit 1:4 vorgewählt (was den Planfeststellungen für den späteren Bau entspricht).

Der Modellschnitt beschreibt einen in 1000 m Tiefe liegenden Gebirgsausschnitt. Das Auswahlkriterium für die Wahl dieser

Tiefenlage ist nicht bekannt.

Eine alternative Modellierung mit der Plantiefe 1300 m und den in diesem Bereich festgestellten Gebirgskennwerten wäre aufgrund der zu erwartenden höheren Drücke durch die größere Gebirgsauflast ebenfalls überprüfenswert.

Die besonderen Lastfälle mit der Annahme von Tonsteinbänken unter der Grubensohle sowie die Annahmen geeigneter Kennwerte, die die konvergenzintensiven Streckenbereiche symbolisieren, sind nicht überprüft worden, so daß für dieses Modell noch weitere Grenzfälle abzuschätzen sind.

Ein Nachweis, daß die bisher in dem Modell verwendeten Eingangsdaten konservative Werte sind, ist nicht erfolgt.

4.9 Schwachstellen und Konsequenzen

Die gewählten Versuchsmethoden sind richtig und anerkannt.

Der konservative Ansatz der Verwendung der Restfestigkeitswerte in den Modellberechnungen ist ebenfalls korrekt.

Kritik muß geäußert werden, da

- grundsätzlich ein **Nachweis der Repräsentanz für die Input-Daten** im Hinblick auf Versuchsanzahl, auf den Grubenbereich sowie auf die Geologie fehlt
- eine detaillierte **Nachvollziehbarkeit** der Versuchs-, Probenentnahme- und Gebirgsrandbedingungen nicht gegeben ist
- **Auswahlkriterien** für die Lage der Entnahmestellen nicht genannt werden
- eine genaue **Tiefen- und Petrographiezuordnung** der Proben aus den Tabellen heraus nicht möglich ist
- nicht festgestellt werden konnte, ob das Deckgebirge bodenmechanisch hinreichend überprüft wurde.

Es wird für erforderlich gehalten, die Versuche zwecks besserer Transparenz aufzuarbeiten und zwar durch

- **Angabe und Darstellung der Probenentnahme- bzw in-situ-Versuchsstellen** sowie der **Probentiefe, Schichtzugehörigkeit**

- und **Einzelergebnisse**,
- eine **statistische Bewertung der Probenmenge und Ergebnisse** als Nachweis der Repräsentanz

Hinweise auf die benutzte Literatur sowie auf vorangegangene detaillierte Ergebnisberichte, durch die die genannten Fakten nachvollzogen werden können, sollten unbedingt angegeben werden, nicht zuletzt um damit die Transparenz entscheidend zu erhöhen.

Derzeit werden infolgedessen viele Aussagen einer Überprüfungsmöglichkeit entzogen oder es wird diese zumindest entscheidend erschwert.

Detaillierte Übersichtspläne mit Angaben zu Streckennummierungen, Ortsbezeichnungen, Darstellungen und Bezeichnungen der Kammern sowie des oft zitierten LHD-Feldes fehlen als grundlegende Orientierungsmöglichkeit.

Grundsätzlich wird nicht bestritten, daß durch die langjährige Erfahrung im Auffahren und Verbau der Grube Konrad zumindest für die relativ geringe Betriebszeit der Einlagerung eine Standsicherheit der Endlagerkammern garantiert werden kann.

Die Standsicherheitsbetrachtungen dienen vorrangig dazu, Bereiche kritischer Gebirgsspannungszustände darzustellen und entsprechende standsicherheitsfördernde Verbaumaßnahmen vorzubereiten, sowie Aussagen über die Einwirkungen der Hohlraumauffahrungen im Hinblick auf eventuelle Schädigungen der mineralischen Barrieren im Deckgebirge zu erhalten.

Das **FE-Modell** sollte auch dazu genutzt werden, Spannungen zu ermitteln, die in der Langzeitbetrachtung (langfristige Standsicherheit) nach Verfüllen und Abschluß der Grube infolge der Konvergenzen auf die Einlagerungsbehälter einwirken.

Die **Frage**, die zu beantworten ist, lautet: **Werden durch Konvergenzen die Behälter beschädigt oder zerstört, bevor langfristige Korrosionsprozesse die Behälter zerstören?**

Ein maßgebender Eingangsparameter dieser Untersuchung ist die Art und Weise der Verfüllung (Haldenmaterial oder Fließzement, verdichtet oder nicht verdichtet).

Dieses entspräche einer Sicherheitsbetrachtung im Hinblick auf die dauerhafte Endlagersicherheit.

5. Geologische Langzeitprognose

und dazu

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Kapitel 3.1.10.6 der Plan-Unterlagen.

Zur Beurteilung der Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers werden in den Plan-Unterlagen verschiedene mögliche Veränderungen innerhalb von mehreren 100.000 Jahren und ihre Folgen für den Standort betrachtet (Abschn. 3.1.10.6: Geologische Langzeitprognose). Denkbare Veränderungen (Klimaveränderungen, Erosion, Denudation, Akkumulation, Hebung, Diapirismus sowie Magmatismus) und daraus abgeleitete Folgen-Szenarien werden beschrieben.

Unverständlich ist jedoch, wieso durch Menschen verursachte Ereignisse außer im Hinblick auf Klimaveränderungen nicht berücksichtigt sind, zumal diese sich einer wissenschaftlichen Analyse nicht entziehen. Auf der Voraussetzung beruhend, daß nach einer gewissen Zeit die Information über das Endlager verlorenght, ist es im Zusammenhang mit Rohstofferkundungen durchaus denkbar, daß Tiefbohrungen das Lager treffen (20).

Hieraus ergeben sich verschiedene Konsequenzen:

- Hydraulische Verbindung des Endlagers mit der Biosphäre
- Stückiges Abfallmaterial gelangt an die Erdoberfläche und belastet die Beschäftigten mit einer durch Direktstrahlung hervorgerufenen Dosis

Die durch diese Szenarien möglichen Schäden lassen sich abschätzen (20) und müssen bei der Beurteilung des Langzeitverhaltens berücksichtigt werden.

6. Störfallanalysen für Störfälle unter Tage

Im folgenden wird auf das Kapitel 3.5 der Plan-Unterlagen Bezug genommen.

Die für die Festlegung der kritischen Störfälle verwendete Logik, wonach verschiedene Typen von Unfällen, die möglicherweise zum Austritt von Radioaktivität aus Gebinden führen könnten, analysiert werden, entspricht dem heutigen Stand der Technik.

Man hat diejenigen Unfälle ausgesucht, die während des Betriebes der Lagerstätte zu einer Freisetzung von Radioaktivität aus Abfallgebinden führen könnten.

Dabei werden zwei Klassen von Unfällen unterschieden:

KLASSE I: Störfälle, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde begrenzt werden.

KLASSE II: Störfälle, die durch Auslegungsmaßnahmen der Anlage bzw. der Abfallgebinde vermieden werden.

Maßnahmen werden getroffen, um Unfälle der Klasse II zu vermeiden. Im Rahmen der Klasse I werden trotzdem Fälle behandelt, welche die Auswirkungen von drei der fünf vermeidbaren Unfälle der Klasse II decken (Steinfall, Kollision ohne Brand, Kollision mit Brand). Die vierte und fünfte Art möglicher Unfälle - Brand und Explosion, die zu einer Freisetzung von Radioaktivität führen - werden wegen der Auslegung der Anlage als unwahrscheinlich angenommen.

Die untersuchten Fälle der Klasse I waren:

- Zusammenstoß eines Transportfahrzeuges mit einem Hindernis
- Absturz von Abfallgebinden
- Transportunfall mit Brand infolge einer Kollision
- Sturz einer schweren Last auf ein Abfallgebinde
- Anlageninterne Explosion.

Die resultierenden mechanischen Belastungen (aufprallen, quetschen oder durchstoßen) des Gebindes wurden zuerst nach dem massenspezifischen Energieeintrag in das Abfallgebäude geordnet. In der untertägigen Anlage wurde der Prall aus einer Absturzhöhe von 5 m mit einer Aufprallgeschwindigkeit von 10 m/s als kritischstes Ereignis gewählt.

Die geometrischen Beschränkungen der Kavernen, Krananlagen und Fahrzeuge sowie der gewählte Betriebsmodus' diktieren die Parameter der mechanischen Lastfälle.

Die IAEA-Reglements für den sicheren Transport von radioaktiven Stoffen verlangen einen Sicherheitsnachweis für Behälter, die außerhalb von geschlossenen Werkgeländen transportiert werden müssen, für eine Reihe normierter Unfälle. Allerdings bestehen keine Vorschriften für den Transport innerhalb von Werkgebäuden.

Innerhalb einer Anlage ist die Spannbreite zumutbarer Unfälle kleiner als auf offener Straße, Bahnstrecke oder auf hoher See. Es ist deshalb vernünftig, die möglichen Unfälle innerhalb der Anlage anhand der Anlagengeometrie und des Betriebsmodus' zu bestimmen.

Der Brandfall, der zur Untersuchung der thermischen Belastung der Container bzw. Gebäude gewählt wurde, entspricht der gleichen Oberflächentemperatur wie in den IAEA-Reglementen (nämlich 800°C), dauert aber doppelt so lang (nämlich 60 statt 30 Minuten). Damit soll ein Fahrzeugbrand simuliert werden, der konservativ ausgelegt ist. Die angenommene Stelle des Brandfalles in der Nähe des Füllortes, und damit auch des Abwetterschachtes, ist auch vernünftig und konservativ.

Jedoch ist auch hier **Kritik** zu formulieren.

Die berechneten Störfälle der Klasse I tragen nur wenig zur Auslegung der Gebinde bei. Dies ist aus Kapitel 3.3.4 ersichtlich, wo die Aktivitätsgrenzwerte pro Gebinde aufgrund von Berechnungen der Aktivitätsdosen an die Bevölkerung aus bestimmungsgemäßem Betrieb sowie aus den Störfällen, nach Berechnungen der Temperaturerhöhung des Gesteins an der Lagerkavernenwand als Funktion der Wärmeproduktion der Abfälle

und der vorgesehenen Lagerungsdichte und schließlich nach Berechnungen der Kritikalität als Funktion des Inhaltes an ^{235}U und ^{239}Pu sowie der vorgesehenen Lagerungsdichte, für jede Berechnung separat angegeben werden.

Die jeweils zwingendste Inhaltsbeschränkung aus den berechneten kritischen Fällen wird für die Bestimmung der maximal zulässigen Aktivität pro Nuklid und pro Abfallgebinde verwendet.

Obwohl dieses Vorgehen annehmbar ist, sind Darstellung und Erklärung der Resultate sowie der zahlreichen Experimente, Annahmen und Berechnungen, die zum Erreichen der Resultate notwendig waren, nicht genügend transparent. Als Konsequenz wäre zu fordern, daß Querreferenzen des Berichtmaterials vorzulegen und zu diskutieren sind, betreffend:

- Experimentelle Störfalltestberichte
- Berichte über Rückhaltungsexperimente
- Rechenmethoden und Berechnungen
- Annahmen bei Störfallsimulation, falls keine Daten vorhanden waren.
- Internationale Ergebnisse

Nur so wären die Sicherheitsüberlegungen nachvollziehbar.

Angabenliste
Wertberichte } file.

7. Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

Es wird in den folgenden Ausführungen auf das Kapitel 3.6 der Plan-Unterlagen Bezug genommen.

Bei Endlagerstätten für hochaktive Abfälle muß stets abgeklärt werden, ob bei sehr hohen Temperaturen bzw. Temperaturgradienten die Integrität der Gebinde, des Füllmaterials und des Wirtsgesteins erhalten bleibt, ob thermischer Auftrieb im lokal erwärmten Grundwasser neue Migrationswege bedeutet, ob die Geochemie lokal verändert wird, und ob damit Sättigungs-, Lösungs- und Sorptionsprozesse beeinflusst werden könnten.

In Endlagerstätten für schwach- bis mittelaktive Abfälle, wie für Konrad geplant, ist der Anteil wärmeproduzierender Isotope viel geringer. Damit sind auch die Probleme der Integrität, Thermohydraulik und Geochemie viel geringer.

Im gegebenen Fall werden diese Faktoren nicht erwähnt, im Gegensatz zu Arbeiten der NAGRA (39) oder SKB (40). Stattdessen wird ein scheinbar arbiträres Kriterium einer Temperaturerhöhung von 3° C am Kammerstoß eingeführt. Die Logik für die Wahl dieses Kriteriums ist nicht erklärt und sollte nachgeliefert werden.

Wir sind einverstanden mit der Aussage, daß Nuklidgemische in den schwach radioaktiven Abfällen so gewählt werden können, daß nur eine vernachlässigbare Erwärmung des Wirtsgesteins am Kammerstoß zu erwarten ist. Wenn eine gewisse Gebindeablageungsanordnung gewählt worden ist, muß allerdings gewährleistet werden, daß das Nuklidgemisch konstant bleibt, und daß zum Beispiel nicht mehr emittierende Isotope als vorgesehen unkontrolliert in einem Bereich abgelagert werden. Dies verlangt eine strenge Qualitätskontrolle der individuellen Gebindetypen zur Sicherung der im Kapitel 3.6 vorgeschlagenen "Gebindefaktoren" sowie des Ablagerungsbetriebes.

Die Schwachstellen sind im Text erwähnt.

8. Erdbeben- und Langzeitsicherheit

Es wird im folgenden auf die Kapitel 3.1.9.3, 3.8 und 3.9 Bezug genommen.

8.1. Erdbebensicherheit

Bei den hinsichtlich der Erdbebensicherheit durchgeführten Untersuchungen wurde nach den KTA-Richtlinien vorgegangen. Grundlegende Arbeiten hierzu wurden berücksichtigt.

Gemäß der KTA-Richtlinien wird dabei eine Auslegung auf Betriebserdbeben und Sicherheitserdbeben vorgenommen.

In dem vorliegenden Gutachten werden für beide Annahmen Bodenbeschleunigungen vorgelegt, es wird jedoch nicht dargestellt, wie die Festlegungen für diese Parameter erfolgt sind.

Die Bodenschwinggrößen lassen sich aus den Erdbebenintensitäten nach empirischen Beziehungen ableiten. Die Literaturangaben hierüber streuen jedoch erheblich, so daß für die Festlegung der ingenieurseismischen Kenndaten die Einschaltung eines Sondergutachters erforderlich ist (21). Außer den Bodenschwinggrößen sind auch der Einfluß des Untergrundes (Baugrundfaktor) und die Art der Bauwerke zu berücksichtigen (41), was in dem vorliegenden Gutachten nicht geschehen ist. Dies gilt vor allem für den obersten Schachtbereich von Konrad II, der mit seinen obersten ca. 30 m in stark wasserführenden Quartär-Sedimenten steht. Hier könnte die Zerstörung der Schachtröhre infolge eines Erdbebens zumindest während der Betriebsphase einen erheblichen Wassereinbruch mit Ersaufen der Grube zur Folge haben (2).

Der Frage nach den Auswirkungen von Erdbeben auf Untertagebauten wurde in den letzten Jahren vor allem in den USA und Japan vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Die Beobachtungen ergeben folgendes Bild:

- Erdbebenschäden sind an Untertagebauten wesentlich seltener und weniger schwer als an der Oberfläche. Sie nehmen generell mit zunehmender Tiefe ab.

- Bis zu Oberflächenbeschleunigungen von 0,2 g (8,0 nach der MSK-Skala) treten keine Schäden an Untertagebauten auf.

Hinsichtlich der Einschätzung möglicher Schäden durch Erdbeben an den Untertagebauten teilen wir die Auffassung der PTB.

8.2 Langzeitsicherheit

Die Behandlung der Langzeitsicherheit basiert auf der Annahme, daß die verbleibenden Hohlräume im Grubengebäude nach der Betriebsperiode wieder mit Grundwasser gefüllt werden, daß dieses Wasser die Gebinde angreift und die Auflösung der enthaltenen Radionuklide erlaubt. Die Zeitspanne bis zur Mobilisierung der letzten Nuklide wird mit 600 Jahren angegeben. Die Lebensdauer der Behälter wird vernachlässigt, wie auch die Zeit zur Durchmischung im Grubengebäude. Diese Annahme ist als sehr konservativ zu bewerten. Nach der Mobilisierung werden die gelösten Nuklide mit dem durchströmenden Grundwasser unmittelbar ausgewaschen. Nachdem die Nuklide das Nahfeld verlassen, wird ein eindimensionaler Migrationsweg, identisch mit dem Teilchenpfad aus der dreidimensionalen hydrogeologischen Modellrechnung, angenommen bis zur Biosphäre, wo Aktivitätsdosen über Trinkwasser, Tränkwasser, Gemüse, Niederschläge auf Pflanzen, Fisch- und Viehverzehr an die Bevölkerung gelangen. Der Anfang der Biosphäre wird als in den quartären Wasserträgern definiert.

8.2.1 Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude

Zur Berechnung der Freisetzung aus den verschiedenen Gebindetypen im Grubengebäude wurden scheinbar etliche analytische und numerische Berechnungen durchgeführt. Die darin enthaltenen Vereinfachungen und Rechenmethoden sind aber nicht ausführlich dargestellt worden. Außerdem fehlen Literaturhinweise, die ein Nachvollziehen der angewandten Methodik und der Berechnungen ermöglichen würden.

Das allgemeine Vorgehen für den Aufbau eines Freisetzungsmodells wird beschrieben. Zwei Punkte im Zusammenhang mit der Durchströmung des Grubengebäudes sind jedoch unklar:

1. Wurden "Hauteffekte" an den Wänden des Grubengebäudes berücksichtigt? Solche können durch Untersättigung der Poren und Risse in der Nähe von exponierten Felsflächen sowie von Oberflächenspannungen verursacht werden. Ist es möglich, daß solche Effekte im Zuflußmodell andere hydraulische Leitfähigkeiten oder Überdrücke im Wasserträger bedeuten können?
2. Welche Konvergenzsätze wurden eingesetzt? Die Planungsunterlagen enthalten eine Beschreibung der gesammelten Erfahrungen in Konrad. Es wäre wünschenswert, den verwendeten Konvergenzsatz zu kennen und eine Abhandlung über die Konsequenzen aus Schwankungen der angenommenen Koeffizienten in Bezug auf Überdrücke bzw. Erholungszeit des Potentialfeldes zu publizieren.

8.2.2 Sorption

Der Begriff Sorption entspricht einer Kombination mehrerer chemischer Prozesse. Es ist aber international bekannt, daß die Sorptionseigenschaften des Bodens für Anionen und Kationen vorwiegend von der Wasserchemie (pH-Wert und Redoxpotential) und dem Gesteinstyp abhängig sind.

Wir finden keine Beschreibung der Laborversuche, die zur Bestimmung der K_d -Werte durchgeführt wurden. Einige Variationen in der Radionuklidkonzentration, dem pH-Wert und im Verhältnis von Lösungsvolumen zur Sorptionsmasse wurden offensichtlich studiert.

Es wurde erwähnt, daß die Wirkung von in den Gebinden befindlichen technischen Komplexbildnern von EDTA beeinflusst werden können. Die Anwendung von EDTA in den Laborexperimenten soll einen Konservatismus für die Migrationsberechnungen bilden. Es wurde weiter darauf hingewiesen, daß die angegebenen Resultate der (batch?)-Experimente die chemischen und physikalischen Verhältnisse im Grubengebäude berücksichtigen.

Die Berechtigung für die im Kapitel 3.9 verwendeten K_d -Werte scheint für das Nahfeld in der unmittelbaren Umgebung des Grubengebäudes gegeben zu sein. Dies ist jedoch nicht der Fall für das weitere Ausbreitungsgebiet.

Darüberhinaus muß durch Untersuchungen geklärt werden, welchen Einfluß Kolloid-Bildungen auf den Radionuklidtransport ausüben.

Über längere Perioden und entlang der ausgedehnten Migrationspfade, wie zum Beispiel im Oxford, oder entlang kürzerer Wege durch verschiedenste Schichten, sind andere Wässer zu erwarten als im Nahfeld der Lagerstätte.

Wiederum fehlt eine transparente und überzeugende Argumentation für die gewählte Datenannahme.

8.2.3 Dispersion

Die mathematische Darstellung hydrodynamischer Dispersion mittels eines quasi-Fick(schen) diffusiven Mechanismus' ist zwar physikalisch gesehen ein schwacher Kompromiß, entspricht aber heute noch der normalen Methode. Auch in den vorliegenden Planunterlagen wurden sogenannte Dispersionslängen wie folgt definiert:

- 30 m im Unterkreideton
- 200 m im Oxford
- 200 m im "Cornbrash".

Das eindimensionale Migrationsmodell, ebenfalls mit dem SWIFT-Code konstruiert und analysiert, ist in bezug auf Dispersion konservativ, weil die transversale Dispersion in Richtungen quer zum Transportweg nicht berücksichtigt wird. Die angenommene rasche Mischung im Grubengebäude bedeutet, daß sämtliche freigesetzten Nuklide im gesamten Wasserstrom im Oxford zu diesem Zeitpunkt gemischt werden.

Es wird erwartet, daß mehr Informationen über die Wahl der oben geleisteten Dispersionslängen gegeben werden. Auch die Frage, ob irgendwelche Eichversuche unternommen wurden, oder ob eine Sensitivitätsstudie über die Wirkung der Dispersionslänge existiert, muß beantwortet werden. Solche Angaben gehören unbedingt in eine seriöse Sicherheitsstudie.

9. Abschluß des Betriebes

Im Folgenden wird Bezug auf die Kap. 4 - 4.2. des Plans genommen.

Der Betriebsplan sieht ein stetiges Verfüllen und Verschließen der Einlagerungskammern und weiterer nicht benötigter Grubenbaue während der Betriebsphase vor.

Bei einer Mindest-Betriebsdauer von ca. 40 Jahren ist auf diese Arbeiten und Techniken aus unmittelbaren Sicherheitsüberlegungen besondere Sorgfalt zu verwenden, da nach dem Verfüllen und Verschließen ständige Kontrollen und rechtzeitige regulierende Eingriffe in Störmechanismen nur schwer möglich sein werden.

Kammern und Grubenbaue sollen mit frisch gebrochenem Versatzmaterial in Schleuderversatztechnik verfüllt werden, wobei die Kornverteilung des Versatzmaterials so angestrebt wird, daß eine optimale Packungsdichte nach der Fuller-Körnungslinie (42) erzielt werden soll.

Diese ideale Raumausfüllung setzt allerdings eine statistisch-homogene Verteilung von Grob- und Feinkorn voraus, die bei einer Blasversatztechnik schon aus Gründen der gravitativen Differentiation kaum erreicht werden kann.

Um falschen Bewertungsüberlegungen vorzubeugen, muß hier noch angeführt werden, daß dieser Kornaufbau - zumindest bei den gewählten Korngrößen von max. 40 mm - keine "Dichtigkeit" bewirkt, was in Kap. 3.4.2.2 auch richtig vorausgesetzt wird.

Damit wird hinsichtlich der Sicherheitsbewertung auf wesentlich bessere, technisch machbare Barrieren verzichtet, was nach unserer Auffassung nicht begründet ist. Es muß überlegt werden, ob nicht andere Materialien, wie etwa Bentonite oder Fließzemente, besser geeignet sind.

Unverdichtete Schüttung, die erst durch Einwirkung von Konvergenzen eine spätere, geringe Verdichtung (2 %/Jahr) erfahren, sind während der Betriebsphase für eindringende Grubenwässer und Gase praktisch ungehindert passierbar.

Die Porosität der Schüttung des Versatzmaterialies wird in Kap. 3.4.2.2 zwar in Bezug auf Gasausbreitung berücksichtigt, jedoch das Eindringen von Grubenwässern und die damit verbundenen geochemischen Reaktionen mit ihren möglichen - auch thermischen - Auswirkungen auf Abfallgebinde, Versatz und Wirtsgestein bleiben unberücksichtigt, obwohl gerade frisch gebrochenes Material als besonders reaktionsaktiv angesehen werden muß.

Hier müssen Untersuchungen hinsichtlich des geochemischen Verhaltens des Versatzes und Auswahl des Versatzmaterials nach geochemischen Gesichtspunkten und nicht nach der Verfügbarkeit gefordert werden, da bei einem Einsatz entsprechenden Versatzmaterials auch für die Sicherheit als positiv zu bewertende geochemische Reaktionen (zum Beispiel Gelbildungen, endotherme Reaktionen etc.) möglich sind.

Im Hinblick auf den Kammerverschluß und seine Funktion als Gasbarriere muß festgestellt werden, daß eine Ausmauerung aus porösen Leichtbausteinen (Ytong, - vgl. Abb. 3.2.5.6.2/2) nicht plausibel erscheint und diese Auswahl einer entsprechenden Begründung bedarf.

Die Verfüllung von Hohlräumen mit synthetischem Anhydrit bedarf ebenfalls einer Begründung.

Anhydrit kann sich - insbesondere dann, wenn er sehr feinkörnig ist (synthetisch) - in relativ kurzen Zeiten mit Wasser zu Gips umsetzen, was mit einer Volumenvergrößerung von ca. 60 % verbunden ist.

Dies mag im Hinblick auf eine "selbsttätige" Verdichtung dieser Schicht positiv beurteilt werden, jedoch ist mit dieser Reaktion auch eine gewisse "Sprengwirkung" verbunden, die insbesondere dann ein kurzfristiges Risiko darstellt - und davon ist auszugehen - wenn die Umsetzung nicht gleichmäßig (Gipswand) sondern lokal zum Beispiel an der Sohle (Wasserzufluß) zuerst stattfindet.

Hier müssen weitergehende Untersuchungen über die mögliche Eignung denkbarer Barrierematerialien und Barriersysteme gefordert werden.

Verdichtete Mehrfachbarrieren (zum Beispiel mit Zwischenlagen aus sorptionsaktiven Tonmineralien, Zeolithen oder Carnalli-

ten) könnten durch ihr Ionenaufnahmevermögen eine zusätzliche Sicherheit schon während der Betriebsphase bieten.

Für die Abschätzung von Diffusionswegen und der anzusetzenden Diffusionsraten durch das anstehende Gestein der Kammerabschlußbauten und letztlich auch durch die Mauersteine und das Mauerbindemittel bedarf es entsprechender materialspezifischer Untersuchungsdaten.

Für die Verfüllung der Grubenbaue mit Versatzmaterial bis zu den Schächten bzw. bis zur Zone der Verfüllung mit hydraulisch erhärtendem Material bei Abschluß des Betriebes gilt das oben über Schüttungen gesagte.

Die Vorgaben und das vorgelegte Konzept für die Schachtverfüllung und den Aufbau des Schachtverschlusses - und auch die Vorgaben für die Festlegung der Position des Widerlagers - dürften allen Sicherheitsanforderungen gerecht werden.

Es sollte geprüft werden, ob nicht die Einbringung von Packungen aus Molekularsieben in die hydraulische Dichtung ein zusätzliches Maß an Sicherheit erbringen könnte.

Das Füllmaterial der Asphaltdichtungen sollte möglichst, da durch Sedimentations- und Mischeffekte Inhomogenitäten auftreten können, aus salzwasserresistenten oder -reaktionsträgen Materialien bestehen.

Als generelle Schwachstellen sind die zwanzig Jahre alten Schachtausmauerungen und ihre Verbindungen zum Gebirge anzusehen.

Hier fehlen Daten und belastbare Ergebnisse aus materialtechnologischen Untersuchungen hinsichtlich des Zustandes der Ausmauerungen (und der Betonsohlplatte in Schacht Konrad II) sowie der Kontaktzonen.

Die in Abb. 3.1.10.5/16 erkennbaren Maxima für den teufenabhängigen Verlauf von Schachtstauchungen und Scherungen korrelieren mit den in Abb. 3.1.9.1/1 ausgewiesenen Salzwasserzuflüssen. Dies könnte auf erhebliche Korrosionsschäden an Beton- und Ziegelausmauerungen zurückzuführen sein.

Entsprechende Materialuntersuchungen an den Beton- und Ziegelausmauerungen sowie der Kontaktzonen des Gebirges müssen gefordert werden, da diese für eine zuverlässige und dauerhafte Verschlusstechnik der Schächte (bzw. der Pfade in korrodierten Kontaktzonen an den Schachtaußenwänden bis über Tage) von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Schwachstellen existieren durch fehlende oder unzureichende

- Untersuchungen über das geochemische Verhalten des Versatzmaterials unter Einwirkung salinärer Grubenwässer;
- Eignungsuntersuchungen über das Korrosionsverhalten der Abfallgebände;
- Eignungsuntersuchungen von Materialien für die Kammerabschlußbauten;
- Materialtechnologische Untersuchungen über den Zustand der Schachtausmauerungen und der Verbindungen zum Gebirge.

Der Abschluß des Betriebes kann nach dem Betriebsplan nicht gesondert von der Betriebsphase beurteilt werden (Verfüllen und Verschließen der Einlagerungskammern während des Betriebes).

Der Schwerpunkt der Ausführungen in diesem Kapitel liegt im rein technischen Bereich. Materialtechnologische Untersuchungen werden nicht dargestellt, ebenfalls nicht Betrachtungen möglicher Störmechanismen durch geochemische Reaktionen und durch gefügebedingte Gegebenheiten.

Konsequenzen für die Beurteilung der Antragsunterlagen ergeben sich aus der Schwachstellenanalyse dergestalt, daß für eine dauerhafte und wartungsfreie Verplombung des Grubengebäudes und der Schächte ergänzende Untersuchungen und Prüfungen wie oben angeführt, zu fordern sind.

10. Literaturverzeichnis

- (1) PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (1986): Plan
Endlager für radioaktive Abfälle.
- Kurzfassung Stand 9/86.- 108 S., Braunschweig.
- (2) GRUPPE ÖKOLOGIE (1983): Gutachten zum Abschlußbericht der
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
über die Untersuchung der Eignung von Schacht
Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle.-
387 S., Hannover.
- (3) KOLBE, H. (1975): Schichtenfolge im Oberjura-Eisenerz-Auf-
schlußgebiet der Schachtanlage Konrad der
Salzgitter Erzbergbau AG.- Mitt. Geol.-Paläont.
Inst. Univ. Hamburg, S. 161-193, Hamburg.
- (4) RINEHART, J.S. (1980): Geysers and Geothermal Energy.- 223 S,
New-York, Berlin (Springer).
- (5) ALTHAUS, E. (1984): Mineralogische Gesichtspunkte der
Gewinnung geothermischer Energie.-
Naturwissenschaften 71: S. 85-92, New-York, Berlin
(Springer).
- (6) TRUSHEIM, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für
die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands.- Z.
dt. geol. Ges., 109, S. 111-151, Hannover.
- (7) GEITNER, J. (1961): Anwendungsbeispiele für statistische
Methoden in der Tektonik des Salzgittergebietes mit
und ohne Lagekugelprojektionen. Untertageaufnahmen
vor Ort und am Stoß im Oxford. Statistische und
zeichnerische Auswertung.- Lagerstättenkundliche
Studienarb., unveröff., Techn. Univ. Berlin, 52 S.,
Berlin.
- (8) TOTH, J. (1980): Cross-formational gravity flow of ground-
water: A mechanism of transport and accumulation of
petroleum (the generalized Hydraulic theory of
Petrol Migration). - In: Roberts, W.H. & Cordell,
R.J. (Hrsg.): Problems of petrol migration, Am.
Assoc. Petrol. Geologists, Studies in Geology, 10,
S. 121-167, Tulsa.
- (9) DVWK-SCHRIFTEN (1983): Beiträge zu tiefen Grundwässern und
zum Grundwasser-Wärmehaushalt.- 61, 166 S.,
Hamburg, Berlin (Paul Parey).

- (10) DVWK-SCHRIFTEN (1987): Erkundung tiefer Grundwasserzirkulationssysteme - Grundlagen und Beispiele. 81: 223 S., Hamburg, Berlin (Paul Parey).
- (11) NAGRA (1985): Projektbericht NGB 85-04 - Endlager für radioaktive Abfälle: Das System der Sicherheitsbarrieren.- Baden/Schweiz.
- (12) GRONEMEIER, K., MATTHESS, G., OHSE, W., PEKDEGER, A. & PFISTER, E. (1983): Geochemische Wechselwirkungen Wasser/Gestein in stark- und schwach-mineralisierten Tiefenwässern.- Z. dt. geol. Ges., 134, S. 905-921, Hannover.
- (13) GSF (1982): Eignungsprüfung der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Abschlußbericht GSF - T 136, Neuherberg.
- (14) GOLESTANEH, F., KOLBE, H., RABSILBER, K. (1975): Das Oberjura-Eisenerz der Schachanlage Konrad der Salzgitter Erzbergbau AG bei Salzgitter-Bleckenstedt.- Erzmetall, 28, S. 105-115, Stuttgart (Riederer).
- (15) HARDER, zit. in CISSARZ, A. (1965): Einführung in die allgemeine und systematische Lagerstättenlehre. - 228 S., Stuttgart (Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- (16) MOSER, H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. - 400 S., Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- (17) CARLE, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. - 643 S., Stuttgart (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft).
- (18) MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - 324 S., Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- (19) MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie - Grundwasserhaushalt. - 438 S., Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- (20) NAGRA (1985): Projektbericht 85-08 - Projekt Gewähr 1985 - Endlager für schwach und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. - 297 S., Baden/Schweiz.
- (21) PRINZ, H. (1982): Abriß der Ingenieurgeologie. - 419 S., Stuttgart (Enke).
- (22) HERRMANN, A.G. (1983): Radioaktive Abfälle. - 256 S., Berlin, Heidelberg, New-York (Springer).
- (23) RICHTER-BERNBURG, G. (1979): Diskussionsbeitrag, S.191. In: Rede-Gegenrede, Diskussionsprotokolle; Hrsg.: Deutsches Atomforum e.V., Bonn.
- (24) JARITZ, W. (1986), zit. in: (22).

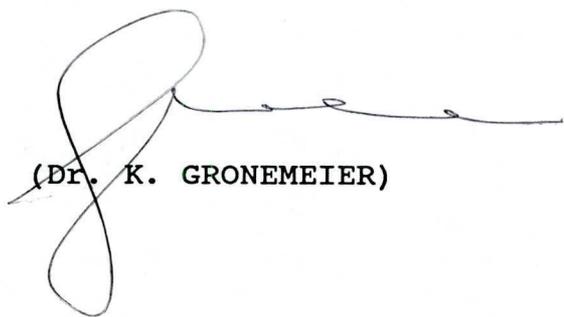
- (25) HERRMANN, A.G. (1979): Geowissenschaftliche Probleme bei der Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren Norddeutschlands. - Geol. Rdsch., 68, S. 1076-1106, Stuttgart.
- (26) HERRMANN, A.G. (1979): Verantwortung, für die es keine Parallele gibt. - Umschau in Wissenschaft und Technik, 79, S. 176-178, Frankfurt a.M.
- (27) HERRMANN, A.G. (1980): Geochemische Prozesse in marinen Salzablagerungen: Bedeutung und Konsequenzen für die Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren. - Z. dt. geol. Ges., 3, S. 433-459, Hannover.
- (28) HERRMANN, A.G. (1980): Kavernennutzung in Salzdiapiren zur Speicherung flüssiger und gasförmiger Kohlenwasserstoffe und von Druckluft. - Fortschr. Miner., 58, Beiheft 2, S. 55-66, Stuttgart.
- (29) BÜCHNER, K.-H. (1983): Ingenieurgeologische Erfahrungen beim Absaufen des Kalibergwerkes Ronnenberg. - Berichte von der 4. nationalen Tagung für Ingenieurgeologie, S. 27-39, Goslar.
- (30) KUPFER, D.H. (1974): Boundary shear zones in salt stocks. In: 4th symposium on salt, Vol. 1, S. 215-225, Hrsg. A.H. COOGAN; the Northern Ohio Geological Society, Inc., Cleveland/Ohio.
- (31) KUPFER, D.H. (1974): Shear zones in the Gulf Coast salt delineate spines of movement. - Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., 24, S. 197-209, Houston/Texas.
- (32) NAGRA (1985): Technischer Bericht NTB 84-50: Simulation par modèle mathématique des écoulements souterrains entre les Alpes et de la Forêt Noire; F.KIMMEIER P. PERROCHET, L. KIRALY, alle: Centre d'hydrogéologie de l'université de Neuchâtel, R. ANDREWS, Intera Technologies Inc., USA.
- (33) DVWK-SCHRIFTEN (1986): Wasser - unser Nutzen, unsere Sorge: Möglichkeiten und Grenzen von Transportmodellen. - 78, S. 75-98, Hamburg, Berlin (Paul Parey).
- (34) BRÜHL, G., BÜTOW, E. & GÜLKER, M. (1983): Berechnung der Grundwasserbewegung im Raum Gorleben. - Z. dt. geol. Ges., 134, S. 807-820, Hannover.
- (35) FRANKE, O.C., REILLY, T.E. & BENNETT, G.D. (1984): Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated groundwater-flow-systems. An introduction. - USGS Open-File Report 1984-458, S. 26.

- (36) BEAR, J. (1979): Hydraulics of ground water. - 544 S., New York, London, Amsterdam (Elsevier).
- (37) NAGRA (1985): FEM 301 - A three dimensional model for groundwaters flow simulation; L. KIRALY, Centre d' hydrogeologie de l' université de Neuchatel.
- (38) PLUM, H. (1987): Genetische Klassifikation und hydrochemische Interpretation der Mineral- und Thermalquellen der Eifel und Ardennen. - (in Vorbereitung).
- (39) NAGRA (1983): Technischer Bericht NTB 83-20: Preliminary calculations of the temperature distributions around a type C (highly active) nuclear waste repository. R.J. HOPKIRK, D.J. GILBY, I. SCHWANNER, Polydynamics Ltd., Zürich.
- (40) SKBF/KBS (1983): Final storage of spent fuel. - KBS-3, Stockholm.
- (41) SCHNEIDER, G. (1975): Erdbeben, Entstehung - Ausbreitung - Wirkung. - 406 S., Stuttgart (Enke).
- (42) STRIEGLER, W. & WERNER, D. (1973): Erdstoffverdichtung. - 372 S., Berlin (Verlag f. Bauwesen).

Kiel, den 31. Juli 1987

Dr. Pieles & Dr. Gronemeier CONSULTING GmbH
- Beratende Geologen und Ingenieure-

Mathildenstr. 25, 2300 Kiel 14

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'G' followed by a series of connected loops and a horizontal line extending to the right.

(Dr. K. GRONEMEIER)

Beratung · Planung
Bauleitung · Gutachten

Wasserwirtschaft · Umweltgeologie
Abwasser, Abfall · Hydrologie
Altlasten-Sanierungs-Beratung

Dr. Pieles + Dr. Gronemeier
CONSULTING GMBH

Mathildenstraße 25

D-2300 Kiel 14

Telefon 0431 / 72 60 36

Autotelefon FuW 9 18 87